

COMUNE DI ALMENNO SAN SALVATORE
(Provincia di Bergamo)

**AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA
DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

**(ai sensi della L.R. n.12 del 11/03/2005 e delle D.g.r. n 2616 del 2011, D.g.r.
n.6738 del 19.06.2017 e D.g.r. n.4685 del 10.05.2021)**

RELAZIONE GEOLOGICA

Parte 1 - Relazione Illustrativa

Committente: Comune di Almenno San Salvatore

Bergamo, Luglio 2023



A handwritten signature in black ink that reads "Augusto Azzoni".

Dott. Augusto Azzoni

**Dott. Augusto Azzoni, n.527 dell'Ordine dei Geologi della Lombardia
Via F. Nullo n.31, 24128 Bergamo - Tel. 035-231115, cell. 339-2262817**

INDICE

INDICE	2
1. INTRODUZIONE	4
2. METODOLOGIA DELLO STUDIO	5
3. CARATTERISTICHE GENERALI DEL TERRITORIO COMUNALE	7
3.1 INQUADRAMENTO GENERALE	7
3.2 CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE DEL TERRITORIO COMUNALE	8
4. FASE DI ANALISI	9
4.1 CARTA GEOLOGICA	9
4.1.1 Unità del substrato roccioso Mesozoico	9
4.1.1.1 La Successione sin-rift	9
4.1.1.2 La Successione Post-Rift	11
4.1.1.3 La Successione Clastica Cretacica del Bacino Lombardo	12
4.1.1.4 I Sistemi Torbiditici Cenomaniani	13
4.1.1.5 I Sistemi Torbiditici ed Emipelagici Turoniani	13
4.1.2 Unità della Successione Neogenica-Quaternaria	15
4.1.2.1 Unità del Bacino del Brembo	15
4.1.2.2 Unità non distinte in base al bacino di appartenenza	19
4.2 CARTA GEOMORFOLOGICA	20
4.2.1 Unità di tipo areale	21
4.2.2 Unità di tipo lineare e puntuale	21
4.3 CARTA IDROLOGICA E DELLA PERMEABILITÀ DEI TERRENI SUPERFICIALI	22
4.4. SISMICITÀ E CLASSIFICAZIONE DELL'AREA COMUNALE	25
4.4.1 Inquadramento sismologico	25
4.4.2 Classificazione sismica	25
4.5. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO	29
4.5.1 Introduzione	29
4.5.2 Procedura	30
4.5.3 Analisi di 1° livello	32
4.5.3.1 Carta della Pericolosità Sismica locale	33
4.5.4 Analisi di 2° livello	34
4.5.4.1 Metodologia per la valutazione degli effetti di amplificazione topografica	34
4.5.4.2 Metodologia per la valutazione degli effetti di amplificazione litologica	38
4.5.4.3 Risultati dell'analisi di Amplificazione topografica	42
4.5.4.4 Risultati dell'analisi di Amplificazione litologica	45
4.5.4.5 Carta dei Fattori di amplificazione	50
4.6 SINKHOLES E CAVITÀ SOTTERRANEE	51
5. FASE DI SINTESI E VALUTAZIONE	52
5.1 CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI	52
5.2 CARTA DI SINTESI	52

6. FASE DI PROPOSTA	56
6.1 CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO	56
6.1.1 Classi di fattibilità	56
6.1.1.1 Classe 1: Fattibilità senza particolari limitazioni.....	56
6.1.1.2 Classe 2: Fattibilità con modeste limitazioni.....	56
6.1.1.3 Classe 3: Fattibilità con consistenti limitazioni	57
6.1.1.4 Classe 4: Fattibilità con gravi limitazioni	58
6.1.2 Sintesi dei criteri adottati per la redazione della Carta di Fattibilità	58
6.1.3 Presentazione della Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano.....	58
6.2 CARTA P.A.I. – P.G.R.A.	60
6.2.1 Il Piano per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po (P.A.I.).....	60
6.2.1.1 Proposte di modifica all'esistente cartografia P.A.I.	61
6.2.2 Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.....	62

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

APPENDICE 1: Sezioni topografiche considerate per la valutazione degli effetti morfologici sul Fattore di amplificazione topografico

APPENDICE 2: Misure di rumore sismico HVSR a stazione singola

TAVOLE:

Tav.1 - Carta Geologica (scala 1: 5.000).

Tav.2 - Carta Geomorfologica (scala 1: 5.000).

Tav.3 - Carta Idrologica e della permeabilità dei terreni superficiali (scala 1: 5.000).

Tav.4 - Carta della Pericolosità Sismica Locale (scala 1: 5.000).

Tav.5 - Carta dei Fattori di amplificazione (1: 5.000).

Tav.6 - Carta dei Vincoli geologici (scala 1: 5.000).

Tav.7 - Carta di Sintesi (scala 1: 5.000).

Tav.8 - Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di Piano (scala 1: 5.000).

Tav.9 - Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di Piano con Scenari di PSL (scala 1: 5.000).

Tav.10 - Carta P.A.I. - P.G.R.A. (scala 1: 5.000).

1. INTRODUZIONE

Per incarico dell'Amministrazione Comunale di Almenno San Salvatore è stato effettuato un aggiornamento dello studio geologico a scala comunale a supporto dello strumento urbanistico (*"Studio geologico – idrogeologico del Territorio del Comune di Almenno San Salvatore"*, redatto dal dott. G.Boffelli negli anni 2009-2012), in accordo alla normativa di carattere urbanistico e geologico attualmente vigente.

In particolare il lavoro è stato svolto facendo riferimento alla L.R. n.12/2005 e alle seguenti direttive regionali: D.g.r. n.9/2616 del 30/11/2011, D.g.r. n.10/6738 del 19.06.2017, D.g.r. n.11/4685 del 10.05.2021, D.g.r. n.11/6314 del 26.04.2022, D.g.r. n.11/6702 del 18.07.2022, D.g.r. n.11/7564 del 15.12.2022.

Il presente studio fa seguito al lavoro sopra citato e, come concordato con l'Amministrazione Comunale di Almenno San Salvatore, si è articolato come segue:

- aggiornamento, utilizzando la nuova base cartografica comunale a scala 1: 5.000, di tutta la cartografia della cosiddetta "Fase di Analisi" (Carta geologica, Carta geomorfologica, Carta idrologica e della permeabilità dei terreni superficiali, Carta della Pericolosità Sismica locale, Carta dei fattori di amplificazione locale), di quella della "Fase di Sintesi/valutazione" (Carta dei Vincoli, Carta di Sintesi), attività rese possibili dal recente studio sul Reticolo Idrico Minore comunale (in precedenza non disponibile), e di quella della "Fase di proposta" (Carta della Fattibilità geologica per le azioni di Piano, Carta P.A.I.-P.G.R.A.);
- adeguamento della cartografia comunale alla cartografia P.A.I. e al Piano di Gestione del Rischio alluvioni (P.G.R.A.);
- aggiornamento delle Norme Geologiche di Piano.

Il lavoro, per cui è stato dato incarico allo scrivente con determinazione n.123 del 14.04.2022 integrata con det.n.452 del 21.12.2022, è stato svolto nell'autunno 2022 e inverno 2022-2023 per quanto riguarda i rilievi di terreno e l'acquisizione di dati bibliografici e cartografici. Lo stesso è poi proseguito nella prima parte del 2023 per quanto attiene l'elaborazione dei dati raccolti, la redazione delle carte e la stesura del rapporto tecnico.

Il lavoro è stato realizzato con la collaborazione del dott. Gianluigi Nozza.

2. METODOLOGIA DELLO STUDIO

Come già riferito, lo studio è stato realizzato ai sensi della L.R. n.12/2005 e delle successive deliberazioni di Giunta Regionale, tra cui principalmente la

- D.g.r. n.9/2616/2011 (*“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 – Testo Integrale”*), che stabilisce i criteri e i contenuti degli studi di supporto agli strumenti urbanistici, e al contempo ne definisce le caratteristiche di riferimento.
- D.g.r. n.10/6738 del 19.06.2017 *“Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (P.G.R.A.) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (P.A.I.) 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.*
- D.g.r. n.11/4685 del 10.05.2021 *“Ulteriore aggiornamento Dell’allegato 1 ai 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. 2616/2011 e d.g.r. 2120/2019)”*.
- D.g.r. n.11/6314 del 26.04.2022 *“Modifiche ai criteri e 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 approvati con d.g.r. 2616/2011 e integrati con d.g.r. 6738/2017”*.
- D.g.r. n.11/6702 del 18.07.2022 *“Aggiornamento 2022 dell’allegato 1 ai 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 approvati con d.g.r. 30 novembre 2011, n. 2616”*.
- D.g.r. n.11/7564 del 15.12.2022 *“Integrazione dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio relativa al tema degli sprofondamenti (Sinkhole) (Art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12) ”*.

In accordo alla D.g.r. 2616/2011, come per i precedenti studi, lo schema metodologico adottato si è basato su tre distinte fasi di lavoro: analisi, diagnosi e proposta.

Per quanto concerne la fase di analisi, come detto, ci si è riferiti all'esistente *“Carta geologica d'Italia”* a scala 1: 10.000 redatta da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) - Servizio Geologico d'Italia per quanto concerne la Carta Geologica, e ad uno specifico rilievo geologico-geomorfologico di terreno, esteso all'intero territorio comunale, per quanto riguarda la Carta Geomorfologica. Sulla base dei dati riportati nelle due carte è stata poi prodotta la *“Carta Idrologica e della permeabilità dei terreni superficiali”*.

Relativamente agli aspetti sismici, si è poi provveduto ad una generale revisione della *“Carta di Pericolosità Sismica Locale”*, ed è stata prodotta la *“Carta dei Fattori di amplificazione”*, che riporta i Fattori di amplificazione litologici valutati con apposite misure HVSR in sito e quelli topografici definiti con analisi cartografiche. La carta fornisce anche indicazioni, per i vari siti considerati, circa l'adeguatezza delle NTC 2018 a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica e le procedure da adottare in caso di superamento dei fattori di amplificazione proposti per il Comune di Almenno San Salvatore dalla normativa nazionale.

La fase di diagnosi consiste essenzialmente nell'unione delle carte esistenti, previa analisi critica delle informazioni raccolte e omogeneizzazione delle legende e dei dati disponibili. In tale fase sono state redatte le seguenti carte:

- “Carta dei Vincoli geologici” esistenti sul Territorio Comunale. Tale carta riporta le aree soggette a vincoli di carattere statico, idrogeologico ed idraulico (Vincoli derivanti dalla Pianificazione di bacino P.A.I. e da P.G.R.A., Vincoli di Polizia Idraulica, basati sul Studio del Reticolo Idrico Minore comunale, Vincoli sulle Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile).
- “Carta di Sintesi”, a scala 1: 5.000. Tale carta è stata approntata riportando, previa le opportune elaborazioni, tutti gli elementi già mappati e quelli nuovi emersi nel corso degli ultimi anni, comprendenti in particolare elementi di pertinenza della stabilità dei versanti, della dinamica torrentizia, della vulnerabilità idrogeologica e delle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti.

La successiva fase di proposta ha permesso infine la redazione delle seguenti carte:

- “Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano”, nella quale è stata effettuata una zonazione del territorio in classi a diversa attitudine, dal punto di vista geologico, a sostenere eventuali interventi antropici. Per ciascuna classe di fattibilità, poi suddivise in sottoclassi a seconda delle principali problematiche specifiche delle aree, sono state fornite indicazioni tecniche e prescrizioni relative all’utilizzo delle aree stesse (“Norme Geologiche di Piano”), che dovranno poi essere adeguatamente recepite dagli strumenti urbanistici al fine di minimizzare il rischio idrogeologico e gli effetti connessi alla fruizione del territorio.
- “Carta P.A.I.-P.G.R.A.”. che di fatto rappresenta la cartografia di raccordo con gli strumenti di pianificazione sovraordinata e corrisponde alla precedente “Carta del dissesto con legenda uniformata a quella del P.A.I.”, cui sono stati aggiunti i contenuti del P.G.R.A.

E' stata quindi redatta la Relazione geologica, che riporta la descrizione delle varie carte di analisi, diagnosi e proposta e degli aspetti sismici della Normativa. In accordo alla normativa vigente, la stessa relazione è quindi composta da due parti:

- Parte 1 - Relazione illustrativa,
- Parte 2 - Norme Geologiche di Piano.

Tutte le carte citate sono state realizzate utilizzando la nuova Carta Aerofotogrammetrica digitale del Comune di Almenno San Salvatore a scala 1: 5.000 (scala apparsa di adeguato dettaglio per rappresentare la situazione geologica comunale).

