



COMUNE DI SERINA

Provincia di Bergamo

Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio in attuazione dell'art. 57 L.R. 11-0.-2005 n. 12

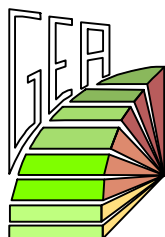
TITOLO ELABORATO

RELAZIONE TECNICA

| N. PRATICA | TIPOLOGIA | FASE PROG. | SCALA | TAVOLA |
|------------|-----------|------------|-------|----------|
| 20_018 | PGT | DEFINITIVA | - | A |

| REVISIONE | DATA | DESCRIZIONE |
|-----------|------------|-----------------------------------|
| 0 | Marzo 2025 | Revisione del Rapporto Ambientale |
| 1 | - | - |
| 2 | - | - |
| 3 | - | - |

PROGETTISTI



Studio G.E.A.
24020 RANICA (Bergamo)
Via La Patta, 30/d
Telefono e Fax: 035.340112
E - Mail: gea@mediacom.it

Dott. Geol. SERGIO GHILARDI
iscritto all' O.R.G. della Lombardia n. 258



Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI
iscritto Ord. Ing. Prov. BG n. 3057



SOMMARIO

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA | 4 |
| 1.1. Obiettivi e quadro normativo di riferimento | 4 |
| 1.2. Articolazione del lavoro e rapporti con gli studi geologici precedenti | 6 |
| 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO | 8 |
| 2.1. Origini | 11 |
| 3. INQUADRAMENTO METEO-CLIMATICO | 14 |
| 3.1. Precipitazioni | 14 |
| 3.2. Temperature | 15 |
| 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO | 18 |
| 5. GEOMORFOLOGIA | 22 |
| 5.1. Morfologia strutturale | 22 |
| 5.2. Morfologie gravitative | 23 |
| 5.3. Morfologie idrodinamiche | 31 |
| 5.4. Morfologie glaciali e nivali | 33 |
| 5.5. Carsismo | 34 |
| 6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO ED IDROGRAFICO | 36 |
| 6.1. Idrografia superficiale | 36 |
| 6.2. Quadro idrogeologico locale | 38 |
| 6.3. Classi di permeabilità geologica | 42 |
| 7. DISSESTI DEL P.A.I. E P.G.R.A. | 44 |
| 7.1. Criteri di realizzazione della cartografia | 44 |
| 7.1.1. Dissesti secondo l'Elaborato 2 del P.A.I. | 44 |
| 8. VINCOLI | 46 |
| 8.1. Criteri di realizzazione della cartografia dei vincoli | 46 |



| | |
|--|-----------|
| 9. SINTESI DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI..... | 47 |
| 9.1. Criteri di realizzazione della cartografia di sintesi | 47 |
| 9.2. Individuazione delle aree di criticità..... | 49 |
| 10. FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO..... | 51 |
| 10.1. Criteri di realizzazione della cartografia di fattibilità..... | 51 |
| 10.2. Individuazione delle classi di fattibilità sul territorio | 52 |
| 10.3. Differenze introdotte dalla variante geologica | 55 |
| 11. NORME GEOLOGICHE DI PIANO..... | 58 |
| 12. VALUTAZIONE DELL'EFFETTO SISMICO..... | 59 |
| 1.1 Generalità e metodologie di analisi | 59 |
| 13. ANALISI SISMICA DI 2° LIVELLO: AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA | 65 |
| 13.1. Premessa | 65 |
| 13.2. Indagine geognostica | 67 |
| 13.3. Ubicazione delle indagini geofisiche..... | 69 |
| 13.4. Cenni teorici | 70 |
| 13.4.1. HVSr..... | 70 |
| 13.4.2. MASW | 72 |
| 13.5. Strumentazione utilizzata | 74 |
| 13.6. SITO1 – Centro polifunzionale “Stalù” | 76 |
| 13.6.1. Indagini HVSr..... | 76 |
| 13.6.2. Indagine MASW | 80 |
| 13.6.3. Risultati ottenuti | 82 |
| 13.7. Nuove indagini 2023 | 88 |
| 13.7.1. Dati Caratteristici..... | 88 |
| 13.7.2. Pulizia della traccia | 93 |
| 13.8. Risultati ottenuti..... | 96 |
| 13.9. Scelta della scheda tipo per l'analisi di II livello e calcolo T di riferimento..... | 102 |
| 13.9.1. SITO1 – Centro polifunzionale “Stalù” | 102 |



| | | |
|---------------|--|------------|
| 13.9.2. | SITO2 – Parco degli Alpini..... | 103 |
| 13.9.3. | SITO3 – Campo sportivo di Lepreno | 104 |
| 13.9.4. | SITO4 – Parco pubblico di Grumello | 105 |
| 13.9.5. | SITO5 – Campo sportivo via Tiraboschi | 106 |
| 13.9.6. | SITO6 – Parco pubblico Valpiana | 107 |
| 13.10. | Calcolo FAC di sito e confronto con i valori di FAS | 108 |
| 13.10.1. | SITO1 – Centro polifunzionale “Stalù” | 108 |
| 13.10.2. | SITO2 – Parco degli Alpini | 111 |
| 13.10.3. | SITO3 – Campo sportivo di Lepreno..... | 114 |
| 13.10.4. | SITO4 – Parco pubblico di Grumello | 117 |
| 13.10.5. | SITO5 – Campo sportivo via Tiraboschi..... | 120 |
| 13.10.6. | SITO6 – Parco pubblico Valpiana..... | 123 |
| 13.11. | Sintesi degli esiti della valutazione di II livello | 126 |
| 14. | ANALISI SISMICA DI II LIVELLO: AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA | 128 |
| 15. | CONCLUSIONI..... | 129 |
| 16. | BIBLIOGRAFIA | 132 |



1. PREMESSA

1.1. Obiettivi e quadro normativo di riferimento

Il Comune di Serina (BG) ha incaricato lo scrivente Studio G.E.A. di predisporre l'adeguamento dello studio geologico del territorio comunale, a seguito della **Variante Generale al PGT** redatta secondo i criteri stabiliti nella Legge 11 marzo 2005, n. 12 "Legge per il Governo del Territorio".

Nel Titolo II, art. 57 comma 1 della summenzionata legge, ai fini della prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici, è previsto che:

- a) il documento di piano contenga la definizione dell'assetto geologico, idrogeologico e sismico comunale sulla base dei criteri ed indirizzi emanati dalla Giunta Regionale, sentite le Province, entro tre mesi dall'entrata in vigore della L.R. n.12/05
- b) il piano delle regole contenga:
 - 1. il recepimento e la verifica di coerenza con gli indirizzi e le prescrizioni del P.T.C.P. e del Piano di Bacino;
 - 2. l'individuazione delle aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica, secondo i criteri e gli indirizzi di cui alla lettera a), nonché le norme e le prescrizioni a cui le medesime aree sono assoggettate in ordine alle attività di trasformazione territoriale, compresa l'indicazione di aree da assoggettare a eventuali piani di demolizione degli insediamenti esistenti, ripristino delle condizioni di sicurezza, interventi di rinaturalizzazione dei siti o interventi di trasformazione urbana, PRU o PRUSST.

Il lavoro è stato condotto secondo quanto disposto nei "*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, N. 12*" (D.G.R. 28 maggio 2008 n. 8/7374) e della D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616.



Inoltre, con il presente Studio il Comune di Costa Volpino si adegua alla D.G.R. 6738 del 19/06/2017 ed attua le disposizioni in riferimento all'attuazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni nel settore Urbanistico e di pianificazione dell'emergenza.

Lo studio geologico proposto contiene il quadro del dissesto derivante da valutazioni di maggior dettaglio rispetto ai dati contenuti nel primo livello di approfondimento dei P.T.C.P., e sarà perciò strumento di riferimento una volta raggiunta la compatibilità ai sensi dell'art. 18 delle N.d.A. del P.A.I.

Lo studio illustrato in queste pagine, redatto secondo i riferimenti normativi citati, è costituito dalla presente relazione tecnica, dalla relativa cartografia e delle Norme Tecniche di Attuazione.

Per i rilievi di terreno e la rappresentazione grafica dei dati è stato utilizzato, come base topografica, il rilievo aerofotogrammetrico del comune in scala 1:5000.

Ciò che emerge da questo studio è una sintesi geoambientale di carattere interpretativo, che non ha lo scopo di affrontare singoli problemi geologico - tecnici, né esime l'Amministrazione Comunale ed i Cittadini dall'assolvere gli obblighi derivanti da specifiche normative di legge concernenti il settore edilizio, geotecnico ed ambientale.

Essendo uno strumento a supporto della programmazione, l'obiettivo di questo studio è quello di raccogliere i principali parametri geologici delle aree esaminate e di evidenziare la vocazione delle stesse e le limitazioni d'uso del territorio per una corretta ed efficace gestione delle risorse; in particolare si fa riferimento alle previsioni della nuova variante urbanistica, al fine di valutarne la fattibilità, predisponendo nel contempo i provvedimenti di salvaguardia e valorizzazione del patrimonio naturale.



1.2. Articolazione del lavoro e rapporti con gli studi geologici precedenti

Nelle prime fasi dello studio si è proceduto alla raccolta ed alla valutazione dei dati geologici ed ambientali reperibili in bibliografia, riguardanti il territorio comunale di Serina e di alcuni dei comuni limitrofi, nonché l'intero territorio provinciale. Sono stati effettuati anche rilevamenti geologici e sopralluoghi mirati soprattutto nelle aree più critiche del territorio comunale.

La base conoscitiva del territorio comunale deriva dalla precedente Componente Geologica del PGT di Serina, redatta nel luglio 2012 dal dott. Geol. Marco Maggi.

Rispetto alla sopracitata versione dello Studio geologico comunale, la presente variante comprende:

- Adeguamento alla d.g.r. X/6738 del 19/06/2017 *“disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle Norme di Attuazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell'autorità di bacino del fiume Po - (di concerto con l'assessore Bordonali)”*
- Adeguamento alla normativa sismica regionale con implementazione del II livello di analisi secondo l'allegato 5 alla d.g.r. IX/2616 del 30/11/2011 *“Aggiornamento dei ‘Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12’, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374”, pubblicata sul BURL n. 50 Serie ordinaria del 15 dicembre 2012”*
- Adeguamento del confine comunale;
- Adeguamento della base cartografica comunale (AFG);
- Modifiche puntuali alla Carta della Fattibilità



La tabella seguente riassume la composizione finale del pacchetto completo del nuovo studio geologico:

| n. TAV | COMPOSIZIONE DELLO STUDIO GEOLOGICO IN AGGIORNAMENTO | | |
|--------|---|---------|------------|
| | CARTOGRAFIE | SCALA | REDATTORE |
| 1 | Carta Geologica | 1:10000 | GEA – 2025 |
| 2 | Carta Geomorfologica | 1:10000 | GEA – 2025 |
| 3 | Carta Idrogeologica | 1:10000 | GEA – 2025 |
| 4 | Carta delle acclività | 1:10000 | GEA – 2025 |
| 5A | Carta del Dissesto P.A.I. + P.G.R.A. – settore SUD | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 5B | Carta del Dissesto P.A.I. + P.G.R.A. – settore CENTRO | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 5C | Carta del Dissesto P.A.I. + P.G.R.A. – settore NORD | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 6A | Carta dei Vincoli. – settore SUD | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 6B | Carta dei Vincoli. – settore CENTRO | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 6C | Carta dei Vincoli – settore NORD | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 7A | Carta di Sintesi – settore SUD | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 7B | Carta di Sintesi – settore CENTRO | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 7C | Carta di Sintesi – settore NORD | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 8A | Carta della fattibilità geologica per le Azioni di Piano – settore SUD | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 8B | Carta della fattibilità geologica per le Azioni di Piano – settore CENTRO | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 8C | Carta della fattibilità geologica per le Azioni di Piano – settore NORD | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 9A | Carta della Pericolosità sismica Locale – settore SUD | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 9B | Carta della Pericolosità sismica Locale – settore CENTRO | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 9C | Carta della Pericolosità sismica Locale – settore NORD | 1:5000 | GEA – 2025 |
| 10 | Aggiornamento del Mosaico Regionale della Fattibilità Geologica | 1:10000 | GEA - 2025 |

Composizione del pacchetto della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio *in variante*

N.B.: sono altresì da tenere in considerazione tutti gli eventuali studi di approfondimento, di qualsiasi Professionista, eseguiti nel corso degli anni, e che hanno contribuito alla ridefinizione delle classi di rischio e/o degli ambiti di fattibilità per determinate aree del territorio comunale.



2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il territorio comunale di Serina, in Provincia di Bergamo, occupa una superficie di circa 27,54 Km², capoluogo dell'omonima Val Serina, valle laterale della Valle Brembana, facente parte della Comunità Montana della Valle Brembana.

Serina dista circa 31 chilometri dal capoluogo provinciale. L'altitudine del territorio comunale varia dai 586 m s.l.m. della Località di Rosolo, situata a sud del comune di Serina a confine con il Comune di Algha, ai 2300 m s.l.m. della cima Menna a nord del territorio comunale, ai confini con i Comuni di Roncobello e di Oltre il Colle.

Serina ha una popolazione residente di circa 2187 abitanti e una densità abitativa di 79.63 ab./km².

I limiti amministrativi si sviluppano per una lunghezza complessiva di circa 39,56 Km disegnando un confine comunale contorto a causa dell'andamento delle creste e delle valli che delimitano il territorio stesso.

I nuclei presenti sul territorio sono il capoluogo e le frazioni di Lepreno, Rosolo, Corone, Bagnella, Valpiana e la località Pian della Palla.

Nel comune di Serina risulta percettibile l'alta vocazione turistica.

Nonostante l'urbanizzazione, permangono ambiti molto estesi che ancora conservano connotazioni silvo-pastorali, che dai centri abitati si estendono perifericamente verso le parti più montuose del territorio, con ampi spazi naturali inalterati e di pregio ambientale.



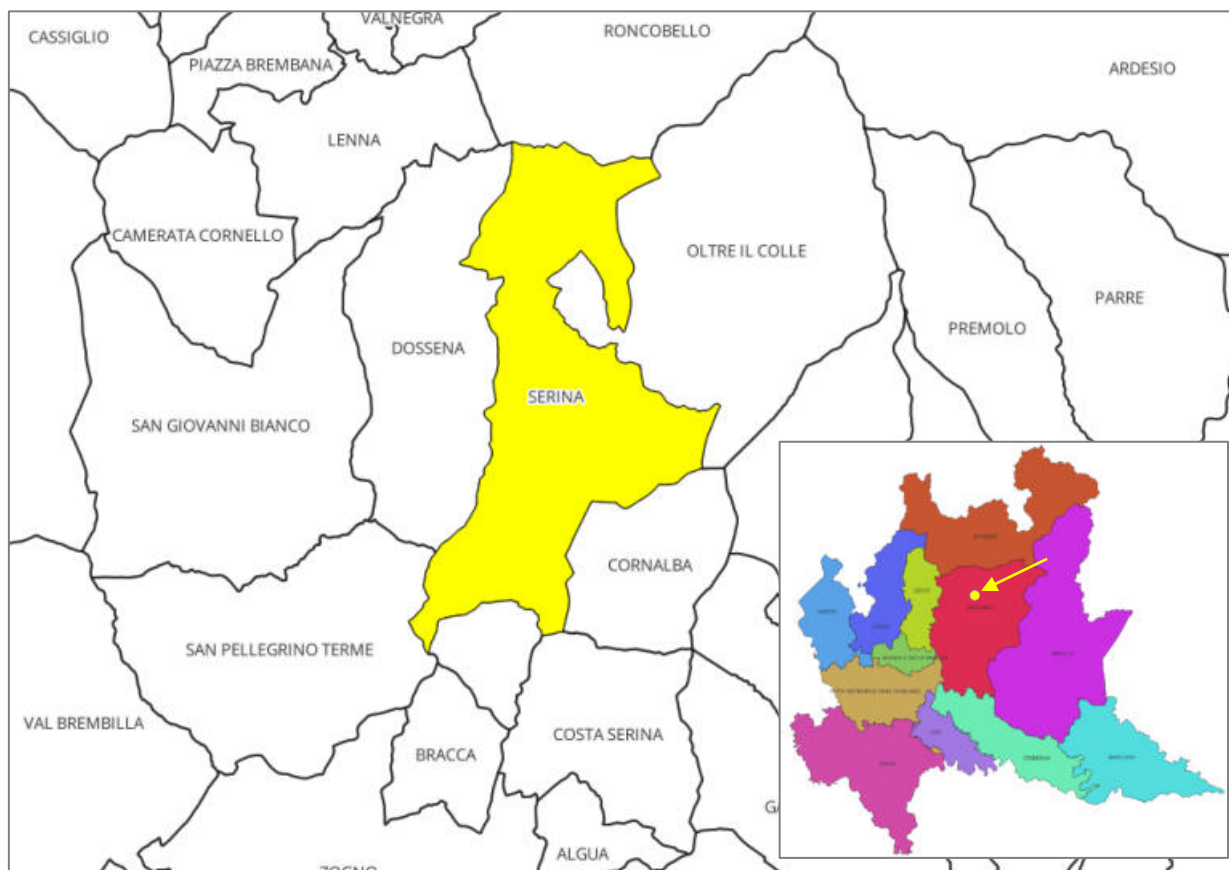


Figura 1 – Inquadramento territoriale di Serina nel contesto amministrativo Lombardo

Confini:

- A Nord con Roncobello;
- A Nord-Est con Oltre il Colle;
- A Est con Cornalba;
- A Sud-Est con Costa Serina;
- A Sud con Algua;
- A Sud-Ovest con San Pellegrino Terme;
- A Ovest con Dossena.

Il comune di Serina fa parte della Comunità Montana della Valle Brembana, ente territoriale istituito nel 1973 e comprende oggi 38 comuni. Il suo territorio si sviluppa nella valle formata dal Fiume Brembo e dai suoi affluenti.



Figura 2 – Ortofoto aerea (2018) del territorio di Serina

2.1. Origini

Serina risale probabilmente al quinto secolo, quando a seguito delle invasioni e delle persecuzioni in pianura, varie famiglie si rifugiarono in più sicura sede, tra i monti.

Le antiche storie parlano di miniere sfruttate dai Romani, specialmente verso Dossena: e del resto la Chiesa di questo paese era considerata la matrice anche dei villaggi della Val Serina. Inoltre, ricco di acque è il paese che diede il nome alla valle.

Un certo serinese dispose che fosse fatta una strada da Serina al ponte di Tiolo (presso Ambria) per la quale si potesse transitare coi cavalli. Ma le cose si trascinarono nel tempo.

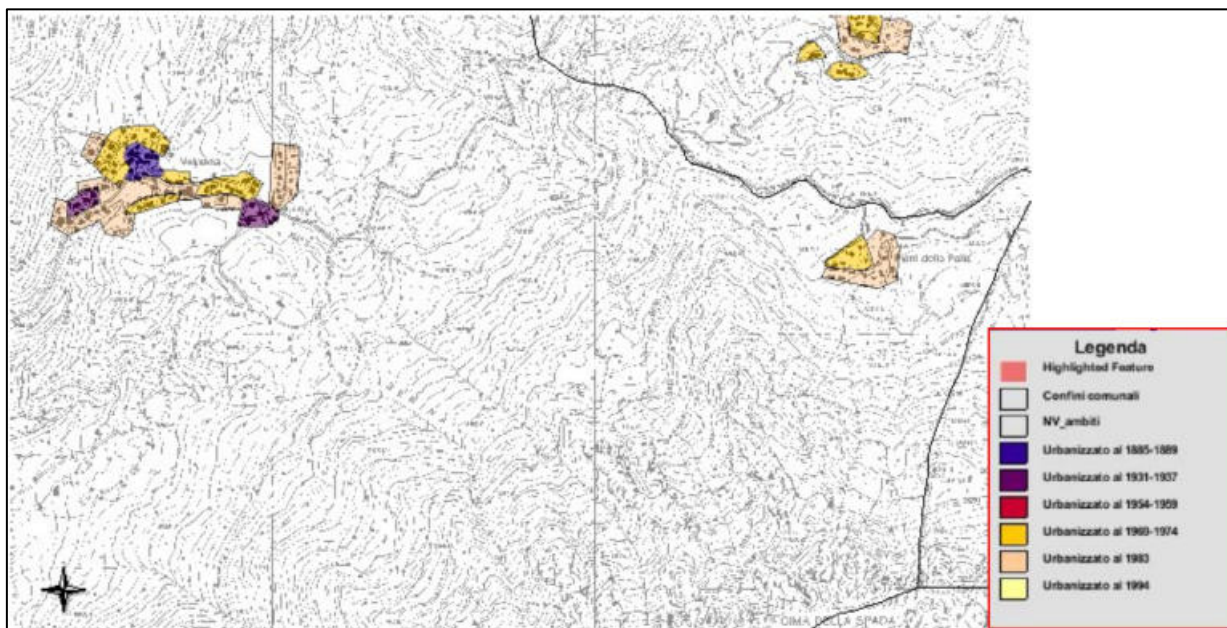
Precedentemente fu fatta un'altra strada sul lato destro del torrente. Più tardi poi venne costruita una strada carrozzabile sul fondo valle che è l'attuale.

Non bisogna dimenticare che a Serina nacque verso il 1480 Palma il Vecchio, che morì poi a Venezia nel 1528. Del dominio veneto rimane qualche ricordo: c'era una casa, in parte diroccata, dove la Serenissima aveva i suoi uffici e dove avveniva l'accettazione dei soldati. Vi si vedeva la caratteristica porta a tre battenti che dava passaggio ai pedoni ed alla mulattiera.

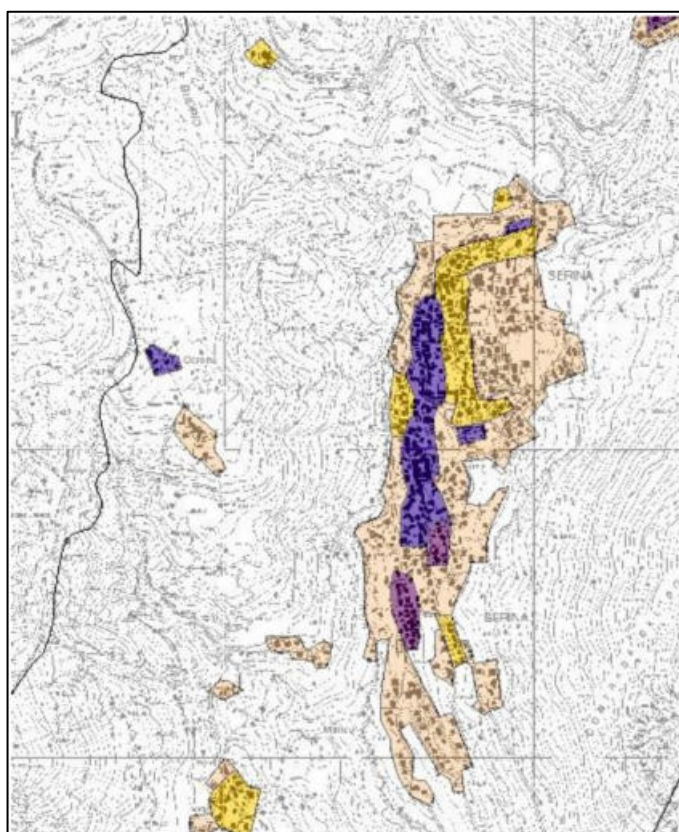
Il pacifico dominio veneto durò a Serina e nella sua valle sino al 1797, all'epoca della Rivoluzione francese: si susseguirono poi passaggi ed occupazioni di Tedeschi, di Russi, di Cosacchi che saccheggiarono il ridente territorio. Dopo la ventata napoleonica, l'Austria si insediò anche nella valle e vi rimase sino al 1859. Ma l'avvenire di questo gioiello tra i monti è e sempre più sarà nel turismo, per cui già possiede buone attrezzature.

Infine, si ricorda che, nella contrada detta del Bosco, ebbe origine la famiglia dei Tiraboschi, nota fra l'altro per la figura di Antonio Tiraboschi autore del "Saggio di un vocabolario bergamasco" (1859).

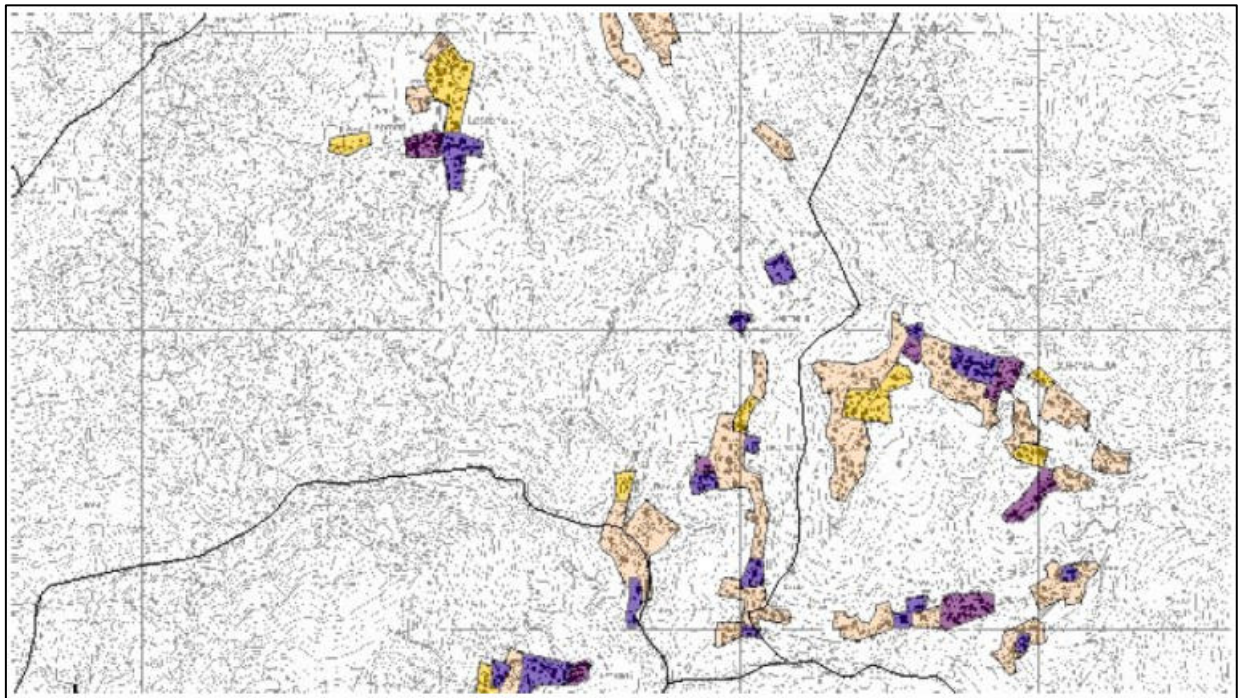




**Figura 3 – Carta delle soglie significative dell'evoluzione dell'urbanizzato;
Località Valpiana e Piani della Palla**



**Figura 4 - Carta delle soglie significative dell'evoluzione dell'urbanizzato;
Località Serina e Corone**



**Figura 5 - Carta delle soglie significative dell'evoluzione dell'urbanizzato;
Località Lepreno, Rosolo e Bagnella**

3. INQUADRAMENTO METEO-CLIMATICO

Una disamina climatica del territorio di Serina era già stata attuata all'interno del precedente documento di VAS riferito al vigente Piano.

Il clima di montagna, tipico delle zone montuose e degli altipiani, consente di avere estati miti e inverni freddi e secchi.

3.1. Precipitazioni

Il grafico mostra la mediana delle cumulate mensili registrate dalle stazioni automatiche della rete di monitoraggio di ARPA Lombardia nel 2020 (barre), confrontate con il 25°, 50°, 75° percentile delle precipitazioni totali mensili registrate dalle stesse stazioni tra il 2002 e il 2017 (linee).

Le precipitazioni totali annue sono in linea con la media del periodo di riferimento. Si notano mesi particolarmente asciutti come gennaio, febbraio e novembre. Mentre gennaio e febbraio sono mesi mediamente poco piovosi, l'anomalia di novembre è particolarmente significativa; a livello annuo è bilanciata dai mesi di ottobre e dicembre significativamente sopra la media.

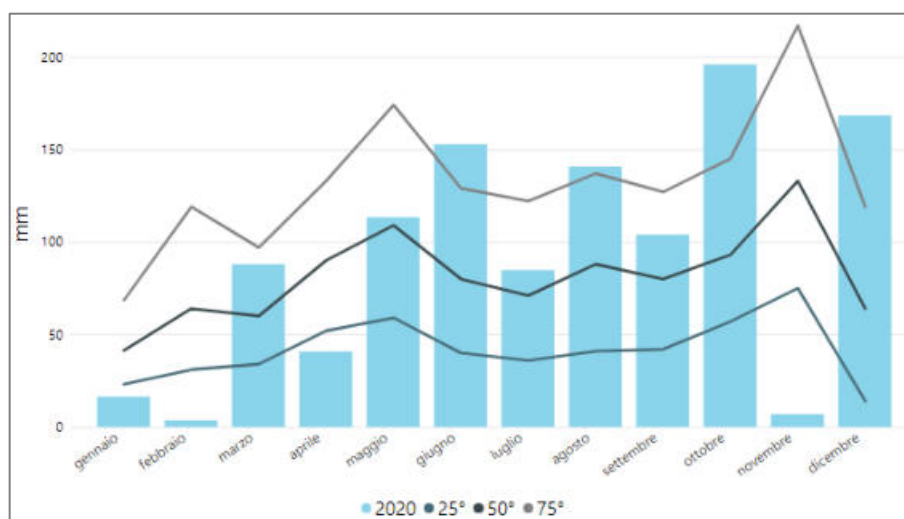


Figura 6 – Andamento della distribuzione delle precipitazioni totali mensili 2020
(Fonte: ARPA Lombardia)



3.2. Temperature

I grafici mostrano la temperatura minima, media e massima giornaliera per mese delle stazioni di pianura (quota < 250 m s.l.m.) misurata dalla rete di monitoraggio meteorologico di ARPA Lombardia. Le linee continue blu, verde e rossa rappresentano la mediana della distribuzione delle temperature minime, medie e massime giornaliere osservate in ciascun mese del 2020.

La linea nera continua rappresenta la mediana della distribuzione che si ottiene considerando il periodo dal 2002 al 2019.

La linea tratteggiata grigio scuro delimita l'area compresa fra il 25° e il 75° percentile della distribuzione, mentre la linea grigia più chiara delimita l'area compresa fra il 10° e il 90° percentile.

Le temperature del 2020 in Lombardia confermano il trend di aumento riscontrabile anche a livello nazionale e globale rispetto agli anni '90. Analizzando nel dettaglio i singoli mesi non emergono particolari anomalie nelle temperature dell'anno passato rispetto al periodo 2002-2019, tuttavia è possibile apprezzare una anomalia positiva nei primi mesi dell'anno, dovuta ai mesi di gennaio e febbraio prevalentemente stabili.

Più variabile il periodo da marzo a maggio, mentre il mese di giugno è stato in genere più fresco e perturbato, facendo registrare anche una anomalia positiva di precipitazione.

Agosto e settembre sono risultati lievemente più caldi della media recente, mentre ottobre e dicembre, mesi particolarmente piovosi, sono stati caratterizzati da temperature mediamente inferiori a quelle registrate negli anni precedenti.



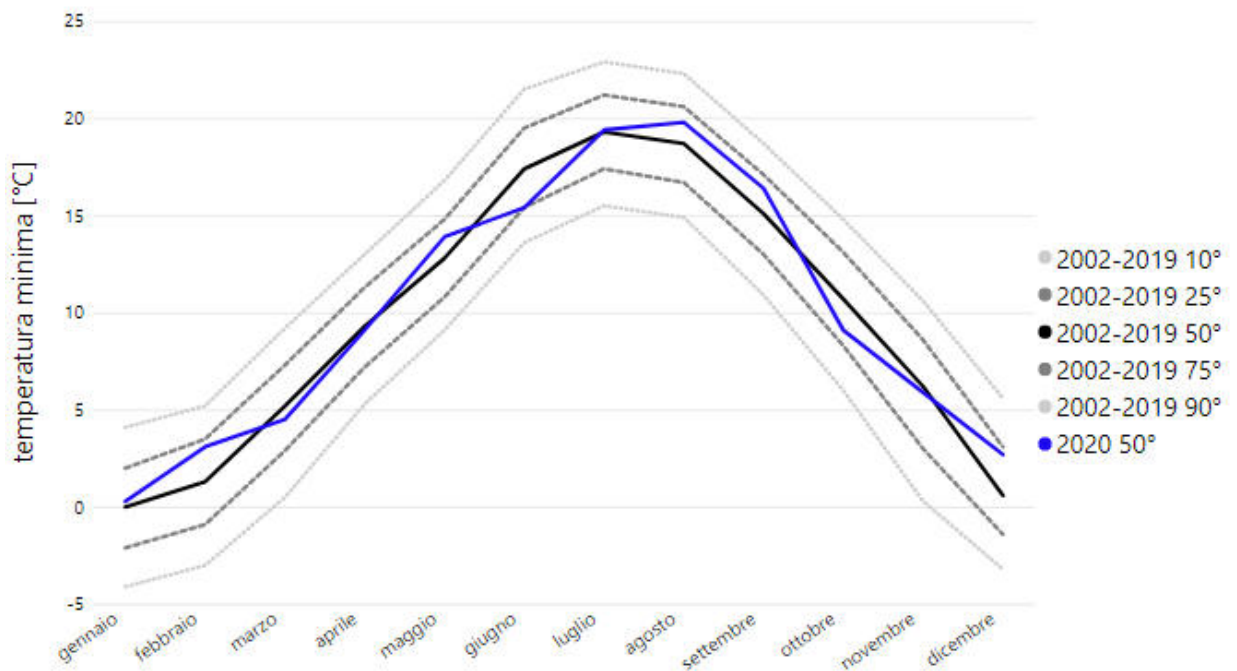


Figura 7 – Andamento della mediana della distribuzione delle temperature MINIME giornaliere 2020 (Fonte: ARPA Lombardia)

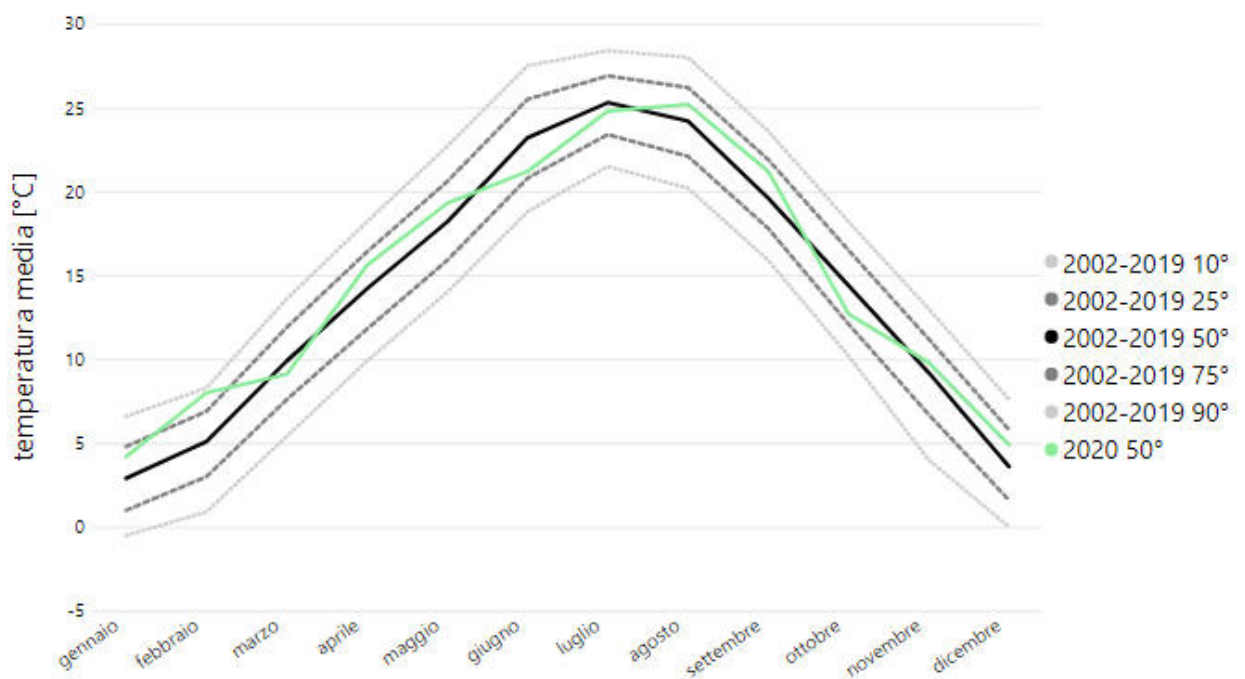


Figura 8 - Andamento della mediana della distribuzione delle temperature MEDIE giornaliere 2020 (Fonte: ARPA Lombardia)

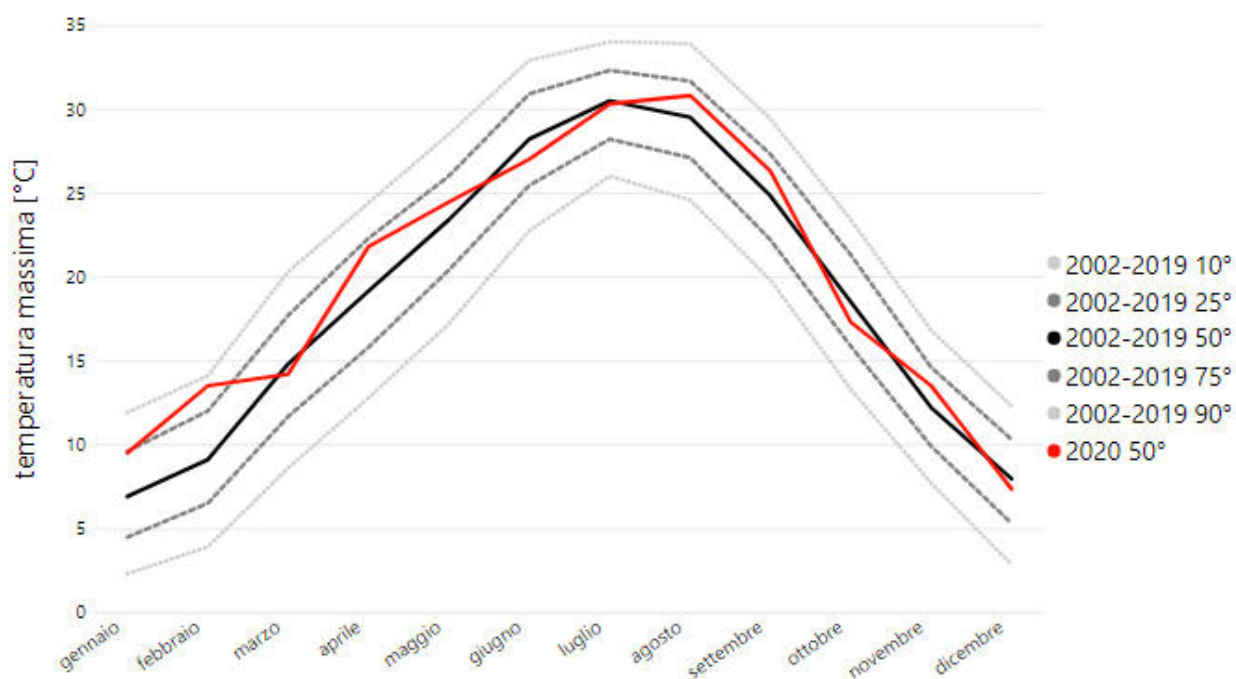
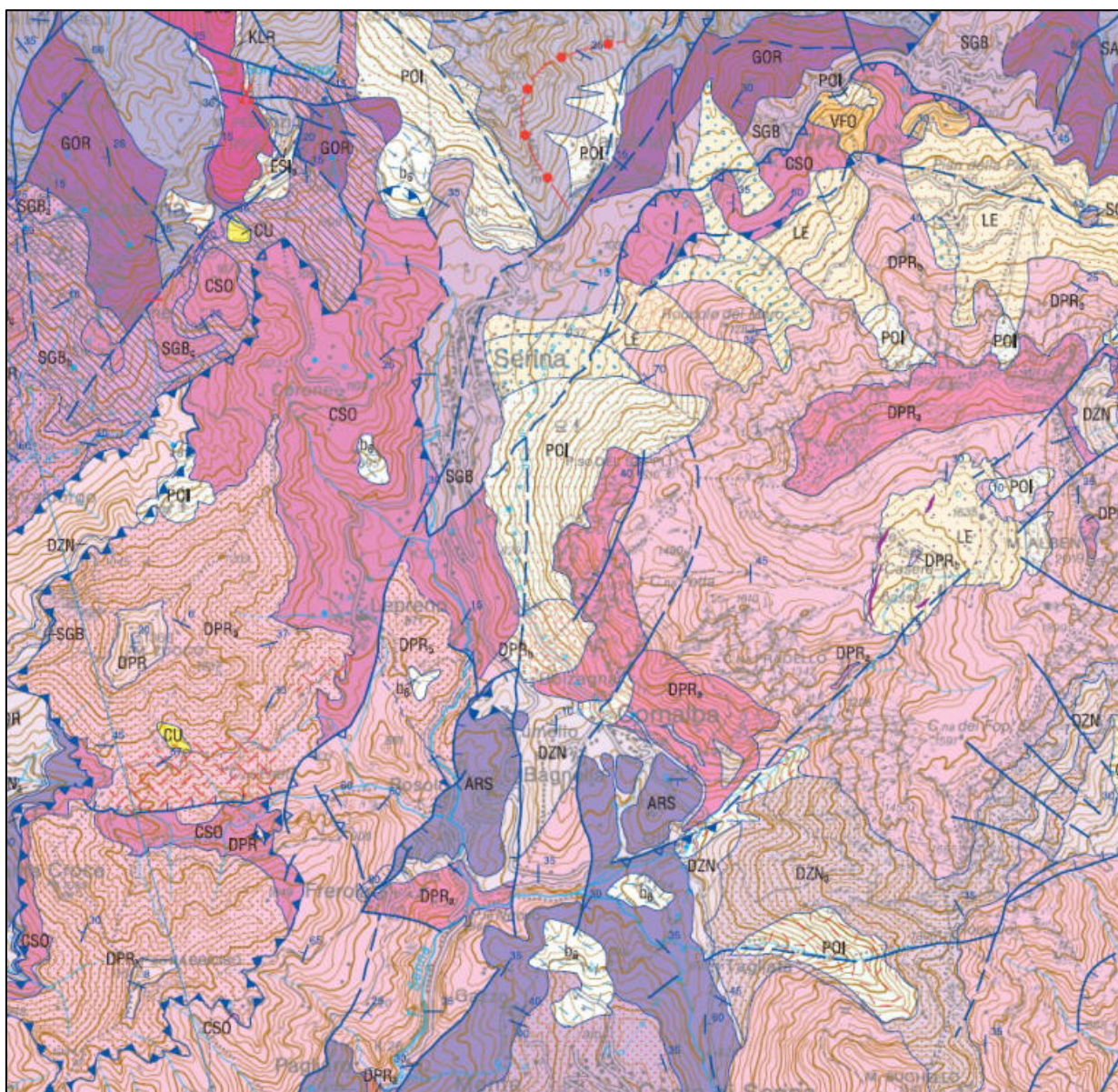


Figura 9 - Andamento della mediana della distribuzione delle temperature MASSIME giornaliere 2020 (Fonte: ARPA Lombardia)

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio di Serina fa parte della Val Brembana ed è stata esaminata nel Foglio “077 Clusone” della Carta Geologica d'Italia redatta nel progetto CARG (ISPRA). Rispetto alla cartografia, l'area si pone entro la Successione Sedimentaria Permo-Mesozoica delle Alpi Meridionali e entro la Successione Sedimentaria Neogenico-Quaternaria.



**Figura 10 – Stralcio del Foglio 077 “Clusone” della Carta Geologica d'Italia
(Progetto CARG, S.G.I.. ISPRA, 2012)**

Il territorio di Serina ricade nel *Settore centrale comprendente la successione triassica* dell'edificio strutturale della catena montuosa delle Alpi, costituito dalle rocce di età triassica (250-210 milioni di anni) e, secondo le più recenti interpretazioni (JADOUL et al., in prep.), è caratterizzato da tre distinte unità tettoniche accavallatesi tra loro lungo superfici di scorrimento prevalentemente inclinate verso sud:

- Unità Menna-Pegherolo-Timogno;
- Unità Monte Alben-Pizzo Formico-San Pellegrino;
- Unità Corna Lunga-Monte Zucco.

In generale, il settore centrale corrisponde in gran parte con la porzione di catena sudalpina nota come Prealpi Bergamasche. L'assetto strutturale di questa zona è particolarmente complesso nella fascia settentrionale dove, a ridosso delle anticlinali orobiche, si sviluppa un sistema di faglie WSW–ENE ed E–W, noto in letteratura come Linea Valtorta–Valcanale. A sud di tale sistema si sviluppa un edificio strutturale alloctono, formato dalla successione triassica, caratterizzato dalla duplice o triplice ripetizione delle unità strutturali (“Parautoctono ed unità alloctone” Auct.).

Di seguito, si riportano le descrizioni delle 3 unità tettoniche che coinvolgono il territorio comunale di Serina.

- 1) L'**Unità Menna-Pegherolo-Timogno** è costituita da rocce carbonatiche la cui età va dall'Anisico sino al Carnico superiore. Affiora nel settore settentrionale del territorio comunale, dove forma i rilievi che delimitano la Val Parina (dorsale Cima di Menna – Monte Valbona in destra idrografica e Monte Castello-Costa Medile in sinistra) e lungo il fondovalle del Torrente Serina fin poco a valle del centro abitato principale;
- 2) L'**Unità Monte Alben-Pizzo Formico-San Pellegrino** nel territorio in esame è costituita da rocce carbonatiche e carbonatico-terrigene di età compresa tra il Carnico superiore ed il Norico superiore. Affiora nel settore sudorientale del territorio comunale, dove forma i rilievi del massiccio dell'Alben e le porzioni inferiori del versante sinistro della Val Serina, tra Bolzagna, Bagnella e Rosolo. Essa è scollata dalla sottostante Unità Menna-Pegherolo-Timogno lungo una superficie sviluppatasi nei livelli incompetenti della parte sommitale



della Formazione di San Giovanni Bianco. Tale superficie di scollamento è conosciuta in letteratura come Faglia di Clusone.

- 3) L'**Unità Corna Lunga-Monte Zucco** nell'area d'interesse è costituita da rocce carbonatiche del Carnico superiore e del Norico. Affiora nel settore sudoccidentale del territorio comunale, dove forma gran parte del versante destro della Val Serina, dal fondovalle sino allo spartiacque con la Val Brembana, che culmina nel Monte Zucco. Essa è l'unità strutturalmente più elevata in quanto a nord è scollata dall'Unità Menna-Pegherolo-Timogno lungo la Faglia di Clusone, ma è sovrapposta anche all'Unità Monte Alben-Pizzo Formico-San Pellegrino. In Val Brembana tale sovrapposizione è osservabile in dettaglio, mentre in Val Serina l'assetto è complicato per la presenza di faglie più recenti che dislocano la superficie di accavallamento.

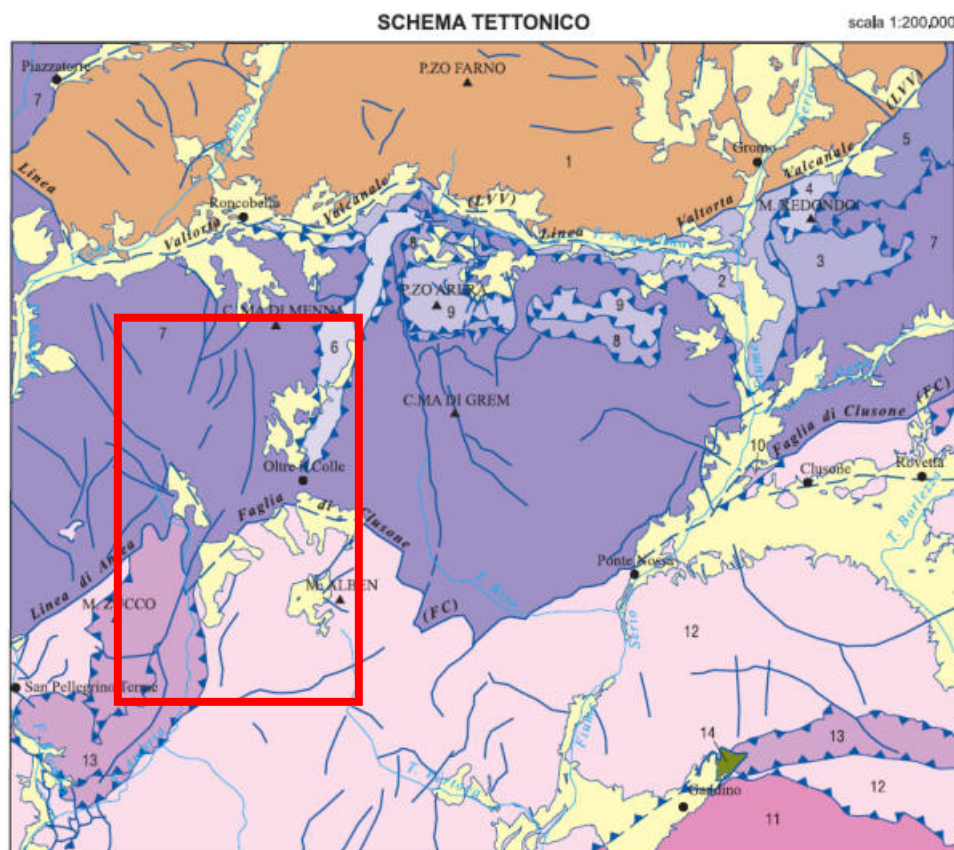
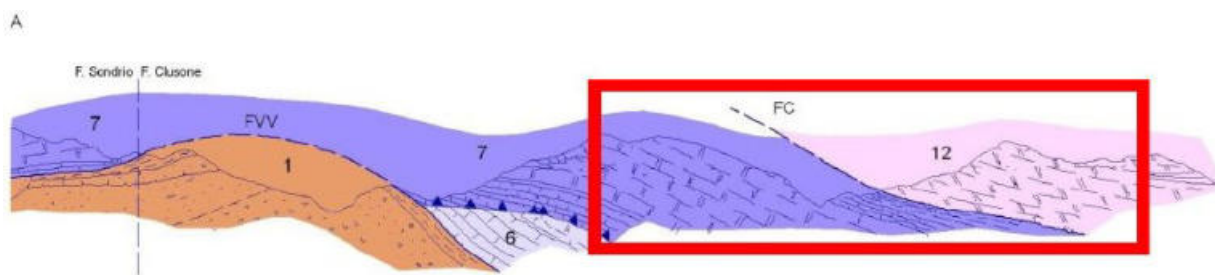


Figura 11 – Schema tettonico del Foglio 077 “Clusone” della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:200.000





**Figura 12 – Sezione geologica semplificata dello schema tettonico del Foglio 077 “Clusone”
(nel rettangolo rosso, l’area in cui ricade il comune di Serina)**

- **La tavola 1 definisce le principali unità geologiche locali affioranti, in accordo con la legenda geologica nazionale, definendo inoltre le coperture esistenti in termini generici e litologici.**

5. GEOMORFOLOGIA

L'aspetto morfologico del territorio comunale di Serina suggerisce, già alla prima lettura, un comparto morfogenetico articolato e plurifasico, che spicca anche rispetto all'assetto territoriale regionale delle valli alpine e prealpine bergamasche.

5.1. *Morfologia strutturale*

Base formante lo scheletro morfologico della val Serina, dalla val Parina fino al passo di Zambra è quello definito dai lineamenti e dalle strutture tettoniche locali.

Come osservato all'interno della disamina geologica al capitolo precedente, il territorio di Serina si pone a cavallo tra la faglia di Clusone, la linea di Antea ed il sovrascorrimento del massiccio dell'Alben sulla finestra tettonica del monte Zucco.

Le principali morfologie che costituiscono il territorio di conseguenza seguono tali allineamenti, per cui l'allineamento della faglia di Clusone e del sovrascorrimento tettonico sono evidenziati dal fondovalle della val Serina e dalla sua prosecuzione verso Oltre il Colle ed il passo di Zambra, mentre la linea di Antea definisce, nel settore settentrionale, la linea di demarcazione sulla quale si imposta il fondovalle della Val Parina.

I lineamenti secondari che si impostano definiscono le morfologie minori del settore territoriale, per cui i solchi vallivi secondari, così come gli sdoppiamenti in cresta, le contropendenze e i dossi isolati ne sono evidenze dirette. Uno degli elementi strutturali secondari più evidenti è l'allineamento tra la contropendenza di Lepreno, l'altopiano di Corone e la porzione di monte della Valle del Budrio, posta tra il monte Pedrozzo ed i rilievi del Monte Vaccareccio e del Monte Castello.

Sebbene le strutture sopra evidenziate risultino obliterate e mascherate dalle azioni morfogenetiche "esterne", ovvero veicolate dalla gravità o dagli agenti atmosferici, costituiscono la base morfologica sulla quale il modellamento del contesto territoriale



si è attivato nel tempo.

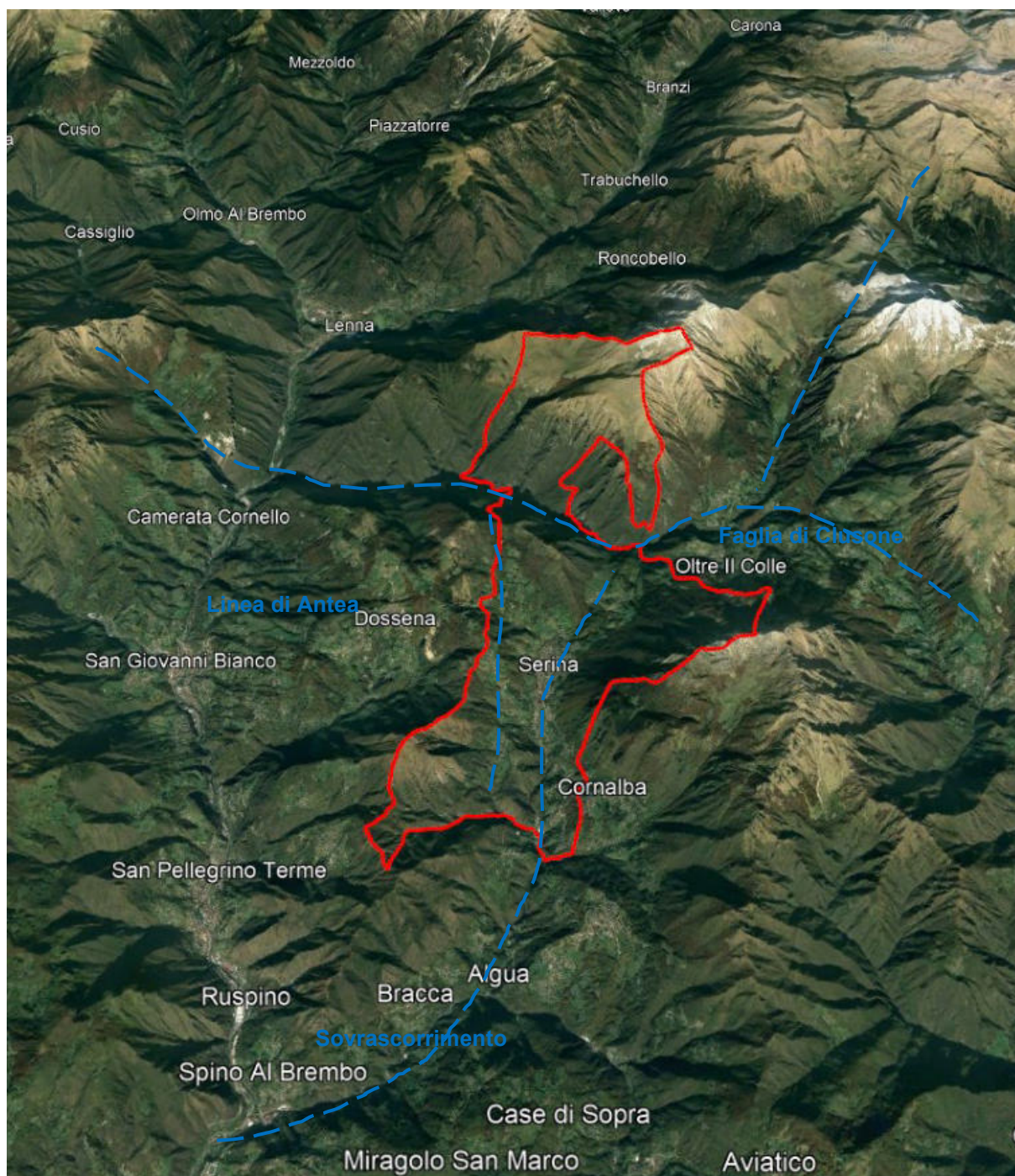


Figura 13 – Principali lineamenti strutturali morfologicamente identificabili nel territorio comunale di Serina

5.2. Morfologie gravitative



La gravità è uno degli agenti morfogenetici che più ha contribuito all'evoluzione morfologica del territorio in esame, come evidenziato dalla presenza di conoidi ed estese falde detritiche che ammantano i versanti. Alcune di queste, ormai ridotti a lembi, testimoniano fasi di degradazione molto antiche, precedenti le espansioni glaciali quaternarie.

Attualmente le falde detritiche attive hanno estensione limitata: le principali sono ubicate nei valloni del versante settentrionale di Cima della Spada (massiccio dell'Alben) ed alla testata del Canale di Foppei (Cima di Menna). Zone di degradazione gravitativa di minori dimensioni sono presenti lungo alcuni canali dei versanti della Val Parina, del Monte Zucco e della Valle Scura.

Altri fenomeni tipici legati alla gravità sono le frane, abbastanza diffuse sul territorio comunale anche se, per la maggior parte, si tratta di dissesti di piccole dimensioni.

Numerosi crolli hanno interessato in passato le pareti rocciose del massiccio dell'Alben, come evidenziato dalla frequenza di blocchi di grandi dimensioni presenti nelle falde detritiche sottostanti, sia nella zona boscata del versante che in quella sottostante.

Va notato che tali blocchi, quantomeno quelli presenti a quote analoghe a quelle della parte sud del centro abitato, non sono legati a fenomeni di crollo avvenuti in epoca storica, in quanto non risulta presente alcuna segnalazione specifica, né recente né eventualmente ricavabile dall'archivio storico comunale.

Si ritiene quindi che i blocchi presenti nella parte alta del settore sud del centro abitato derivino da fenomeni avvenuti al termine dell'epoca glaciale, mentre nella parte medio-superiore del versante boscato (poco sotto quota 1.100 m slm circa) sono presenti anche blocchi il cui distacco potrebbe risalire ad un'epoca più recente.

In ogni caso le pareti rocciose dell'Alben (sopra quota 1.100 m slm circa) presentano alcune situazioni di potenziale instabilità.

In questo settore sarebbe quindi opportuno prevedere una verifica di dettaglio di tutte le situazioni di potenziale dissesto lungo le pareti, tenendo comunque presente che le condizioni attuali del versante sottostante, fittamente boscato e con una morfologia molto più articolata di quella ricavabile dalle basi cartografiche disponibili, renderebbero complessa una verifica delle potenziali traiettorie di caduta e dei limiti delle aree di risentimento.



Ad un singolo evento è invece da riferire il grande accumulo di paleofrana riconoscibile sul versante nord-occidentale di tale massiccio montuoso, ormai completamente stabilizzato. Altre paleofrane di minori dimensioni, sviluppatesi sia nel substrato roccioso che nei depositi di copertura, sono abbastanza diffuse sul territorio, ma di tali dissesti è riconoscibile quasi esclusivamente la nicchia di distacco, in quanto gli accumuli sono stati per gran parte erosi o dilavati. Tra i dissesti recenti sono da segnalare quelli avvenuti durante l'evento alluvionale del 5 giugno 1974, quando, lungo il confine comunale con Oltre il Colle, tra il Pian della Palla e i Piani dell'Alben, si sono innescate frane nei depositi glaciali (Foto 1÷6, reperite nell'archivio del Comune di Oltre il Colle), evolute in colate detritiche che hanno raggiunto l'abitato di Oltre il Colle, causando notevoli danni.



Foto 1 e Foto 2 – Evento alluvionale 1974: nicchia di distacco alla testata della Valle Grassa.



Foto 3 e Foto 4 – Evento alluvionale 1974: nicchia di distacco alla testata della Valle Foppe.



Foto 5 e Foto 6 – Evento alluvionale 1974: nicchia di distacco alla testata della Valle Tezza.

Sempre per quanto riguarda le situazioni di dissesto gravitativo che, negli ultimi decenni, hanno dato luogo a colate detritiche, si segnalano quelle sviluppatesi nei valloni del massiccio dell'Alben (Foto 7 e Foto 8), in particolare nel settore sottostante Cima della Spada e, in minor misura, in quelli del Monte Zucco.



Foto 7 – Vista dal basso di un canalone del versante settentrionale di Cima della Spada, interessato da una colata detritica (debris-flow).

Foto 8 - Vista dall'alto dell'accumulo della colata detritica proveniente dal canale della Foto 7.

Per quanto riguarda i dissesti attivi, per gran parte si tratta di modesti fenomeni di scivolamento della coltre superficiale o di degradazione di facies del substrato molto fratturate o con caratteristiche geomeccaniche particolarmente scadenti. Tra essi due meritano una segnalazione.

Il primo interessa il coronamento di un paleodissesto del versante che da Corone scende verso il Torrente Serina, dove si verifica un progressivo arretramento a seguito di ripetuti crolli in roccia e materiale sciolto (Foto 9 - Foto 11).



Foto 9 – Panoramica sulla nicchia di paleofrana sottostante i ripiani di Corone, con evidenziata l'area in erosione accelerata in arretramento (linea rossa).



Foto 10 – Particolare del ciglio in arretramento della paleofrana sottostante i ripiani di Corone.



Foto 11 – Particolare del ciglio in arretramento della paleofrana sottostante i ripiani di Corone.

Il secondo interessa la testata di un impluvio tributario di sinistra della Valle del Budrio e coinvolge anche la soprastante strada che porta a Dossena. Tale dissesto si è verificato in occasione dell'evento alluvionale di fine novembre 2002 sul lato sinistro della testata, a circa 10 m di quota al di sotto della strada ed ha interessato 700-800 m³ di depositi detritico-colluviali (Foto 12, Foto 14). Il dissesto si è prodotto a seguito di abbondanti venute idriche in pressione dal sottosuolo, come testimoniato da un condotto ancora parzialmente visibile sulla nicchia di distacco.

Da considerazioni di carattere morfologico è probabile che l'intera testata corrisponda alla nicchia di una paleofrana che ha dato origine ad una o più colate di notevoli dimensioni, ben riconoscibili allo sbocco nella valletta nel corso d'acqua principale.

Il dissesto è stato riprofilato con riporti sostenuti da 3 ordini di gabbioni posti, per tutta

la sua larghezza (circa 36 m), appena a monte della strada. Anche immediatamente a valle di questo intervento la scarpata di monte della strada è sostenuta da gabbioni ma, in tale tratto, la loro funzione sembra unicamente quella di proteggere lo scasso artificiale impedendone l'erosione e quindi l'arretramento.

I gabbioni realizzati per sostenere la riprofilatura del pendio in frana in due punti distinti hanno subito un notevole infossamento, iniziato parecchio tempo fa ed attualmente valutabile dell'ordine di poco meno di un metro (Foto 13, Foto 15). In corrispondenza dell'infossamento dei gabbioni anche la sede stradale, sul lato interno, mostra vistosi cedimenti.

Vista l'eterogeneità e la scarsa qualità dei materiali costituenti il riporto sul quale si sviluppa la sede stradale (probabilmente si tratta di materiale proveniente da scavi con molto fine ma anche blocchi di discrete dimensioni), l'impressione che se ne ricava è quella di un progressivo dilavamento del fine ad opera dell'acqua.

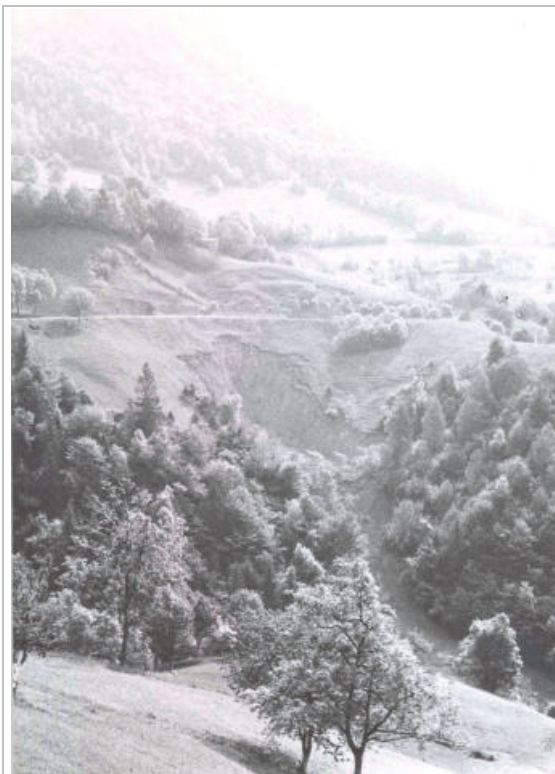


Foto 12 – Panoramica risalente agli anni '70 del secolo scorso dove è ben evidente il dissesto del versante sinistro della Valle del Budrio (foto Ing. A. Frassoni).



Foto 13 – Particolare risalente agli anni '70 del secolo scorso della strada per Dossena in corrispondenza del dissesto (foto Ing. A. Frassoni).



Foto 14 – Panoramica recente sul dissesto in sinistra idrografica della Valle del Budrio.



Foto 15 – Particolare dell'infossamento delle gabbionate lungo la strada per Dossena, nel tratto soprastante la testata dell'impluvio in dissesto.

In Allegato 1 sono riportate le schede frane compilate con tutti i dati disponibili relativamente ai due dissesti sopra descritti.

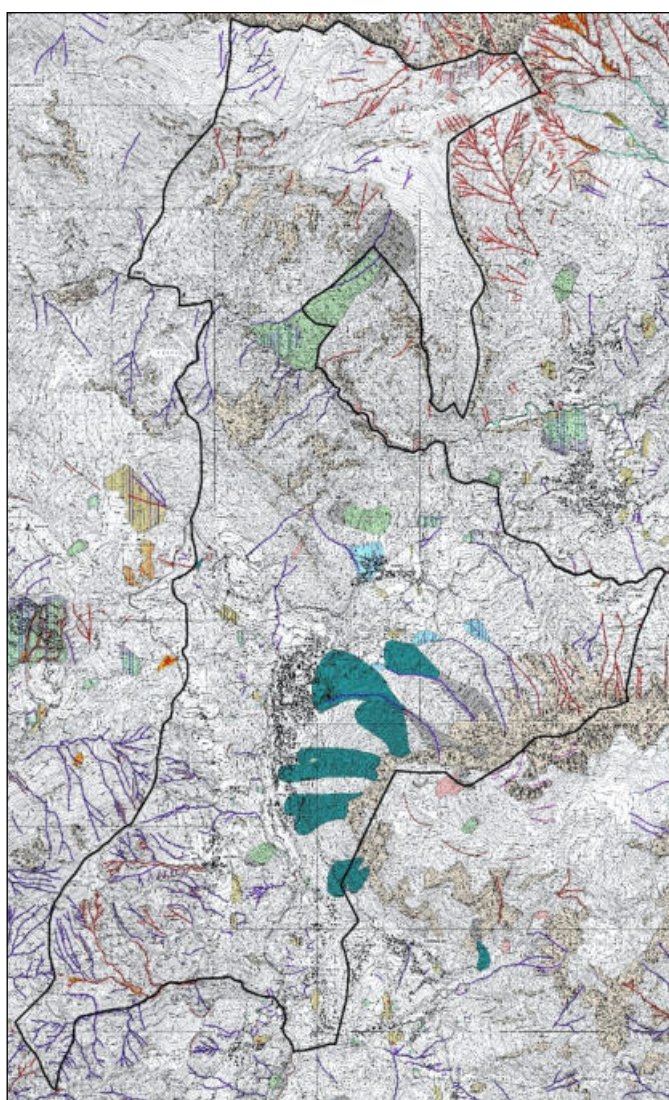


Figura 14 - Carta Inventario delle frane e dei dissesti (Progetto Nazionale IFFI).

La Figura 14 presenta il quadro dei fenomeni di dissesto relativo al territorio del comune di Serina, ricavabile dalla *Carta Inventario delle frane e dei dissesti* (Progetto Nazionale IFFI).



5.3. Morfologie idrodinamiche

Anche l'azione legata alla dinamica fluviale e torrentizia rappresenta un importante elemento dell'attuale configurazione morfologica del territorio. I principali corsi d'acqua scorrono in valli profondamente incise nel substrato roccioso, con andamento controllato totalmente o parzialmente dalle principali discontinuità (sia fratture che faglie), e profili trasversali di forma molto variabile (da larghi a molto stretti, da simmetrici ad asimmetrici) in funzione delle caratteristiche litologiche, geomeccaniche e strutturali dei litotipi presenti. Tra le forme più caratteristiche vi è la Val Parina che, nel tratto che interessa il territorio comunale, è costituita da un vero e proprio canyon a fondo molto stretto. Anche la Valle Scura è molto incassata e stretta, così come la Val Manzo, la Val del Budrio, quella che scende da Valpiana verso Serina, il tratto finale della Val d'Ola e la valle del Torrente Serina a sud del centro abitato principale. Le zone di fondovalle più ampie, invece, si riscontrano in corrispondenza del paese di Serina, dove è anche marcata l'asimmetria del profilo trasversale, molto più ripido in destra idrografica.