Il lavoro cartografico è stato realizzato in collaborazione, per la parte cartografica, con il dott. Gianluigi Nozza, operando in ambiente GIS e restituendo, al termine delle attività, i dati raccolti nel formato shapefile richiesto dalla Regione Lombardia.

3. CARATTERISTICHE GENERALI DEL TERRITORIO COMUNALE

Rimandando per maggiori dettagli al testo del rapporto allegato allo Studio Geologico per il PGT del 2009-2012, si riportano di seguito un breve inquadramento geologico del territorio comunale ed una nota relativa alle principali criticità geologiche riconosciute nella stessa area comunale.

3.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Il territorio comunale di Almenno San Salvatore è posto nella parte bassa della Valle Brembana, sul fianco idrografico destro, nel settore dove il corso fluviale abbandona l'ambito montano per immettersi nell'Alta Pianura bergamasca.

Esso presenta una forma grosso modo triangolare ed una superficie di circa 4,8kmq ed è compreso integralmente nella carta CTR C5a1. I limiti sono dati a Nord del corso del Torrente Imagna e dal Crinale Monte Castra-Il Botto (Albenza), a Ovest per buona parte dal corso del Torrente Tornago e per il resto da quello della Valle dei Pradelli, e a Est dal corso del Fiume Brembo. La quota massima è di 815m s.l.m. ed è posta sul citato crinale Monte Castra-Il Botto, quella minima è pari a circa 230m s.l.m. ed è data dalla confluenza tra il Torrente Tornago e il Fiume Brembo.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area comunale è caratterizzata dalla presenza di quattro fasce ben distinte. Procedendo da Nord si osserva dapprima una zona caratterizzata da versanti monto acclivi e prevalentemente rocciosi, quindi la fascia collinare su cui si è sviluppata la parte storica dell'abitato, contraddistinta da forme e pendenze più dolci e impostata su depositi di versante, poi un'area pianeggiante corrispondente agli antichi terrazzi del Fiume Brembo, delimitata a valle da ripide scarpate conglomeratiche, ed infine, in adiacenza al Fiume Brembo, un fascia pianeggiante formata da depositi alluvionali recenti.

Dal punto di vista geologico, l'area comunale è indubbiamente una delle più interessanti della Provincia di Bergamo, per la quantità, la varietà e la buona esposizione delle unità geologiche presenti.

La fascia montana è infatti caratterizzata dalla presenza di gran parte della unità del substrato roccioso Giurassico-Cretacico dell'area Lombarda, che per lo più si presentano in condizioni di sub affioramento o coperte da limitati depositi di versante e che in più di un caso hanno nell'area comunale la sezione tipo più rappresentativa. Si tratta sempre di unità costituite da calcari, calcari marnosi, siltiti e marne, quasi sempre ben stratificate, di discreta-buona resistenza e con comportamento rigido.

Nell'area collinare, ed in particolare lungo le incisioni torrentizie, affiorano alcune unità Terziarie molto rilevanti per la ricostruzione dell'evoluzione paleogeografica Brembana: nella zona prossima al Torrente Imagna sono infatti presenti depositi continentali che testimoniano un antico differente assetto morfologico dell'area ed in particolare un diverso tracciato dello sbocco in pianura del Torrente Imagna, e lungo le scarpate del Torrente Tornago si riconoscono in più punti depositi di origine marina, evidenze dell'ingressione marina pliocenica nell'area prealpina lombarda.

La fascia pianeggiante medio-inferiore, poi, è costituita essenzialmente da depositi fluvioglaciali e fluviali messi in posto durante e dopo il periodo glaciale, i quali risultano delimitati verso Est da una caratteristica falesia conglomeratica, che si estende per circa 1,5km dal Ponte di Almenno fino allo sbocco del Torrente Tornago. Tali terrazzi sono organizzati in terrazzi posti a differenti quote, che indicano il progressivo abbassamento del livello di base dell'erosione nel Pleistocene nell'Alta Pianura Lombarda e, più in generale, nella Pianura Padana.

L'area adiacente il Fiume Brembo, infine, è formata da depositi alluvionali recenti ed attuali, anch'essi organizzati in terrazzi disposti su varie quote.

In merito all'idrologia, l'area comunale è caratterizzata innanzitutto dalla presenza dei tre principali corsi d'acqua già citati, il Fiume Brembo, il Torrente Imagna e il Torrente Tornago, che come detto costituiscono il limite del territorio rispettivamente sui lati Est, Nord e Ovest.; a questi si aggiunge il Torrente Armisa, piccolo ma significativo corso d'acqua posto al centro dell'area comunale, che raccoglie le acque di buona parte del versante meridionale del Monte Castra. Oltre a questi è poi presente una diffusa rete di corsi minori, costituita da torrenti e piccoli rii per lo più a regime temporaneo, che solcano valli in genere strette, rettilinee ed incise in roccia, e che quasi sempre confluiscono direttamente nei corsi principali citati.

Relativamente all'aspetto idrogeologico, si ricorda la relativa povertà di acqua dell'area comunale, fatto dovuto alla relativamente limitata estensione dei bacini imbriferi e alla forte acclività e alle caratteristiche prevalentemente rocciose dei versanti.

Non si hanno informazioni dirette in merito alla circolazione profonda nei depositi fluvioglaciali, fatta salva quella evidenziata dalle diverse piccole sorgenti presenti alla base dei terreni conglomeratici lungo i Torrenti Tornago e Armisa e lungo il Fiume Brembo. Si ritiene comunque probabile l'esistenza di un certo deflusso sotterraneo semipermanente, orientato grosso modo Nord Sud e con origine alla base dei pendii rocciosi e termine nella valle del Fiume Brembo.

3.2 CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE DEL TERRITORIO COMUNALE

Il Comune di Almenno San Salvatore, nonostante il carattere montuoso e collinare di buona parte del territorio, non presenta fenomeni di dissesto attivi di particolare rilevanza o interessanti ampie superfici, fatto legato alla discreta resistenza dei materiali presenti (sia substrato che terreni di copertura), allo spessore esiguo dei terreni di copertura dei pendii più ripidi, alla discreta permeabilità media dei terreni corticali delle zone inferiori, che nel complesso consente l'infiltrazione di buona parte dell'acqua piovana e, in generale, ad una complessivamente buona manutenzione del territorio.

I settori a maggiore criticità geologica dell'area comunale sono senza dubbio quelli interessati dal pericolo di distacco e caduta di massi, corrispondenti all'importante parete rocciosa sotto la località Duno e soprastante il Torrente Imagna, e alle scarpate rocciose e conglomeratiche che limitano i terrazzi di Almenno, sia a monte che a valle del Ponte della Strada Provinciale. A riguardo si evidenzia comunque come, a fronte di un pericolo significativo, il rischio sia nel complesso abbastanza contenuto, vista la quasi generale assenza di insediamenti e strutture alla base, salvo che in rare località.

In merito al rischio idraulico, i corsi d'acqua più importanti come il Fiume Brembo e i Torrenti Imagna e Tornago sono posti al margine del territorio comunale e scorrono a quote ben inferiori a quelle dei centri abitati, di fatto quasi ovunque senza possibilità di particolari esondazioni sugli stessi anche in caso di piene catastrofiche (ovviamente le esondazioni possono interessare tutti i terrazzi recenti e le strutture ivi presenti). I corsi d'acqua minori mostrano in genere alvei scavati in roccia e abbastanza ben dimensionati e pertanto, salvo che per eventuali ostruzioni da parte di materiali o vegetazione, appaiono nel complesso poco soggetti alla possibilità di esondazione.

4. FASE DI ANALISI

4.1 CARTA GEOLOGICA

La “Carta Geologica” è stata realizzata utilizzando i dati, disponibili in rete, del Foglio n.097 Vimercate della “*Carta geologica d'Italia*” a scala 1: 10.000 redatta da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) - Servizio Geologico d'Italia.

Si riporta di seguito la descrizione della varie unità presenti sul territorio comunale, iniziando da quelle del substrato Mesozoico e Cenozoico, passando poi a quelle più recenti deposti dal Messiniano all'Olocene; tale descrizione è stata desunta dalle “*Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - foglio 097 Vimercate*”, documento cui si rimanda in caso di necessità di dettagli.

4.1.1 Unità del substrato roccioso Mesozoico

Calcere di Sedrino (SED)

Il Calcere di Sedrino comprende una successione di calcari bioclastici, talora dolomitizzati, calcari oolitici e calcari marnosi, con liste e noduli di selce, a stratificazione sottile o media, piano-parallela o ondulata. La formazione presenta, in diversi settori della bergamasca, due livelli riccamente fossiliferi: l'inferiore si sviluppa presso la base (Grenzbivalvenbank), il superiore presso il tetto dell'unità (banco a Brachiopodi).

A tetto è pressoché ovunque sviluppato un intervallo intensamente silicizzato, che può assumere i caratteri di un livello-guida, ove costituito da un banco plurimetrico interamente silicizzato, con selce di colore bianco-rosato.

Nel complesso la formazione raggiunge spessore di rado eccedente i 130m, quindi inferiore a quanto riportato nella sezione-tipo (157m).

In base alla posizione stratigrafica, alle associazioni di macrofossili ed alle associazioni a nanofossili calcarei, il Calcere di Sedrino viene attribuito all'Hettangiano.

4.1.1.1 La Successione sin-rift

Calcere di Moltrasio (MOT)

Il Calcere di Moltrasio è costituito complessivamente dall'associazione di 5 litozone, sovrapposte verticalmente o giustapposte lateralmente: litozona 1 (breccie liassiche) e litozona 2 (calcari e dolomie massive costituenti la litofacies MOTa); litozona 3 (calcari marnosi e spongolitici), litozona 4 (calcarenitico-marnosa) e litozona 5 (calcari selciferi microcristallini).

Rimandando per dettagli alle “*Note Illustrative*”, si ricorda che la litozona 1 (breccie liassiche) (MOT a) comprende corpi di breccia e megabreccia a supporto clastico, o di ortoconglomerato, con clasti di provenienza locale (Retico-Hettangiano) ed intraclasti, talora non del tutto litificati. A queste breccie si associano paraconglomerati intraformazionali a matrice micritica (Albenza, Colle di Sogno, Monte Linzone), calciruditi gradate in strati spessi, lenticolari e calcari selciferi microcristallini a crinoidi, bivalvi ed altri bioclasti.

All'interno del Foglio 097-Vimercate, il Calcere di Moltrasio presenta una potenza massima di poco superiore ai 600m, rilevabile nelle sezioni nord-occidentali della regione dell'Albenza (es. Colle di Sogno). Da questo settore lo spessore si riduce gradualmente verso E, con locali brusche riduzioni (pendici del Monte Linzone), fino ai minimi rilevabili in prossimità dell'alto della Roncola, in bassa Val Brembana. Il depocentro di Ubiale presenta spessori minori, non superiori ai 300m.

Il Calcarea di Moltrasio è attribuito in genere al Liassico, e più specificamente al piano Sinemuriano, sia in base alla posizione stratigrafica, soprastante i livelli a brachiopodi dell'Hettangiano superiore presenti alla sommità del Calcarea di Sedrina, sia in base alla biostratigrafia a nannofossili calcarei.

Calcarea di Domaro (DOM)

Nel Foglio 097-Vimercate il Calcarea di Domaro è costituito dall'associazione di due litozone, non distinte cartograficamente, che si susseguono verticalmente e si giustappongono lateralmente, determinando le variazioni laterali della formazione, in stretta correlazione con le variazioni di spessore. La litozona inferiore è nota informalmente come membro di Botta.

- Litozona inferiore. Questa litozona è presente in corrispondenza delle zone in cui lo spessore del Calcarea di Domaro si riduce rispetto alle aree depocentrali. Essa si sviluppa per uno spessore variabile da 15 a 70m circa, a partire dal limite formazionale inferiore o poco sopra lo stesso (Colle di Sogno). La litozona è costituita da una peculiare associazione di facies, comprendente calcilutiti grigio chiare, bianco rosate o rosso mattone, in strati sottili molto regolari, piano-paralleli, intercalati a marne argillose rosse o verdognole, con struttura flaser-nodulare, a noduletti di calcilutite grigia o nocciola.
- La litozona superiore rappresenta la massima parte dello spessore e dell'estensione laterale del Calcarea di Domaro. Si tratta di una successione aciclica di strati piano-paralleli, calcareao-marnosi, selciferi, con interstrati marnoso-argillosi. La litozona è caratterizzata da un'articolata associazione di facies, che comprende: calcari marnosi grigio chiari, selciferi, con liste e noduli di selce grigio chiara, ocre o rosata, in strati piano-paralleli o paralleli-ondulati, da medi a spessi, passanti con gradualità a tetto e letto agli interstrati marnoso-argillosi.

Nel Foglio 097-Vimercate lo spessore complessivo del Calcarea di Domaro varia da circa 150 a quasi 250m.