I corsi d'acqua presenti, anche quelli minori a carattere unicamente temporaneo o stagionale, risultano tendenzialmente in approfondimento. Oltre all'erosione di fondo, localmente si verificano fenomeni di erosione spondale, anche molto accentuata, come ad esempio lungo i due rami della Val Cava che dalla zona di Valpiana scendono verso Serina, i due canali che dal versante nord di Cima della Spada scendono al Pian della Palla e vari incisi che scendono dal Monte Zucco. Tali corsi d'acqua sono caratterizzati da un notevole trasporto solido che determina un sovralluvionamento degli alvei nei tratti meno acclivi. Il materiale accumulato in alveo viene inevitabilmente rimobilizzato a seguito di successivi eventi alluvionali e può dar luogo a fenomeni di *debris torrent*, la cui capacità erosiva porta ad un ulteriore degrado delle sponde. Inoltre, alcuni incisi costituiscono un percorso preferenziale per le colate detritiche (*debris flow*) che possono innescarsi laddove vi sono spesse coltri di depositi sciolti, come sul versante settentrionale di Cima della Spada, o dove vi sono dissesti diffusi per l'elevata fratturazione del substrato roccioso, come lungo le pendici del Monte Zucco. L'elevato trasporto solido dei corsi d'acqua può creare problemi laddove vi sono di opere di tombatura e/o attraversamenti stradali, come ad



esempio a Lepreno, dove varie volte si è verificata l'occlusione del tratto tombato del torrente Cherio.

Una particolarità del reticolo idrografico dei versanti settentrionale ed orientale del Massiccio dell'Alben è data dal fatto che, tranne alcune eccezioni, si interrompe in corrispondenza della fascia di depositi glaciali e detritici che ne borda le pendici. In tali materiali, infatti, si ha la completa infiltrazione delle acque superficiali, anche in occasione di eventi meteorici molto intensi.

Tra le forme di deposito si osservano i terrazzi alluvionali, generalmente di dimensioni molto limitate, tranne alcuni presenti lungo il corso del Torrente Serina e le conoidi. Queste ultime, tuttavia, per le caratteristiche dei materiali che le costituiscono, mostrano una genesi mista, prevalentemente per trasporto in massa e, in minor misura, gravitativa, alluvionale e per dilavamento. Attualmente vi sono alcune conoidi al piede del massiccio dell'Alben e lungo la Valle del Ronco che potrebbero essere ancora interessate da esondazioni o espansioni di colate detritiche.



5.4. Morfologie glaciali e nivali

Nel territorio comunale le forme di erosione glaciale sono ancora riconoscibili sul versante meridionale di Cima di Menna, dove la testata del Canale di Foppei è costituita da un piccolo circo molto antico, e sul versante settentrionale di Cima della Spada, dove durante l'ultima fase di massima espansione glaciale quaternaria, i valloni erano occupati da piccoli apparati.

I depositi glaciali sono stati per gran parte rimaneggiati dalla gravità e dall'azione delle acque superficiali, ma ampie e spesse plaghe sono ancora presenti sul versante nord di Cima della Spada, in particolare nella zona di Pian della Palla. In tale zona, lungo il vallone al confine con il comune di Oltre il Colle, si sono conservati anche due cordoni morenici.

L'azione nivale, che si traduce nella pericolosità valanghiva di sito, entra fortemente nei canoni della pianificazione comunale.

La perimetrazione degli ambiti valanghivi, evidenziata sia all'interno della carta geomorfologica che all'interno delle cartografie di pianificazione geologica, interessano attivamente il territorio comunale e sono derivate dai rilievi del SIRVAL, pubblicate su portale regionale.



5.5. Carsismo

Il carsismo interessa tutti i litotipi carbonatici affioranti nel territorio in esame, tuttavia le sue evidenze morfologiche superficiali, rappresentate da doline, depressioni e inghiottitoi sono maggiormente concentrate dove il substrato è costituito dalle litofacies brecciate della Formazione di Castro Sebino (Foto 16) e dalla porzione carbonatico-evaporitica della Formazione di San Giovanni Bianco.



Foto 16 – Dolina nella Formazione di Castro Sebino in località Corone.

In particolare le doline sono diffuse a Corone, Manzo e sul versante soprastante il campo sportivo di Serina, dove è presente anche una grotta/inghiottitoio (Foto 17 e Foto 18).



Foto 17 – Particolari dell'inghiottitoio nelle facies evaporitiche della F. di San Giovanni Bianco (versante a NE del campo sportivo).



Foto 18 – Particolari dell'inghiottitoio nelle facies evaporitiche della F. di San Giovanni Bianco (versante a NE del campo sportivo).

I fenomeni carsici interessano localmente anche i depositi di conoide cementati, dove

tuttavia danno luogo a cavità di ridotte dimensioni. Pseudo-doline caratterizzano anche la morfologia dei depositi glaciali, in particolare nella zona del Pian della Palla, ma non vi sono elementi sufficienti per correlare queste forme ad eventuali sistemi carsici del substrato sottostante. Una simile morfologia potrebbe essere stata originata dallo scioglimento di ghiaccio “morto” che gli stessi depositi glaciali ricoprivano.

Gli effetti del carsismo applicati alla pianificazione comunale sono predominanti nel comparto dell'area sportiva in contrada Valle: le evidenze morfologiche mostrano un campo di doline e suggeriscono un'importante strutturazione carsica entro il substrato roccioso, con potenzialità, già verificatasi, di fenomeni di cavitazione e sink-hole che possono interessare anche l'urbanizzato.

- ***La tavola 2 definisce le principali morfologie ed i processi attivi e/o quiescenti presenti sul territorio di Serina, integrando anche le indicazioni derivanti dagli organi sovraordinati che confluiscono nella definizione dei vincoli di natura geologica.***



6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO ED IDROGRAFICO

6.1. Idrografia superficiale

I corsi d'acqua del territorio comunale appartengono a due diversi bacini imbriferi, entrambi afferenti a quello del Fiume Brembo. A nord vi è il bacino del Torrente Parina, mentre a sud vi è quello del Torrente Serina: il loro spartiacque si sviluppa lungo il crinale che da Monte Castello – Costa Medile scende alla sella di Valpiana e poi risale fino alla cima di quota 1912 m s.l.m., posta ad est di Cima della Spada.

Il Torrente Parina nasce esternamente al territorio comunale e scorre interamente entro una profonda forra con molti tributari, sebbene per la maggior parte a carattere più temporaneo che stagionale. In sinistra idrografica a carattere permanente è presente la Valle delle Fontane, nella quale confluisce anche una valle che si origina dal versante nord di Cima della Spada, ma che per gran parte del suo corso è a carattere temporaneo. In destra idrografica è da citare la Val di Campo - Canale di Foppei per il suo ampio bacino, ma che presenta generalmente una limitata circolazione in subalveo.

Il Torrente Serina, invece, ha molti più tributari a carattere permanente. Esso è caratterizzato da due rami principali di testata che si uniscono all'estremità settentrionale del centro abitato principale.

Il primo è interamente compreso nel territorio comunale e raccoglie le acque dei due rami della Val Cava che si originano dalla zona di Valpiana.

Il secondo è costituito dalla Valle del Budrio (o Valle del Borgo), che per una piccola parte ricade nel comune di Dossena e che nasce tra il Monte Vaccaregio ed il Monte Castello. In destra idrografica i suoi tributari principali sono la Val Manzo e la molto più ampia e ramificata Valle Scura (o Valle Oscura), che funge anche da confine comunale. In sinistra invece la principale è la Val d'Ola, che segna anche il limite meridionale del territorio comunale, mentre di scarsa importanza sono i corsi d'acqua che scendono dalle zone di Grumello e Bagnella.

Tutti i corsi d'acqua, anche quelli asciutti per buona parte dell'anno, hanno una risposta pressoché immediata alle precipitazioni piovose intense.



Problematiche di carattere idraulico si riscontrano su alcuni corsi d'acqua caratterizzati da elevato trasporto solido, e sono connesse ai restringimenti degli alvei in corrispondenza di opere di tombatura e/o di attraversamenti stradali. La situazione più critica riguarda il torrente Cherio a Lepreno, dove più volte si sono avuti problemi di occlusione del tratto tombato a seguito di fenomeni di *debris torrent* alimentati da colate detritiche nella zona di testata.

Per tale situazione lo STER ha già finanziato alcuni interventi nel settore immediatamente a monte del tratto tombato.



6.2. Quadro idrogeologico locale

Nel Giugno 2002 è stata redatta dal dott. Geol. Marco Maggi, precedente autore della componente geologica del PGT di Serina, una relazione a supporto della domanda di concessione preferenziale di derivazione di acqua ad uso potabile per le sorgenti dell'acquedotto del comune di Serina.

Sulla base di tale relazione, che comprende descrizioni di dettaglio di ogni captazione, si ricava che all'acquedotto sono collegate un totale di 22 sorgenti, delle quali 21 situate nell'ambito del territorio comunale ed una (Sorgente Ola) ubicata nel territorio del comune di Cornalba. Sono inoltre presenti una serie di serbatoi di accumulo; sorgenti e serbatoi sono ubicati cartograficamente nella Tavola 3 - *Carta di inquadramento idrologico ed idrogeologico*. I principali dati di ogni sorgente sono sintetizzati in Tabella 1 e riportati nella loro completezza nell'Allegato 2.

| Nome sorgente | Latitudine | Longitudine | Quota (m slm) | Portata (l/s) |
|-----------------------------|------------|-------------|---------------|---------------|
| Acqua Sparsa | 5079952 | 1556920 | 839 | 5.0 |
| Boccabò | 5080674 | 1557468 | 950 | 3.2 |
| Colle del Lino inferiore | 5081465 | 1558908 | 1115 | 2.0 |
| Colle del Lino superiore | 5081442 | 1558952 | 1130 | 1.2 |
| Colombera | 5079772 | 1557081 | 932 | ? |
| Fornaci inferiore | 5080580 | 1557611 | 979 | 1.0 |
| Fornaci intermedia | 5080588 | 1557626 | 982 | 0.3 |
| Fornaci superiore | 5080578 | 1557689 | 994 | 2.0 |
| Madonnina inferiore | 5080799 | 1557762 | 996 | 1.8 |
| Madonnina intermedia | 5080795 | 1557770 | 998 | 3.0 |
| Madonnina superiore | 5080792 | 1557783 | 1000 | 2.5 |
| Marsuna | 5081632 | 1556109 | 1018 | 1.5 |
| Moia bassa | 5081712 | 1558205 | 945 | 8.0 |
| Moia nel bosco 1 | 5081648 | 1558364 | 983 | 2.0 |
| Moia nel bosco 2 | 5081611 | 1558324 | 978 | 0.3 |
| Moia nel bosco 3 | 5081612 | 1558385 | 990 | 0.8 |
| Ola (in comune di Cornalba) | 5077202 | 1558220 | 766 | 2.5 |
| Peghera-Serada inferiore | 5080519 | 1557539 | 974 | 2.5 |
| Peghera-Serada superiore | 5080515 | 1557550 | 975 | 3.0 |
| Ronchetto inferiore | 5080724 | 1557564 | 968 | 0.2 |
| Ronchetto superiore | 5080739 | 1557582 | 973 | 2.7 |
| Valle del Manzo | 5079331 | 1555974 | 800 | 4.0 |

Tabella 1: Denominazione e portata di concessione delle sorgenti idropotabili comunali.



In territorio comunale sono inoltre presenti altre sorgenti il cui concessionario risulta essere BAS Servizi Idrici Integrati SpA (Tabella 2).

| Nome sorgente | Latitudine | Longitudine | Quota (m slm) | Portata (l/s) |
|----------------------------------|------------|-------------|---------------|---------------|
| Pizzarella | 5078036 | 1555798 | 780 | 4,0 |
| Valle Scura | 5077648 | 1555618 | 800 | 8,0 |
| Valle Scura Alta | 5077595 | 1554713 | 897 | 2,0 |
| Salice | 5077059 | 1554555 | 875 | ? |
| Valle Scura (in comune di Algua) | 5077146 | 1554880 | 813 | 1,5 |

Tabella 2: Denominazione e portata di concessione delle sorgenti idropotabili BAS.

L'ubicazione e la portata di queste captazioni, anch'esse riportate sulla Tavola 3 - *Carta di inquadramento idrologico ed idrogeologico*, è stata ricavata dal portale della Provincia di Bergamo e controllata direttamente presso la sede BAS di Via Suardi a Bergamo.

Sulla base delle informazioni contenute nel portale della Provincia di Bergamo, vi sarebbe inoltre un'ulteriore concessione attiva a carico di BAS, relativa alla sorgente denominata Acqua Sparsa 2. Non esiste presso BAS documentazione relativa a tale sorgente, della quale è stata comunque compilata la scheda in Allegato 2, sulla base dei soli dati ricavati dal portale della Provincia di Bergamo.

| Nome sorgente | Latitudine | Longitudine | Quota (m slm) | Portata (l/s) |
|----------------|------------|-------------|---------------|---------------|
| Acqua Sparsa 2 | 5078883 | 1557049 | 850 | 3,0 |

Tabella 3: Denominazione e portata di concessione della sorgente Acqua Sparsa 2.

In linea generale la totalità delle sorgenti captate dall'acquedotto comunale è connessa ad emergenze legate al contatto tra i litotipi a bassa permeabilità (siltiti, argilliti e marne) appartenenti alla Formazione di San Giovanni Bianco ed i soprastanti litotipi carbonatici e dolomitici ad elevata permeabilità (Formazione di Castro e Dolomia Principale), che rappresentano le rocce serbatoio per l'accumulo della risorsa idrica.

Eccezioni a questa situazione generale sono rappresentate dalle seguenti sorgenti:

- sorgente Marsuna, il cui serbatoio di accumulo è probabilmente legato alla presenza di una spessa coltre di depositi conglomeratici cementati direttamente a contatto con la sottostante Formazione di San Giovanni Bianco;



- sorgenti Colle del Lino Inferiore e Colle del Lino Superiore, ubicate a quote superiori rispetto al contatto tra la Formazione di San Giovanni Bianco e la soprastante Dolomia Principale, in una zona interessata da disturbi tettonici;
- sorgente Valle del Manzo, nella cui zona di ubicazione, oltre ai rapporti di permeabilità tra le diverse formazioni sopra descritti, si ha in concomitanza la presenza di un importante lineamento di origine tettonica.

Relativamente alla qualità delle acque, la relazione del 2002 riporta una analisi effettuata su dati storici, sulla base dei quali sono state formulate le seguenti considerazioni:

- relativamente ai parametri di tipo chimico, le acque di tutte le sorgenti captate presentano ed hanno presentato valori costantemente rientranti nei limiti previsti dalla normativa;
- in alcuni casi le determinazioni analitiche hanno evidenziato elevate concentrazioni di solfati (inferiori alle concentrazioni massime ammissibili, ma anche molto più elevati dei valori guida), da mettere però molto probabilmente in relazione alle caratteristiche litologiche del substrato nel quale circolano la gran parte delle acque che alimentano le diverse sorgenti;
- relativamente ai parametri di tipo microbiologico, una elevata percentuale delle acque captate presenta o ha presentato in passato problemi di contaminazione di tipo batterico, con superamento dei limiti previsti dal DPR 24 maggio 1988, n.236;
- tali problemi sono chiaramente connessi alla presenza nei pressi delle sorgenti di numerosi centri di pericolo (tra i quali attività di tipo agricolo, allevamenti di bestiame, accumulo e spargimento di concimi e, in misura minore, edifici ad uso civile abitazione con scarichi sul suolo);
- in qualche caso la contaminazione può essere legata allo stato delle opere di captazione e/o dell'area immediatamente circostante la sorgente (tutela assoluta);
- i problemi di contaminazione vengono tenuti sotto controllo dall'ente gestore dell'acquedotto comunale impiegando sistemi di clorazione (trattamenti



disinfettanti ad ipoclorito di sodio) effettuati presso alcuni serbatoi primari a cui convergono tutte le acque captate dalle sorgenti.

Il superamento dei valori limite previsti dalla normativa per i parametri di tipo microbiologico rappresenta senza dubbio il problema più rilevante connesso ad alcune delle captazioni presenti sul territorio comunale.

Tale problema può essere affrontato e risolto intervenendo in primo luogo attraverso specifiche verifiche e prescrizioni relativamente alle attività svolte nelle aree di rispetto delle sorgenti e, quando necessari, con interventi strutturali sulle opere di captazione.



6.3. Classi di permeabilità geologica

I depositi superficiali e le formazioni rocciose costituenti il substrato dell'area studiata sono stati suddivisi in classi di permeabilità, sulla base della seguente suddivisione (le sigle in maiuscolo sono riferite alle rocce, e quelle in minuscolo ai terreni) come evidenziato nella Tabella 4:

| Classi | Sigla | Valori di permeabilità ($k=m/s$) |
|---------------|-------|------------------------------------|
| Molto bassa | MB/b | $k < 10^{-8}$ |
| Bassa | B/b | $10^{-8} < k < 10^{-6}$ |
| Discreta | D/d | $10^{-6} < k < 10^{-4}$ |
| Elevata | e | $10^{-4} < k < 10^{-2}$ |
| Molto elevata | me | $k > 10^{-2}$ |

Tabella 4: Valori di permeabilità utilizzati per coperture/substrato roccioso.

Per quanto riguarda gli ammassi rocciosi la classe a permeabilità maggiore utilizzata è quella "Discreta", anche se riguarda litofacies che possono essere interessate da reticoli carsici entro i quali il tempo di percorrenza delle acque sotterranee può essere molto più rapido. Ciò poiché si è voluto considerare essenzialmente la permeabilità per fratturazione a grande scala degli ammassi rocciosi. La suddivisione adottata per le formazioni rocciose che costituiscono il substrato è riportata in Tabella 5:

| Classi | Valori k (m/s) | Formazioni |
|------------------|-------------------------|---|
| Molto bassa (MB) | $k < 10^{-8}$ | Argillite di Riva di Solto Calcere di Prezzo Arenarie di Val Sabbia Formazione di San Giovanni Bianco (parte) Formazione di Buchenstein |
| Bassa (B) | $10^{-8} < k < 10^{-6}$ | Dolomie Zonate Calcere Metallifero Bergamasco Formazione di Gorno Calcere di Perledo-Varenna |
| Discreta (D) | $10^{-6} < k < 10^{-4}$ | Formazione di Esino Calcere Rosso Formazione di Breno Formazione di Castro Dolomia Principale Formazione di San Giovanni Bianco (parte) Membro inferiore della Dolomia Principale |

Tabella 5: Permeabilità utilizzata per le formazioni del substrato roccioso.



Relativamente ai depositi superficiali, la suddivisione adottata è più articolata rispetto a quella relativa alle rocce, in quanto per alcune tipologie di depositi cartografati con lo stesso significato sulla carta di inquadramento geologico-strutturale in scala 1:10.000, è stato necessario effettuare delle distinzioni in classi di permeabilità diverse, in funzione delle caratteristiche granulometriche effettivamente riscontrate durante il rilievo in sito, e connesse anche con l'età dei depositi stessi.

La suddivisione adottata per i depositi superficiali che costituiscono le coperture è riportata nella Tabella 6:

| Classi | Valori k (m/s) | Tipologia dei depositi superficiali |
|--------------------|-------------------------|---|
| Bassa (b) | $k < 10^{-6}$ | Alteriti |
| Discreta (d) | $10^{-6} < k < 10^{-4}$ | - |
| Elevata (e) | $10^{-4} < k < 10^{-2}$ | Depositi detritici di versante non cementati (parte) Depositi di genesi mista Depositi glaciali |
| Molto elevata (me) | $k > 10^{-2}$ | Conglomerati cementati (Gruppo del Culmine, Valle dei tetti, Valle delle Fontane) Depositi detritici di versante non cementati (parte) Accumuli di frana Depositi da trasporto in massa Depositi alluvionali recenti ed attuali |

Tabella 6: Permeabilità utilizzata per i depositi superficiali.



7. DISSESTI DEL P.A.I. E P.G.R.A.

7.1. Criteri di realizzazione della cartografia

7.1.1. Dissesti secondo l'Elaborato 2 del P.A.I.

La cartografia dei dissesti con legenda uniformata P.A.I. e P.G.R.A. recepisce, per quanto riguarda il quadro dissesti, quanto presente nello Studio Geologico vigente (dott. Geol. Maggi, 2012) con minime modifiche alle perimetrazioni volte alla semplificazione degli elementi al fine di evitare inutili sovrapposizioni tra ambiti di eguale valenza o ambiti di differente valenza ma con riscontro normativo simile. Non sono state comunque eseguite modifiche sostanziali alle perimetrazioni PAI, per cui gli ambiti vincolati rimangono invariati.

Nel territorio comunale di Serina sono presenti i seguenti dissesti (Elaborato 2 del P.A.I.) riportati nella cartografia dedicata:

- Frane: aree di frana attiva (Fa), frana quiescente (Fq) e frana stabilizzata (Fs);
- Esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo i corsi d'acqua: Ambiti a pericolosità molto elevata (Ee);
- Trasporto in massa su conoidi: area di conoide attivo non protetta (Ca) ed aree di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cn);
- Valanghe: aree a pericolosità molto elevata o elevata (Ve).

7.1.2. Adeguamento P.G.R.A.

In adeguamento alla d.g.r. X/6738 del 2017, inoltre, sono state introdotte le perimetrazioni della pericolosità del Reticolo Secondario Collinare e Montano (RSCM) coerentemente agli ambiti Ee, Ca e Cn individuati dal P.A.I., come segue:

- Ambiti Ee → Scenario molto frequente, pericolosità P3/H
- Ambiti Ca → Scenario molto frequente, pericolosità P3/H
- Ambiti Cn → Scenario raro, pericolosità P1/L



7.1.3. Valutazione aree R4

Per il comune di Serina, le aree caratterizzate da pericolosità idraulica P2 o P3 del PGRA non ricadono in sovrapposizione ad ambiti urbanizzati, pertanto, non sono individuate aree ricadenti in classe di rischio R4.

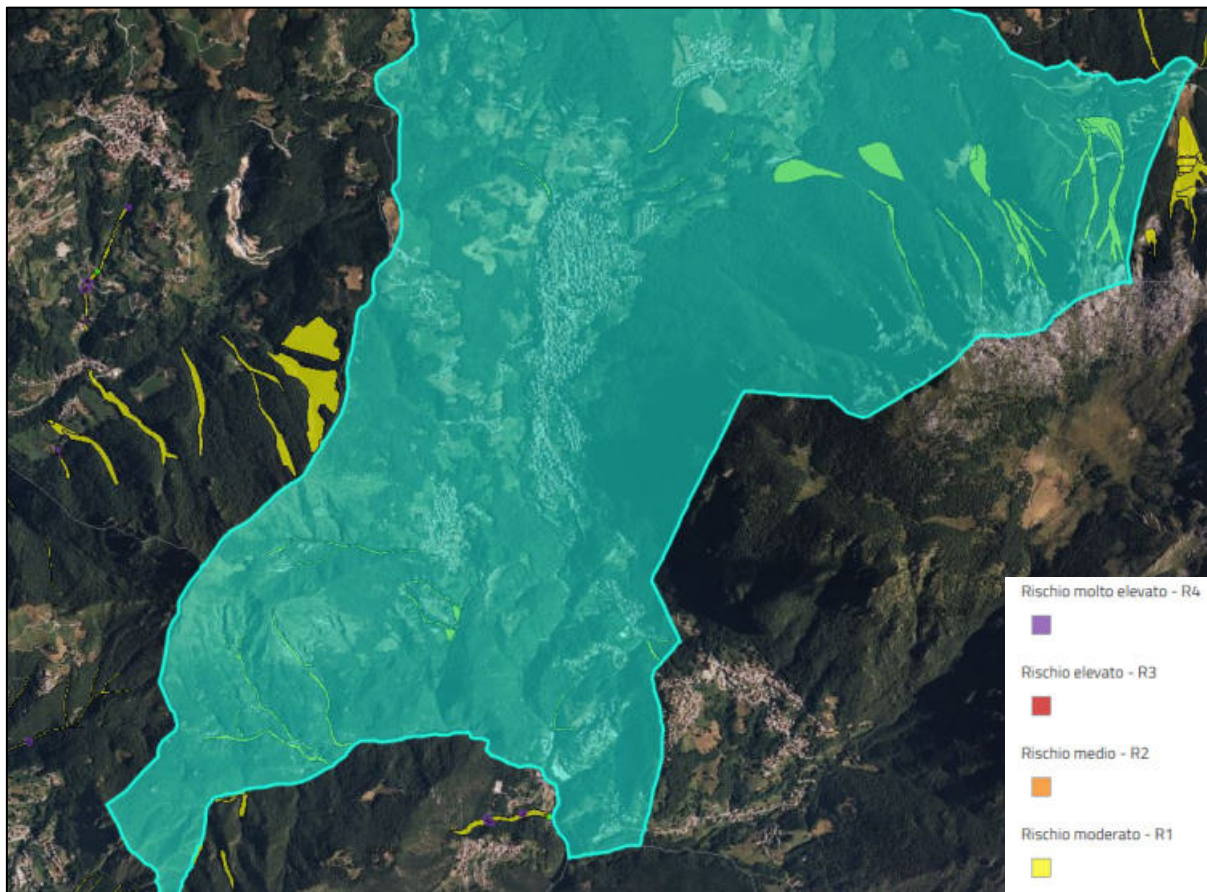


Figura 15 – Mappatura della classificazione del rischio per il territorio comunale di Serina con presenza di ambiti PGRA

8. VINCOLI

8.1. Criteri di realizzazione della cartografia dei vincoli

I nuovi criteri di realizzazione degli studi geologici di supporto ai Piani di Governo del Territorio prevedono, in fase di sintesi, la realizzazione di un'adeguata cartografia che indichi chiaramente i vincoli di carattere geologico, idraulico e idrogeologico cui è sottoposto il territorio comunale (Carta dei Vincoli realizzata in scala 1:5000 per tutto il territorio comunale).

Tali vincoli sono riassumibili in:

- *Ambiti P.A.I. e P.G.R.A.* come precedentemente definiti.
 - *Vincoli di polizia idraulica ai sensi della d.g.r. 25 gennaio 2002 n. 7/7868:* individuano le fasce di rispetto dei corsi d'acqua del Reticolo Idrico Principale e Minore, **in questo caso si recepisce lo Studio del RIM vigente senza apportare modifiche o variazioni.**
 - *Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile:* zona di tutela assoluta e zona di rispetto delle captazioni pubbliche ad uso idropotabile (sorgenti e pozzi), individuate ai sensi del D.Lgs. 152/2006 art. 94. Nel comune di Costa Volpino e nelle immediate vicinanze sono state riscontrate una serie di captazioni pubbliche idropotabili, le cui aree di salvaguardia sono state perimetrate con criterio geometrico. Una eventuale ridefinizione con criteri più precisi delle aree di salvaguardia delle captazioni idropotabili è demandata ad uno studio di dettaglio appositamente predisposto. Rispetto alla precedente versione del PGT sono state aggiornate le ubicazioni delle sorgenti in accordo a quanto fornito sul SITER Provinciale, avendo individuato alcune incongruità tra lo strumento di Pianificazione ed il censimento delle aree di captazione.
- Geositi:* nel territorio di Serina non sono stati individuati siti di interesse geologico - naturalistico.



9. SINTESI DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI

9.1. Criteri di realizzazione della cartografia di sintesi

La fase di sintesi della cartografia relativa agli studi geologici di supporto ai Piani di Governo del Territorio prevede la realizzazione di una cartografia adeguata, che sintetizzi in scala opportuna (1:5.000 o superiore) le principali problematiche di ordine geologico, geomorfologico, idrogeologico e idrologico separatamente indicate nella cartografia tematica.

Gli ambiti di criticità sono suddivisi in base alla tipologia di problema riscontrato, sulla scorta delle linee guida emanate dalla Regione Lombardia:

- *Aree vulnerabili per l'instabilità dei versanti*: problematiche connesse alla presenza di fenomeni erosivi lungo pendii sia in roccia che su terreno, ambiti di franosità riconosciuti e perimetrati (PAI) ed ambiti di franosità superficiale diffusa e puntuale. Sono ricompresi gli ambiti di pericolosità elevata per fenomeni connessi alle deposizioni nivali ed instabilità legata (valanghe)
- *Aree vulnerabili da un punto di vista idrogeologico*: problematiche legate a particolare configurazione degli acquiferi, aree di emergenza della falda o di particolare vulnerabilità della stessa per i fattori idrogeologico – morfologici dell'ambito territoriale.
- *Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico*: problematiche legate alla presenza di corsi d'acqua e relativi fenomeni di dissesto (esondazioni), carenze delle opere di difesa spondale e simili, conoidi.
- *Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche*: problematiche geotecniche legate alle caratteristiche intrinseche dei terreni o ad elementi e processi che ne determinano un peggioramento qualitativo (ristagni, impaludamenti, materiali di riporto, ecc.).



- *Carsismo*: aree caratterizzate da morfologie superficiali carsiche, in questo caso si distinguono sia semplici doline, sia ambiti caratterizzati da possibili sprofondamenti (in parte già avvenuti) all'altezza dell'area sportiva comunale

Il territorio comunale di Serina presenta una mosaicatura considerevole di potenziali problematiche tecniche, soprattutto se, passando dal contesto urbanizzato e consolidato, si tende a spostarsi nelle zone più marginali e, di conseguenza, in prossimità di ambiti con maggiori propensioni al dissesto (sia specifico, sia potenziale). Lungo i versanti dominano sia le pericolosità legate alle elevate pendenze, sia quelle legate alle acque superficiali fino agli eventi valanghivi. Spostandosi verso il fondovalle, sono di interesse gli aspetti legati alle disomogeneità tessiturali delle coperture date dai depositi sul substrato roccioso, assieme alle aree di riporto individuate ed alla presenza di depositi fini sui pendii inclinati. Si somma a tale quadro anche le problematiche di carattere idrogeologico, legate sia alla componente carsica del substrato roccioso sia alla vulnerabilità intrinseca dell'acquifero ed alle aree di cospicua emergenza idrica, poste in prossimità dei margini dei fabbricati.

È possibile, naturalmente, la coesistenza di problematiche diverse su di una medesima zona. In questo caso, se tale concomitanza è significativa, la Carta di Sintesi la rappresenta mediante la sovrapposizione grafica delle simbologie relative a ciascun fenomeno.

Si noti come vi sia una sostanziale corrispondenza fra gli ambiti individuati nella Carta di Sintesi e le classi di fattibilità indicate nella Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano. L'assenza di aree critiche corrisponde alla classe di fattibilità 2 (fattibilità con modeste limitazioni). La presenza di elementi di vulnerabilità comporta invece l'attribuzione della classe 3 (con relative sottoclassi) o della classe 4 a seconda del livello di criticità. La sovrapposizione di più elementi di pericolosità comporta la compresenza di più sottoclassi di fattibilità. La coesistenza di ambiti critici corrispondenti a classe 3 e 4 contemporaneamente comporta naturalmente l'attribuzione della classe 4, cioè la più vincolante.



9.2. Individuazione delle aree di criticità

Come facilmente intuibile, la distribuzione dei differenti ambiti di criticità geologica rispecchia fedelmente i contenuti individuati nelle cartografie tematiche che hanno costituito la base delle precedenti versioni dei Piani.

In particolar modo:

- *Aree vulnerabili per l'instabilità dei versanti*
 - Aree P.A.I. di Frana Attiva (Fa);
 - Aree P.A.I. di Frana Quiescente (Fq);
 - Aree P.A.I. di Frana Stabilizzata (Fs);
 - Aree P.A.I. caratterizzate da esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo i corsi d'acqua con elevata pericolosità (Ee): riferite agli ambiti torrentizi della Valle Supine e della Valle Gola.
 - Aree P.A.I. caratterizzate da trasporto in massa su conoidi non protetti (Ca) e aree di conoide non recentemente attivatasi o completamente protetta (Cp).
 - Aree P.A.I. a pericolosità molto elevata o elevata per valanghe (Ve).
 - Aree a franosità superficiale attiva non individuate nel P.A.I.: si tratta di limitate aree entro il contesto di versante per cui sono state individuate frane attive che non hanno corrispondenza nella cartografia P.A.I.
 - Aree in roccia fratturata, aree con orientazione sfavorevole delle rocce ed aree con terreni fini su pendii inclinati: vengono distinte in base alla differente pendenza del versante ed alla suscettibilità ad innescare fenomeni erosionali superficiali. Non si tratta, di conseguenza, di ambiti di frana, ma zone in cui, data la morfologia del versante e la presenza di coperture, possono instaurarsi fenomeni gravitativi e/o erosionali.
 - Aree caratterizzate da sprofondamenti diffusi: aree contraddistinte da sprofondamenti diffusi (crolli, sinkhole) attribuibili alle morfologie carsiche emergenti localmente in prossimità dell'area sportiva comunale in Contrada Valle.



- *Aree vulnerabili da un punto di vista idrogeologico*
 - Aree interessate da carsismo: ambiti dove sono state riscontrate evidenze di carsismo sotterraneo e profondo (doline, grotte, docce, sifoni, ecc.). Viene ricompreso in tale area l'intero ambito di basso versante che va dalla val Supino sino alla valle Gola.
 - Aree con emergenze idriche: aree ove possibile riscontrare diffuse emergenze idriche attribuibili a dotti carsici, strutture tettoniche e contatti stratigrafici, molto evidenti;
 - Aree ad elevata vulnerabilità della falda: aree per cui le caratteristiche idrauliche, morfologiche e stratigrafiche possono costituire una elevata vulnerabilità della falda, degna pertanto di maggiori attenzioni in relazione alla preservazione della risorsa idrica

- *Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche*
 - Aree dotate di proprietà geotecniche scadenti, ex cave, riporti (gt): si tratta di ambiti di riempimento delle ex cave esistenti sempre nella bassa porzione di versante tra la Val Supino e la Val Gola, tra le località di Volpino e Foppello.
 - Aree con presenti disomogeneità tessiturali: aree caratterizzate da depositi naturali aventi differenti proprietà geotecniche con differenziazioni sia stratigrafiche che eterotopie orizzontali rilevanti legate alla natura deposizionale ed agli attori morfologici locali.



10. FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO

10.1. *Criteri di realizzazione della cartografia di fattibilità*

La fase finale dello studio geologico di supporto al Piano di Governo del Territorio consiste nell'attribuzione delle opportune classi di fattibilità geologica agli ambiti di criticità emersi durante lo studio del territorio e sintetizzate nella Carta di Sintesi, tenendo conto anche dei vincoli geologici indicati nella relativa tavola.

La cartografia di fattibilità consiste di otto tavole in scala 1:2000, più due tavole in scala 1:5000 su base aerofotogrammetrica comprensiva dell'intero territorio comunale. Oltre a queste tavole è stata predisposta una tavola finalizzata all'aggiornamento del mosaico informatizzato regionale di fattibilità geologica in scala 1:10000 su base C.T.R.