In base alla biostratigrafia ad ammoniti ed a nannofossili calcarei, il Calcarea di Domaro del Foglio 097-Vimercate è attribuibile al Pliensbachiano.

Formazione di Sogno (SOG)

Nel complesso la Formazione di Sogno è costituita da argilliti, marne e calcari marnosi, rossi o grigi, che passano stratigraficamente verso l'alto a calcilutiti e marne con noduli di selce. Gli Autori distinguono tre litozone (non cartografabili), ben espresse nella sezione del M. Brughetto, che presenta lo spessore massimo dell'unità. In estrema sintesi si riconoscono:

- Litozona 1: alternanza di calcari marnosi, marne argillose ed argilliti, di colore variabile dal grigio al rosso mattone, con rari livelli di argilliti nere, a stratificazione piano-parallela, media e sottile e limiti graduali. La litozona presenta uno spessore massimo di circa 40m, riducendosi drasticamente verso E, a spese delle porzioni più calcaree superiori.
- Litozona 2: si tratta di un'alternanza regolare e ciclica di calcari marnosi e marne di colore grigio-verde nelle porzioni inferiore e superiore della litozona, rosso nella parte centrale. Gli strati, piano-paralleli, variano da medi (calcari marnosi) a sottili (marne), presentando limiti graduali, determinati dalle fluttuazioni del contenuto in carbonati. La litozona ha spessore massimo di circa 70m (M. Brughetto - Torre de' Busi) e si riduce verso E a meno di 10m, perdendo i caratteri di alternanza ciclica, i livelli risedimentati e conchigliari, e passando ad una successione di marne argillose o calcaree di colore rosso mattone.
- Litozona 3: questa litozona comprende principalmente calcari marnosi rosati o grigi, sottilmente stratificati, con limiti piani o ondulati, in cui sono frequenti i noduli di selce rossa o giallastra. La litozona presenta uno

spessore massimo di circa 40m, con assottigliamento progressivo verso E, fino alla completa terminazione, che avviene al margine del foglio.

Complessivamente la Formazione di Sogno presenta uno spessore massimo di circa 150m, con riduzione progressiva verso E, ben espressa nel Foglio 097-Vimercate.

La base della Formazione di Sogno è attribuibile all'inizio del Toarciano, come indicato dalla biozonazione ad Ammoniti, mentre il limite tra le litozone 1 e 2 appartiene al Toarciano medio. In base alla biostratigrafia a nannofossili calcarei ed alla datazione del limite di letto delle Radiolariti del Selcifero Lombardo, è possibile attribuire al piano Bajociano inferiore il tetto della Formazione.

4.1.1.2 La Successione Post-Rift

Selcifero Lombardo (SM)

Radiolariti del Selcifero Lombardo (RSL)

Le Radiolariti del Selcifero Lombardo appartengono, insieme al Rosso ad Aptici, al Gruppo del Selcifero Lombardo. Litologicamente le Radiolariti del Foglio 097-Vimercate comprendono selci a stratificazione centimetrica e decimetrica, piano-parallela o piano-ondulata, talora con geometrie mammellonari delle ondulazioni, con interstrati argillosi e, solo localmente presso la base ed il tetto dell'unità, debolmente marnosi. Nella parte superiore della formazione compaiono strati marnoso-calcarei, silicizzati, di spessore centimetrico, che aumentano progressivamente di frequenza e spessore, fino a prevalere sulle selci stratificate. Il colore delle selci varia in modo regolare ed abbastanza uniforme, con la porzione inferiore caratterizzata da colore bruno, grigio scuro o verde scuro ed un passaggio graduale, verso l'alto, a colorazioni bruno-violacee fino a rosso mattone.

Lo spessore delle Radiolariti varia da 20 a 50m circa nel Foglio 097-Vimercate. Gli spessori massimi caratterizzano l'area dell'Albenza, ove è presente la sezione-tipo; la riduzione di potenza si osserva verso oriente, in direzione del M. Cavallo, posizionato al margine dell'adiacente Foglio 098-Bergamo.

L'età delle Radiolariti è attribuita al Calloviano-Oxfordiano, in base alle associazioni ad aptici dell'intero Selcifero Lombardo.

Rosso ad Aptici (RAP)

Il Rosso ad Aptici appartiene, insieme alle Radiolariti, al Gruppo del Selcifero Lombardo. Secondo gli Autori, il Rosso ad Aptici presenta caratteri di uniformità nell'area lombarda, risultando costituito da una successione di marne e marne calcaree o calcari marnosi, talora debolmente silicei, rosati, rosso mattone o grigi, sottilmente stratificati, con poca selce in noduli e liste. Alla sommità del Rosso ad Aptici, gli stessi Autori avevano proposto di suddividere la Formazione identificando così la Formazione di Prabione, costituente la transizione con la soprastante Maiolica e caratterizzata dalla presenza di corpi di paraconglomerati e breccie intraformazionali.

Nel Foglio 097-Vimercate il Rosso ad Aptici presenta le successioni più complete, potenti da 20 a 35m, nelle zone di Burligo e in generale nella dorsale dell'Albenza, oltre che presso il fondovalle del Brembo. In queste situazioni si riconoscono:

- una litozona inferiore, costituita da marne silicee e calcari selciferi rosso violacei, che determina il passaggio transizionale alle sottostanti Radiolariti;
- una litozona calcareo-marnosa e marnosa, sottilmente stratificata, con selci in noduli rossi o nocciola. La stratificazione è in genere piano-parallela o ondulata. Ai litotipi indicati, localmente (F. Brembo) si associano lenti di breccie, paraconglomerati e slump;
- una litozona superiore, costituita da alternanze di calcari marnosi rosati, calcilutiti crema o rosa con selci in noduli e liste rosse, miele o nere e giunti argillitici rossi o grigi, sottilmente stratificata e progressivamente

passante a calcilutiti bianche e rosate verso l'alto. Questa litozona costituisce la transizione alla Maiolica e sostituisce in parte la Formazione di Prabione.

Il Rosso ad Aptici presenta spessori variabili da 10 a circa 35m, per assottigliamento laterale verso le zone di alto strutturale preesistenti (M. Cavallo, nell'adiacente Foglio 098-Bergamo).

L'età del Rosso ad Aptici è Kimmeridgiano-Titoniano.

Maiolica (MAI)

Il termine Maiolica è tradizionalmente in uso nella bibliografia geologica lombarda e nazionale, fin dal primo utilizzo risalente a Maironi da Ponte come riportato da Stoppani nel 1857, che ne introduce il compiuto significato stratigrafico. Il termine è stato utilizzato in tutte le edizioni di carte geologiche precedenti, pur non trattandosi di una definizione formale.

La Maiolica è costituita da successione piuttosto monotona di calcilutiti bianche, grigio chiare o crema, in strati sottili e medi, piano-paralleli o ondulati, con bioturbazioni sparse, a liste e noduli di selce, cui si alternano in proporzioni variabili interstrati marnosi o argillosi, centimetrici, omogenei o laminati, spesso ricchi in materia organica, che possono costituire veri e propri black shales.

La Maiolica presenta spessori variabili da 100 a circa 250m nel Foglio 097-Vimercate.

In base alla biostratigrafia a nanfossili calcarei, calpionelle e foraminiferi planctonici, la Maiolica rappresenta l'intervallo Totoniano superiore.

4.1.1.3 La Successione Clastica Cretacica del Bacino Lombardo

Marna di Bruntino (BRU)

La Marna di Bruntino è stata definita formazionalmente dagli Autori con area tipo in corrispondenza della Bergamasca centrale, mentre in precedenza la stessa era indicata con la denominazione informale di Scisti Neri. All'esterno del Foglio 098-Bergamo la Marna di Bruntino corrisponde alla Scaglia Variegata, sia nel Varesotto che nel Bresciano.

La Marna di Bruntino è costituita da una successione di argilliti varicolori, marne, siltiti ed areniti fini torbiditiche, con locali intercalazioni di corpi conglomeratici lenticolari, sviluppata su spessori variabili da 70 a 120m circa, nel Foglio 097-Vimercate.

In base alla biostratigrafia a foraminiferi planctonici la Marna di Bruntino è datata, nelle successioni complete, all'Aptiano inferiore-Albiano superiore.

Sass de la Luna (SDL)

Il Sass de la Luna è un'unità litostratigrafica informale, costituita da una successione di marne e marne calcaree grigie. L'unità, tipica della Bergamasca e del Bresciano occidentale, corrisponde lateralmente nel Varesotto alla parte superiore della Scaglia Variegata.

Il Sass de la Luna è stato suddiviso in due litozone informali.

- Litozona Inferiore. Questa litozona comprende una successione di marne e marne calcaree grigie o grigio-brune, localmente rossastre, potente da 10 a 60-80m nel Foglio 097-Vimercate.
- Litozona Superiore. Questa litozona è costituita in prevalenza da calcari marnosi che presentano tutti i caratteri tipici dei depositi risedimentati. Lo spessore raggiunge i 200m nel Foglio 097-Vimercate.

Il Sass de la Luna presenta uno spessore complessivo variabile da 20 a circa 260m nel Foglio 097-Vimercate.

In base alla biostratigrafia a foraminiferi planctonici, l'unità è riferibile all'Albiano superiore sommitale.

4.1.1.4 I Sistemi Torbiditici Cenomaniani

Formazione di Sorisole (FSE nella carta 1: 50.000/FSR in quella di maggior dettaglio a scala 1: 10.000)

La Formazione di Sorisole nell'area del Foglio 097-Vimercate, quando si sviluppa con continuità, è costituita da quattro litofacies, di seguito descritte dal basso verso l'alto come riportato nella "Carta geologica d'Italia" a scala 1: 50.000. Parte della formazione è progressivamente sostituita in eteropia verso W da un intervallo marnoso, definito "facies eteropiche" e cartografato dagli Autori come Unità CM. Questa successione prende in questa sede la denominazione di Membro del Torrente Sonna (FSE 1/FSR 04).

La Litofacies delle marne rosse (FSE a/MNR) è rappresentata da tre facies principali ben sviluppate nella sezione tipo:

- calcareniti a bioclasti passanti a calcilutiti o a marne bioturbate in strati gradati e laminati da sottili a medi;
- pebbly mudstone intraformazionali, con clasti calcarei e silicei in strati medi discontinui talora grossolanamente gradati;
- marne rosse a stratificazione piano-parallela da media a molto spessa, bioturbate o laminate.

I banchi caotici (FSE b, FSE d) sono rappresentati da due banchi di calcari micritici a struttura caotica abbracciati la facies delle torbiditi sottili, il primo direttamente sovrastante le Marne Rosse, il secondo a tetto della formazione.

Le torbiditi sottili (FSE c/FSR 02) costituiscono una litofacies a composizione sia silicoclastica che carbonatica, comprensiva di:

- alternanze di arenarie medio fini e peliti in rapporto 3/1, in strati gradati e laminati con sequenze di Bouma complete, a geometria lenticolare o discontinua;
- arenarie medie o fini, a laminazione obliqua, in strati medi o sottili lenticolari frequentemente amalgamati a calcilutiti;
- alternanze di arenarie fini e peliti in rapporto da 1/1 a 1/5 in strati piano-paralleli;
- strati piano-paralleli a base siltosa e tetto pelitico o marnoso;
- calcareniti fini e calcilutiti spesso silicee, in strati da sottili a medi gradati e laminati in livelli da sottili a medi che si intercalano alle facies precedenti.

Lo spessore della Formazione di Sorisole va considerato sia nell'insieme, che relativamente alle singole litozone che la costituiscono: nell'insieme gli spessori più rilevanti si osservano in affioramenti collocati in posizione relativamente più settentrionale, con circa 140m nella località tipo.

La Formazione di Sorisole nelle sezioni più complete comprende zone che ne consentono la datazione al Cenomaniano ed in particolare, le Marne rosse al Cenomaniano inferiore ed a parte del Cenomaniano medio, la parte restante della successione al Cenomaniano medio e superiore.

4.1.1.5 I Sistemi Torbiditici ed Emipelagici Turoniani

Questo insieme di unità è rappresentato dalla Formazione di Gavarno e dal Flysch di Pontida.

Formazione di Gavarno (GVR)

Si tratta di una formazione prevalentemente pelitica suddivisa nei due Membri delle Peliti nere e delle Peliti rosse.

Membro delle Peliti nere (GVR 1/PNR)

Il membro è costituito da una successione di argilliti nere, talora molto ricche in materia organica, intercalate con marne grigie e torbiditi fini siltoso-arenitiche a stratificazione piano-parallela.