La cartografia di proposta ha influenza diretta e fattiva sulle scelte amministrative e sulle politiche del territorio, suddividendo il comune in aree ove la fattibilità delle azioni di piano è subordinata a precise prescrizioni di ordine geologico, che possono anche comportare l'inedificabilità (tranne per casi particolari) nel caso della classe 4. Non sono stati evidenziati, durante l'analisi del territorio, elementi sufficienti a giustificare l'introduzione della classe di fattibilità 1 (fattibilità senza particolari limitazioni). Pertanto, la classe di fattibilità meno limitante introdotta rimane la 2.

Sul Mosaico della Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano viene riportata anche la zonizzazione sismica di secondo livello (ambiti PSL) così come riportata nella Carta della Pericolosità Sismica Locale.



10.2. Individuazione delle classi di fattibilità sul territorio

La distribuzione delle classi di fattibilità geologica sul territorio comunale di Costa Volpino rispecchia la localizzazione delle aree di criticità evidenziate nella cartografia di sintesi, scaturite dall'analisi territoriale rappresentata nella cartografia tematica.

La classe di fattibilità 2 (gialla), la meno limitante, occupa:

- Area di urbanizzazione consolidata del centro comunale di Serina;
- Area centrale dell'altopiano di Valpiana
- Limitati ambiti privi di effettiva rilevanza disseminati sul territorio comunale di Serina

La classe di fattibilità 3 (arancio) occupa le porzioni del territorio comunale sia di versante che di fondovalle ove non sono state rilevate problematiche ostative alla fattibilità (salvo le prescrizioni di cui alla Carta dei Vincoli) ma che presentano comunque elementi di forte attenzione per cui sono necessari approfondimenti specifici

- La sottoclasse 3as occupa quelle porzioni di versante dove sono state riscontrate pendenze discrete senza chiari segni di erosione in atto.
- La sottoclasse 3Cn definisce quegli ambiti di conoide inattivo o totalmente protetto, così come indicati dal P.A.I..
- La sottoclasse 3vul caratterizza gli ambiti di elevata vulnerabilità della falda, posta soprattutto lungo il versante orientale a monte del contesto urbanizzato;
- La sottoclasse 3kar viene posta negli ambiti soggetti a carsismo profondo, elementi individuati in maniera disseminata soprattutto presso il fondovalle;
- La sottoclasse 3gt individua gli ambiti caratterizzati sia da riporti sia con elevate disomogeneità tessiturali.



-
- La sottoclasse 3sp corrisponde agli ambiti caratterizzati da sprofondamenti e sinkhole di origine carsica e sono distribuite localmente nell'area di realizzazione degli impianti sportivi.

La classe di fattibilità 4 interessa quegli ambiti, soprattutto lungo i versanti, caratterizzati da elevata suscettibilità morfologica, idraulica ed idrogeologica per cui emerge una forte limitazione alla fattibilità sia delle Azioni di Piano sia all'edificabilità in senso lato.

- La sottoclasse 4er identifica quelle aree di versante caratterizzate da pendenze considerevoli con possibilità di innesco di fenomeni erosionali superficiali o gravitativi, con coinvolgimento sia di terreno che di roccia in condizione di franappoggio
- La sottoclasse 4fad identifica gli ambiti di frana diffusa attiva non perimetrati dal P.A.I., ma riconosciuti sul territorio comunale. Sono prevalenti nell'alta e nella media porzione di versante
- La sottoclasse 4Fa corrisponde strettamente agli ambiti di frana attiva identificati dal P.A.I.
- La sottoclasse 4Fq corrisponde strettamente agli ambiti di frana quiescente identificati dal P.A.I.
- La sottoclasse 4Ve corrisponde strettamente agli ambiti soggetti ad elevata pericolosità per valanghe, presente nelle porzioni sommitali del versante.
- La sottoclasse 4Ca corrisponde strettamente alle aree di conoide attiva
- La sottoclasse 4Ee corrisponde agli ambiti P.A.I. di esondazione ed erosione di carattere torrentizio delle valli, lungo versante ed a monte dell'apice dei rispettivi conoidi.
- La sottoclasse 4idr corrisponde infine agli ambiti caratterizzati da elevata vulnerabilità della falda, per cui gravano importanti limitazioni in ordine alla



difesa del patrimonio idrico locale

Per la cartografia della classe di fattibilità 3 e della classe di fattibilità 4 è stato seguito il criterio di utilizzare una suddivisione in ambiti di criticità, ad ognuno dei quali corrisponde una propria normativa di fattibilità.

Per la classe 2, invece, non è stata adottata alcuna suddivisione in ambiti, perché le aree non presentano nessun tipo di criticità importante (come facilmente deducibile dalla Carta di Sintesi).



10.3. Differenze introdotte dalla variante geologica

La Variante introduce alcune differenze nella definizione degli ambiti di fattibilità geologica esterni al PAI – PGR.

In prima battuta, si è ritenuto doveroso fissare le classi 4 di elevata acclività con problematiche di carattere gravitativo alle aree effettivamente individuate all'interno della Carta di Sintesi proposta, e non estendendole ulteriormente come precedentemente indicato dallo Studio ad oggi vigente, al fine di subordinare eventuali interventi a specifiche indagini e valutazioni tecniche proposte dai Professionisti piuttosto che limitarle totalmente dalla normativa. Caso contrario avviene, invece, per quanto riguarda l'area caratterizzata da importanti fenomeni di cedimento diffuso e sinkhole accorsi nel tempo ed introdotti all'interno del presente Studio. Per questa casistica, al fine di preservare la pubblica incolumità e non aggravare ulteriormente un settore del territorio già compromesso, si è optato per “congelare” tale area ponendola in classe di fattibilità 4.

L'azione di “congelamento” del settore territoriale, che propone vincolo sia alle azioni dei privati, ma anche alle Azioni pubbliche ha il duplice effetto di:

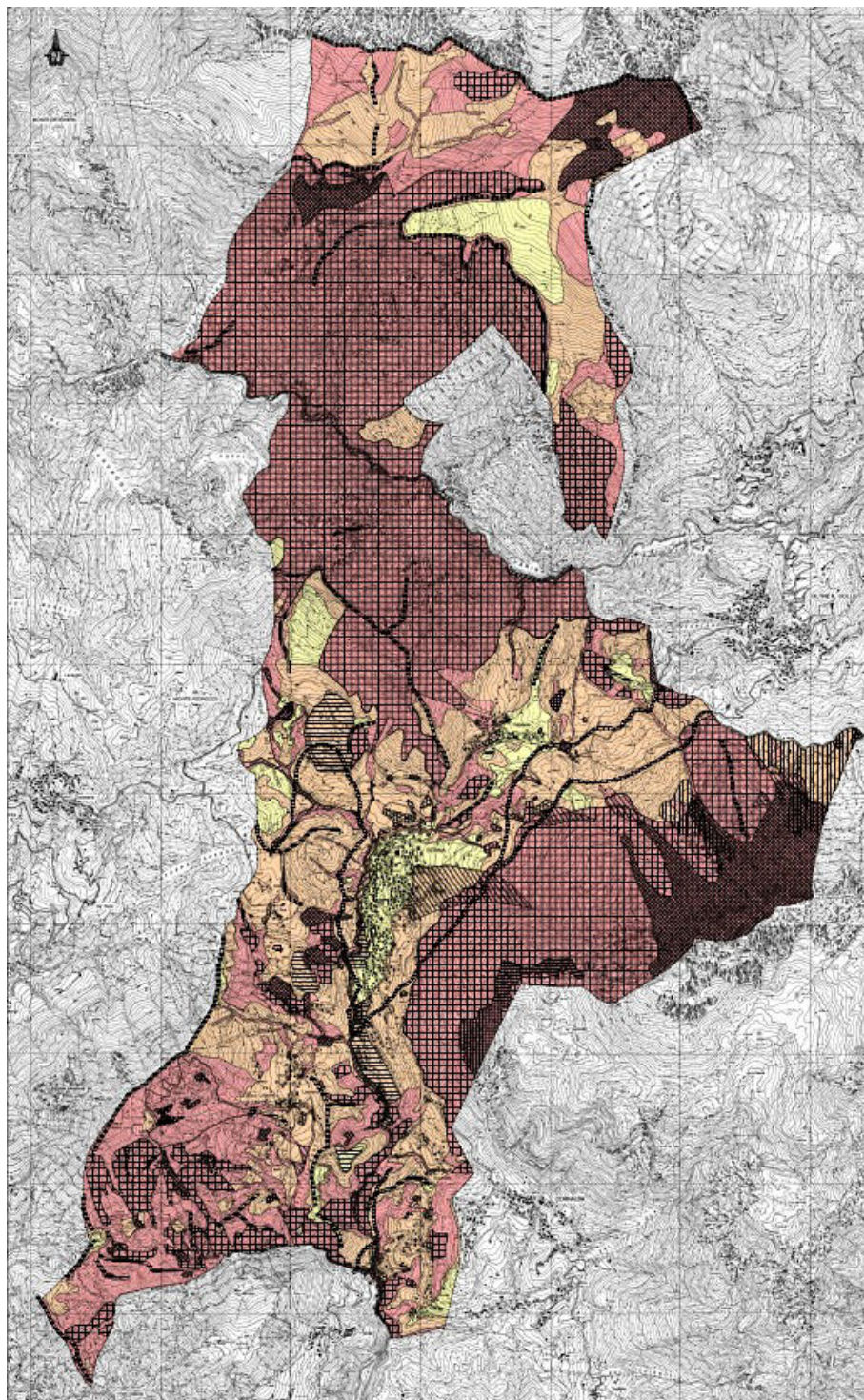
- Evitare la realizzazione di nuove opere/edifici potenzialmente soggette a rischi di cedimento anche improvviso del sottosuolo;
- Ridurre l'impatto che le nuove opere/edifici possono avere sul contesto territoriale (aumento del carico specifico, alterazione del regime idrico, ecc.)

A termine delle variazioni contenutistiche areali della Carta della Fattibilità, è stata introdotta la specifica sotto-zonazione delle aree, mancante nella cartografia vigente ma di fondamentale importanza a parere degli scriventi in quanto va a definire compiutamente le tipologie di criticità insistenti in sito, offrendo l'opportunità al lettore, sia esso un tecnico operante presso il Comune o un altro Professionista, di cogliere sin da subito le criticità specifiche al fine di poter agire correttamente nella pianificazione/progettazione.

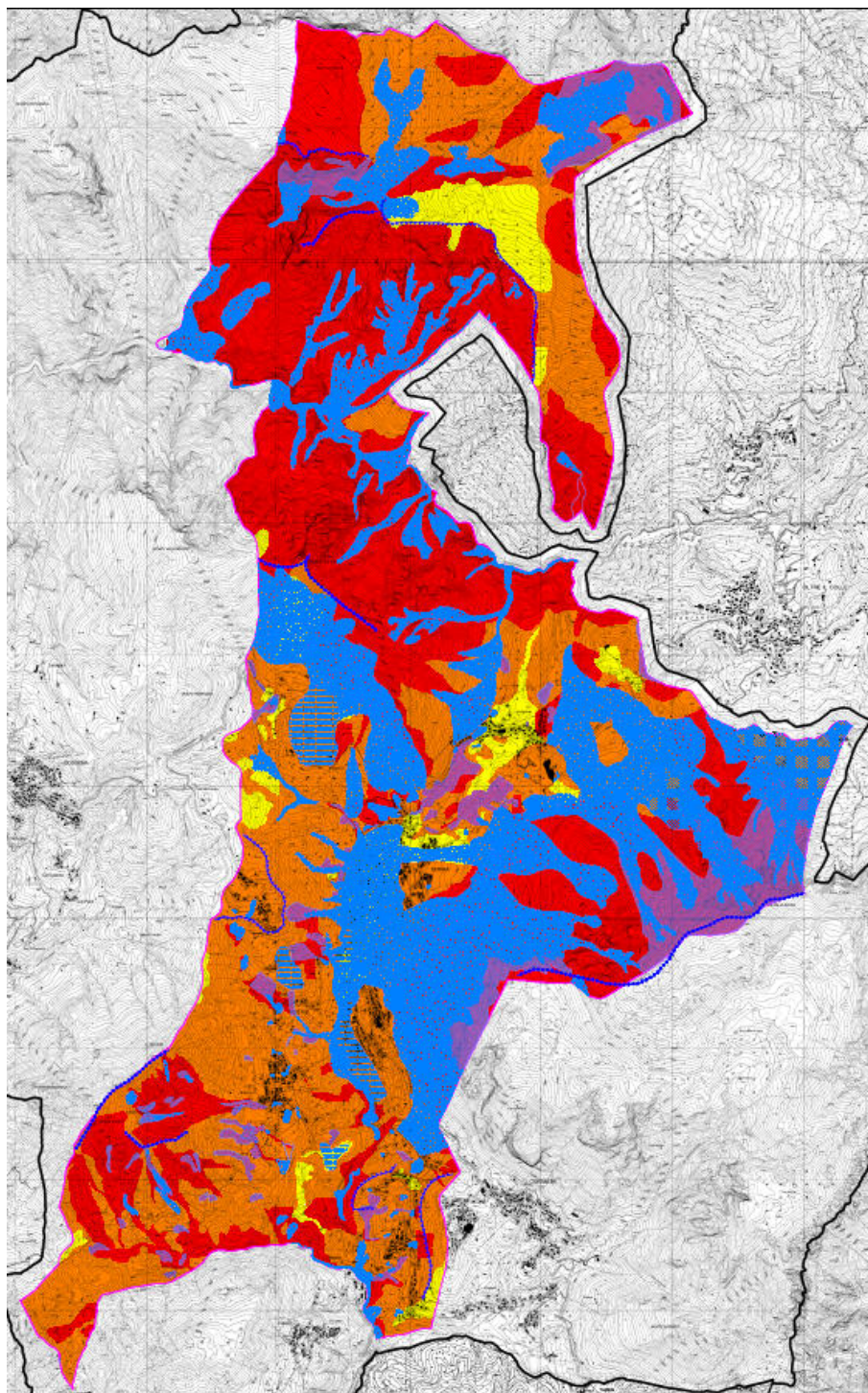


Si propongono di seguito alcuni stralci del mosaico della Carta della Fattibilità Vigente e in Variante, al fine di valutare le modifiche apportate.

MOSAICO DELLA FATTIBILITA' VIGENTE – MAGGI, 2012



MOSAICO DELLA FATTIBILITA' VARIANTE – GEA, 2023



11. NORME GEOLOGICHE DI PIANO

In allegato alla presente relazione sono riportate le prescrizioni normative tecniche per gli interventi urbanistici, con indicazione degli studi e delle indagini di approfondimento richieste, delle opere di mitigazione del rischio, degli interventi di controllo dei fenomeni in atto o potenziali, della predisposizione di sistemi di monitoraggio e degli idonei piani di protezione civile; tali prescrizioni devono essere recepite nelle Norme Tecniche di Attuazione del Piano di Governo del Territorio.

Le norme proposte derivano dalle vigenti norme specifiche per i Piani consultati, facendo diretto riferimento alla Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I., alle indicazioni normative della d.g.r. ix/2616 del 2011 e della d.g.r. x/6738 del 2017, nonché dettate dalle conoscenze degli scriventi per gli specifici ambiti (sottozone).

Per ciascun ambito di intervento, indipendentemente dalla classe di fattibilità assegnata ad ogni poligono e dagli studi di approfondimento indicati nelle specifiche classi di fattibilità, devono essere comunque applicate le disposizioni previste dal D.M. 14 gennaio 2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008 – Supplemento Ordinario n. 30).

Si specifica che la Carta dei Vincoli, la Carta di Sintesi e la Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano, nonché le presenti Norme Geologiche di Attuazione, costituiscono parte integrante anche del Piano delle Regole, ai sensi dell’art. 10, comma 1, lettera d della L.R. 12/2005.



12. VALUTAZIONE DELL'EFFETTO SISMICO

1.1 Generalità e metodologie di analisi

Con l'entrata in vigore, il 23 ottobre 2005, dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (pubblicata sulla G.U. n. 105 del 08-05-2003 Supplemento ordinario n. 72), viene effettuata una suddivisione del territorio nazionale su base sismica e vengono fornite le prime normative tecniche per le costruzioni nelle zone sismiche. La Regione Lombardia ha preso atto della classificazione di tale Ordinanza mediante la d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003.

L'Ordinanza è peraltro entrata in vigore contestualmente al D.M. 14-09-2005 "Norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 222 del 23-09-2005 Supplemento ordinario n. 159.

Grazie alla nuova Ordinanza, si è passati dalla vecchia classificazione sismica del territorio nazionale (D.M. 5 marzo 1984) alla suddivisione nuova che, per la Lombardia, classifica 41 comuni in zona 2, 238 comuni in zona 3 e 1267 comuni in zona 4.

In tempi più recenti, la classificazione sismica del territorio lombardo è stata oggetto di una nuova revisione, in base alla quale tutti i comuni bergamaschi, ivi incluso Serina, sono stati riclassificati nella zona sismica 3.



Al fine di sviluppare una metodologia di valutazione dell'amplificazione sismica locale in adempimento alle nuove normative nazionali, la Regione Lombardia ha predisposto uno studio pilota, elaborato dal Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Strutturale, basato sull'analisi di indagini dirette e prove sperimentali effettuate in aree campione del territorio regionale. Tale metodologia, esaustivamente descritta nell'Allegato 5 dei Criteri attuativi della L.R. 12/2005, prevede studi basati su **tre livelli di approfondimento crescente**.

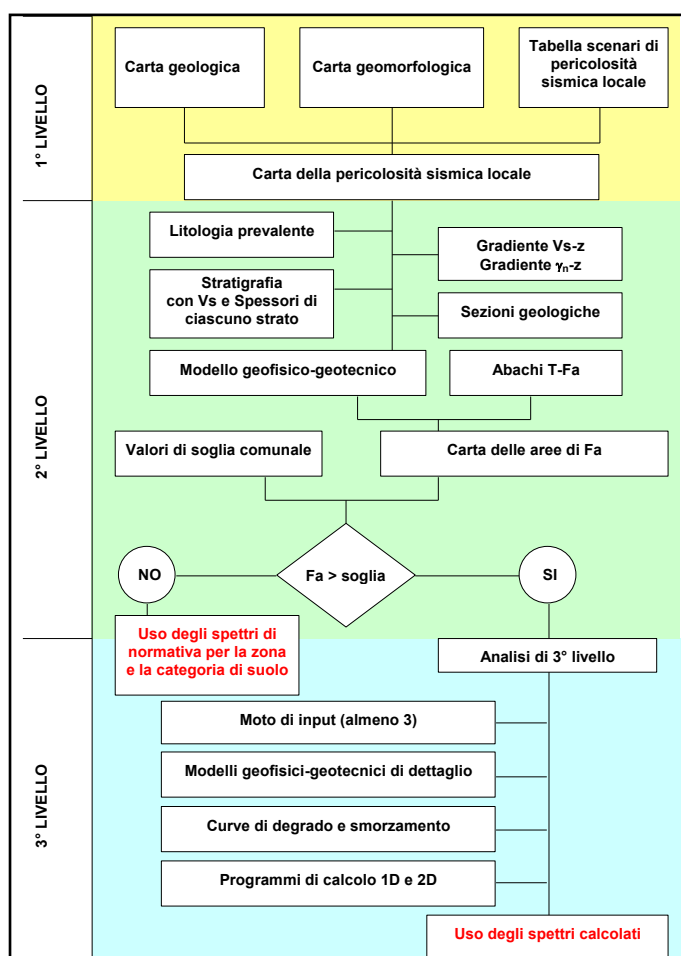


Figura 16 - Diagramma dei percorsi di definizione dei tre livelli di approfondimento sismico (Criteri attuativi L.R. 12/05 – Regione Lombardia)

Il **1° livello**, obbligatorio per tutti i comuni (quindi anche quelli classificati in zona 4), consiste in una zonazione del territorio comunale in aree a diverso grado di pericolosità sismica locale, sulla base degli elementi geologici e geomorfologici presenti, nonché la redazione di una Carta della Pericolosità Sismica Locale contenente tali perimetrazioni.



Il **2° livello** prevede una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione sismica nelle aree perimetrate dalla Carta della Pericolosità Sismica Locale. Tale caratterizzazione, che deve essere effettuata secondo le metodologie specifiche descritte nel suddetto Allegato 5 dei Criteri attuativi della L.R. 12/2005, fornisce una stima della risposta sismica dei terreni, costituita da un *fattore di amplificazione Fa*. Mediante il 2° livello di approfondimento si individuano quelle aree dove la normativa nazionale non è sufficiente a salvaguardare dagli effetti dell'amplificazione sismica locale, ovvero quelle zone dove il fattore di amplificazione Fa calcolato è superiore al valore Fa di soglia fornito per il comune dal Politecnico di Milano. In queste aree bisogna procedere con gli approfondimenti di 3° livello, oppure usare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore. Il 2° livello di approfondimento è obbligatorio per i comuni classificati in zona 2 e 3 che posseggono zone di amplificazione sismica Z3 e Z4 (cfr. tabella nelle pagine seguenti) interferenti con i centri abitati o gli ambiti di possibile espansione urbanistica. Inoltre il 2° livello è obbligatorio anche per i comuni classificati in zona 4 che posseggono zone di amplificazione sismica Z3 e Z4 interferenti con costruzioni strategiche rilevanti (individuate dalla d.g.r. n. 14964/2003); gli stessi comuni possono decidere di estendere questo livello di approfondimento anche ad altre tipologie di edifici. I valori Fa di soglia determinati per il comune di Serina sono riportati nella tabella seguente.



VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0,1 E 0,5 s

| | Valori soglia | | | |
|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| COMUNE | Suolo tipo B | Suolo tipo C | Suolo tipo D | Suolo tipo E |
| SEDRINA | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 2.0 |
| SELVINO | 1.5 | 1.9 | 2.3 | 2.0 |
| SERiate | 1.5 | 1.9 | 2.3 | 2.0 |
| SERINA | 1.4 | 1.9 | 2.2 | 2.0 |
| SOLTO COLLINA | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 2.0 |
| SONGAVAZZO | 1.4 | 1.8 | 2.2 | 2.0 |
| SORISOLE | 1.5 | 1.9 | 2.3 | 2.0 |

Valori soglia per il periodo 0,5-1,5 s nei diversi tipi di suoli del comune di Serina

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0,5 E 1,5 s

| | Valori soglia | | | |
|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| COMUNE | Suolo tipo B | Suolo tipo C | Suolo tipo D | Suolo tipo E |
| SEDRINA | 1.7 | 2.4 | 4.2 | 3.1 |
| SELVINO | 1.7 | 2.4 | 4.3 | 3.1 |
| SERiate | 1.7 | 2.4 | 4.3 | 3.1 |
| SERINA | 1.7 | 2.4 | 4.2 | 3.1 |
| SOLTO COLLINA | 1.7 | 2.4 | 4.2 | 3.1 |
| SONGAVAZZO | 1.7 | 2.4 | 4.2 | 3.1 |
| SORISOLE | 1.7 | 2.4 | 4.3 | 3.1 |

Valori soglia per il periodo 0,1-0,5 s nei diversi tipi di suoli del comune di Serina



Il **3° livello** di approfondimento, da eseguirsi secondo le linee guida emanate dalla Regione Lombardia, implica la definizione degli effetti di amplificazione sismica mediante indagini ed analisi approfondite. In fase progettuale, questo livello si applica quando un comune è caratterizzato dalla presenza di zone di amplificazione sismica Z1, Z2 e Z5, oppure quando possiede zone Z3 e Z4 per le quali il 2° livello mostra l'insufficienza della normativa nazionale. Il 3° livello è inoltre obbligatorio per la progettazione di edifici il cui uso prevede affollamento, per industrie pericolose da un punto di vista ambientale, per reti viarie e ferroviarie essenziali o strategiche.

Occorre precisare che gli approfondimenti di 2° e 3° livello non devono essere eseguiti nelle aree che, per caratteristiche geologiche o per vincoli normativi, sono escluse dall'edificazione.

Il comune di Serina ricade in zona sismica 3, perciò è stato applicato il 2° livello di approfondimento, con la zonizzazione del territorio, la realizzazione della Carta della Pericolosità Sismica Locale e una serie di indagini geofisiche (tromografie digitali) in vari punti del territorio.

In seguito all'analisi sismica di primo livello (recepita dallo Studio vigente con alcune piccole modifiche non sostanziali), nel territorio di Serina sono stati individuati diversi ambiti di amplificazione sismica locale:

- **Z1a zone caratterizzate da movimenti franosi attivi** (effetto sismico di instabilità). Individuate in corrispondenza di tutti gli ambiti di franosità attiva individuati nella Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. - P.G.R.A. e nella Carta di Sintesi. A questa zona di amplificazione sismica è attribuita la classe di pericolosità sismica H3.
- **Z1b zone franose quiescenti** (effetto sismico di cedimento/liquefazione). Sono state classificate in questo ambito le aree coincidenti agli ambiti Fq individuati nella Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. - P.G.R.A. e nella Carta di Sintesi. Attribuibili alla classe di pericolosità sismica H2.
- **Z2 zone con caratteristiche geotecniche scadenti** (effetto sismico di cedimento/liquefazione). Individuate in corrispondenza di tutti gli ambiti con



caratteristiche geotecniche scadenti identificati sulla Carta di Sintesi. Attribuibili alla classe di pericolosità sismica H2.

- **Z3a zone di ciglio $H > 10$ m (scarpate con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)** (effetto sismico di amplificazione topografica). Attribuibili alla classe di pericolosità sismica H2.
- **Z3b zone di cresta rocciosa** (effetto sismico di amplificazione topografica). Attribuibili alla classe di pericolosità H2
- **Z4a zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi** (effetto sismico di amplificazione litologica). Ricadono in questo ambito tutte le aree costituite da depositi alluvionali e fluvioglaciali. Questi ambiti sono attribuibili alla classe di pericolosità sismica H2.
- **Z4b zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre** (effetto sismico di amplificazione litologica). Attribuibili alla classe di pericolosità sismica H2.
- **Z4c zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)** Questi ambiti sono attribuibili alla classe di pericolosità sismica H2.
- **Z4d zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale.** Questi ambiti sono attribuibili alla classe di pericolosità sismica H2.

Come già accennato, gli ambiti di amplificazione sismica sono cartografati nella Tavola 9 – Carta della Pericolosità Sismica. Essi sono anche stati sovrapposti, mediante retinature trasparenti, alla Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano per l'aggiornamento del mosaico regionale.

Per la realizzazione di qualsiasi opera, ed a maggior ragione di opere pubbliche o strategicamente rilevanti, l'aspetto sismico dovrà sempre essere attentamente valutato.



13. ANALISI SISMICA DI 2° LIVELLO: AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

13.1. Premessa

La normativa nazionale (NTC08) introduce una classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto. Tale classificazione distingue tra 5 categorie principali (dalla A alla E) alle quali sono aggiunte altre 2 (S1 ed S2) per le quali è richiesta l'effettuazione di studi di dettaglio per la valutazione, in fase di progettazione esecutiva, dell'azione sismica da considerare.

Tale classificazione si basa principalmente sulla conoscenza del valore del parametro **V_{S30}** che rappresenta il valore medio della velocità di propagazione delle onde di taglio (S) entro i primi 30 metri di profondità.

Il valore di **V_{S30}** viene calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{(i=1,N)} h_i/V_i}$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$, per deformazioni piccole e nel campo delle deformazioni elastiche) dello strato i -esimo per un totale degli N strati riconosciuti nei primi 30 metri di sottosuolo a partire dalla superficie.

La determinazione del valore delle onde di taglio negli strati superficiali, assieme ad una dettagliata ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, è ritenuta fondamentale per valutare sia gli effetti legati allo scuotimento indotto dal sisma sul terreno (fenomeni di liquefazione, fenomeni di dilatanza o di addensamento, instabilità di versanti, collasso di cavità sotterranee) che la conseguente risposta del sottosuolo (fenomeni di amplificazione sismica legati sia ad effetti morfologici che litologici, presenza di faglie attive).



In seguito ai fenomeni di rifrazione/diffrazione che si verificano in corrispondenza di ogni contrasto d'impedenza lungo la direzione di propagazione dei fronti d'onda (a partire dalla sorgente sismica), le onde di taglio che raggiungono la superficie topografica, risultano pressochè verticali determinando così in tale punto spostamenti orizzontali rilevanti ai fini della stabilità delle costruzioni

Nel panorama legislativo si ricorda inoltre la normativa regionale lombarda, la D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005. In tale normativa, una tra le prime del genere nel panorama nazionale, viene stabilita la metodologia per la definizione della componente sismica a livello comunale da attuare in fase di pianificazione territoriale. Le tecniche per la determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio sono diverse, si distinguono principalmente tra tecniche di tipo diretto/indiretto e tra tecniche di tipo attivo/passivo.

Nessuna tecnica è in grado di garantire la completa affidabilità nella determinazione dei parametri dei terreni presenti nel sottosuolo, occorre pertanto appoggiarsi ad informazioni di tipo stratigrafico per poter interpretare correttamente le informazioni deducibili dall'interpretazione dei dati delle campagne d'indagine.



13.2. Indagine geognostica

Lo scopo della campagna geognostica è la caratterizzazione dinamica del sottosuolo nelle prime decine di metri, con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche - elastiche, al fine di valutare le possibili amplificazioni sismiche.

Considerando l'elevata disomogeneità morfologica del territorio comunale di Serina, le indagini eseguite non possono coprire efficacemente tutto il contesto territoriale e, oltremodo, risultano localmente limitate sia in termini logistici sia in termini di efficacia nelle elaborazioni ed interpretazione dei dati.

In generale, per la caratterizzazione sismica di II livello sono stati considerati n. 6 siti di indagine geofisica; le indagini eseguite sono, in sintesi, le seguenti:

| SITO | LOCALIZZAZIONE | INDAGINI |
|---------------------|-------------------------------|------------|
| SITO 1 ¹ | Centro polifunzionale "Stalù" | HVSR, MASW |
| SITO 2 | Parco degli Alpini | HVSR |
| SITO 3 | Campo sportivo di Lepreno | HVSR |
| SITO 4 | Parco pubblico di Grumello | HVSR |
| SITO 5 | Campo sportivo via Tiraboschi | HVSR |
| SITO 6 | Parco pubblico di Valpiana | HVSR |

L'insieme di tutte le indagini elencate (eseguite e consultate) permetterà ricavare, per i siti in esame, le seguenti informazioni: il modello geofisico di sottosuolo, la frequenza di risonanza del terreno e la categoria di sottosuolo derivante dalla Vs30 (NTC08).

Dal punto di vista strettamente normativo, tuttavia, nei contesti ove il substrato roccioso risulti compreso tra 3 e 30 m (come per i casi oggetto del presente studio)

¹: Per il sito 1 le indagini sono state recuperate dalla campagna geognostica di supporto alla realizzazione dell'edificio pubblico eseguita dallo studio GEA nel 2022



invece che di $V_{s,30}$, sovrastimato per la presenza del contributo del bedrock nel calcolo delle velocità medie, bisognerebbe parlare di V_{Seq} considerando dunque lo strato equivalente di spessore compreso tra 3 e 30 m posto al di sopra del bedrock sismico, definito come l'orizzonte caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s.

Pertanto, la velocità media viene calcolata unicamente per gli orizzonti di copertura del bedrock sismico.



13.3. Ubicazione delle indagini geofisiche

Nella figura seguente viene evidenziata l'ubicazione dei tre siti prescelti per l'esecuzione delle indagini geofisiche di approfondimento, di seguito elencati:

- Sito 1 – Centro polifunzionale “Stalù”;
- Sito 2 – Parco degli Alpini;
- Sito 3 – Campo sportivo di Lepreno;
- Sito 4 – Parco pubblico di Grumello;
- Sito 5 – Campo sportivo di via Tiraboschi;
- Sito 6 – Parco pubblico di Valpiana.

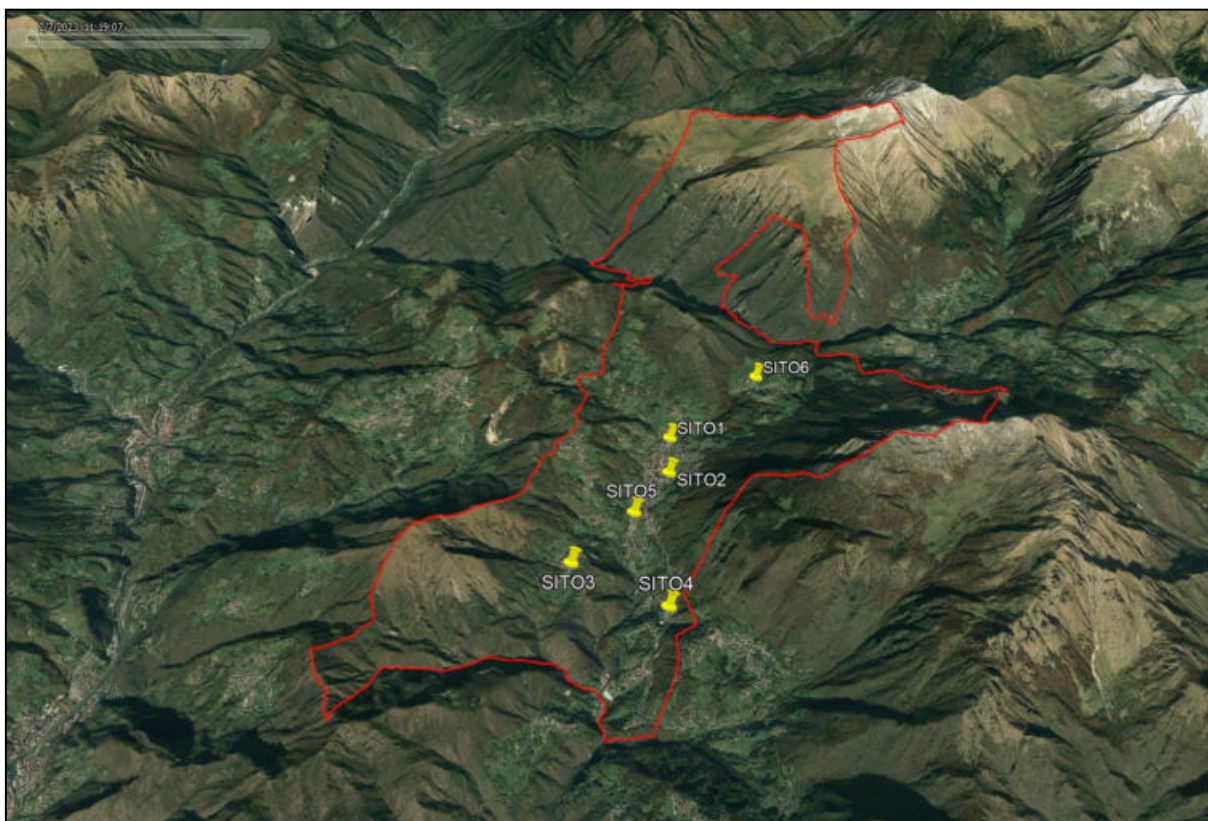


Figura 17 - Ubicazione dei siti oggetto di indagine su 3D google maps del territorio comunale di Serina

L'esatta ubicazione delle indagini è riportata all'interno della tavola 9 “Carta della Pericolosità sismica locale”

13.4. Cenni teorici

13.4.1. HVSR

La metodologia microtremori HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) è una tecnica di analisi passiva non invasiva a stazione singola del rumore sismico ambientale presente attorno ad una determinata posizione sulla superficie del terreno. Essa consiste essenzialmente nel calcolare il rapporto fra le ampiezze degli spettri di Fourier delle componenti orizzontale e verticale di tale rumore e analizzare i picchi (o massimi di tale funzione).