Le facies più significative sono di seguito descritte:

- marne da grigie a verde oliva, normalmente massive, talora in orizzonti a lamine millimetriche alternati ad orizzonti bioturbati;

- argilliti nere, talora siltose, in strati sottili, di norma laminati e ricchi in materia organica (“black shale”);
- alternanze arenaceo-pelitiche in strati da sottili a medi, con arenarie fini gradate e laminate e peliti grigio-scure e nere;
- peliti grigie, verde oliva o giallastre in strati da medi a spessi finemente gradati e con laminazione piano-parallela diffusa;
- calcilutiti grigio-scure, intercalate saltuariamente alle facies terrigene descritte, talvolta silicizzate, in strati piano-paralleli sottili e medi, più grossolani alla base per la presenza di una lamina millimetrica a foraminiferi e radiolari risedimentati.

L’associazione di facies più tipica del Membro delle Peliti nere affiora a Sorisole, in Val Baderen, con circa 40m di emipelagiti grigie, torbiditi fini e sottili e intercalati sottili livelli di “black shale”.

In relazione all’associazione faunistica segnalata nella sua parte basale e nei livelli stratigrafici del Flysch di Pontida, immediatamente sovrastante, il membro delle peliti nere è datato al Cenomaniano sommitale-Turoniano inferiore.

Membro delle peliti rosse (GVR 2/PTD 01)

Il Membro delle Peliti rosse comprende una successione di argilliti con subordinati livelli arenacei a stratificazione sottile e orizzonti calcilutitici normalmente silicizzati.

Le facies più rappresentative sono di seguito illustrate:

- alternanze di peliti ed arenarie in strati da sottili a medi piano-paralleli, talora lenticolari. Si tratta di arenarie micacee medie e fini, gradate e con laminazioni da parallele ad oblique e di peliti grigio-oliva talvolta rossastre bioturbate.
- peliti e siltiti da grigio-giallastre a rosse, in strati di vario spessore talora sottilmente gradati; peliti e siltiti rosse con mica detritica diffusa e con intercalati livelli pelitici scuri, sottili, ricchi in materia organica; peliti rossastre massive o sottilmente laminate, a volte bioturbate;
- calcareniti bioclastiche gradate in strati piano-paralleli; calcilutiti silicizzate grigio-verdi in strati sottili piano-paralleli.

Al Membro delle Peliti rosse nella sinclinale di Sorisole s’intercala un terzo Banco Caotico (Banco caotico III, GVRa), i cui caratteri litologici sono analoghi a quelli dei I e del II Banco caotico della Formazione di Sorisole.

Il Membro delle Peliti rosse raggiunge gli spessori massimi con 130m nella zona di Sorisole. Al Torrente Tornago lo spessore del Membro delle Peliti rosse non supera i 50m; alla riduzione di spessore si accompagna lo sviluppo di peliti rosse nella sua parte inferiore.

Le microfaune planctoniche segnalate consentono una attribuzione cronologica estesa dal Turoniano inferiore al Turoniano medio.

Flysch di Pontida (PTD)

Il Flysch di Pontida è costituito da alternanze marnose-arenacee a stratificazione da sottile a spessa, cui si alternano strati e banchi calcareo-marnosi spessi fino ad alcuni metri, talora gradati e con base conglomeratica.

Esso presenta una associazione di facies relativamente monotona costituita per la maggior parte da strati arenacei di origine torbiditica, incompleti alla base e a geometria piano-parallela. Prevalgono: coppie pelite/arenaria molto fine-silt in strati da sottili a spessi, con l’intervallo pelitico molto più spesso di quello arenitico; coppie siltiti e peliti giallastre in strati di vario spessore; coppie calcareniti /calcilutiti gradate in strati da sottili a molto spessi.

Lo spessore del Flysch di Pontida è difficilmente misurabile, non solo per l’estensione delle coperture superficiali, ma anche per la frequente pervasività della strutturazione tettonica a diversa scala. I valori massimi sono stati valutati in circa 600m nell’area tipo Pontida-M. Brocchione e nella parte più occidentale del foglio (Monte Crocione). Nell’area

del Canto lo spessore dell'unità è di circa 400m, condizionato da pieghe e faglie la cui geometria è di difficile definizione.

Le microfane segnalate, discusse anche in relazione alla posizione stratigrafica della formazione, ne consentirebbero il riferimento al Turoniano medio-superiore.

4.1.2 Unità della Successione Neogenica-Quaternaria

I depositi continentali neogenico-quaternari sono stati rilevati ex-novo alla scala 1:10.000 per il Foglio 097-Vimercate; in particolare essi sono stati:

- caratterizzati dal punto di vista sedimentologico, stratigrafico, petrografico e dell'alterazione,
- gerarchizzati in supersintemi/sintemi, gruppi/formazioni e unità informali, a seconda dei caratteri dei sedimenti di volta in volta cartografati e delle problematiche affrontate,
- suddivisi sulla base dei bacini di appartenenza, laddove tale distinzione risulti significativa per la ricostruzione della storia geologica, oppure distinti sulla base dei processi e delle dinamiche di formazione, indipendentemente dal bacino di appartenenza.

4.1.2.1 Unità del Bacino del Brembo

Il bacino del Brembo comprende la Bassa Val Brembana, la bassa valle del T. Imagna e tutta la parte di Alta pianura occupata dal Brembo sino alla sua confluenza con l'Adda. Dominano pertanto unità stratigrafiche caratteristiche delle aree pedemontane e degli sbocchi vallivi, che comprendono colluvi, conoidi, delta, piane fluviali braided e sandur.

Conglomerato di Cà della Zogna (CZO/Zog)

Definizione. Conglomerato costituito da ghiaie a supporto clastico e matrice arenacea, con ciottoli arrotondati; ben cementato (depositi fluviali). La petrografia è prevalentemente calcarea, con clasti provenienti dalla valle del Torrente Imagna; la morfologia è relitta.

Morfologia e Paleogeografia. Nonostante l'estrema limitatezza dell'affioramento, l'unità rappresenta un importante elemento nella paleogeografia dell'area. Infatti, il Conglomerato di Cà della Zogna testimonia una fase di aggradazione fluviale del T. Imagna, in un periodo antecedente alla formazione dei grandi solchi (valli e laghi) prealpini, ritenuta di età messiniana. All'epoca, gli attuali dossi costituivano un fondovalle, su cui andavano depositandosi le ghiaie fluviali del T. Imagna; con la riorganizzazione del reticolo idrografico conseguente all'approfondimento messiniano, il paleofondovalle veniva disattivato, mentre il T. Imagna si creava una nuova via, approfondendo il suo corso. Il progressivo innalzamento del territorio e il conseguente approfondimento del reticolo idrografico nei periodi successivi ha portato, infine, all'inversione del rilievo attualmente osservabile.

Età. In base alle considerazioni di carattere paleogeografico, il conglomerato viene attribuito al Miocene pre Messiniano.

Formazione di Almenno Basso (AEO/Alm)

Definizione. Ghiaie a ciottoli arrotondati (depositi fluviali). L'unità è pedogenizzata per l'intero spessore osservato (>8 m) con colori compresi da 2.5YR a 7.5YR.

Morfologia e Paleogeografia. La formazione è morfologicamente associata ai terrazzi di aggradazione più elevati dell'area brembana: si tratta di una sistema di ridotti terrazzi, con disposizione NE-SW, fortemente rimodellati ed erosi, addossati al versante SE del M.Castra. Si distinguono due ordini di terrazzi, compresi tra quota 330m circa (sistema superiore) e 325m circa (sistema inferiore). Le forme terrazzate a Ovest del Rio di Valle Armisa sono state attribuite a questa unità esclusivamente su base geometrica (altimetrica).

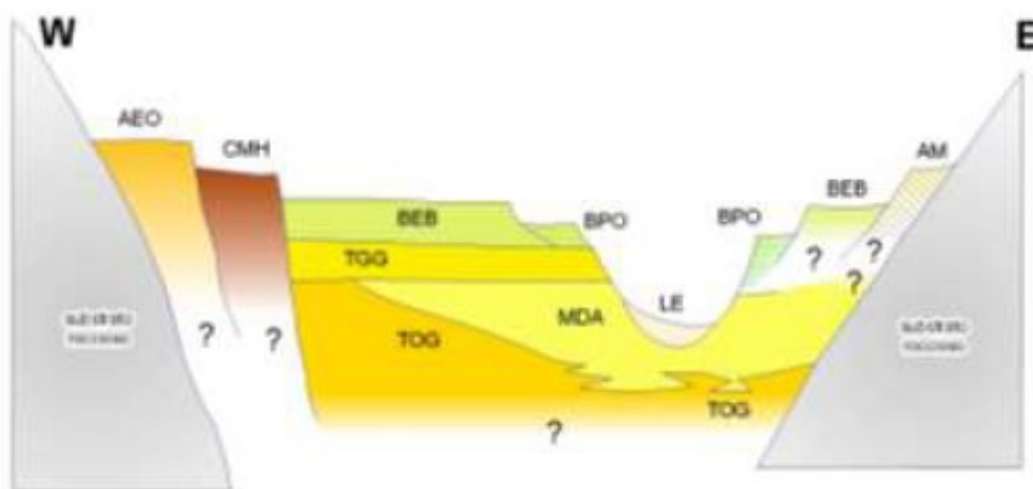


Fig.1 –Schema dei rapporti stratigrafici delle unità del Bacino del Brembo tra Almenno S.Bartolomeo e Brembate di Sopra (da Note Illustrative F097-Vimercate).

Il grado di alterazione (il più elevato riscontrato nell’area) e la quota dei terrazzi supportati (prossima a quella del Conglomerato di Cà della Zogna) portano ad ipotizzare che la Formazione di Almenno Basso testimoni una fase di aggradazione del PaleoBrembo in una situazione paleogeografica differente da quella attuale, precedente all’incisione messiniana delle valli. Pertanto, la formazione risulterebbe più antica di tutti i corpi conglomeratici posti a quota più bassa e degli stessi depositi marini della Formazione di Tornago.

Età. Sulla base delle osservazioni precedenti, si ritiene che la Formazione di Almenno Basso possa essere attribuita al Miocene.

Formazione di Tornago (TOG/Tog)

Definizione. Limi argillosi e limi grigi, massivi, con sottili livelli clastici, fossiliferi. Sabbie fini e molto fini, sabbie limose e limi, di colore giallastro, da laminati a stratificati (depositi marini circalitorali e infralitorali).

Morfologia e Paleogeografia. La Formazione di Tornago non dà origine a morfologie proprie, perché è sepolta alla base della successione Plio-quadernaria. Dal punto di vista paleoambientale, le comunità più antiche (“delle argille grigio azzurre”) testimoniano un ambiente marino circalitorale, instabile per il continuo apporto di materiale terrigeno fine e organico; questa situazione rappresenta le fasi iniziali del colmamento del bacino bergamasco (Zancleano e Piacenziano). Successivamente, si assiste a una riduzione batimetrica del bacino marino, testimoniata dall’aumento della frazione sabbiosa nei sedimenti, a cui corrisponde un brusco impoverimento delle microfaune e un arricchimento delle forme alloctone nelle tanatocenosi.

La presenza di Pliocene marino all'interno delle preesistenti grandi valli orobiche permette inoltre di disegnare un paesaggio costiero a ria. Tra la deposizione della Formazione di Tornago e quella del Ceppo del Brembo è intercorsa una fase tettonica, evidenziata dalla discordanza angolare tra i depositi delle due unità.

Età. Le associazioni micropaleontologiche suggeriscono un’età che va dallo Zancleano al Piacenziano.

Conglomerato di Duno (DUN/Dun)

Definizione. Conglomerato costituito da ghiaie a supporto clastico, con matrice arenacea-siltitica; subordinati livelli fini sabbioso fini-limosi (depositi fluviali). Petrografia esclusivamente calcarea, proveniente dalla valle del T. Imagna.

Morfologia e Paleogeografia. Il Conglomerato di Duno è privo di morfologia propria, in quanto costituisce il riempimento di una valle che incide il versante destro della valle del T. Imagna, tra Clanezzo e Cabrozzo, a partire da quote di poco superiori al livello dell'alveo attuale fino a quota 315m circa.

La valle attualmente drena le acque a Nord verso la valle del T. Imagna; il conglomerato fluviale che la colma mostra, al contrario, immersioni verso Sud. Pertanto, essa costituisce una paleoforra, creata, prima di quella di Clanezzo, dal T. Imagna in prossimità della sua confluenza con il Fiume Brembo, durante la fase di approfondimento messiniano del reticolo vallivo. La paleoforra, di cui si perdono le tracce, doveva proseguire verso Sud attraverso la stretta di Cà della Zogna o verso E, nell'attuale solco a Sud di Cà Trimagna (a SE del colle quota 360m s.l.m. a Sud di Clanezzo).