La prova, comunemente nota con il termine H/V o HVSR (rapporto tra le componenti spettrali) fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989).

L'indagine consiste nella misurazione, e nella successiva elaborazione, del microtremore ambientale nelle sue tre componenti spaziali (x, y e z opp. E-W, N-S e Up-Down) a varie frequenze.

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica, in quanto il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione. Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine (rumore ambientale). Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti.

Le vibrazioni ambientali sono costituite da piccole vibrazioni del terreno (spostamenti dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-3} cm, in un intervallo di frequenze molto al di sotto della soglia di percezione umana) che è possibile osservare sperimentalmente in qualunque punto della Terra.

Questo tipo di fenomeno è stato indagato sin dai primordi della sismologia strumentale ma negli ultimi anni c'è stata una progressiva crescita interesse dei sismologi e degli ingegneri in vista delle sue potenziali applicazioni per la



caratterizzazione dinamica del sottosuolo e delle strutture edilizie.

In un sistema costituito da uno strato tenero (es: coperture) sovrastante un semispazio rigido (es: bedrock), un'onda tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (alla superficie libera, nuovamente al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti $\lambda = n \cdot 4H$. Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla legge:

$$f_r = n \frac{V_s}{4H} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

- n = ordine del modo di vibrare;
- V_s = velocità delle onde di taglio dello strato che risuona;
- H = spessore dello strato.

Nel caso, più comune, in cui il sistema studiato sia a più strati, occorre determinare il valore di V_s tramite una media pesata delle velocità delle onde di taglio che caratterizzano gli strati presenti al di sotto della fondazione dell'edificio per tutta la profondità investigata; più precisamente:

$$\overline{V_s} = \sum_{i=1}^n \frac{V_{si} \cdot H_i}{H}$$

- H_i = spessore dello strato i -esimo;
- V_{si} = velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo;
- H = spessore totale del deposito investigato.



13.4.2. MASW

La propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda che interessano il terreno a diverse profondità e che risultano condizionate dalle caratteristiche elastiche e di rigidità del sottosuolo. Lunghezza d'onda “ λ ”, frequenza “ f ” e velocità di propagazione “ V ” sono legate dalla relazione:

$$V = \lambda \cdot f$$

In generale, lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario lunghezze d'onda minori, poiché associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. Questa proprietà, chiamata dispersione, è valida solo per le onde di superficie, Rayleigh e Love in mezzi stratificati.

Le tecniche per ricavare le curve di dispersione da sorgenti attive o passive con due o più ricevitori hanno una varietà di nomi che dipendono da dettagli quali la geometria dei ricevitori, sorgente attiva o passiva etc. I più diffusi tra i metodi attivi sono: SASW (spectral analysis of surface waves; Heisey et al., 1982) e MASW (multichannel analysis of surface waves; Park et al., 1999); mentre tra i metodi passivi sono ESAC (extended spatial auto correlation; Ohori et al., 2002) e ReMi (refraction microtremor; Louie, 2001).

La base di tutte queste tecniche è lo slant - stack o correlazione del segnale registrato da una serie di ricevitori (geofoni), che permette la determinazione della velocità di propagazione di onde a frequenze diverse che attraversano lo stendimento.

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l., col quale il segnale sismico registrato viene processato attraverso procedure di slant - stack (traslazione e somma) e FFT ottenendo gli spettri di velocità di fase. Questi indicano, per ogni frequenza, la più probabile velocità delle onde di superficie investigate.

Da tali spettri è possibile ricostruire un profilo di Vs, sapendo che:



- per ogni frequenza è possibile calcolare la lunghezza d'onda corrispondente secondo la relazione $\lambda = V/f$;
- la profondità corrispondente z è compresa tra $\lambda/3$ e $\lambda/2$.

La V_s , inoltre, è collegata alle velocità delle onde di Love e di Rayleigh attraverso il coefficiente di Poisson e normalmente risulta maggiore di queste ultime del 10 - 15 %.

Le onde di superficie possiedono diversi modi di propagazione; questo implica che negli spettri di velocità, alla stessa frequenza, sono possibili diversi massimi relativi di energia.

Nel caso di sorgente impulsiva ideale (con spettro bianco), geometria dei ricevitori ideale (perfettamente sintonizzata su tutte le frequenze) e suolo ideale (isotropo, lateralmente omogeneo, con graduale aumento della velocità in profondità) il modo fondamentale è quello dominante in termini di energia.

Individuare la curva di dispersione del modo fondamentale o classificare correttamente i modi superiori implica un certo grado di soggettività. Utilizzando gli spettri di velocità di fase si ha il vantaggio di avere un dato più oggettivo e più completo, che conserva le informazioni sulla natura multimodale delle curve di dispersione.



13.5. **Strumentazione utilizzata**

Per le indagini è stato utilizzato lo strumento Tromino BLU ® prodotto da Moho Science & Technology implementato con Wireless Trigger per l'esecuzione delle MASW



Figura 18 – Tromino Blu ® con cui sono state realizzate le misure in campo



Figura 19 - Tromino Blu ® e Wireless trigger accoppiato

Le caratteristiche tecniche dello strumento sono le seguenti:

Registratore digitale tutto in uno

10 x 7 x 13 cm, ~ 1 kg

16 Gb di memoria

batteria interna ricaricabile

2 set di piedini per accoppiamento al suolo

banda di lavoro tipica 0.1-500 Hz

- 3 canali velocimetrici per microtremore sismico ambientale e vibrazioni forti, 6 livelli di amplificazione (saturazione da ± 0.5 mm/s a ± 40 mm/s in banda)
- 3 canali accelerometrici (saturazione a ± 2 g) (l'output è il risultato di 4 accelerometri per ciascuno dei 3 assi)
- 1 canale analogico (es. trigger esterno)
- frequenze di campionamento 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096 Hz su tutti i canali
- modulo GPS integrato con antenna interna ed esterna




13.6. SITO1 – Centro polifunzionale “Stalù”

Per il sito 1 è considerata la campagna di indagini geognostiche svolte presso il nuovo centro polifunzionale “Stalù” svolte da GEA nel 2022.

13.6.1. Indagini HVSR

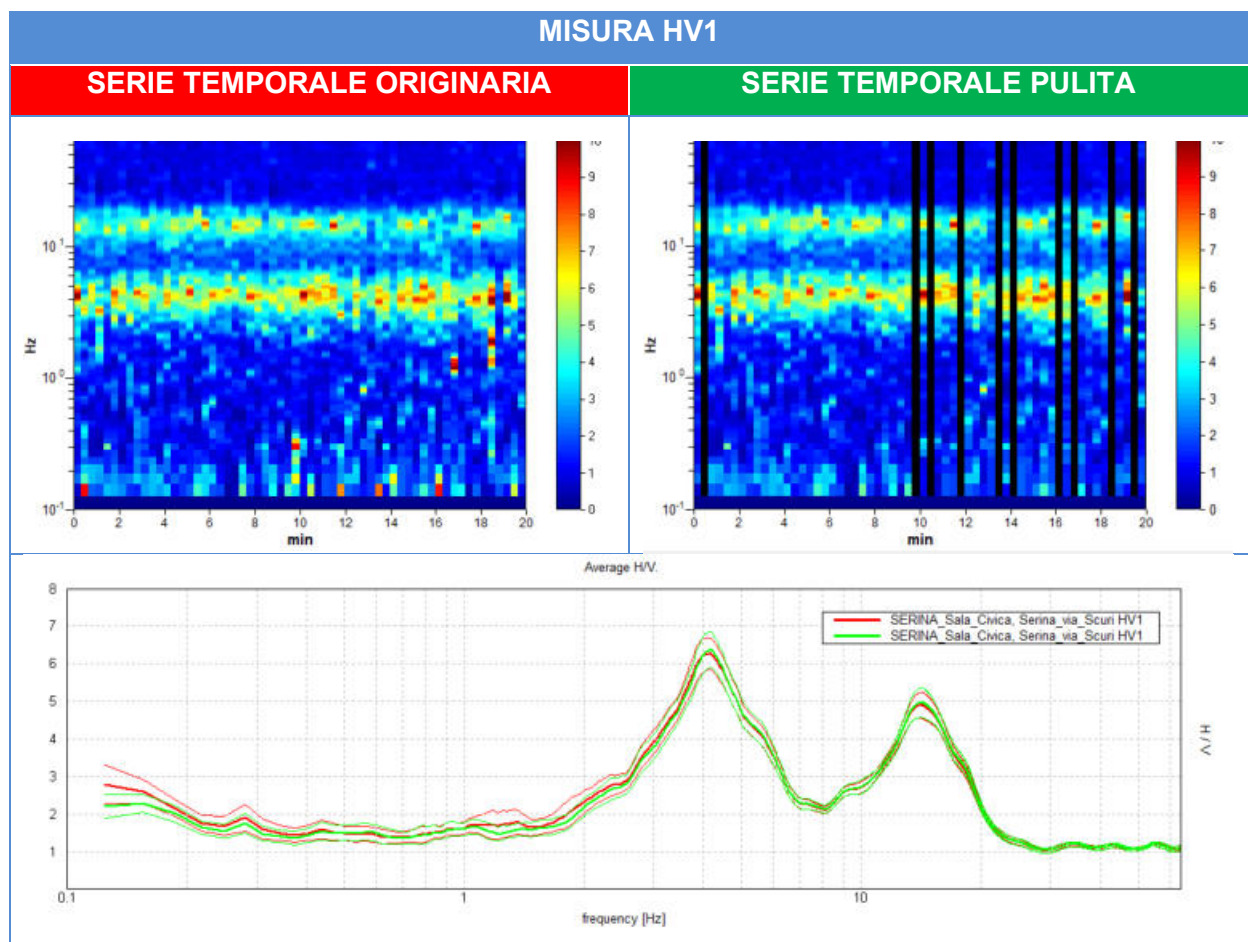
| HV1 | | | | | |
|--|---------------------------------|---------------------|--------------|-------------------|----------------|
| Strumento | Tromino BLU | Formato | 32 bit | Fondo scala | 89 mV |
| Analisi | | | | | |
| Posizione GPS | 009°43.8626 E | | 45°52.5145 N | | 837.6 m s.l.m. |
| Campionamento | | | | | |
| Inizio registrazione | Data | 31/08/2022 | | Ora | 10:32:47 |
| Fine registrazione | Data | 31/08/2022 | | Ora | 10:52:47 |
| Durata | 0h20'00". | | Frequenza | | 128 Hz |
| Nome canali | NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN | | | | |
|  | | | | | |
| Analisi | | | | | |
| Lunghezza finestre | | | | | 20 s |
| Lisciamento | 10% | Tipo di lisciamento | | Triangular window | |

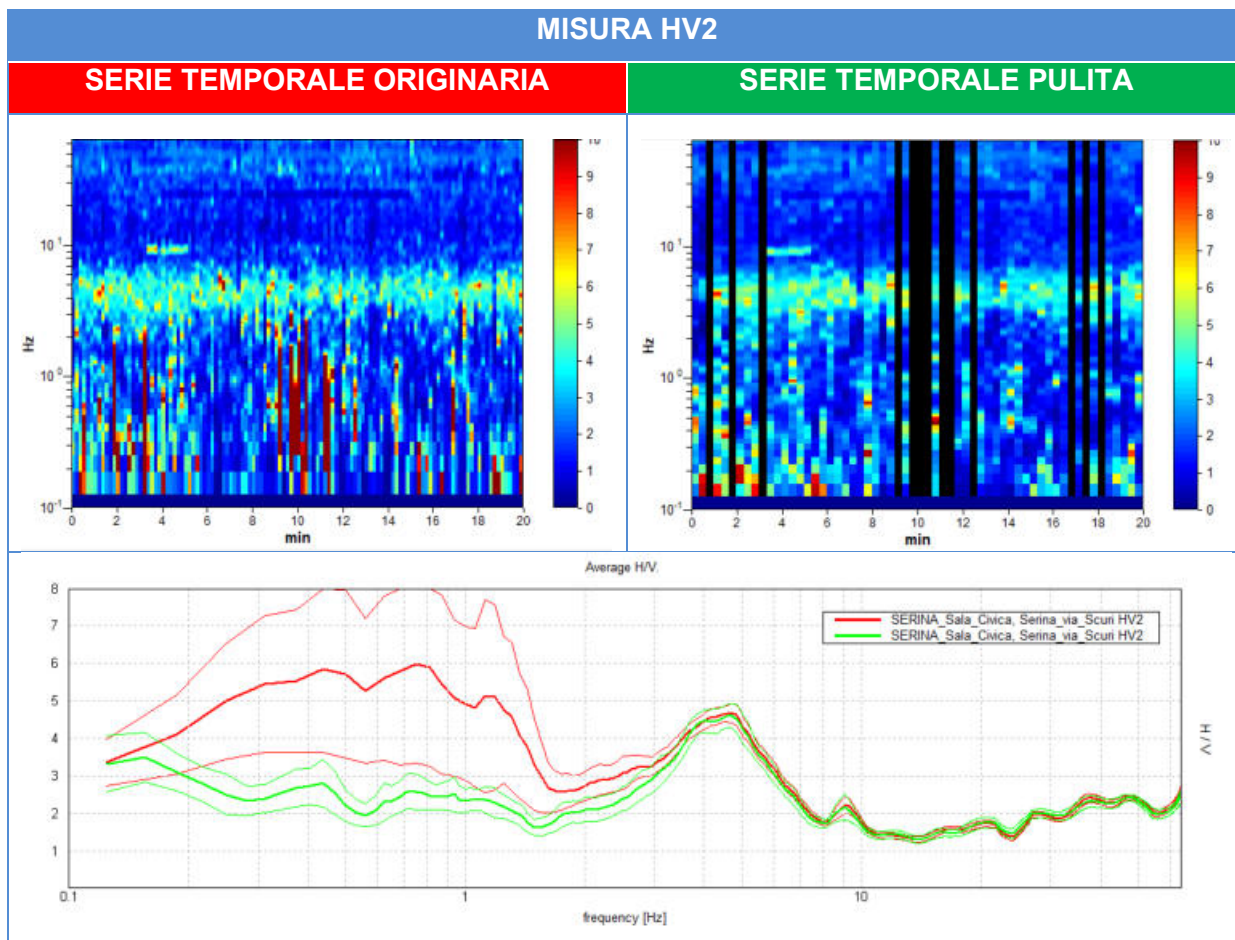
| HV2 | | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------|--------------|-------------------|----------------|
| Strumento | Tromino BLU | Formato | 32 bit | Fondo scala | 89 mV |
| Analisi | | | | | |
| Posizione GPS | 009°43.8768 E | | 45°52.5181 N | | 837.5 m s.l.m. |
| Campionamento | | | | | |
| Inizio registrazione | Data | 23/11/2021 | Ora | 10:58:01 | |
| Fine registrazione | Data | 23/11/2021 | Ora | 11:18:01 | |
| Durata | 0h10'00". | | Frequenza | 128 Hz | |
| Nome canali | NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN | | | | |
|  | | | | | |
| Analisi | | | | | |
| Lunghezza finestre | 20 s | | | | |
| Lisciamento | 10% | Tipo di lisciamento | | Triangular window | |

13.6.1.1. Pulizia della traccia

Il “rumore” incoerente nel dominio del tempo è dovuto essenzialmente a transienti ed a rumore stazionario quasi bianco. Mentre tali appaiono differenti nel dominio dei tempi, sono tra loro simili nel dominio delle frequenze, dove appaiono entrambi come spettri piatti.

Ne consegue che la pulizia delle tracce viene effettuata in modo più efficace nel dominio delle frequenze, escludendo gli intervalli di registrazione che posseggono degli spettri alterati e di disturbo





13.6.2. Indagine MASW**13.6.2.1. Dati caratteristici**

| MASW1 | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------|--------|-------------|-------|
| Strumento | Tromino BLU | Formato | 32 bit | Fondo scala | 89 mV |
| Campionamento | | | | | |
| Lunghezza stendimento | 33 m | Energizzazioni stazione | 3 | | |
| Passo | 3.00 m | Stazioni | 12 | | |
| Durata | 0h18'32". | Frequenza | 512 Hz | | |
| Nome canali | NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN, WT | | | | |
|  | | | | | |
| Analisi | | | | | |
| Componente analizzata | UP-DOWN (z) | | | | |
| Finestra di analisi dopo la battuta | 3 s | | | | |
| Stazioni considerate | n. 9/11 | | | | |

13.6.2.2. Tempi di arrivo e spettro caratteristico

Come riportato, per l'analisi sono stati considerati 3 secondi di tempo seguenti l'energizzazione sul posto.

Il seguente grafico mostra i sismogrammi di arrivo distinti per le 12 stazioni di energizzazione rispetto alla posizione del Tromino. Evidenziata in blu la finestra di analisi dello spettro Vs/f della MASW.

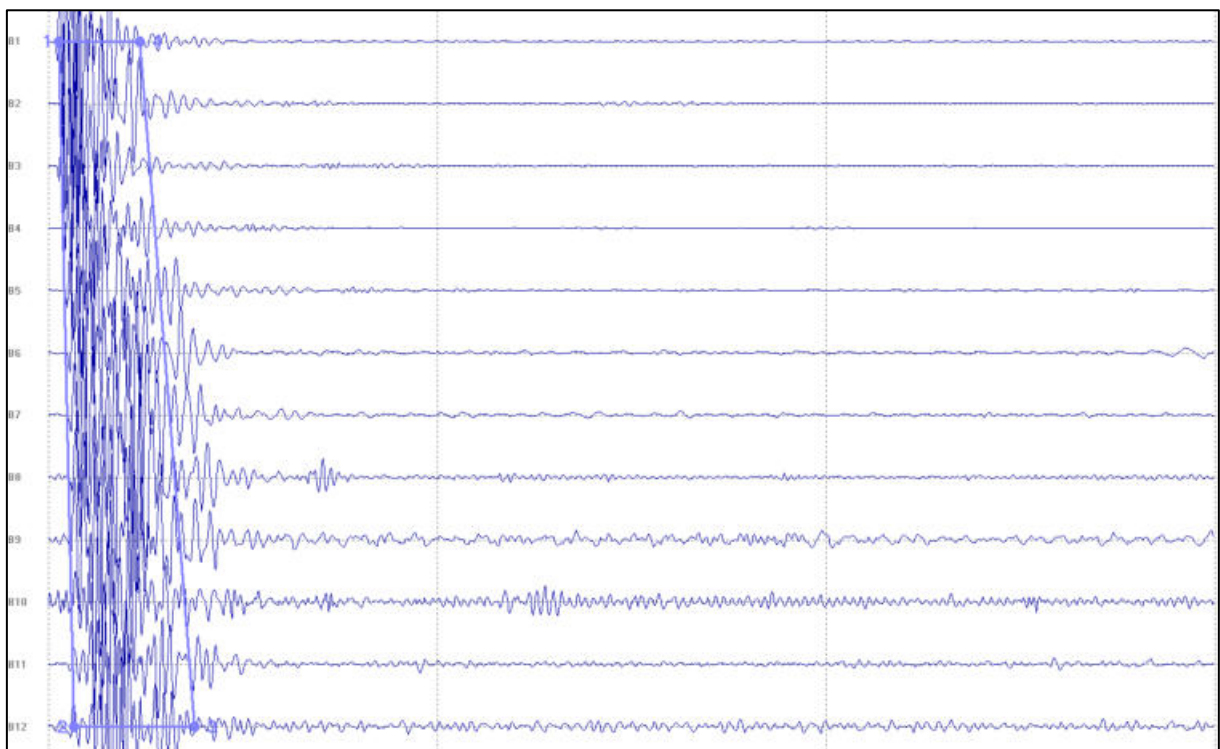


Figura 20 – Sismogramma delle 12 stazioni di misurazione e finestra di analisi

Nell'elaborazione, sono state escluse le stazioni B1 (per vicinanza con la stazione di misura) e B6 in quanto battuta su asfalto

13.6.3. Risultati ottenuti

13.6.3.1. MASW

In prima analisi viene fornito lo spettro di risposta $V_s - f$ per l'indagine MASW nel campo di frequenze che vanno da 20Hz a 64 Hz (campo ritenuto attendibile per l'analisi).

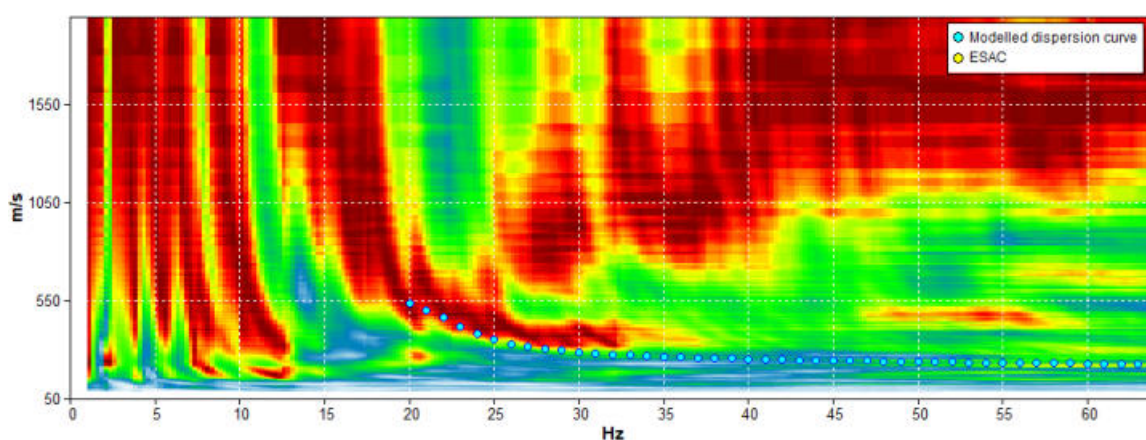


Figura 21 – Modelled Rayleigh Wave Phase velocity dispersion curve con interpretazione tra 20 Hz e 64 Hz (fino a 6.50 m circa)

Lo spettro è stato modellizzato con la seguente stratigrafia:

| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---------------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| 2.00 | 2.00 | 230 | 0.42 |
| 4.50 | 2.50 | 280 | 0.42 |
| 6.50 | 2.00 | 335 | 0.42 |



13.6.3.2. HV1

La prova HV1, eseguita in prossimità dell'indagine MASW, individua n. 2 picchi del rapporto H/V significativi dal punto di vista stratigrafico:

- Primo picco a 15 Hz con $H/V_r = 5$
- Secondo picco a 4.2 Hz con $H/V_r = 6.3$

Le prova è stata interpretata stratigraficamente sulla scorta delle prove penetrometriche PSP1, PSP2 e PSP3 eseguite, oltre che all'indagine MASW, le quali caratterizzano i primi 5 – 6 m in materiale sciolto a strati troppo fini per essere puntualmente individuati dalla prova, posti al di sopra del substrato roccioso.

L'interfaccia depositi/substrato è quindi stato posto come termine interpretativo del primi picco, valutandone la stratigrafia sismica interpretativa.

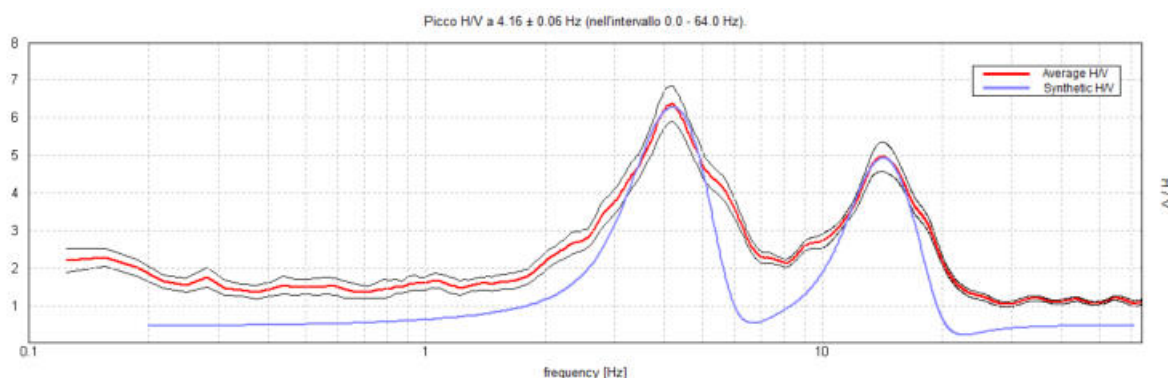


Figura 22 – H/V spectral ratio

Lo spettro è stato modellizzato con la seguente stratigrafia:

| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---------------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| 6.50 | 6.50 | 340 | 0.42 |
| 50.50 | 44.00 | 780 | 0.42 |
| Inf. | Inf. | 1690 | 0.42 |



13.6.3.3. Interpretazione combinata MASW1 – HV1

Le due prove HV1 e MASW1 possono essere combinate nella valutazione della stratigrafia sismica completa.

In particolare, mentre la MASW è molto utile per discretizzare ciò che avviene alle frequenze più elevate (e quindi a profondità minori) l'elaborazione HVSR consente di muoversi entro frequenze più basse, ovvero a profondità maggiori.

In particolare, l'indagine MASW è interpretabile fino a circa 6 – 8 m dal p.c., mentre da lì è più significativa la prova HVSR.

La combinazione delle due tecniche viene riportato all'interno dello spettro di risposta dell'indagine MASW, questa volta interpretato tra 0.1 e 64 Hz

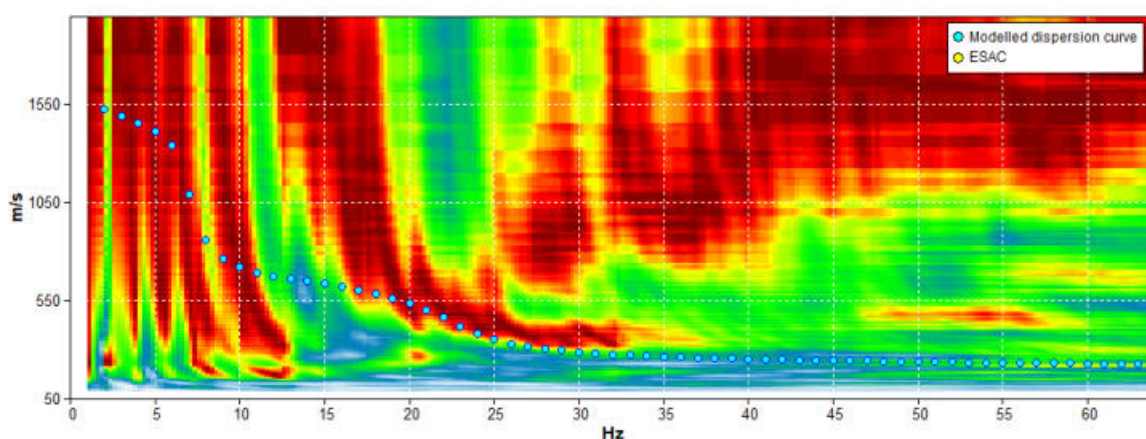


Figura 23 - Modelled Rayleigh Wave Phase velocity dispersion curve con interpretazione tra 0.1 Hz e 64 Hz

La stratigrafia sismica completa risulta, dunque, la seguente:

| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---------------------------------------|--------------|----------------|---------------------|
| 2.00 | 2.00 | 230 | 0.42 |
| 4.50 | 2.50 | 280 | 0.42 |
| 6.50 | 2.00 | 335 | 0.42 |
| 50.50 | 44.00 | 780 | 0.42 |
| Inf. | Inf. | 1690 | 0.42 |
| Vs,eq (0.00 – 30.00) | | 558 m/s | |

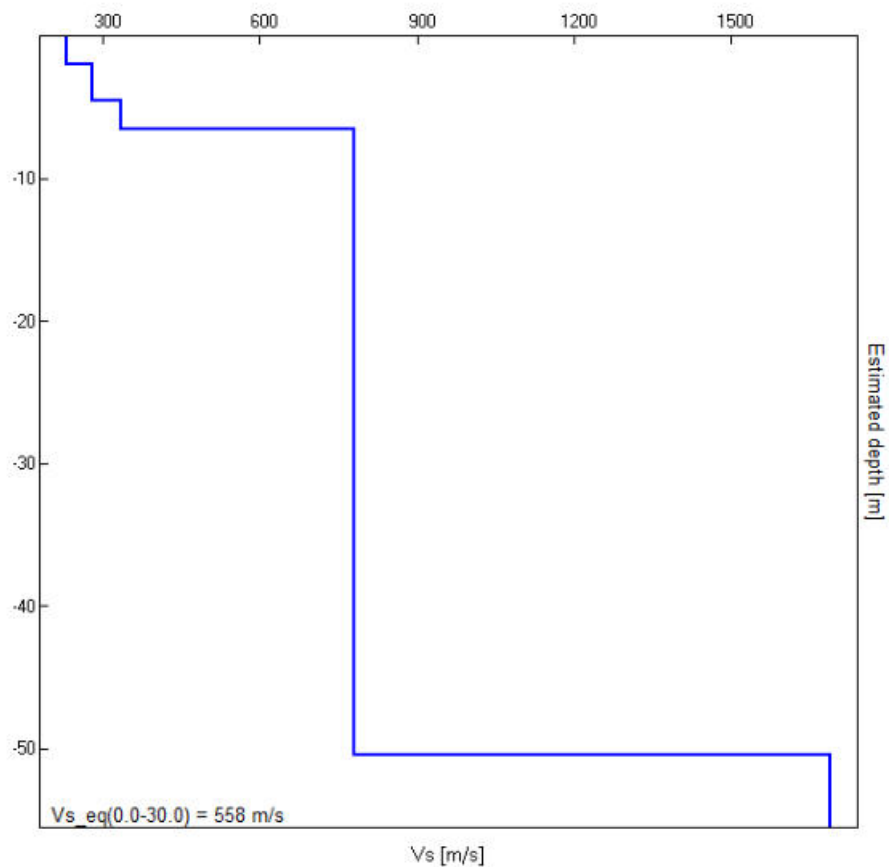


Figura 24 – Stratigrafia sismica interpretativa MASW1 + HV1



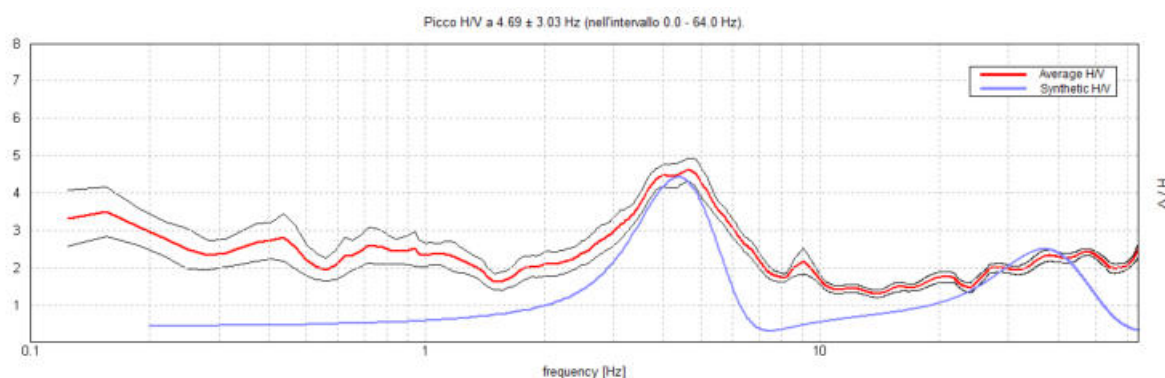
13.6.3.4. HV2

La prova HV2, eseguita nel retro dell'edificio, individua n. 2 picchi del rapporto H/V significativi dal punto di vista stratigrafico:

- Primo picco a 35 Hz con $H/V_r = 2.5$
- Secondo picco a 4.5 Hz con $H/V_r = 4.5$

Le prova è stata interpretata stratigraficamente sulla scorta dalla prova PSP4 eseguita, la quale, a differenza delle altre prove, vede uno spessore nettamente minore dei depositi posti al di sopra del substrato (a causa delle operazioni di sbancamento), ovvero a circa 2.50 – 3.00 m dal p.c., motivo per cui il primo picco si sposta a frequenza superiori

L'interfaccia depositi/substrato è quindi stato posto come termine del primi picco, valutandone la stratigrafia sismica interpretativa.



La stratigrafia sismica completa risulta, dunque, la seguente:

| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---------------------------------------|--------------|----------------|---------------------|
| 2.50 | 2.50 | 384 | 0.42 |
| 43.50 | 41.00 | 743 | 0.42 |
| Inf. | Inf. | 1547 | 0.42 |
| Vs,eq (0.00 – 30.00) | | 689 m/s | |



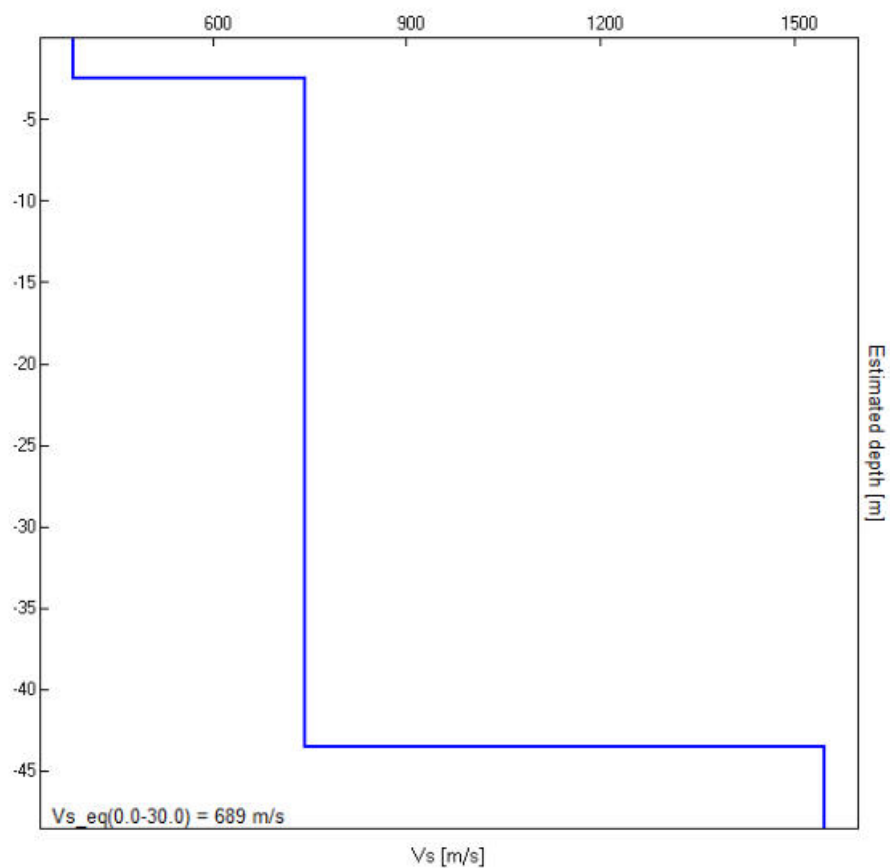



Figura 25 – Stratigrafia interpretativa HV2

Seguono ora le indagini eseguite ex novo per la presente Componente Geologica.