Se il limite con i sottostanti depositi marini pliocenici è effettivamente transizionale, come riportato in letteratura, l'unità rappresenta il primo evento continentale nel bacino bergamasco, dopo la fase marina pliocenica, e indica una continentalizzazione rapida e sostanzialmente continua. Le giaciture relativamente elevate (fino a 30°) dei banchi conglomeratici segnalano la presenza di una probabile componente neotettonica nell'attuale assetto (basculamento verso i quadranti meridionali), analogamente a quanto verificato nella sottostante Formazione di Tornago.

Età. Le relazioni stratigrafiche definite permettono di attribuire il conglomerato di Duno alla parte terminale del Pliocene (Piacenziano), successivamente alla formazione di Tornago, e/o al Gelasiano.

Conglomerato di Madonna del Castello (MDA/Mda)

Definizione. Conglomerati a supporto di matrice arenacea, arenarie conglomeratiche clinostratificati con forte cementazione, alternanze di limi e argille (depositi deltizi). I ciottoli derivano quasi esclusivamente dalle formazioni carbonatiche mesozoiche.

Morfologia e Paleogeografia. Il Conglomerato di Madonna del Castello struttura i terrazzi che formano il livello modale della pianura allo sbocco della Val Brembana (terrazzi di Madonna del Castello in sponda destra e di Almè in sponda sinistra). Esso testimonia l'edificazione, allo sbocco della Val Brembana, di un delta che progrediva verso Sud, evidenziando una maggior disponibilità di apporti clastici e un aumento dell'energia dei corsi d'acqua, in probabile risposta a un sollevamento tettonico e/o a un inacidimento climatico dell'inizio del Pleistocene inferiore, riconosciuti sulla base di evidenze neotettoniche e paleoambientali anche in altre aree prealpine.

Età. Le relazioni con la Formazione di Tornago e le microfaune rinvenute in alcune intercalazioni pelitiche consentono di attribuire l'unità al Gelasiano.

Supersintema di Almè (AM/Lm)

Definizione. Ghiaie massive (depositi fluvioglaciali). La superficie superiore caratterizzata da un profilo di alterazione molto evoluto, di spessore non valutabile, con colore 7.5YR. Alla sommità vi è una duplice copertura loessica, con episodio basale a fragipan.

Il Supersintema di Almè comprende depositi fluvioglaciali di provenienza brembana relativi a più episodi glaciali, caratterizzati da un profilo d'alterazione evoluto e, in prevalenza, da una copertura loessica complessa, con almeno un episodio basale a fragipan.

Morfologia e Paleogeografia. In sponda sinistra del Fiume Brembo l'unità forma un terrazzo che si segue fino a circa 300m a Sud del Cimitero di Almè; alcuni tratti (bivio Bergamo-Ponte S. Pietro) sono di individuazione problematica.

A Sud del cimitero scompare ogni discontinuità morfologica e la superficie si fonde con quella del Sintema di Brembate; il limite pertanto è incerto. Le quote del terrazzo variano tra 295-285m. In sponda destra l'unità è associata a un terrazzo di modesta evidenza morfologica, ad eccezione del suo limite orientale, che si estende tra le quote 305-300m, presso Almenno San Salvatore.

Il Supersintema rappresenta una fase di aggradazione fluvio-glaciale, coincidente con un'avanzata glaciale in Val Brembana; si è trattato, presumibilmente, di un evento sedimentario di importanza relativa, dal momento che i suoi depositi sono stati largamente erosi e ricoperti da quelli successivi (Sintema di Brembate).

Età. In base alla struttura delle sequenze sommitali e ai caratteri del profilo d'alterazione, il Supersintema di Almè viene attribuito al Pleistocene medio.

Sintema di Brembate (BEB/Bm)

Definizione. Ghiaie a supporto clastico (depositi fluvio-glaciali). La superficie superiore è caratterizzata da un profilo di alterazione evoluto, con spessore tra 5,5 e 8 m e colore 7.5YR. la copertura loessica è sempre presente.

L'unità è costituita da ghiaie a supporto clastico, con matrice prevalentemente limoso argillosa, con frazione sabbiosa variabile; il colore è 7.5YR, subordinatamente 10YR e 5YR. I ciottoli sono ben arrotondati, con prevalenza di forme discoidali ed ellissoidali, da centimetrici a decimetrici.

Morfologia e Paleogeografia. L'unità mostra una forte asimmetria nello sviluppo areale tra la sponda destra e sinistra del Fiume Brembo: in riva destra costituisce una ristretta fascia, delimitata, fatta eccezione per l'area tra Arzenate e Tresolzio, da una netta scarpata con dislivelli variabili tra 3 (Tresolzio-Sottoriva) e 15m (Campino-San Giuseppe). In riva sinistra essa forma una fascia più larga e più estesa verso Sud. Nelle parti più settentrionali sono distinguibili, su entrambe le sponde del Brembo, due sistemi di terrazzi, morfologicamente ben distinti, ma pedologicamente omogenei. Il Sintema di Brembate testimonia una fase importante di aggradazione dell'Alta pianura, in connessione con una delle numerose espansioni dei ghiacciai brembani nel Pleistocene medio.

Età. la sistematica presenza di una singola copertura loessica e i caratteri pedologici portano ad attribuire l'unità al Pleistocene medio.

Supersintema di Besnate (BE)

Nelle sue linee generali il Supersintema di Besnate viene descritto tra le unità del Bacino dell'Adda. Per quanto riguarda il bacino del Brembo, il Supersintema di Besnate comprende due unità non direttamente correlabili con le analoghe del Bacino dell'Adda. Nell'area comunale è presente la sola Unità di Ponte San Pietro, di seguito descritta.

Unità di Ponte San Pietro (BPO-Ts)

Definizione. Ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa e sabbioso limosa, carbonatica; ciottoli arrotondati, spesso discoidali, in prevalenza carbonatici; limi di esondazione a tetto (depositi fluvio-glaciali). I profili d'alterazione sono relativamente poco evoluti, e raggiungono spessori compresi tra 1,4 e 2m, con colore prevalente 7.5YR. La copertura loessica è comunemente assente. I ciottoli sono prevalentemente arrotondati, spesso discoidali, con dimensioni prevalenti tra 2 e 10cm e diametro massimo osservato di 45cm.

Morfologia e Paleogeografia. L'Unità di Ponte San Pietro mostra una distribuzione areale marcatamente asimmetrica, poiché si sviluppa in prevalenza sulla sponda sinistra del Brembo, analogamente al Sintema di Brembate. Anche i caratteri morfologici presentano variazioni areali, differenziandosi tra il settore settentrionale e quello centromeridionale dell'area di affioramento.

Nel settore settentrionale, il Supersintema di Besnate forma strette piane fluvio-glaciali, con larghezze comprese tra 50 e 350m, lievemente incassate nella valle del Brembo, in posizione immediatamente sottostante a quelle del Sintema di

Brembate. Le piane sono organizzate in un numero non precisabile di terrazzi spaiati (se ne riconoscono almeno tre ordini), di grande sviluppo longitudinale complessivo, ma individualmente molto discontinui e pertanto di difficile correlazione morfologica, tenuto conto anche delle esigue differenze di quota tra essi.

L'Unità di Ponte San Pietro rappresenta un sistema di piane fluvioglaciali, aggradate allo sbocco della Val Brembana durante più episodi di espansione glaciale.

Età. L'unità, in base alla posizione e ai caratteri pedologici, comprende l'equivalente stratigrafico brembano del supersintema di Besnate del Bacino dell'Adda; viene assegnata, pertanto, al Pleistocene medio-Pleistocene superiore.

4.1.2.2 Unità non distinte in base al bacino di appartenenza

Supersintema di Palazzago (PA/PPL)

Definizione. Limi, limi argillosi e sabbie, ciottolosi; diamicton a clasti da subarrotondati a subspigolosi con matrice sabbiosa o limoso argillosa; orizzonti clastici (depositi di versante s.l., colluviali in prevalenza). Ghiaie a supporto sia elastico che di matrice; ciottoli da subarrotondati a subspigolosi delle formazioni locali (depositi fluviali). La pedogenesi è variabile, con colori prevalenti 7.5YR e 10YR.

Il Supersintema di Palazzago comprende depositi principalmente colluviali e di conoide, legati agli eventi sedimentari avvenuti a partire dalle prime glaciazioni del Gelasiano sino allo LGM (massima espansione glaciale), in aree non glacializzate nelle fasce di raccordo tra il margine prealpino e la pianura e nei settori più meridionali delle Prealpi.

In aree non glacializzate i versanti hanno mantenuto la spessa coltre di alterazione, ereditata dalla prolungata pedogenesi terziaria di tipo subtropicale. I processi periglaciali, che agivano durante i periodi freddi corrispondenti ad espansioni glaciali, quando i versanti erano privi di vegetazione anche a grande distanza dai ghiacciai (fasi di resistasia), hanno favorito la mobilitazione di queste coperture, dando origine a generazioni di depositi colluviali non differenziabili, in quanto alimentati dalla stessa sorgente alteritica dei versanti e privi di espressione morfologica propria.

Il Supersintema di Palazzago è costituito, principalmente, da depositi colluviali e loessico/colluviali con sedimenti fini (da limi argillosi a sabbie) pedogenizzati, massivi o grossolanamente clinostratificati, a contenuto elastico variabile.

Morfologia e Paleogeografia. Il supersintema è morfologicamente riconducibile a due situazioni:

- depositi terrazzati e incisi in aree vallive secondarie, senza connessione morfologica con i corpi dei bacini principali;
- depositi allo sbocco delle valli o ai piedi dei versanti prospicienti la pianura (glacis), in rapporti di discontinuità o di raccordo morfologico con i corpi dei bacini principali. Anche in situazioni di continuità morfologica, la polifasicità delle superfici e l'omogeneità sedimentologica e pedologica dei depositi, non consentono, in genere, una correlazione ragionevolmente certa con le unità di bacino raccordate.

Dal punto di vista paleogeografico il Supersintema di Palazzago è l'espressione sedimentaria di eventi legati a situazioni deposizionali locali, in ambito di valle laterale o di sbocco vallivo.

Età. Per quanto detto l'età del Supersintema di Palazzago è estremamente variabile. Esso comprende sedimenti di età compresa tra il Gelasiano e il Pleistocene superiore.

Unità di Cà Biagidi (PBG/PBi)

L'unità forma un conoide alimentato dalla Valle Armisa, che incide il fianco meridionale del M. Castra ed è associato alla piana sospesa di Cà Biagidi-Madonna del Castello, la quale si estende tra quota 280 e 270 m a Ovest di Almenno San Salvatore.

Il materiale rideposto nel conoide proviene, prevalentemente, dall'erosione delle coperture colluviali del versante ed è formato da ghiaie stratificate a supporto clastico, con matrice limoso argillosa di colore 10YR; i clasti, di origine locale, sono fortemente alterati.

Unità di Cascine Zanchi (PZa)

L'unità, non distinta cartograficamente alla scala 1: 50.000, affiora allo sbocco della valle del T. Tornago (Almenno) dove forma una superficie a pendenza maggiore rispetto alla piana antistante, alla quale si raccorda. E' costituita da depositi di conoide, con alternanze di ghiaie e sabbie. In particolare si tratta di ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbioso limosa, di colore 7.5YR; i clasti sono spigolosi, centimetrici, di origine locale (selce). Vi sono intercalazioni pluridecimetriche di sabbie rubefatte (5YR), a stratificazione suborizzontale.

Sintema del Po (POI/Pg)

Definizione. Ghiaie a supporto clastico, in prevalenti strati planari; sabbie e limi da massivi a laminati (depositi fluviali e di esondazione). Limi e argille, localmente idromorfi; alternanze di livelli fini e livelli ghiaiosi (depositi lacustri). Ghiaia e sabbia, limi con clasti sparsi (depositi di versante e colluviali). Blocchi (depositi di frana). La superficie limite superiore è poco o non alterata, caratterizzata da entisuoli ed inceptisuoli.

L'Unità è di recente istituzione, e corrisponde all'Unità Postglaciale utilizzata nella cartografia alla scala 1: 10.000 della Regione Lombardia e precedentemente nella Carta della Provincia di Bergamo. Precedentemente, i depositi corrispondenti a questa unità sono stati cartografati come "Alluvioni attuali, recenti, antiche e tardive" o come unità morfologiche (conoidei, coni e falde detritiche, morene recenti).

Il Sintema del Po è composto da:

- depositi fluviali: alternanza di sabbia e ghiaia fine con matrice limoso argillosa, con debole organizzazione in lenti. In particolare sono presenti: sabbia fine limosa 2.5Y5/4, ghiaia media pulita, ghiaia a supporto clastico con matrice sabbiosa a stratificazione da evidente a indistinta; sabbie da grossolane a fini.
- depositi fluviali di esondazione e di bassa energia: limi, limi sabbiosi e sabbia, prevalentemente massivi, con colore 10YR, occasionalmente con clasti sparsi.

Terreni di riporto (ant)

Si tratta di terreni di riporto antropici di varia natura.

4.2 CARTA GEOMORFOLOGICA

La "Carta Geomorfologica" è stata redatta grazie ad un apposto rilievo di tipo geologico-geomorfologico sul terreno, che ha permesso, compatibilmente con le condizioni morfologiche dei siti e la soprattutto l'importante copertura vegetale, di verificare le condizioni idrogeologiche e soprattutto quelle di stabilità di ogni punto del territorio comunale.

Si evidenzia che volutamente non è stata effettuata alcuna distinzione fra le rocce del substrato roccioso, né sono state mappate le Formazioni di Tornago e di Cà della Zogna, di limitata estensione areale, e che semplicità sono state accorpate le due unità "Sintema di Brembate" e "Supersintema di Almè", nel complesso simili.

Non sono inoltre state riportate alcune piccole sorgenti localmente presenti negli impluvi che solcano il territorio comunale, fra cui in particolare quelle lungo il T. Tornago.

Nel corso del rilievo, alla luce dei requisiti della recente D.g.r. n.11/7564 del 15.12.2022, è stata posta particolare attenzione all'individuazioni di eventuali cavità sotterranee, di origine sia naturale che antropica.

Gli elementi considerati dal rilievo sono di seguito riportati.

4.2.1 Unità di tipo areale

Unità geologico-geomorfologiche

- Copertura eluviale (el)
- Deposito colluviale (coll)
- Breccia di versante affiorante (BrV)
- Conglomerato affiorante e depositi torrentizi del T. Tornago (C-To)
- Depositi alluvionali del T. Tornago (All.To)
- Depositi alluvionali recenti (quota inferiore) (POI 1)
- Depositi alluvionali recenti (quota superiore) (POI 2)
- Conglomerato Madonna del Castello (MDA)
- Depositi di versante (Supersintema di Palazzago) (PA)
- Depositi di conoide (Unità di Cà Biagidi) (PBG)
- Depositi fluvioglaciali con modesta copertura limoso argillosa (Unità di Ponte San Pietro) (BPO)
- Depositi fluvioglaciali con copertura limoso argillosa (Sintema di Brembate e Supersintema di Almè) (AM)
- Conglomerato calcareo di Duno (DUN)
- Depositi fluviali antichi alterati (Formazione di Almenno Basso) (AEO)
- Deposito fluviale antico Monte Duno (ALA)
- Substrato roccioso affiorante (SR)
- Substrato roccioso subaffiorante (SRSUB)

Unità antropiche

- Piazzale con terreno di riporto (Rip)
- Laghetti pesca sportiva (Lag)

4.2.2 Unità di tipo lineare e puntuale

Elementi attinenti la stabilità

- Nicchia di frana attiva non cartografabile
- Orlo di scarpata di degradazione o di frana quiescente
- Orlo di scarpata di degradazione o di frana relitta
- Orlo di scarpata di erosione fluviale
- Orlo di terrazzo stabile
- Zona di possibile distacco massi

Elementi idrologici

- Solco di ruscellamento concentrato asciutto
- Solco di ruscellamento concentrato (con acqua)
- Valletta stabile

Opere antropiche

- Argine in massi ciclopici

- Muro spondale
- Pennello Fluviale
- Terre armate
- Limite Ex Cava Monte Castra
- Bacino acquedotto
- Rudere Ponte Regina
- Sorgente Fontana di Roch
- Torre
- Tubazione di scarico
- Antica cava dismessa

4.3 CARTA IDROLOGICA E DELLA PERMEABILITA' DEI TERRENI SUPERFICIALI

La “Carta Idrologica e della permeabilità dei terreni superficiali” è stata realizzata utilizzando come base la “Carta geologica” (par.4.1) desunta dal CARG, per quanto concerne le condizioni di permeabilità dei terreni presenti, e la “Carta geomorfologica” (par.4.1), per quanto attiene al reticolo del drenaggio superficiale.

Non essendo disponibili dati di letteratura o ricavati da prove (in situ o in laboratorio) sufficienti per una caratterizzazione affidabile della permeabilità dei materiali presenti, le varie unità geologiche del territorio comunale sono state classificate in base alla loro “permeabilità relativa”, distinta in bassa, media e elevata come riportato in Tab.1.

La Tab.2 suggerisce possibili ordini di grandezza dei valori di permeabilità (k) per materiali appartenenti alle diverse classi di permeabilità relativa, sia per il substrato roccioso, che per i terreni di copertura.

Ricordando che

- gli effettivi valori di permeabilità dei terreni di copertura possono variare notevolmente in funzione delle caratteristiche granulometriche e tessiture e delle situazioni locali, e
- che per le unità del substrato considerate la permeabilità è in genere molto bassa e valori esposti possono essere considerati fra i maggiori possibili, riscontrabili in particolari condizioni di fratturazione ed alterazione,

si ribadisce che i valori indicati hanno un valore puramente indicativo, e che i valori di permeabilità da utilizzarsi in applicazioni specifiche (ad esempio, formazione di strutture di subirrigazione) devono essere ricavati, volta per volta, da specifiche prove in situ o in laboratorio.

	Classe di permeabilità relativa	Unità litostratigrafica
	Substrato roccioso	bassa
Peliti e arenarie Turoniane (GVR, PTB, PNR)		
Marne e argilliti Cretaciche (BRU)		
Argilliti, marne, calcari marnosi, selci, calcari selciferi Giurassici (RAP, SRL, SOG)		
media		Calcari marnosi e marne (SDL)
		Calcilutiti (MAI)
		Calcari, calcari selciferi, calcari marnosi Giurassici (DCO, SED, MOT, DOM)
Depositi superficiali	bassa	Depositi superficiali
		Depositi fluviali alterati antichi (AEO)
		Depositi marini (Tog)
	media	Depositi colluviali (PPL)
		Conglomerati (Cr, Mad, Zog)
		Depositi fluvioglaciali (Ts, NBr, Bm, Lm)
		Conglomerato antico (Dun)
		Depositi di versante e di conoide (PBi, PZa)
		Terreni di riporto (ant)
	elevata	Depositi alluvionali attuali
		Depositi alluvionali recenti (Pg, Poi)

Tab.1 – Classificazione dei litotipi in funzione della permeabilità relativa.

	Classe di permeabilità relativa	Permeabilità (m/s)
Substrato roccioso	bassa	$k < 10^{-6}$
	media	$10^{-6} < k < 10^{-3}$
Depositi superficiali	Bassa (da sabbia limosa ad argilla)	$k < 10^{-6}$
	Media (da sabbia pulita a sabbia limosa)	$10^{-6} < k < 10^{-3}$
	Elevata (da ghiaia a sabbia grossolana)	$10^{-3} < k < 10^{-1}$

Tab.2 – Valori indicativi di permeabilità corrispondenti alle Classi di permeabilità relativa dei terreni considerati in Tab.1.

Come già accennato, nell'area comunale non sono presenti sorgenti ad uso idropotabile.

Il sito SITER della Provincia di Bergamo, nella "Carta delle piccole derivazioni", segnala la presenza di due pozzi ad uso idropotabile di proprietà della Società Hydrogest, posti presso il confine meridionale del Comune in località Campino Molina (area recintata Hydrogest).

Il primo pozzo, posto poco più a Sud dell'altro, ha profondità di 42,3m, diametro di 40cm e si sviluppa in terreni ghiaioso-sabbiosi e conglomeratici, intestandosi in basso in conglomerati e argilla; il livello statico è a 5,04m da p.c., mentre quello dinamico è a 5,74m da p.c.

Il secondo pozzo ha profondità di 57m, diametro di 35cm e si sviluppa in terreni ghiaiosi e conglomeratici, intestandosi in basso in argille compatte gialle e nere; il livello statico è a 6,25m da p.c., mentre quello dinamico è a 8,70m da p.c.

Nell'area comunale è poi indicato un terzo pozzo, definito "ad uso domestico", ubicato nella zona prativa presso Cà Quasso (tale pozzo non è indicato nella "Carta Idrologica").

4.4. SISMICITA' E CLASSIFICAZIONE DELL'AREA COMUNALE

4.4.1 Inquadramento sismologico

L'attività sismica delle Alpi Meridionali è prevalentemente concentrata nel settore centro-orientale (Veneto e Friuli Venezia Giulia). Relativamente al territorio lombardo, l'area a maggiore attività sismica è situata nella provincia di Brescia, in prossimità del Lago di Garda e la sismicità decresce procedendo da Est a Ovest e da Sud a Nord.

Per la caratterizzazione dell'area comunale dal punto di vista sismico, si è fatto riferimento al "Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990" riferito alla città di Bergamo e alla banca dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ("Catalogo Parametrico dei terremoti italiani" CPTI11 e CPTI15 e "Progetto Iside"), da cui sono state estratte le tavole di Fig.2 (terremoti avvenuti in un intorno di 20km dell'area comunale nel periodo 1985-2015).

Le varie fonti consultate non evidenziano eventi sismici con epicentro all'interno del territorio comunale di Almenno San Salvatore, ma si riconoscono diversi eventi in aree vicine (Lecchese, Bergamasca, Lago d'Iseo), caratterizzati da Magnitudo massime Ms in genere dell'ordine di 4-5; tutti questi eventi sono stati chiaramente avvertiti nella Bassa Valle Brembana, come pure lo sono stati anche quelli principali degli ultimi decenni avvenuti nell'area Friulana, Bresciana e Parmense.

I dati sismici relativi agli ultimi 30 anni mostrano eventi con Ms massima di 3 e profondità ipocentrali mediamente inferiori a 10km con massimi di 48km. In considerazione di quanto osservato, si può ritenere che l'attività sismica in zona sia nel complesso di moderata entità (magnitudo Ms inferiore a 5,0) ed essenzialmente legata ad eventi localizzati in aree esterne.

La sismicità strumentale contenuta nel catalogo CSI (Catalogo Strumentale della Sismicità Italiana) mostra uno schema di distribuzione con la sismicità strumentale disposta lungo una fascia allungata in direzione NE-SO che si estende dalla zona del basso Lago d'Iseo verso la Provincia di Brescia e verso la bassa Pianura Lombarda, con profondità ipocentrale degli eventi in media inferiore a 30km.

4.4.2 Classificazione sismica

L'O.P.C.M. n.3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", approvata con O.P.C.M. n. 3519 del 28/0/2006, aveva definito una nuova zonazione sismogenetica nazionale, e quindi anche il grado di pericolosità sismica dell'area lombarda e del Comune di Almenno San Salvatore (Fig.3 e Fig.4), basandosi sul parametro ag, descrittivo del valore di scuotimento atteso (la sua unità di misura è una frazione dell'accelerazione di gravità (g) per diversi periodi di ritorno).



#Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo
2015-11-30 13:07:18.910	45 742	9 788	9.07	2.01
2015-11-30 12:50:03.790	45 733	9 781	10.00	2.00
2015-11-29 08:29:24.600	45 731	9 772	10.01	1.08
2015-11-28 21:29:56.860	45 756	9 777	10.03	3.00
2015-06-24 08:05:00.200	45 747	9 534	14.01	1.03
2015-06-10 20:56:07.260	45 663	9 608	6.02	1.07
2015-05-30 11:08:14.610	45 655	9 407	24.6	1.05
2014-05-03 15:26:20.170	45 895	9 855	10.00	0.09
2011-12-31 23:36:00.460	45 814	9 651	5.00	2.01
2011-08-04 08:19:32.460	45 854	9 493	5.03	1.03
2011-06-23 15:02:10.800	45 829	9 393	10.00	2.01
2010-12-30 09:26:56.480	45 730	9 478	4.03	1.05
2010-12-29 09:13:58.230	45 845	9 529	3.07	1.02
2010-11-22 09:40:08.330	45 904	9 569	5.00	1.03
2010-05-14 03:35:29.850	45 777	9 757	7.01	2.08
2010-05-12 19:58:09.040	45 726	9 728	10.00	1.03
2010-05-11 14:04:37.420	45 749	9 730	10.00	1.09
2010-05-11 02:13:42.380	45 797	9 718	3.03	3.05
2009-07-10 01:20:53.840	45 846	9 451	5.00	1.04
2009-07-10 01:06:46.880	45 848	9 457	5.04	2.04
2009-06-06 14:23:48.510	45 666	9 350	4.04	2.01
2009-01-09 16:55:27.780	45 931	9 848	8.05	2.01
2007-07-20 10:02:28.620	45 740	9 382	10.00	1.09
2007-03-23 05:01:38.960	45 696	9 844	8.06	3.04
2006-04-27 00:57:50.310	45 886	9 661	48.40	1.09
2006-04-12 08:13:19.970	45 704	9 476	6.03	1.01
1999-12-01 04:02:55.540	45 891	9 653	21.04	2.06
1999-09-11 05:49:10.700	45 685	9 362	17.07	2.07
1996-08-23 01:37:42.990	45 756	9 350	10.00	2.09
1995-06-25 17:32:13.900	45 731	9 467	17.05	3.00
1992-09-08 02:29:16.970	45 893	9 423	10.00	2.04
1988-11-30 16:02:41.650	45 996	9 498	5.00	2.03
1988-11-03 09:29:59.270	45 879	9 511	5.00	2.00
1987-02-13 21:15:45.700	45 712	9 596	21.05	2.09
1985-04-23 06:38:28.360	45 641	9 840	8.06	2.03
1985-02-23 15:46:06.620	45 841	9 457	5.00	2.05

Fig.2 – Elenco degli eventi sismici avvenuti dal 1985 al 2015 all’intorno dell’area Comunale.