13.7. Nuove indagini 2023

13.7.1. Dati Caratteristici

| SITO 2 – PARCO DEGLI ALPINI | | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-------|
| Strumento | Tromino BLU | Formato | 32 bit | Fondo scala | 89 mV |
| Analisi | | | | | |
| Posizione GPS | 009°43.9093 E | 45°52.2449 N | | 826.6 m s.l.m. | |
| Campionamento | | | | | |
| Inizio registrazione | Data | 12/01/2023 | Ora | 10:23:09 | |
| Fine registrazione | Data | 12/01/2023 | Ora | 10:43:09 | |
| Durata | 0h20'00". | | Frequenza | 128 Hz | |
| Nome canali | NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN | | | | |
|  | | | | | |
| Analisi | | | | | |
| Lunghezza finestre | 10 s | | | | |
| Lisciamento | 10% | Tipo di lisciamento | | Triangular window | |



| SITO 3 – CAMPO SPORTIVO DI LEPRENO | | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-------|
| Strumento | Tromino BLU | Formato | 32 bit | Fondo scala | 89 mV |
| Analisi | | | | | |
| Posizione GPS | 009°43.3341 E | 45°51.4753 N | | 841.9 m s.l.m. | |
| Campionamento | | | | | |
| Inizio registrazione | Data | 12/01/2023 | Ora | 9:43:02 | |
| Fine registrazione | Data | 12/01/2023 | Ora | 10:03:02 | |
| Durata | 0h20'00". | | Frequenza | 128 Hz | |
| Nome canali | NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN | | | | |
|  | | | | | |
| Analisi | | | | | |
| Lunghezza finestre | 10 s | | | | |
| Lisciamento | 10% | Tipo di lisciamento | | Triangular window | |



| SITO 4 – PARCO PUBBLICO DI GRUMELLO | | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-------|
| Strumento | Tromino BLU | Formato | 32 bit | Fondo scala | 89 mV |
| Analisi | | | | | |
| Posizione GPS | 009°44.0914 E | 45°51.2520 N | | 739.5 m s.l.m. | |
| Campionamento | | | | | |
| Inizio registrazione | Data | 12/01/2023 | Ora | 8:27:17 | |
| Fine registrazione | Data | 12/01/2023 | Ora | 8:47:17 | |
| Durata | 0h20'00". | | Frequenza | 128 Hz | |
| Nome canali | NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN | | | | |
|  | | | | | |
| Analisi | | | | | |
| Lunghezza finestre | | | | | 10 s |
| Lisciamento | 10% | Tipo di lisciamento | | Triangular window | |

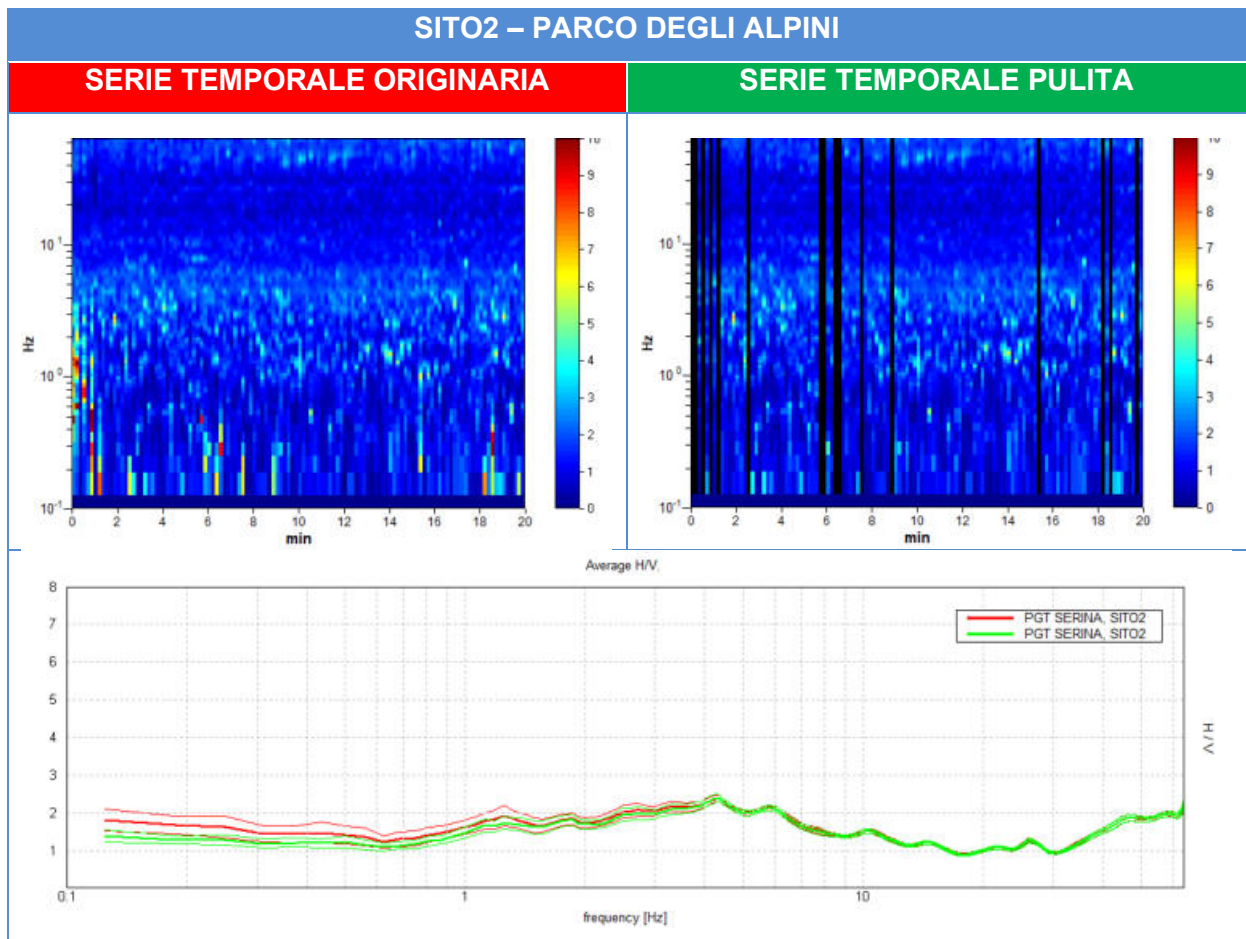
| SITO 5 – CAMPO SPORTIVO VIA TIRABOSCHI | | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-------|
| Strumento | Tromino BLU | Formato | 32 bit | Fondo scala | 89 mV |
| Analisi | | | | | |
| Posizione GPS | 009°43.6972 E | 45°51.9169 N | | 739.5 m s.l.m. | |
| Campionamento | | | | | |
| Inizio registrazione | Data | 12/01/2023 | Ora | 9:02:43 | |
| Fine registrazione | Data | 12/01/2023 | Ora | 9:22:43 | |
| Durata | 0h20'00". | | Frequenza | 128 Hz | |
| Nome canali | NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN | | | | |
|  | | | | | |
| Analisi | | | | | |
| Lunghezza finestre | | | | | 10 s |
| Lisciamento | 10% | Tipo di lisciamento | | Triangular window | |

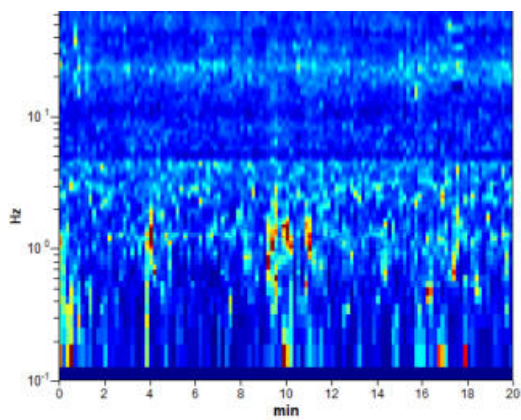
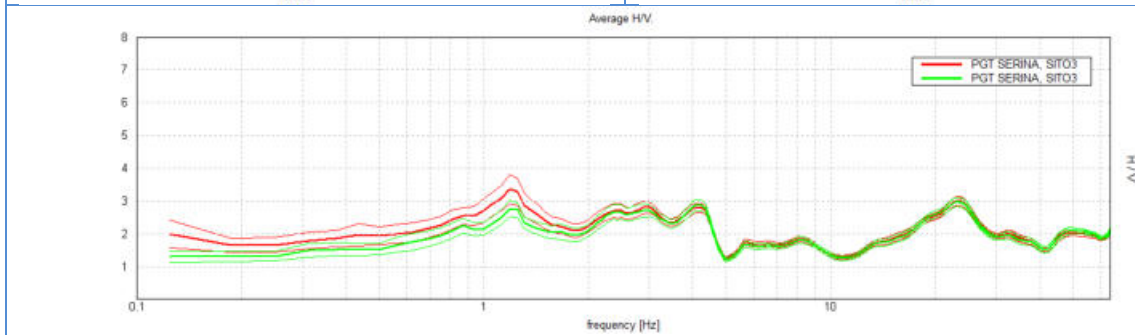
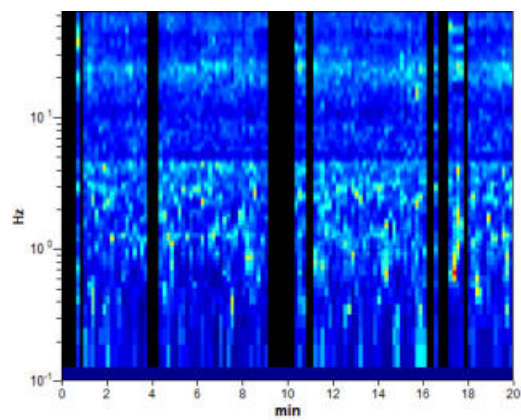
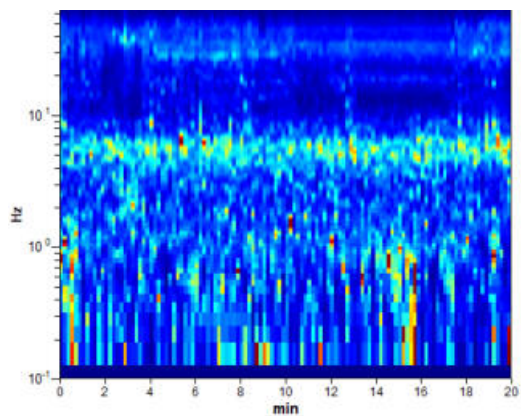
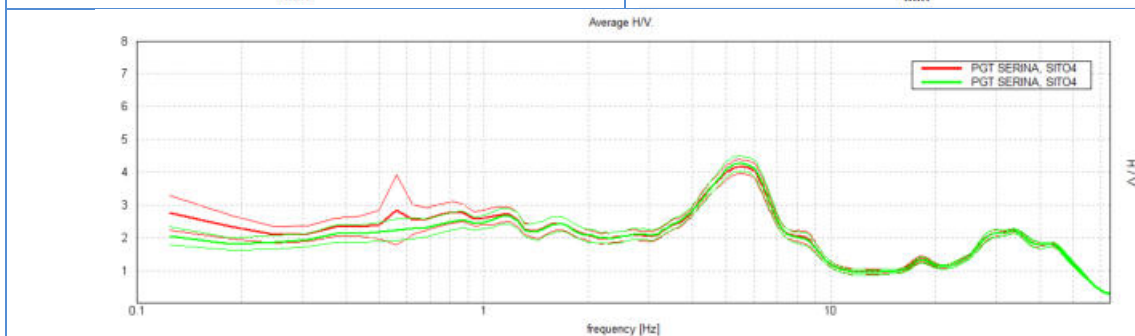
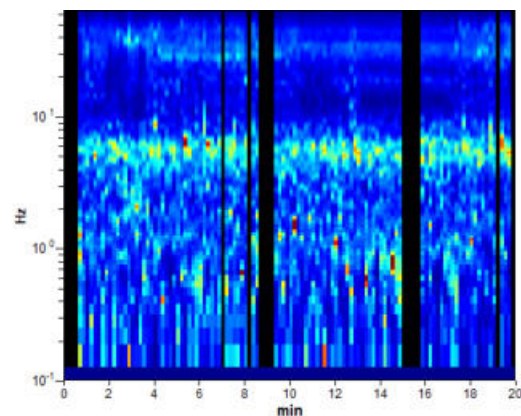
| SITO 6 – PARCO PUBBLICO DI LEPRENO | | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------|-----------|-------------------|-------|
| Strumento | Tromino BLU | Formato | 32 bit | Fondo scala | 89 mV |
| Analisi | | | | | |
| Posizione GPS | 009°44.4868 E | 45°53.0449 N | | 1021.2 m s.l.m. | |
| Campionamento | | | | | |
| Inizio registrazione | Data | 12/01/2023 | Ora | 11:01:20 | |
| Fine registrazione | Data | 12/01/2023 | Ora | 11:21:20 | |
| Durata | 0h20'00". | | Frequenza | 128 Hz | |
| Nome canali | NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN | | | | |
|  | | | | | |
| Analisi | | | | | |
| Lunghezza finestre | | | | | 10 s |
| Lisciamento | 10% | Tipo di lisciamento | | Triangular window | |

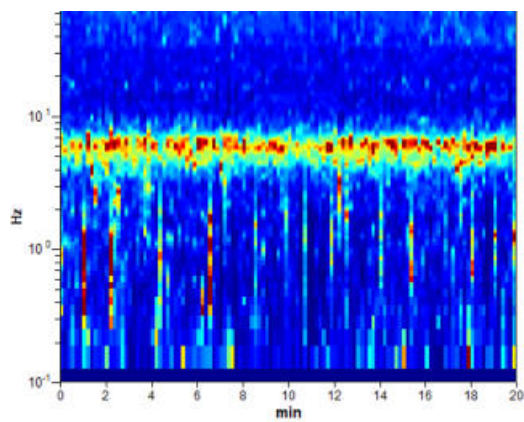
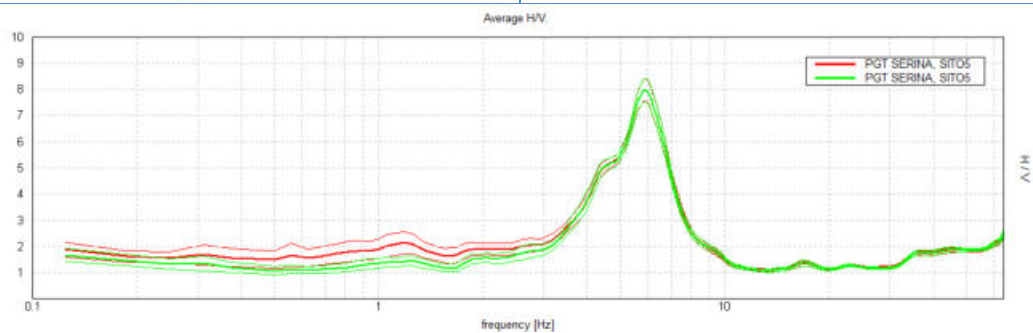
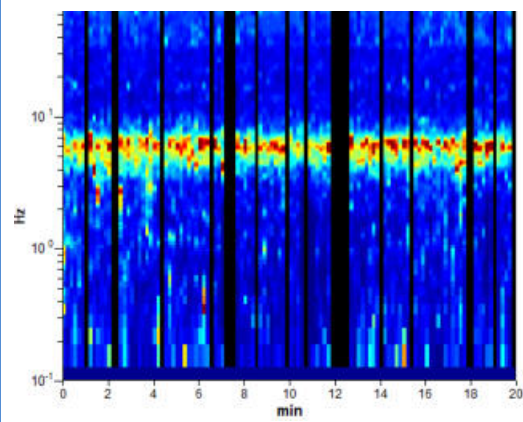
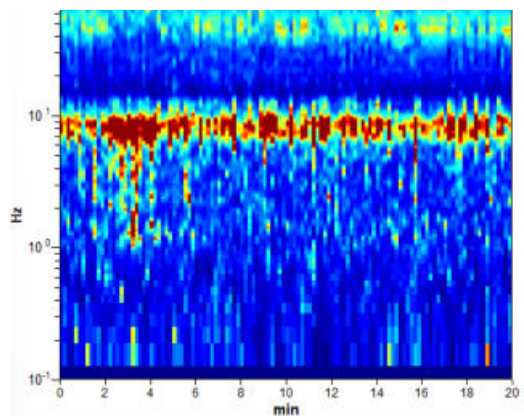
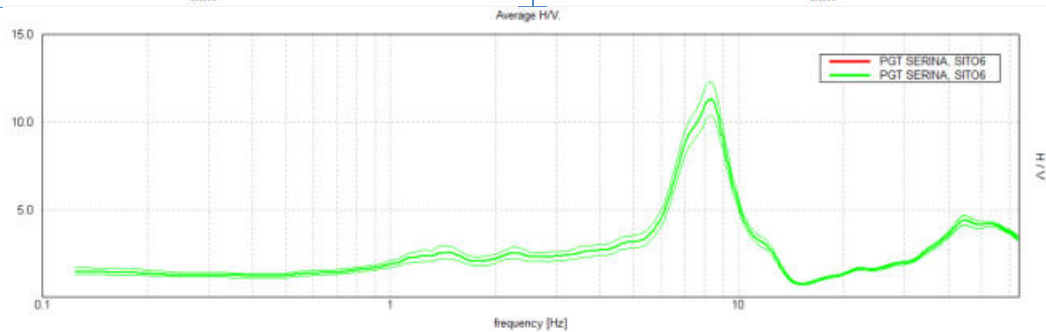
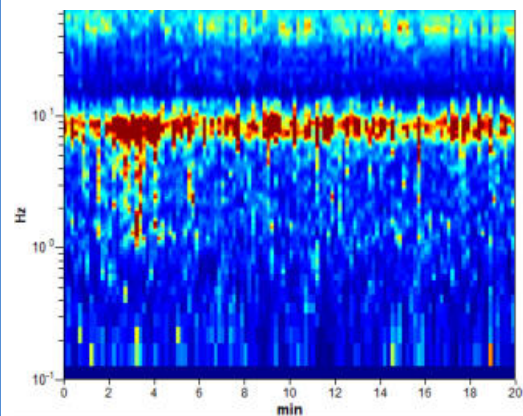
13.7.2. Pulizia della traccia

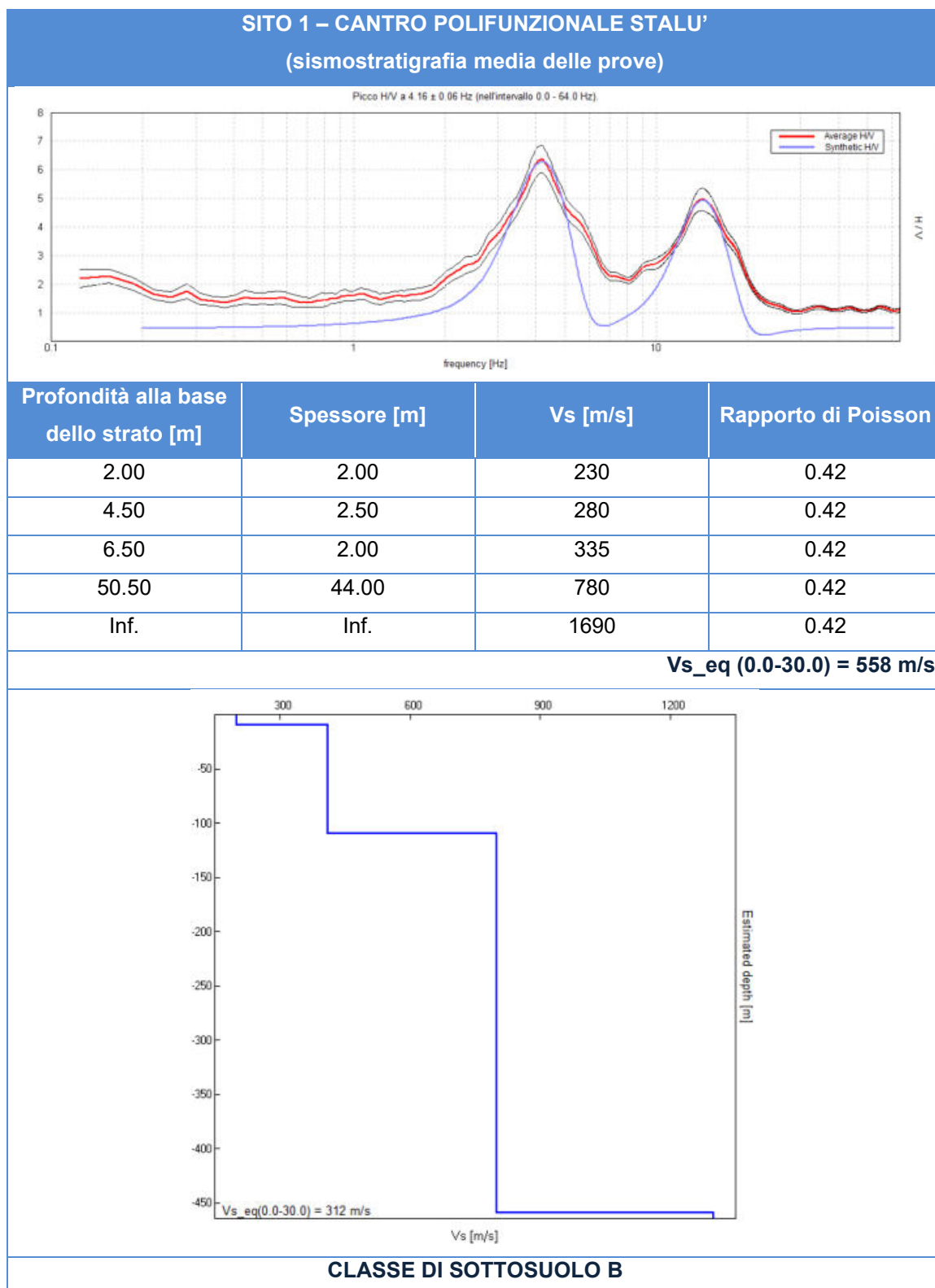
Il “rumore” incoerente nel dominio del tempo è dovuto essenzialmente a transienti ed a rumore stazionario quasi bianco. Mentre tali appaiono differenti nel dominio dei tempi, sono tra loro simili nel dominio delle frequenze, dove appaiono entrambi come spettri piatti.

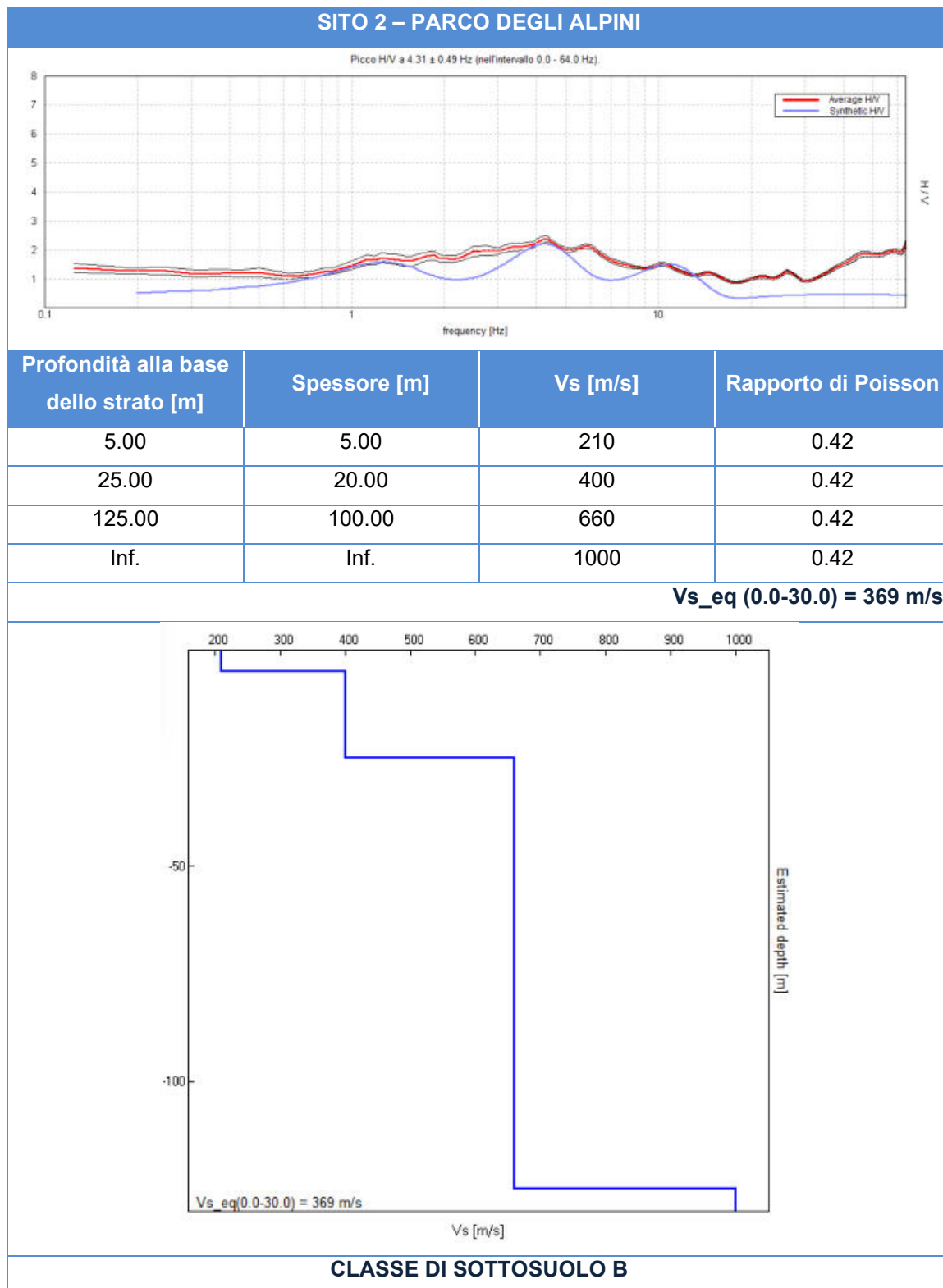
Ne consegue che la pulizia delle tracce viene effettuata in modo più efficace nel dominio delle frequenze, escludendo gli intervalli di registrazione che posseggono degli spettri alterati e di disturbo

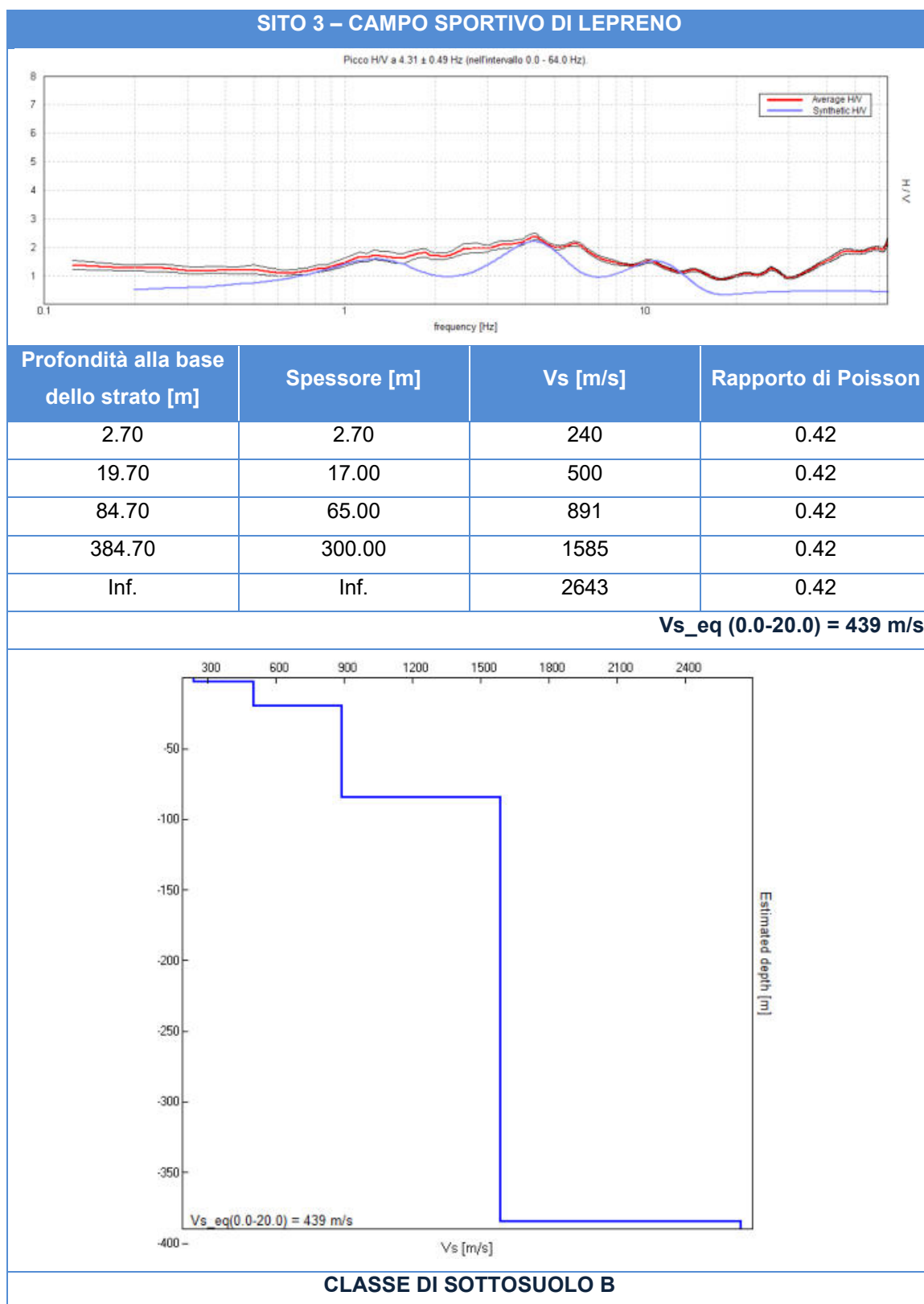


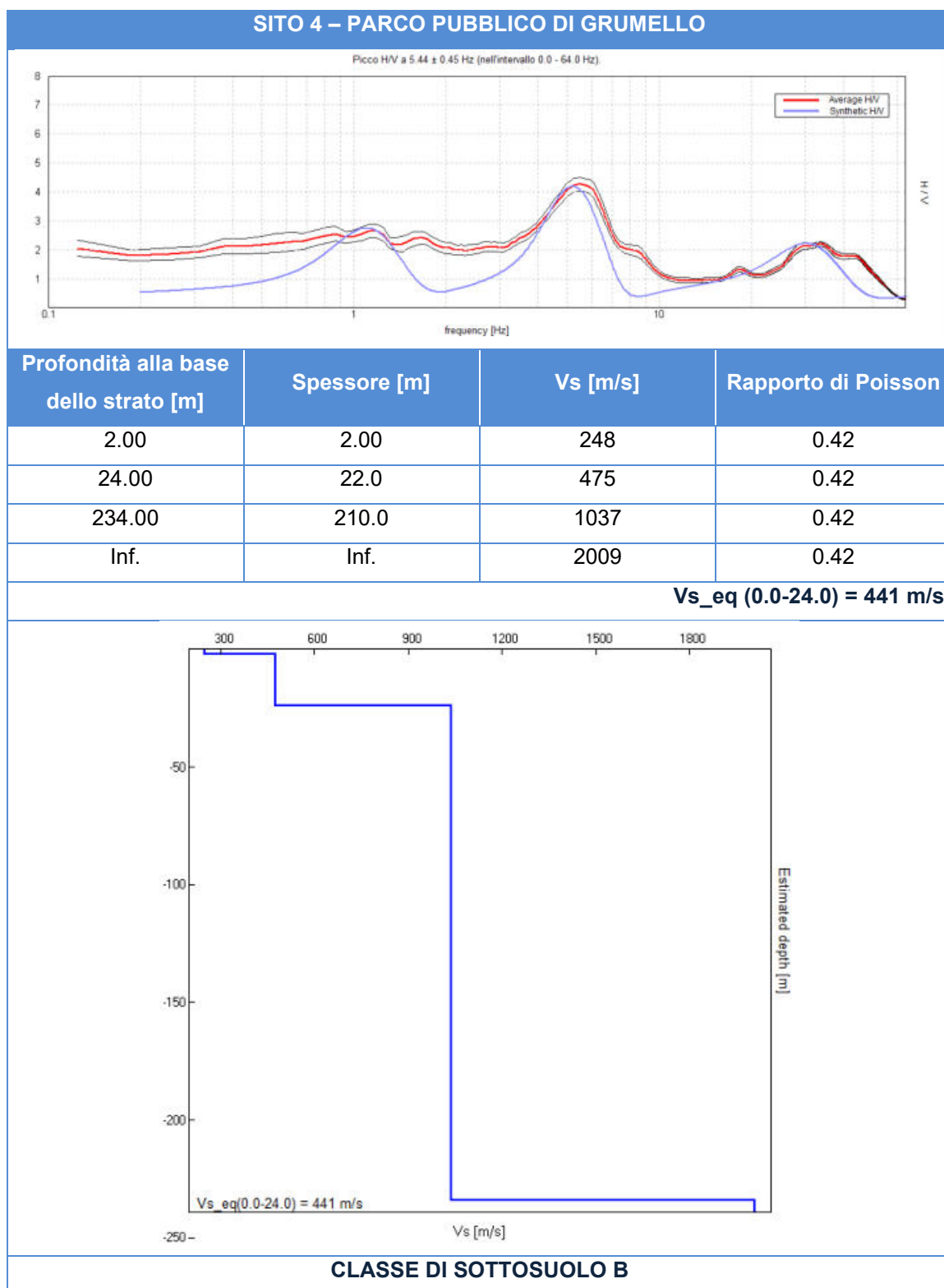
SITO3 – CAMPO SPORTIVO DI LEPRENO**SERIE TEMPORALE ORIGINARIA****SERIE TEMPORALE PULITA****SITO4 – PARCO PUBBLICO DI GRUMELLO****SERIE TEMPORALE ORIGINARIA****SERIE TEMPORALE PULITA**

SITO5 – CAMPO SPORTIVO DI VIA TIRABOSCHI**SERIE TEMPORALE ORIGINARIA****SERIE TEMPORALE PULITA****SITO6 – PARCO PUBBLICO DI VALPIANA****SERIE TEMPORALE ORIGINARIA****SERIE TEMPORALE PULITA**

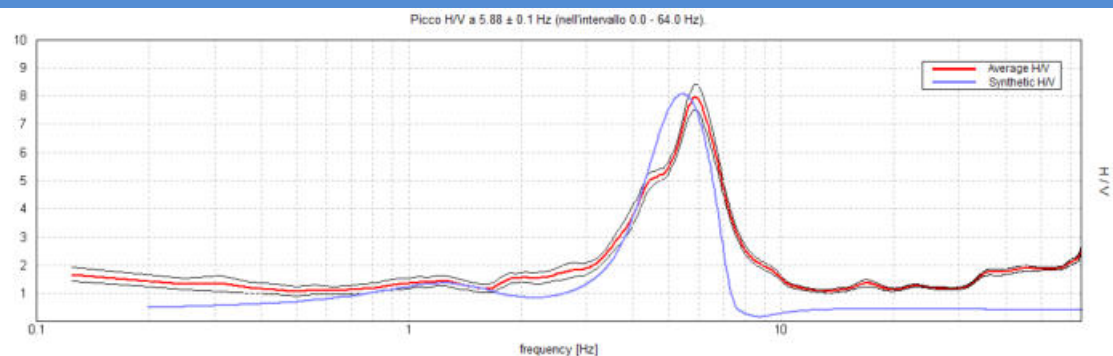
13.8. Risultati ottenuti





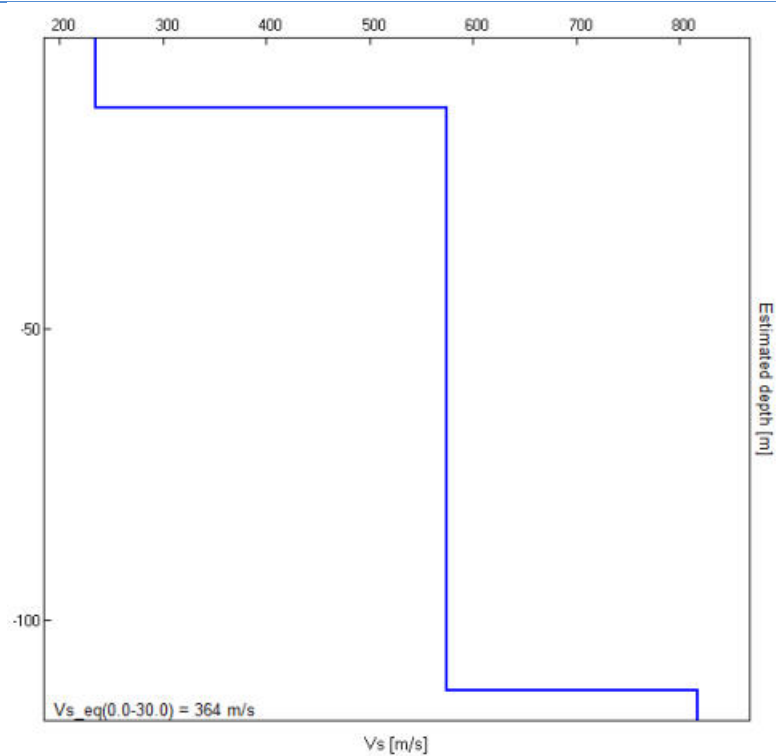


SITO 5 – CAMPO SPORTIVO VIA TIRABOSCHI



| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---------------------------------------|--------------|----------|---------------------|
| 12.00 | 12.00 | 235 | 0.42 |
| 112.00 | 100.00 | 575 | 0.42 |
| Inf. | Inf. | 817 | 0.42 |

Vs_eq (0.0-30.0) = 364 m/s

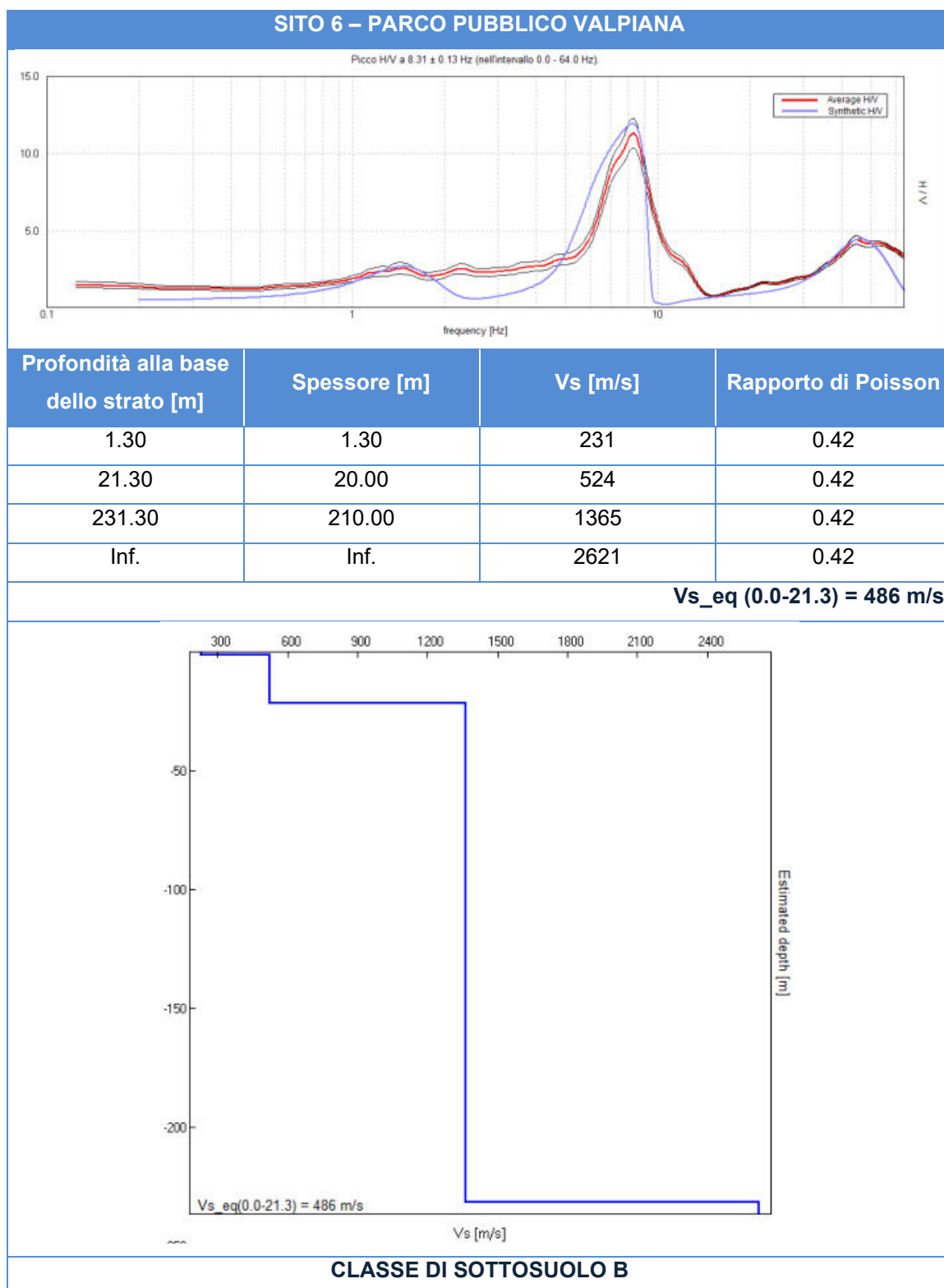


CLASSE DI SOTTOSUOLO B



STUDIO GEA

Via La Patta, 30/D - 24020 Ranica (BG)
Tel e Fax 035.340112 - e-mail: gea@mediacom.it

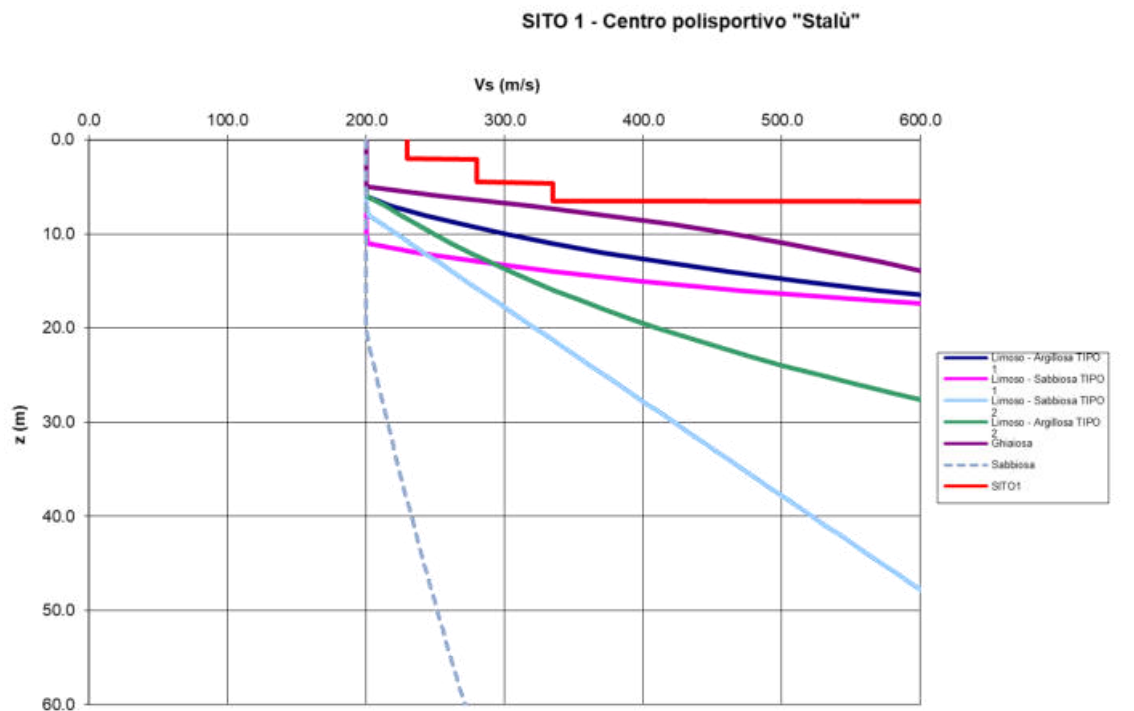


13.9. Scelta della scheda tipo per l'analisi di II livello e calcolo T di riferimento

La valutazione della scheda-tipo tra le 7 proposte dall'allegato 5 della d.g.r. 2616/2011 viene effettuata sulla base del confronto tra il profilo sismo-stratigrafico dello specifico sito e la curva Vs/H che definisce il campo di validità della scheda.

13.9.1. SITO1 – Centro polifunzionale “Stalù”

Rispetto alla stratigrafia sismica caratterizzata da $V_s < 800$ m/s, viene calcolato il valore di $T = 0.28$ s. Dal confronto che le schede specifiche, la curva stratigrafica è compatibile con la scheda “Limoso – argillosa di tipo 1” per il tratto di cui $V_s < 600$ m/s come da grafico riportato di seguito.

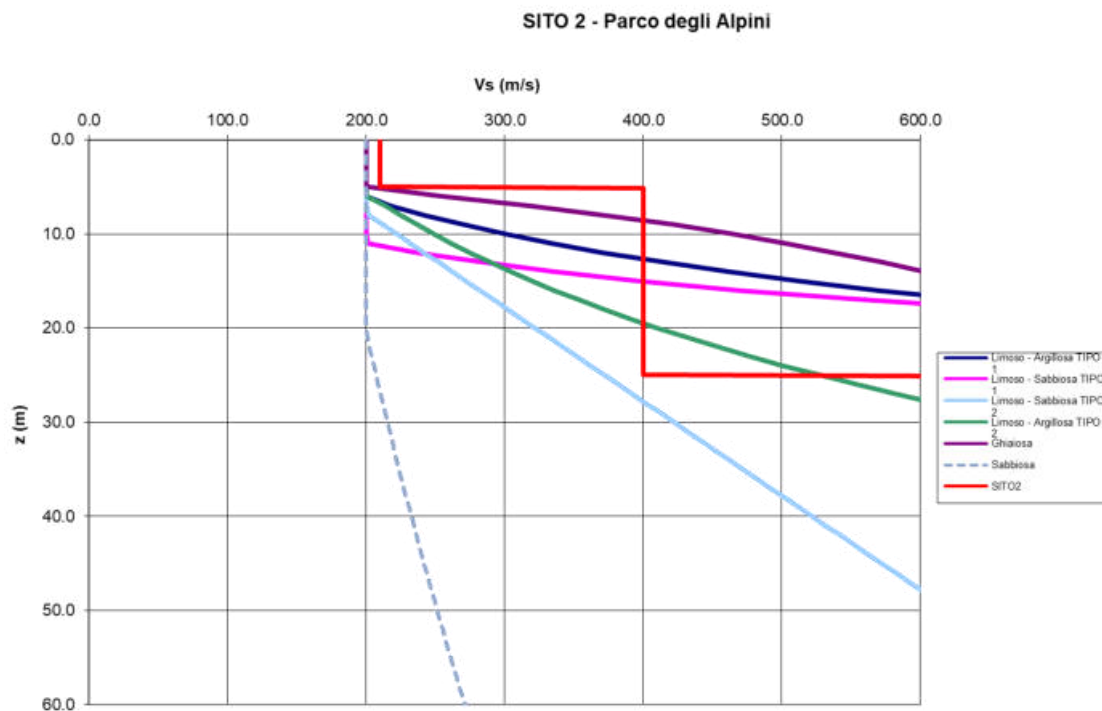


| V_s | h_i | $V_{si} \cdot h_i$ | h_i / V_{si} | T | 0.28 |
|--------------|-------|------------------------------|-------------------------|-----|------|
| 230 | 2.0 | 460 | 0.008695652 | | |
| 280 | 2.5 | 700 | 0.008928571 | | |
| 335 | 2.0 | 670 | 0.005970149 | | |
| 780 | 44.0 | 34320 | 0.056410256 | | |
| Σh_i | | $\Sigma (V_{si} \times h_i)$ | $\Sigma (h_i / V_{si})$ | | |
| 50.5 | | 36150 | 0.080004629 | | |



13.9.2. SITO2 – Parco degli Alpini

Rispetto alla stratigrafia sismica caratterizzata da $V_s < 800$ m/s, viene calcolato il valore di $T = 0.83s$. Dal confronto con le schede specifiche, la curva stratigrafica è compatibile con la scheda "Limoso – sabbiosa di tipo 2" per il tratto di cui $V_s < 600$ m/s come da grafico riportato di seguito.



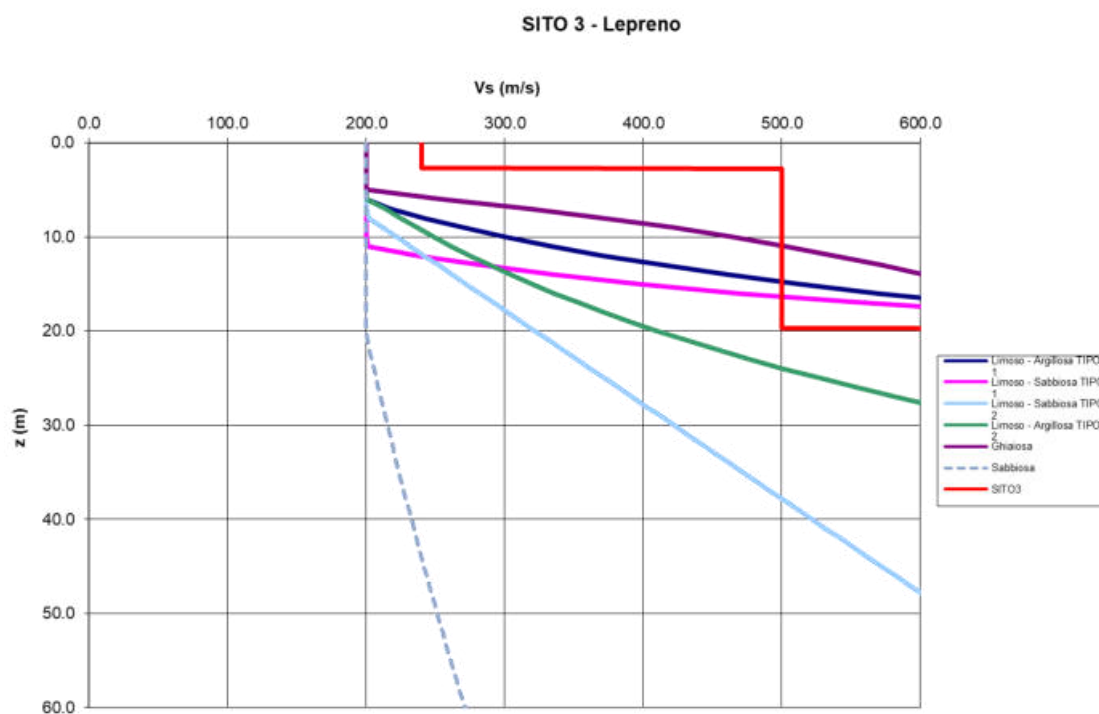
| Vs | hi | Vsi*hi | hi/Vsi | T | 0.83 |
|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|-------------|
| 210 | 5.0 | 1050 | 0.023809524 | | |
| 400 | 20.0 | 8000 | 0.05 | | |
| 660 | 100.0 | 66000 | 0.151515152 | | |

| Σhi | $\Sigma (Vsi \times hi)$ | $\Sigma (hi/Vsi)$ |
|--------------|--------------------------|--------------------|
| 125.0 | 75050 | 0.225324675 |



13.9.3. SITO3 – Campo sportivo di Lepreno

Rispetto alla stratigrafia sismica caratterizzata da $V_s < 800$ m/s, viene calcolato il valore di $T = 0.17$ s. Dal confronto con le schede specifiche, la curva stratigrafica è compatibile con la scheda "Limoso – argillosa di tipo 2" per il tratto di cui $V_s < 600$ m/s come da grafico riportato di seguito.



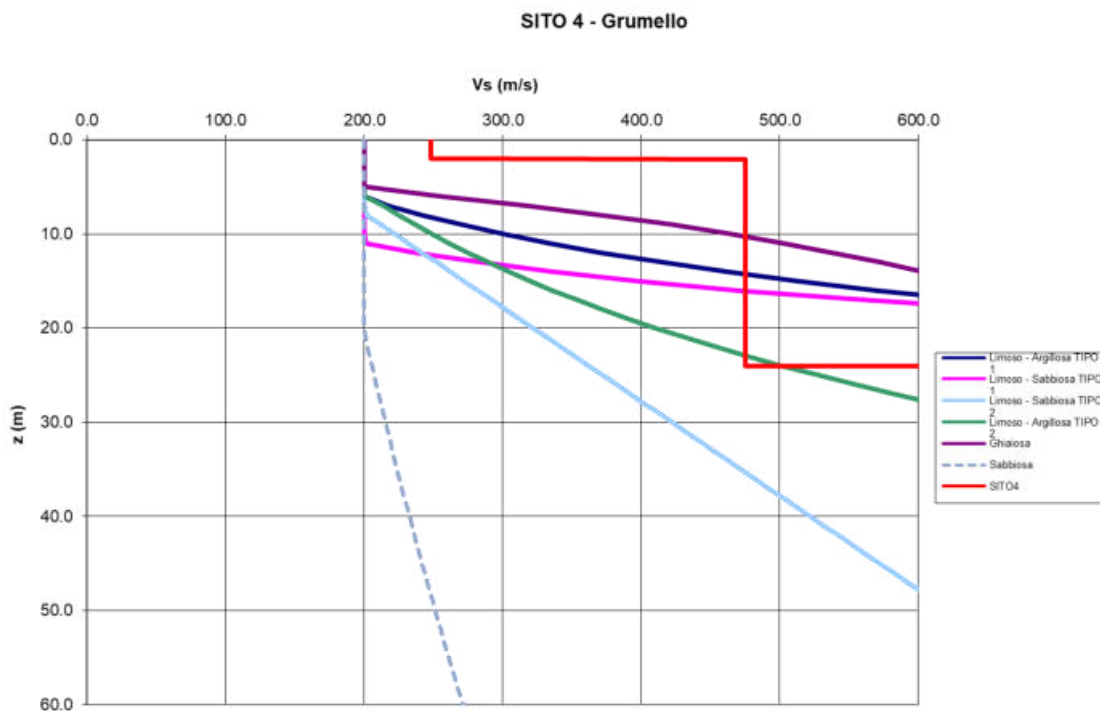
| Vs | hi | Vsi*hi | hi/Vsi | T | 0.17 |
|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|-------------|
| 240 | 2.7 | 648 | 0.01125 | | |
| 500 | 17.0 | 8500 | 0.034 | | |

| Σhi | $\Sigma (Vsi \times hi)$ | $\Sigma (hi/Vsi)$ |
|-------------|--------------------------|-------------------|
| 19.7 | 9148 | 0.04525 |



13.9.4. SITO4 – Parco pubblico di Grumello

Rispetto alla stratigrafia sismica caratterizzata da $V_s < 800$ m/s, viene calcolato il valore di $T = 0.21s$. Dal confronto con le schede specifiche, la curva stratigrafica è compatibile con la scheda "Limoso – argillosa di tipo 2" per il tratto di cui $V_s < 600$ m/s come da grafico riportato di seguito.



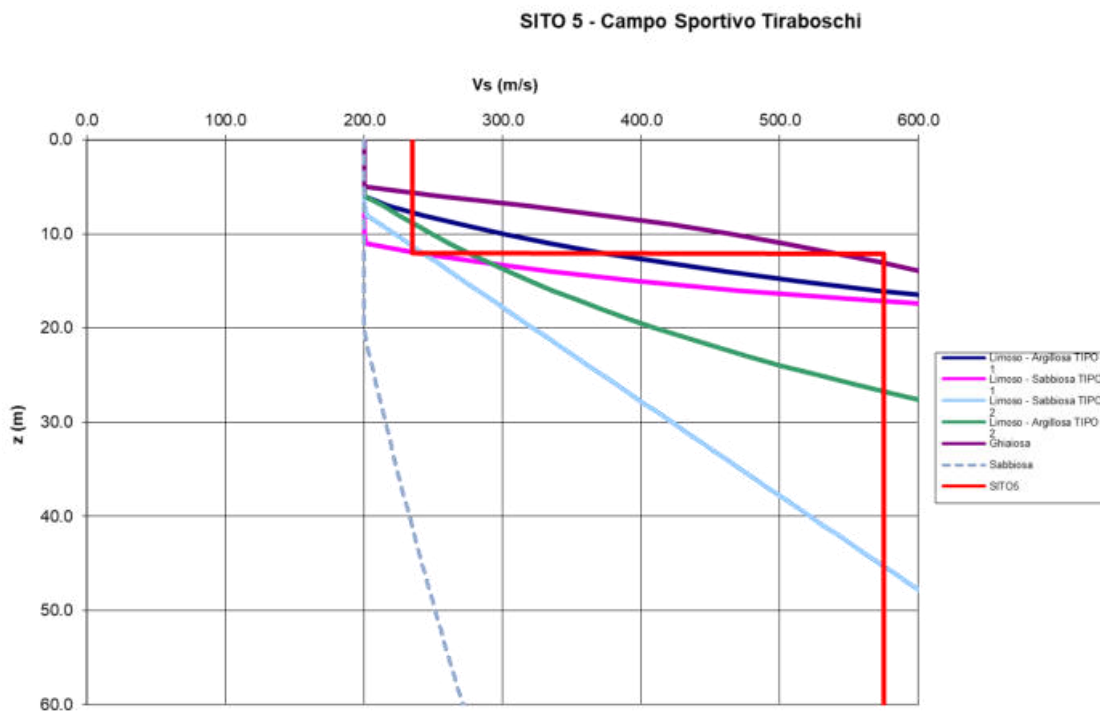
| Vs | hi | Vsi*hi | hi/Vsi | T | 0.21 |
|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|-------------|
| 248 | 2.0 | 496 | 0.008064516 | | |
| 475 | 22.0 | 10450 | 0.046315789 | | |

| Σhi | $\Sigma (Vsi \times hi)$ | $\Sigma (hi/Vsi)$ |
|-------------|--------------------------|--------------------|
| 24.0 | 10946 | 0.054380306 |



13.9.5. SITO5 – Campo sportivo via Tiraboschi

Rispetto alla stratigrafia sismica caratterizzata da $V_s < 800$ m/s, viene calcolato il valore di $T = 0.83s$. Dal confronto con le schede specifiche, la curva stratigrafica è compatibile con la scheda "Sabbiosa" per il tratto di cui $V_s < 600$ m/s come da grafico riportato di seguito.



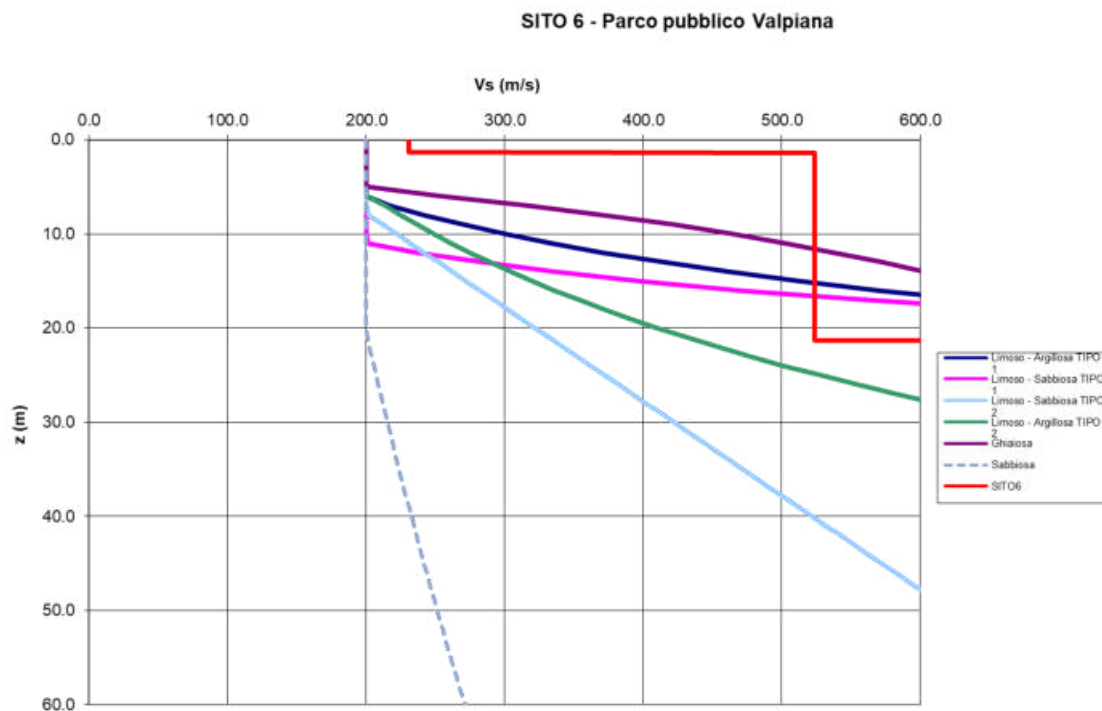
| Vs | hi | Vsi*hi | hi/Vsi | T | 0.83 |
|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|-------------|
| 235 | 12.0 | 2820 | 0.05106383 | | |
| 575 | 100.0 | 57500 | 0.173913043 | | |

| Σhi | $\Sigma (Vsi \times hi)$ | $\Sigma (hi/Vsi)$ |
|--------------|--------------------------|--------------------|
| 112.0 | 60320 | 0.224976873 |



13.9.6. SITO6 – Parco pubblico Valpiana

Rispetto alla stratigrafia sismica caratterizzata da $V_s < 800$ m/s, viene calcolato il valore di $T = 0.17$ s. Dal confronto con le schede specifiche, la curva stratigrafica è compatibile con la scheda "Limoso – argillosa tipo 2" per il tratto di cui $V_s < 600$ m/s come da grafico riportato di seguito.



| Vs | hi | Vsi*hi | hi/Vsi | T | 0.17 |
|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|-------------|
| 231 | 1.3 | 300.3 | 0.005627706 | | |
| 524 | 20.0 | 10480 | 0.038167939 | | |

| Σhi | $\Sigma (Vsi \times hi)$ | $\Sigma (hi/Vsi)$ |
|-------------|--------------------------|--------------------|
| 21.3 | 10780.3 | 0.043795645 |



13.10. Calcolo FAC di sito e confronto con i valori di FAS

Vengono ora calcolati i valori di FAC in riferimento alle schede individuate per ogni indagine, facendo riferimento alle curve FA/T scelte in funzione del valore di V_{seq} al primo strato.

13.10.1. SITO1 – Centro polifunzionale “Stalù”

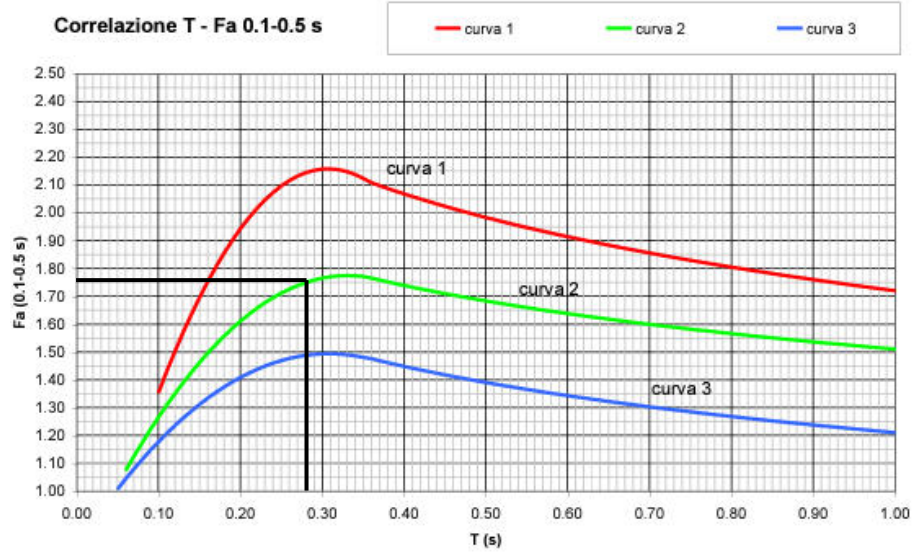
| | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| SCHEDA TIPO | <u>Limoso – argillosa di tipo 1</u> |
| PERIODO DI RIFERIMENTO | <u>0.28 s</u> |

| | |
|---------------------|--|
| PRIMO STRATO | <u>$V_{s,4.0m} = 255 \text{ m/s}$</u> |
|---------------------|--|

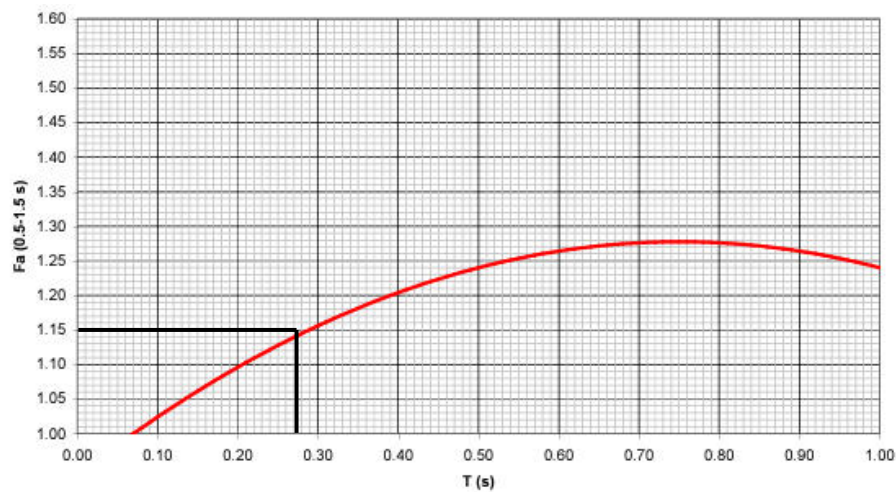
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| | | Profondità primo strato (m) | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| Velocità primo strato (m/s) | 200 | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| | 250 | | | | 2 | 2 | 1 | | | | | | | | |
| | 300 | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | |
| | 350 | | | | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | |
| | 400 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | |
| | 450 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | |
| | 500 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | |
| | 600 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| | 700 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

Viene scelta la CURVA 2 per il periodo di riferimento 0.1 – 0.5 s, mentre per il periodo 0.5 – 1.5 s la curva è UNICA





| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico |
|-------|--|---|
| 1 | $0.08 < T \leq 0.35$ $Fa_{0.1-0.5} = -18.7T^2 + 11.5T + 0.39$ | $0.35 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.72 - 0.38LnT$ |
| 2 | $0.06 < T \leq 0.35$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$ | $0.35 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$ |
| 3 | $0.05 < T \leq 0.35$ $Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$ | $0.35 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$ |



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.6T^2 + 0.9T + 0.94$$



In sintesi, il calcolo dei valori di FAC in confronto ai valori di FAS è il seguente:

| Periodo | FAC | FAS | | |
|-----------|-------------|------------|-----|-----|
| | | B | C | D |
| 0.1 – 0.5 | 1.75 | 1.4 | 1.9 | 2.2 |
| 0.5 – 1.5 | 1.15 | 1.7 | 2.4 | 4.2 |

La classe di sottosuolo iniziale per le prove era la B, tuttavia, è subito osservabile come per il periodo di riferimento 0.1-0.5 s tale non sia sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica locale, per cui è necessario considerare la classe di sottosuolo superiore, ovvero la C, per cui risulta $FAC = 1.75 < FAS = 1.9$.

In alternativa, si dovrà procedere, in fase di progettazione di eventuali interventi, alla verifica di III livello.