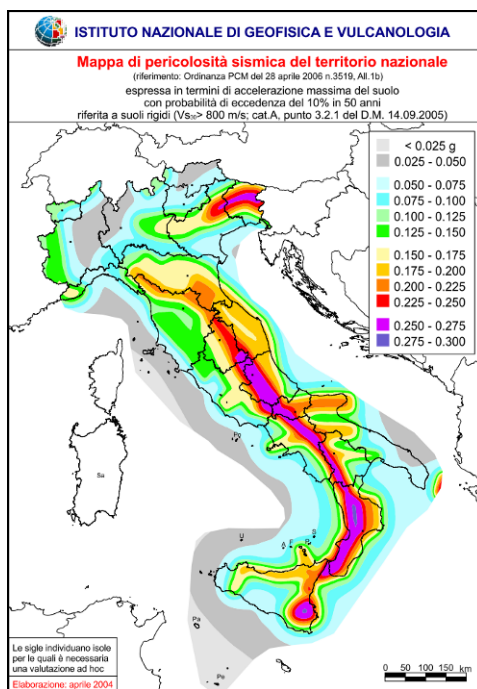


Fig.3 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (riferimento: O.P.C.M. n. 3519/2006, All. 1b) espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat. A).

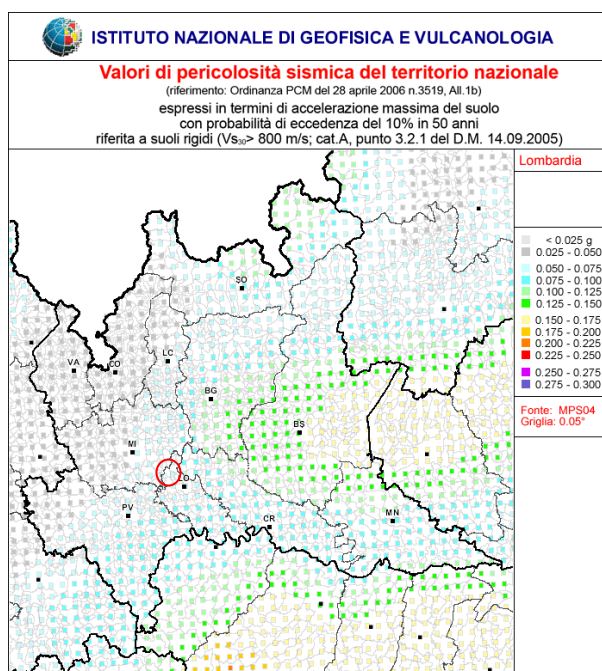


Fig.4 - Mappa di pericolosità sismica del territorio lombardo.

Il valore medio di a_g del territorio comunale (media dei valori delle celle 11156, 11157, 10934 e 10935), caratterizzato da un periodo di ritorno TR di 475 anni, ovvero contraddistinto da una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, corrisponde a 0,090g. (Fig.5), che colloca il Comune nella "Zona 3", ovvero zona a pericolosità bassa (Tab.3).

Parametri sismici					
Categoria sottosuolo: A					
Categoria topografica: T1					
Periodo di riferimento: 50 anni					
Coefficiente c_u : 1					
	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	a_g [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,026	2,463	0,191
Danno (SLD)	63	50	0,034	2,500	0,209
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,090	2,469	0,276
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,119	2,462	0,284

Fig.5 - Parametri e coefficienti sismici del dell'area centrale del Comune di Almenno San Salvatore.

Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica alta . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica media , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g < 0,05g$

Tab.3 – Classi di Pericolosità Sismica basate sull'Accelerazione massima attesa.

Si ricorda che l'O.P.C.M. n.3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", aveva definito una nuova classificazione sismica del territorio nazionale (precedentemente stabilita dal D.M. 5 marzo 1984), ed aveva posto il Comune di Almenno San Salvatore in Classe 4 (sismicità molto bassa), pur con ag maggiore di 0,05. Successivamente la Regione Lombardia con D.g.r. n.10/2129/2014 ha modificato la classificazione sismica del territorio regionale ponendo il Comune correttamente in Classe 3. Tale suddivisione dei comuni italiani in 4 classi di pericolosità sismica, precedente all'OPCM 3274/2003, è mantenuta ai soli fini amministrativi, non tecnici.

4.5. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO

4.5.1 Introduzione

I concetti generali dello studio della pericolosità sismica sono descritti nella parte introduttiva del Par.1.4 della D.g.r. n.9/2616/2011, di cui si riporta un ampio estratto:

"Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area.

In funzione, quindi, delle caratteristiche del terreno presente, si distinguono due grandi gruppi di effetti locali: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità.

- *Effetti di sito o di amplificazione sismica locale: interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. Tali effetti si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito:*
 - o *gli effetti di amplificazione topografica;*
 - o *effetti di amplificazione litologica;*
- *Effetti di instabilità: interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali instabilità sono rappresentate da fenomeni diversi a seconda delle condizioni presenti nel sito.*
 - o *Nel caso di versanti in equilibrio precario (in materiale sciolto o in roccia) si possono avere fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi ..., per cui il sisma rappresenta un fattore d'innescio del movimento sia direttamente a causa dell'accelerazione esercitata sul suolo sia indirettamente a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali.*
 - o *Nel caso di aree interessate da particolari strutture geologiche sepolte e/o affioranti in superficie tipo contatti stratigrafici o tettonici quali faglie sismogenetiche si possono verificare movimenti relativi verticali ed orizzontali tra diversi settori areali che conducono a scorrimenti e cedimenti*

differenziali interessanti le sovrastrutture.

- Nel caso di terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche si possono verificare fenomeni di scivolamento e rottura connessi a deformazioni permanenti del suolo; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di densificazione ed addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua sono possibili fluimenti e colamenti parziali o generalizzati a causa dei fenomeni di liquefazione.
- Nel caso di siti interessati da carsismo sotterraneo o da particolari strutture vucolari presenti nel sottosuolo si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati in relazione al crollo parziale o totale di cavità sotterranee.”

4.5.2 Procedura

Con l'introduzione della D.g.r. n.8/1566 del 22.12.05 “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione all'art.57 della L.R. n.12 del 11.03.2005”, aggiornata poi con la D.g.r. n.8/7374 del 2008 e quindi con la D.g.r. n.9/2016 del 2011, l'analisi e la valutazione degli effetti sismici di sito, finalizzate alla caratterizzazione sismica dell'area comunale per il Piano di Governo del Territorio, sono state codificate a livello procedurale mediante un approccio basato su tre distinti livelli, con grado di dettaglio via via crescente (Fig.6).

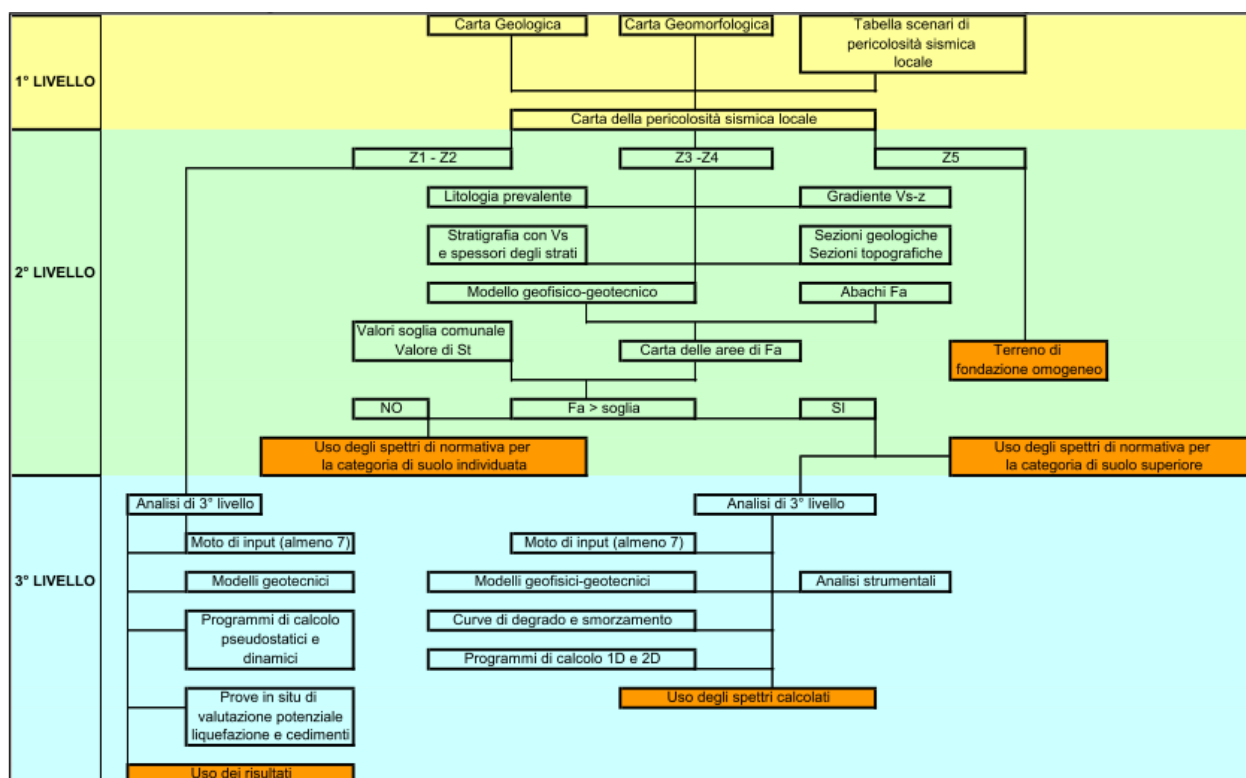


Fig.6 - Schema procedurale associato ai tre livelli di indagine (da All. 5 della D.g.r. n.9/2616/2011).

I primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione, con alcune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza, il terzo livello è invece obbligatorio in fase di progettazione sia quando con il secondo livello si dimostri l'inadeguatezza della Normativa Sismica nazionale per gli scenari di pericolosità sismica, sia per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse.

In dettaglio, in accordo alla D.g.r. n.9/2616 del 2011:

- 1° livello: Lo studio prevede il riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello è obbligatorio per tutti i Comuni e prevede la redazione della "Carta della Pericolosità sismica locale", nella quale deve essere riportata la perimetrazione delle diverse situazioni tipo -areale per gli scenari Z1, Z2 e Z4, lineare per gli scenari Z3 e Z5-, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).
- 2° livello: Lo studio prevede la caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella "Carta di pericolosità sismica locale", che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa). L'applicazione del 2° livello prevede la redazione della "Carta dei Fattori di amplificazione sismica", nella quale vengono riportate le posizioni e i risultati delle indagini svolte, e consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree, è previsto che, in fase di progettazione, si debba procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, si utilizzi lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore. Il 2° livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari individuati attraverso il 1° livello suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche Z3 e litologiche Z4 interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2) non è prevista l'applicazione degli studi di 2° livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3° livello, come specificato al punto successivo. Non è necessaria la valutazione quantitativa al 3° livello di approfondimento dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi, a meno che non si prendano opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

- 3° livello: Lo studio prevede la definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Al fine di poter effettuare le analisi di 3° livello la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati (Geoportale della Regione Lombardia), il cui utilizzo è dettagliato nell'Allegato 5 della D.g.r. n.9/2616 del 2011. Tale livello si applica in fase progettuale nei seguenti casi:
 - o quando, a seguito dell'applicazione del 2° livello, si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale all'interno degli scenari PSL caratterizzati da effetti di amplificazioni morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4);
 - o in presenza di aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1e Z2), nelle zone sismiche 2 e 3 per tutte le tipologie di edifici, mentre in Zona sismica 4 nel solo caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al D.D.U.O. n. 19904 del 21/11/ 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

Nel caso di sovrapposizione di più scenari sul medesimo ambito territoriale, si deve procedere con il grado di approfondimento più cautelativo.