13.10.2. SITO2 – Parco degli Alpini

| | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| SCHEMA TIPO | <u>Limoso – sabbiosa di tipo 2</u> |
| PERIODO DI RIFERIMENTO | <u>0.83 s</u> |

| | |
|---------------------|--|
| PRIMO STRATO | <u>$V_{s,5.0m} = 210 \text{ m/s}$</u> |
|---------------------|--|

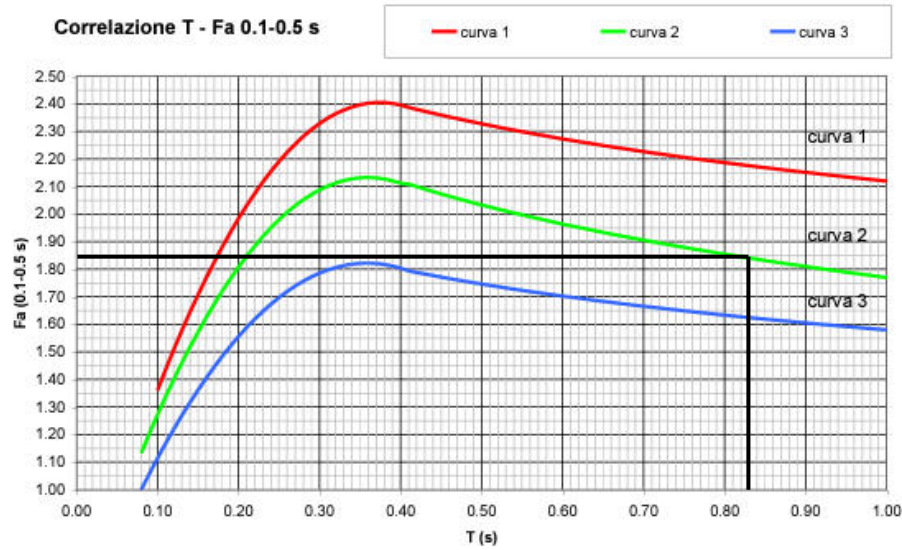
Profondità primo strato (m)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 200 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 250 | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | |
| 300 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | | |
| 350 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | |
| 400 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | |
| 450 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | |
| 500 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | |
| 600 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| 700 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

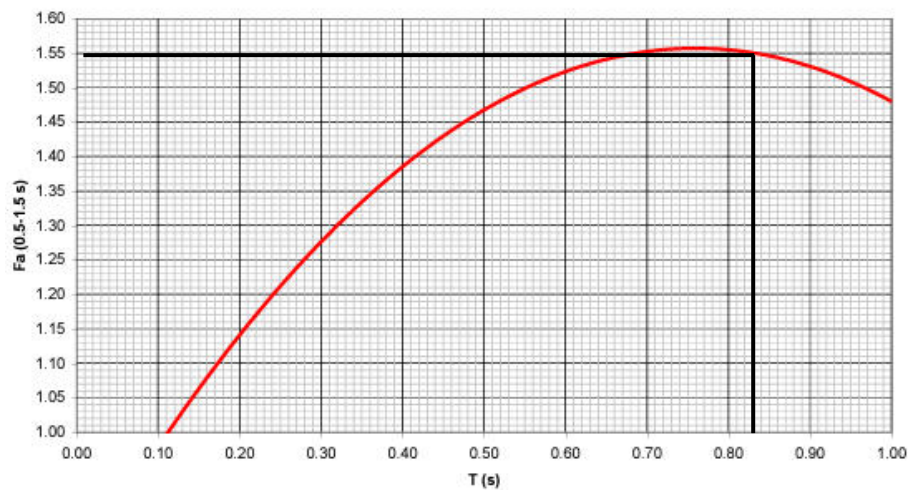
Velocità primo strato (m/s)

Viene scelta la CURVA 2 per il periodo di riferimento 0.1 – 0.5 s, mentre per il periodo 0.5 – 1.5 s la curva è UNICA





| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico |
|-------|--|---|
| 1 | $0.10 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$ |
| 2 | $0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$ |
| 3 | $0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$ |



$$Fa_{0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$



In sintesi, il calcolo dei valori di FAC in confronto ai valori di FAS è il seguente:

| Periodo | FAC | FAS | | |
|-----------|-------------|------------|-----|-----|
| | | B | C | D |
| 0.1 – 0.5 | 1.85 | 1.4 | 1.9 | 2.2 |
| 0.5 – 1.5 | 1.50 | 1.7 | 2.4 | 4.2 |

La classe di sottosuolo iniziale per le prove era la B, tuttavia, è subito osservabile come per il periodo di riferimento 0.1-0.5 s tale non sia sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica locale, per cui è necessario considerare la classe di sottosuolo superiore, ovvero la C, per cui risulta $FAC = 1.85 < FAS = 1.9$.

In alternativa, si dovrà procedere, in fase di progettazione di eventuali interventi, alla verifica di III livello.



13.10.3. SITO3 – Campo sportivo di Lepreno

| | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| SCHEDA TIPO | <u>Limoso – argillosa di tipo 2</u> |
| PERIODO DI RIFERIMENTO | <u>0.17 s</u> |

| | |
|---------------------|--|
| PRIMO STRATO | <u>$V_{s,4.0m} = 324.5 \text{ m/s}$</u> |
|---------------------|--|

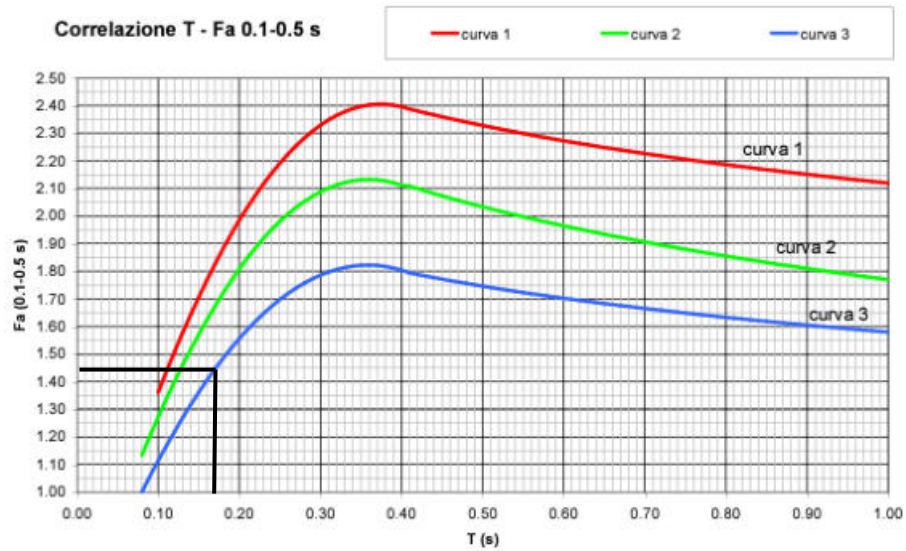
Profondità primo strato (m)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 200 | | | | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 300 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | | | | | | | | |
| 350 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | |
| 400 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | |
| 450 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | |
| 500 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | |
| 600 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| 700 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

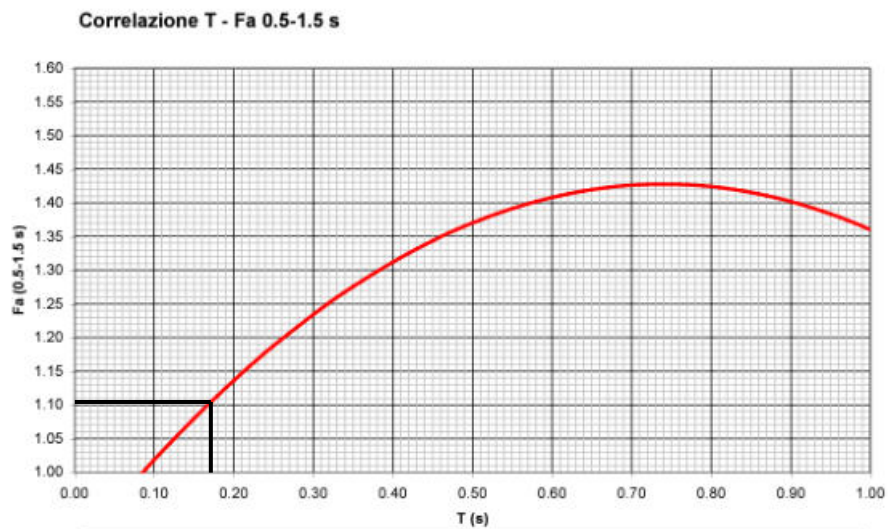
Velocità primo strato (m/s)

Viene scelta la CURVA 3 per il periodo di riferimento 0.1 – 0.5 s, mentre per il periodo 0.5 – 1.5 s la curva è UNICA





| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico |
|-------|--|---|
| 1 | $0.10 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30\ln T$ |
| 2 | $0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38\ln T$ |
| 3 | $0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24\ln T$ |



$$Fa_{0.5-1.5} = -T^2 + 1.48T + 0.88$$



In sintesi, il calcolo dei valori di FAC in confronto ai valori di FAS è il seguente:

| Periodo | FAC | FAS | | |
|-----------|-----|------------|-----|-----|
| | | B | C | D |
| 0.1 – 0.5 | 1.4 | 1.4 | 1.9 | 2.2 |
| 0.5 – 1.5 | 1.2 | 1.7 | 2.4 | 4.2 |

La classe di sottosuolo iniziale per le prove era la B, tale risulta sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica locale per ambedue i periodi di riferimento individuati.



13.10.4. SITO4 – Parco pubblico di Grumello

| | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| SCHEMA TIPO | <u>Limoso – argillosa di tipo 2</u> |
| PERIODO DI RIFERIMENTO | <u>0.21 s</u> |

| | |
|---------------------|--|
| PRIMO STRATO | <u>$V_{s,4.0m} = 361.5 \text{ m/s}$</u> |
|---------------------|--|

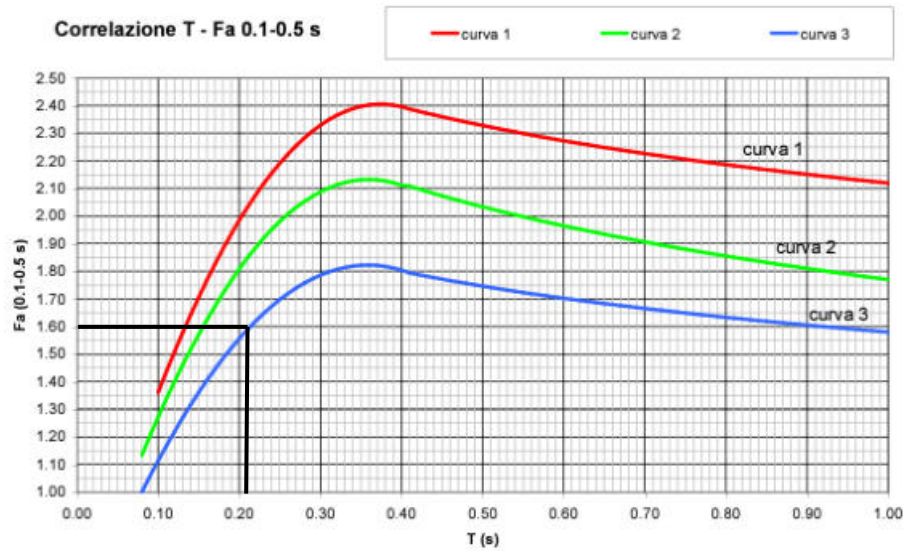
Profondità primo strato (m)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 200 | | | | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 250 | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 300 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | | | | | | | | |
| 350 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | |
| 400 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | |
| 450 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | |
| 500 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | |
| 600 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| 700 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

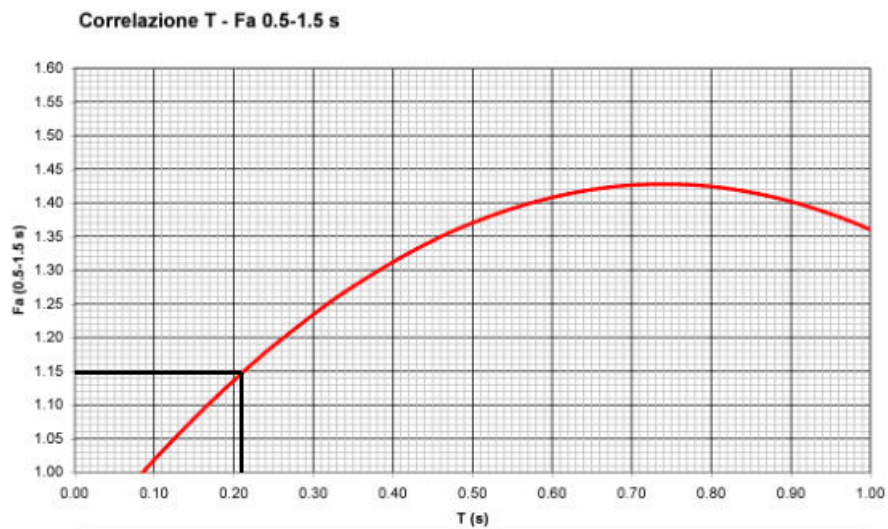
Velocità primo strato (m/s)

Viene scelta la CURVA 3 per il periodo di riferimento 0.1 – 0.5 s, mentre per il periodo 0.5 – 1.5 s la curva è UNICA





| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico |
|-------|--|---|
| 1 | $0.10 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30\ln T$ |
| 2 | $0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38\ln T$ |
| 3 | $0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24\ln T$ |



$$Fa_{0.5-1.5} = -T^2 + 1.48T + 0.88$$



In sintesi, il calcolo dei valori di FAC in confronto ai valori di FAS è il seguente:

| Periodo | FAC | FAS | | |
|-----------|-------------|------------|-----|-----|
| | | B | C | D |
| 0.1 – 0.5 | 1.60 | 1.4 | 1.9 | 2.2 |
| 0.5 – 1.5 | 1.20 | 1.7 | 2.4 | 4.2 |

La classe di sottosuolo iniziale per le prove era la B, tuttavia, è subito osservabile come per il periodo di riferimento 0.1-0.5 s tale non sia sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica locale, per cui è necessario considerare la classe di sottosuolo superiore, ovvero la C, per cui risulta $FAC = 1.60 < FAS = 1.9$.

In alternativa, si dovrà procedere, in fase di progettazione di eventuali interventi, alla verifica di III livello.



13.10.5. SITO5 – Campo sportivo via Tiraboschi

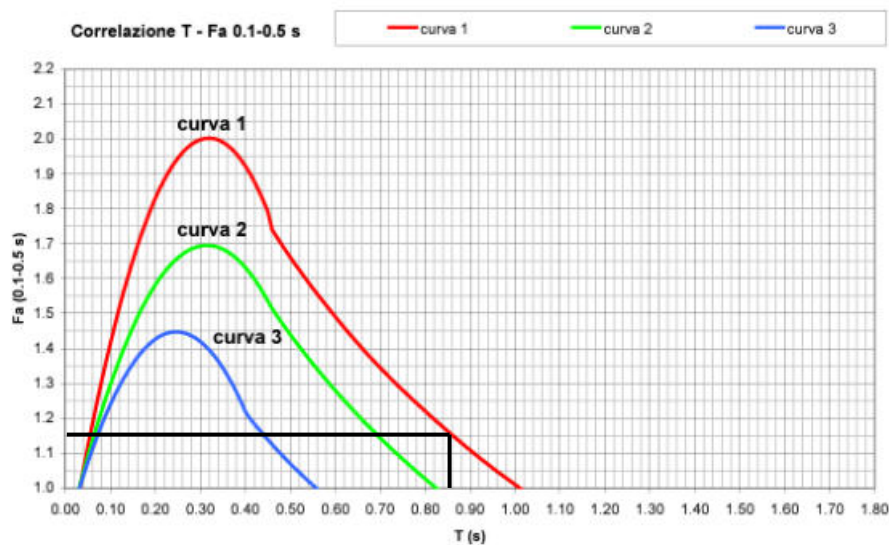
| | |
|-------------------------------|-----------------|
| SCHEDA TIPO | <u>Sabbiosa</u> |
| PERIODO DI RIFERIMENTO | <u>0.83 s</u> |

| | |
|---------------------|--|
| PRIMO STRATO | <u>Condizione per cui uno strato a $V_s < 300$ m/s poggia al di sopra di uno strato a $V_s > 500$ m/s a 12.0 m</u> |
|---------------------|--|

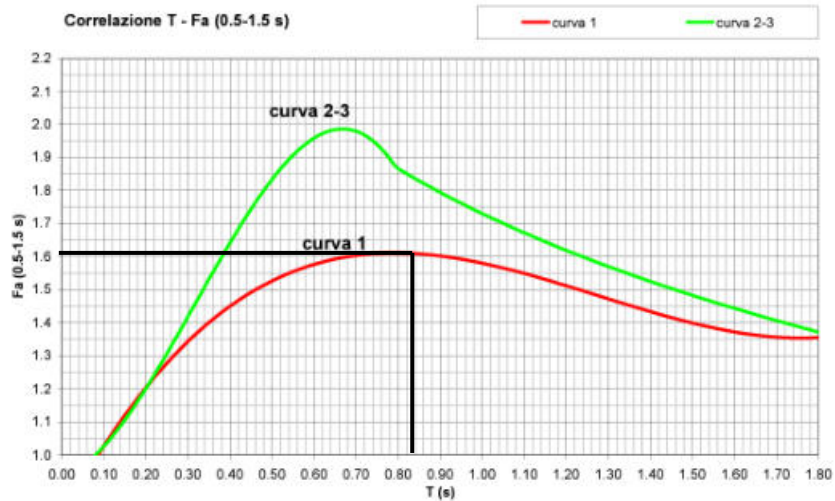
| | | Profundită primo strato (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|-----------------------------|---|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1-3 | 4 | 5-12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 90 | 110 | 130 | 140 | 160 | 180 |
| Velocită primo strato (m/s) | 200 | | 2 | 1-2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | |
| | 250 | | 2 | 1-2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | NA | NA | NA | | | | | | | | |
| | 300 | | 2 | 1-2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | | | | | | |
| | 350 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | | | | | |
| | 400 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | | | | |
| | 450 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | | | |
| | 500 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | | |
| | 600 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | NA |
| 700 | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | NA | NA |

Viene scelta la CURVA 1 per ambedue i periodi di riferimento.





| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico | Tratto rettilineo |
|-------|--|--|-------------------------------------|
| 1 | $0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$ | $0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$ | $T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
| 2 | $0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$ | $0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$ | $T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
| 3 | $0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$ | $0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$ | $T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |



| Curva | | |
|-------|---|---|
| 1 | $0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$ | |
| 2 | $0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$ | $0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$ |
| 3 | | |



In sintesi, il calcolo dei valori di FAC in confronto ai valori di FAS è il seguente:

| Periodo | FAC | FAS | | |
|-----------|------|------------|-----|-----|
| | | B | C | D |
| 0.1 – 0.5 | 1.20 | 1.4 | 1.9 | 2.2 |
| 0.5 – 1.5 | 1.60 | 1.7 | 2.4 | 4.2 |

La classe di sottosuolo iniziale per le prove era la B, tale risulta sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica locale per ambedue i periodi di riferimento individuati.



13.10.6. SITO6 – Parco pubblico Valpiana

| | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| SCHEMA TIPO | <u>Limoso – sabbiosa di tipo 2</u> |
| PERIODO DI RIFERIMENTO | <u>0.17 s</u> |

| | |
|---------------------|--|
| PRIMO STRATO | <u>$V_{s,4.0m} = 428 \text{ m/s}$</u> |
|---------------------|--|

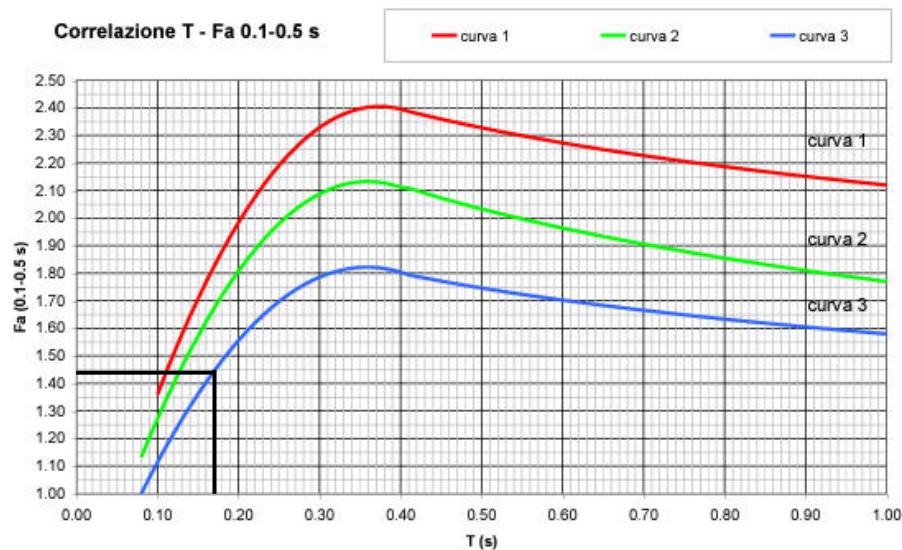
Profondità primo strato (m)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 200 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 250 | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | |
| 300 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | | |
| 350 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | |
| 400 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | |
| 450 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | |
| 500 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | |
| 600 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| 700 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

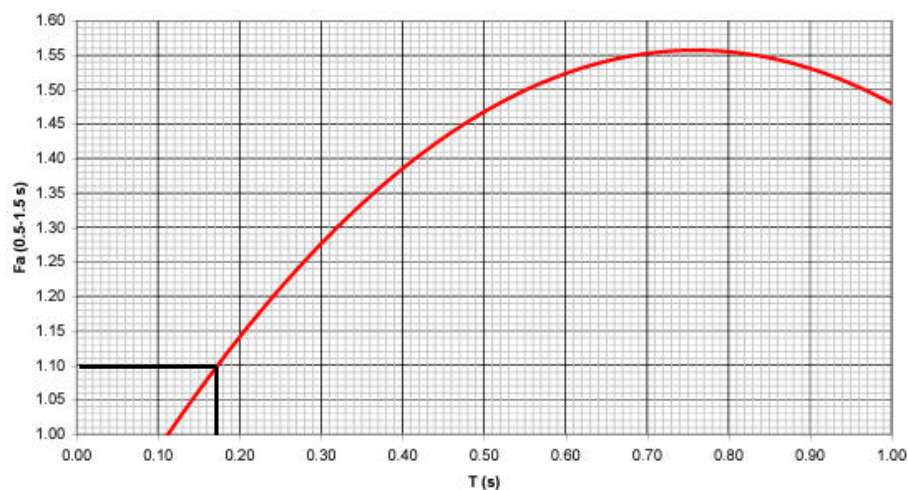
Velocità primo strato (m/s)

Viene scelta la CURVA 3 per il periodo di riferimento 0.1 – 0.5 s, mentre per il periodo 0.5 – 1.5 s la curva è UNICA





| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico |
|-------|--|---|
| 1 | $0.10 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$ |
| 2 | $0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$ |
| 3 | $0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$ | $0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$ |



$$Fa_{0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$



In sintesi, il calcolo dei valori di FAC in confronto ai valori di FAS è il seguente:

| Periodo | FAC | FAS | | |
|-----------|------|------------|-----|-----|
| | | B | C | D |
| 0.1 – 0.5 | 1.40 | 1.4 | 1.9 | 2.2 |
| 0.5 – 1.5 | 1.10 | 1.7 | 2.4 | 4.2 |

La classe di sottosuolo iniziale per le prove era la B, tale risulta sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica locale per ambedue i periodi di riferimento individuati.



13.11. Sintesi degli esiti della valutazione di II livello

Si riporta nella seguente tabella la sintesi dei fattori calcolati (FAC) in confronto ai limiti di soglia definiti dalla normativa (FAS)

| PROVA | | I LIVELLO | | | II LIVELLO | | |
|-------|---------------------------|-----------|-------|--------|------------|-------------|-------------|
| SITO | LOCALIZZAZIONE | Vs,eq | H sis | CLASSE | T | FAC 0.1-0.5 | FAC 0.5-1.5 |
| SITO1 | Via Scuri "Stalù" | 558 | 30 | B | 0.28 | 1.75 | 1.15 |
| SITO2 | Parco degli Alpini | 598 | 30 | B | 0.83 | 1.8 | 1.5 |
| SITO3 | Lepreno | 439 | 20 | B | 0.17 | 1.4 | 1.2 |
| SITO4 | Grumello | 441 | 24 | B | 0.21 | 1.6 | 1.2 |
| SITO5 | Campo sportivo Tiraboschi | 364 | 30 | B | 0.83 | 1.2 | 1.6 |
| SITO6 | Valpiana | 486 | 21.3 | B | 0.17 | 1.4 | 1.1 |

Figura 26 – Sintesi dei risultati dell'analisi sismica di II livello per il comune di Costa Volpino. Le due tabelle, distinte per il periodo di riferimento, mettono a confronto i valori di FAC (Fattore calcolato, derivante dall'analisi) con i valori di FAS (valore di soglia).

Il confronto tra il valore del Fattore di amplificazione $[Fa]$, interpolato nella *Curva* della scheda di valutazione scelta implementato attraverso la presente ricerca, ed il valore di soglia per il tipo di suolo considerato $[C, B]$, indica come la norma non è generalmente in grado di tenere in considerazione gli effetti di amplificazione litologica rilevati nell'area specifica di indagine di fondovalle con depositi appartenente alla categoria di Suolo C.

$Fa\ 0.1-0.5\ s\ [Area\ 1, Area\ 2 = 2.1; 2.1] \leq [C = 1.8]$ NON Verificato

$Fa\ 0.5-1.5\ s\ [Area\ 1, Area\ 2 = 1.5; 1.45] \leq [C = 2.4]$ Verificato

$Fa\ 0.1-0.5\ s\ [Area\ 3 = 2.3] \leq [C = 1.8]$ NON Verificato

$Fa\ 0.5-1.5\ s\ [Area\ 3 = 1.45] \leq [C = 2.4]$ Verificato

$Fa\ 0.1-0.5\ s\ [Area\ 4 = 1.4] \leq [B = 1.4]$ Verificato

$Fa\ 0.5-1.5\ s\ [Area\ 4 = 1.1] \leq [B = 1.7]$ Verificato



In considerazione dei risultati ottenuti dall'analisi di II livello, in accordo a quanto riportato all'interno dell'Allegato 5 alla d.g.r. ix/2616 del 2011, laddove i valori di FAC risultano superiori ai valori di FAC (Sito 1, Sito 2 e Sito 4) la normativa risulta insufficiente a tener conto degli effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (III livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, vale a dire, noto che tutti e tre i siti ricadono in classe di sottosuolo B, utilizzare lo spettro della classe C.

Per quanto riguarda l'analisi di II livello riferita a FAC inferiori ai limiti di soglia, la normativa è da considerarsi sufficiente a tener conto degli effetti di amplificazione litologica.

All'interno della Carta della pericolosità sismica locale (tavola 9) sono stati inseriti i risultati della valutazione di II livello in maniera puntuale, ovvero senza definire un'attribuzione di validità spaziale alla prova stessa. Ciò deriva dalla differenziazione tra i risultati ottenuti dalle prove e dall'elevata variabilità morfologica, quindi di risposta sismica, che caratterizza il territorio di Serina e per cui risulterebbe eccessivamente interpretativo prevedere delle associazioni tra i settori del contesto territoriale e la prova stessa, ovvero, una zonizzazione di II livello non è possibile a causa delle elevate diversità nel contesto territoriale, non prevedibili o solo ipotizzabili alla scala dello strumento di Pianificazione. In ragione di ciò, all'interno delle Norme Geologiche di Piano è inserita una norma specifica atta a rendere esplicitamente obbligatoria l'esecuzione di indagini sismiche puntuali per ogni interventi edificatorio e l'applicazione del II livello puntuale in caso di progettazione di strutture di interesse pubblico, strategiche e rilevanti per la protezione civile.



14. ANALISI SISMICA DI II LIVELLO: AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Rispetto alla vigente versione dello Studio Geologico di Piano, molti ambiti caratterizzati da potenziale amplificazione topografica sono stati eliminati in quanto non perfettamente coincidenti alla definizione delle linee guida (allegato 5 alla d.g.r. 2616/2011).

Di fatto, gli ambiti Z3a e Z3b che sono stati tracciati e confermati o modificati non interferiscono direttamente ne' con gli ambiti dell'urbanizzazione consolidata, ne' con gli ambiti di trasformazione previsti.

Pertanto, essendo tali aree poste al di fuori del contesto definito della Pianificazione comunale, si ritiene di non dover procedere alla valutazione di II livello, demandandola ad eventuali fasi di progettazione avanzata che dovessero di contro interessarle.



15. CONCLUSIONI

Il Comune di Serina (BG) ha incaricato lo scrivente Studio G.E.A. di predisporre l'adeguamento dello studio geologico del territorio comunale, a seguito della **Variante Generale al PGT - 2022** redatta secondo i criteri stabiliti nella Legge 11 marzo 2005, n. 12 "Legge per il Governo del Territorio".

Lo studio si compone della presente Relazione Tecnica, delle Norme Geologiche di Piano e di un repertorio cartografico composto da tavole di vincolo-sintesi e di proposta, realizzati mediante la sintesi di tutti gli elementi emersi dalla ricerca bibliografica e dai rilievi di terreno.

La geologia del comune di Serina si riflette inevitabilmente sui caratteri morfologici, idrologici e idrogeologici del suo territorio.

In generale, si tratta di un territorio che racchiude in sé i caratteri tipici delle valli bergamasche di medio – elevata quota.

Le problematiche connesse ai dissesti sono prevalentemente sviluppate nel comparto dei versanti, mentre sul restante comparto di fondovalle gravano problematiche di carattere geotecnico, idraulico ed idrogeologico.

Infine, nel territorio comunale vi sono ambiti di criticità per scadenti caratteristiche geotecniche, carsismo, bassa soggiacenza della falda e sprofondamenti diffusi.

Si ribadisce la necessità di rispettare le norme di polizia idraulica e le fasce di rispetto (che devono sempre essere valutate puntualmente sul terreno mediante rilievi topografici) per tutti i corsi d'acqua appartenenti al Reticolo Idrico Principale ed al Reticolo Idrico Minore. Per quanto attiene ai corsi d'acqua, si ritiene inoltre necessario adottare adeguate politiche di tutela e di manutenzione di tutti i torrenti, verificando attentamente lo stato degli alvei e dei tombotti e prevedendo interventi di pulizia periodica. Tali interventi hanno una doppia valenza idraulica ed ecologica.

La cartografia di proposta nasce dall'attenta valutazione di tutti gli elementi di criticità riassunti nelle tavole di vincolo e di sintesi (che tengono conto, a loro volta, della cartografia tematica di inquadramento). Le carte di fattibilità delle azioni di piano,



infatti, stabiliscono le attitudini dei diversi ambiti territoriali nei confronti dei futuri interventi urbanistici. Per la realizzazione di queste carte e, di concerto, delle norme geologiche di piano, si è scelto un approccio fortemente legato alla normativa vigente ed agli strumenti di pianificazione sovraordinata, suddividendo le classi di fattibilità in numerosi ambiti, ad ognuno dei quali sono associate una o più norme in base alle criticità riscontrate ed alle limitazioni esistenti (ad esempio, perimetrazioni P.A.I.).

Nei prossimi anni sarà infatti importante valutare con molta attenzione la sostenibilità territoriale di eventuali ulteriori espansioni insediative. Si dovrà considerare la disponibilità della risorsa primaria, l'acqua, che rappresenta in ogni caso un fattore di criticità: le falde sotterranee e le opere di captazione, infatti, necessitano sempre di adeguate politiche di tutela. Eventuali nuove future captazioni idropotabili dovranno disporre di aree di salvaguardia adeguatamente individuate e perimetrate. Anche le aree di salvaguardia già individuate potranno essere ridefinite sulla base di criteri più precisi qualora necessario.

Nella pianificazione urbanistica, sarà necessario tenere conto di tutte le aree di criticità geologica e dissesto individuate sul territorio. In linea di massima, l'espansione urbanistica dovrebbe di principio concentrarsi sulle aree contraddistinte dal grado di criticità geologica più basso possibile, quali per esempio le zone ricadenti in classe di fattibilità 2 e quelle ricadenti nelle classi 3 meno critiche.

Significativa dovrà peraltro essere l'attuazione di politiche di valorizzazione (o eventuale recupero) di aree caratterizzate da un elevato valore paesaggistico e naturalistico, ad esempio le aree prossimali ai corsi d'acqua.

Nella progettazione ed esecuzione di qualsiasi intervento pubblico o privato, occorrerà attenersi scrupolosamente a tutte le norme geologiche stabilite dal presente studio, sia per quanto concerne le indagini geologico - geotecniche richieste caso per caso, sia per quanto attiene alle prescrizioni tecniche, ai divieti ed agli accorgimenti costruttivi, anche in termini di normativa sismica. Si ricorda poi che la Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano deve sempre essere consultata di concerto con le altre cartografie di proposta, in particolare la Carta di Sintesi e la Carta dei Vincoli, poiché determinati vincoli normativi (quali ad esempio le fasce di rispetto dei corsi d'acqua, le aree di salvaguardia delle captazioni idropotabili, i



geositi, ecc.) sono riportati solamente su queste carte. Si rammenta anche che le norme di piano contenenti articoli stralciati da strumenti legislativi esterni (quali ad esempio le norme di attuazione del P.A.I. per i dissesti e le valanghe) devono sempre essere controllate utilizzando le versioni vigenti di tali strumenti, poiché non si può escludere che essi possano essere, in futuro, sottoposti a modifiche, integrazioni o variazioni rispetto ai testi attuali. Gli articoli di legge esterni riportati nel presente documento rappresentano dunque un riferimento legislativo utile per una rapida ed efficace consultazione, ma devono sempre essere verificati con gli strumenti legislativi originali.

Ranica, Febbraio 2023

Dott. Geol. Sergio Ghilardi



Dott. Ing. Francesco Ghilardi

16. BIBLIOGRAFIA

Per la redazione dello studio geologico sono stati consultati i seguenti riferimenti principali:

1. Componente Geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio in attuazione dell'Art. 57 della L.R. 11/3/2005 n.12 (Dott. Geol. Marco Maggi, Luglio 2012)
2. Mosaico informatizzato degli studi geologici comunali della Regione Lombardia, consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it
3. Inventario dei Fenomeni Franosi (GeoIFFI) della Regione Lombardia, consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it
4. Applicativo Studi Geologici Comunali e Quadro Dissesti P.A.I. Aggiornato, consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it
5. Criteri attuativi L.R. 12/2005 per il Governo del Territorio – Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio (Bollettino Ufficiale Regione Lombardia n. 13 – edizione speciale del 28 marzo 2006 e s.m.i.)
6. Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Provincia di Bergamo, 2001)
7. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, aggiornamento 2019, consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it
8. Atlante dei Dissesti P.A.I. e delle Fasce Fluviali, consultabile su www.adbpo.it
9. Variante Pai per la modifica delle fasce fluviali del fiume Oglio sopralacuale, approvato con decreto n. 472 del 24 dicembre 2020.
10. Castellaro S., 2016. The complementarity of H/V and dispersion curves. 16 pp. Geophysics, Vol. 81, No. 6 (November-December 2016)
11. Castellaro S., 2012. Introduzione alla modellazione delle curve H/V a fini stratigrafici in Grilla. 21 pp. Micromed s.p.a..
12. Castellaro S., 2012. Tecnica sismica passiva a stazione singola. 137 pp. Micromed s.p.a..
13. Corrao M., Coco G., 2009. Geofisica applicata. 258 pp. Dario Flaccovio Editore.



14. Gaudioso C., 2014. Manuale di geofisica di campagna. 140 pp. Stampaecontatto.
15. Moho s.r.l., 2016. Introduzione al modulo di analisi delle onde di superficie in Grilla. 28 pp. Moho s.r.l..
16. Mucciarelli M., 2010. Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici - Studi teorici ed applicazioni professionali. 445 pp. Ministero dell'università e della ricerca programmi di ricerca scientifica di rilevante interesse nazionale - Progetto di ricerca 2007ptrc4c.
17. Repertorio cartografico del Geoportale della Regione Lombardia, liberamente consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it.
18. Repertorio cartografico di Google Maps, liberamente consultabile su www.maps.google.it.