Infine, gli approfondimenti di 2° e 3° livello non devono essere eseguiti in quelle aree che, per situazioni geologiche, geomorfologiche e ambientali o perché sottoposte a vincolo da particolari normative, siano considerate inedificabili, fermi restando tutti gli obblighi derivanti dall'applicazione di altra normativa specifica.

4.5.3 Analisi di 1° livello

L'analisi di 1° livello consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento. E' un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti.

Il metodo permette l'individuazione delle zone per le quali i diversi effetti prodotti dall'azione sismica, con buona approssimazione, possono essere previsti sulla base dei dati disponibili relativi alle specifiche condizioni geologiche locali. Lo studio consiste quindi nell'analisi dei dati esistenti già inseriti nella Cartografia di analisi, e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1: 5.000 denominata "Carta della Pericolosità Sismica Locale" (PSL), dove viene riportata la perimetrazione areale e la traccia lineare delle diverse situazioni tipo (Fig.7) in grado di determinare gli effetti sismici locali, i cosiddetti "Scenari di Pericolosità Sismica locale" definiti nella Tab.1 dell'All.5 alla D.g.r. n.9/2616/2011.

Per poter identificare questi scenari nel territorio di Almenno San Salvatore sono state utilizzate la "Carta Geologica" e la "Carta Geomorfologica", e i dati emersi da indagini geologiche di vari tipo eseguite in zona, in accordo a quanto indicato nella citata D.g.r. La trasposizione degli elementi evidenziati nella cartografia di base in scenari di Pericolosità Sismica locale è stata effettuata secondo i seguenti criteri:

- le aree corrispondenti a fenomeni franosi, che per la natura del territorio sono dati principalmente da frane di crollo in roccia e in minor misura da frane di scivolamento in roccia e terra, sono state classificate nello scenario Z1b in quanto in condizioni di quiescenza (distacchi di materiali occasionali), e nello scenario Z1c per quanto riguarda le aree a potenziale pericolo (per caduta di massi nelle zone rocciose, per scivolamento di terra in quelle con presenza di depositi eluvio-colluviali e detritici su pendenze medie e elevate), quelle cioè dove non si riconoscono fenomeni attivi, ma solo una predisposizione del territorio alla formazione degli stessi;
- nello scenario Z3a sono state inserite le zone di ciglio con altezza maggiore di 10m, inclinazione del fronte principale $\geq 10^\circ$ e inclinazione del fronte superiore uguale o minore di un quinto dell'inclinazione del fronte principale. Nello scenario Z3b sono state inserite le zone di cresta o cocuzzolo con angolo di base $\geq 10^\circ$ (per entrambi gli scenari è quindi stata effettuata una selezione fra i molti elementi presenti sul territorio, con analisi topografiche per la verifica della rispondenza o meno di ciascuno ai criteri riportati in Normativa). La definizione degli elementi di tale scenario è stata effettuata utilizzando modello digitale del terreno (DTM) fornito dal geoportale della Regione Lombardia. Si sono così evidenziate le aree che possono ricadere nelle categorie ricercate e scelto quelle significative; successivamente, dal momento che la normativa richiede la rappresentazione degli elementi morfologici con simbologia di tipo lineare, i dati "poligonali" relativi agli elementi morfologici sono stati trasformati in lineari e inseriti nella Carta PSL, secondo il seguente criterio: schema: Zona di ciglio con $H > 10$ m - Z3a, Zona di Cresta rocciosa e/o cocuzzolo - Z3b;
- le zone di fondovalle con presenza di depositi alluvionali sono state classificate nello scenario Z4a, quelle pedemontane con presenza di falde di detrito e depositi di conoide nello scenario Z4b e quelle lungo i versanti con depositi eluvio-colluviali nello scenario Z4d.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide delizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Fig.7 - Scenari di Pericolosità Sismica Locale (da All.5 della D.g.r. n.9/2616 del 30/11/2011).

4.5.3.1 Carta della Pericolosità Sismica locale

I vari scenari sopra descritti sono stati riportati sulla “Carta di Pericolosità sismica locale” in scala 1: 5.000, dove sono stati evidenziati con poligoni gli scenari Z1b, Z1c, Z4a, Z4b e Z4d, e con elementi lineari gli scenari Z3a e Z3b. Dall’analisi della “Carta di Pericolosità sismica locale” emerge quanto segue:

- Tutte le pareti rocciose sede di occasionali distacchi di massi, come già riferito, sono state inserite nello Scenario Z1b relativo alle Frane quiescenti, mentre le aree di varia pendenza interessate da potenziale pericolo di smottamenti e scivolamenti di terreno (sia quelle effettivamente osservate nel corso dei rilievi, che quelle recepite dalla vigente cartografia P.A.I.), sono state infine inserite nello Scenario Z1c. Non sono invece state inserite aree nello Scenario Z1a, in quanto nell’area comunale, al momento della stesura del presente documento, sono presenti solo piccoli problemi di stabilità in fase attiva, arealmente limitati e corrispondenti a piccoli smottamenti e crolli (frane attive di dimensioni non cartografabili).
- Lo Scenario Z3a comprende i cigli delle scarpate che delimitano terrazzi e dossi prativi, mentre lo Scenario Z3b comprende la maggior parte delle creste che delimitano i vari bacini idrografici, fra cui quella del Monte Castra, quelle della Valle Armisa, il rilievo di Duno ed il dosso di Collina di Vigna.
- I ripiani con depositi fluvio-glaciali del principale terrazzo di Almenno, quelli subito a sud del T. Imagna (zona artigianale) e i depositi alluvionali del fondovalle del Fiume Brembo sono stati posti nello Scenario Z4a. La fascia in pendenza su cui si sviluppa il centro comunale, tutti caratterizzati dalla presenza di depositi torrentizi e alluvionali con variabili coperture di materiali argilloso-sabbiosi di origine colluviale, sono stati posti nello Scenario Z4b. Infine le aree sui pendii e alla base degli stessi, ove sono stati osservati terreni eluvio colluviali di vario spessore, sono state poste nello scenario Z4d, relativo ad accumuli eluvio-colluviali.

4.5.4 Analisi di 2° livello

In accordo con quanto riportato nella D.g.r. n.9/2616 del 2011, l'analisi di 2° livello è obbligatoria, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3 (quale il Comune di Almenno San Salvatore, a partire dal 10/04/2016), per tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche di tipo topografico e di tipo litologico individuati nell'analisi di primo livello e interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica (in precedenza l'analisi era obbligatoria solo per gli edifici considerati strategici ai sensi del d.d.u.o. 19904/04). Gli approfondimenti di secondo livello, come già visto, non sono invece necessari per le aree considerate per varie ragioni inedificabili.

La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, comunque validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e topografiche, e sono utilizzati per suddividere l'area comunale, nei limiti del possibile, in funzione del valore di Fa.

Il valore di Fa si riferisce agli intervalli di periodo tra 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s; tali intervalli sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale: in particolare l'intervallo tra 0,1-0,5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0,5-1,5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti topografici solo per l'intervallo 0,1-0,5 s: questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale ad elementi di contorno, che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo 0,5-1,5 s.

4.5.4.1 Metodologia per la valutazione degli effetti di amplificazione topografica

Due edifici identici fondati sul medesimo suolo, ma in due distinte situazioni morfologiche, avvertono in modo completamente diversa lo scuotimento del suolo causato dallo stesso sisma; è evidente che in simili circostanze anche gli effetti attesi sui due edifici possono essere molto diversi. La seguente Fig.8 schematizza il concetto che sta alla base delle analisi circa gli effetti di amplificazione topografica effettuate nel corso di questo studio.

La normativa vigente prevede che le possibili zone di amplificazione topografica vengano valutate per mezzo di procedure semplificate con l'impiego di abachi o tabelle che si riferiscono a due diverse situazioni tipo:

- zona di scarpata (Scenario Z3a);
- zona di cresta roccioso e/o cocuzzolo (Scenario Z3b).

Per la determinazione del Fattore di amplificazione (Fa) sono proposti 5 abachi per lo scenario di cresta/cocuzzolo ed una tabella per lo scenario di scarpata. Tali abachi forniscono stime del valore del fattore di amplificazione (Fa) su base statistica. Si evidenzia tuttavia come gli effetti di amplificazione topografica risentano notevolmente della direzionalità degli impulsi sismici, per cui la stima fornita è da intendersi come la risposta dello scenario considerato nel caso peggiore, cioè nel caso in cui l'incidenza del treno d'onde avvenga perpendicolarmente alla direzione di allungamento della cresta o della scarpata. In tutti i casi in cui il treno d'onde associato al movimento sismico non sia perpendicolare allo sviluppo della cresta o della scarpata, è lecito attendersi effetti di amplificazione topografica attenuati rispetto a quanto riportato più avanti.

Nel caso di rilievi morfologici asimmetrici che possono essere rappresentati sia dallo scenario Z3a sia dallo scenario Z3b, a seconda dell'orientazione della sezione, si devono analizzare entrambi i casi e si deve scegliere quello più sfavorevole. Nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, in presenza di scenari Z3a e Z3b, è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia.

L'esame della carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) ha consentito di individuare per il territorio del comune di Almenno San Salvatore un certo numero di situazioni morfologiche potenzialmente suscettibili di effetti di amplificazione topografica, anche se solo relativamente poche di queste interessano l'edificato.

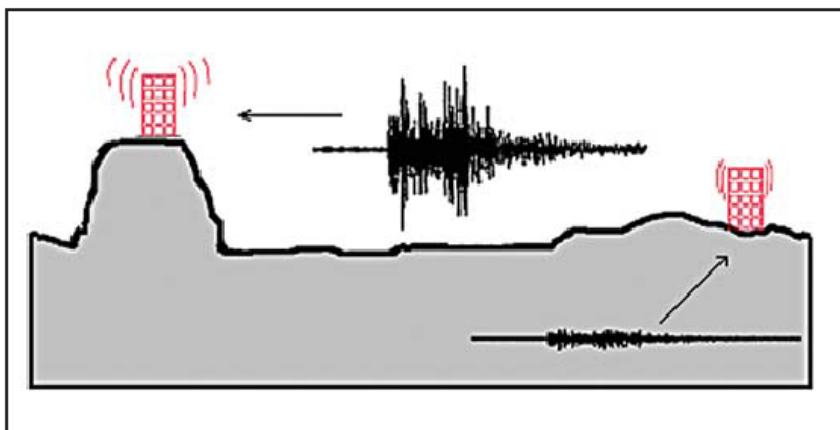


Fig.8 - Schematizzazione degli effetti di amplificazione sismica causati da una diversa situazione morfologica a parità di litologia del sottosuolo.

Zona di scarpata (Scenario Z3a)

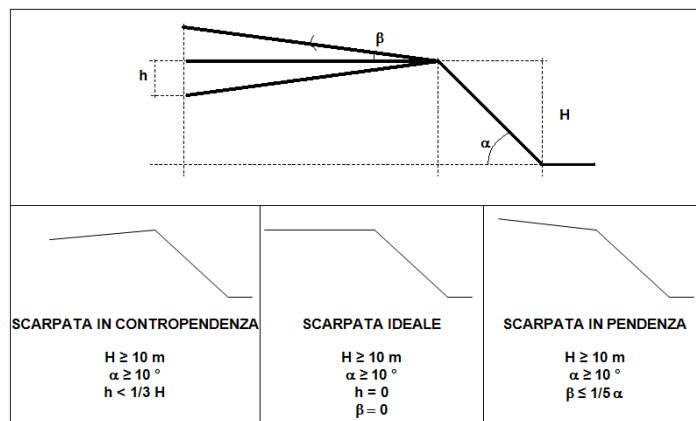
Lo scenario di zona di scarpata rocciosa (Z3a) è caratterizzato da irregolarità con fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10m ed inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore ai 10°. In funzione della tipologia del fronte superiore si distinguono:

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

La misura dell'altezza H è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è definito come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica. Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano (Fig.9):

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

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione dell'inclinazione α il valore di F_a nell'intervallo 0,1-0,5s, come esposto nelle tavole messe a punto dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale di Milano. Questo ha realizzato vari modelli caratterizzati da diverse altezze H , diverse inclinazioni α del fronte principale e diversa tipologia del fronte superiore, e ha calcolato il Fattore di amplificazione per l'intervallo di periodo compreso tra 0,1-0,5s lungo il fronte superiore, identificando anche l'area di influenza (A_i) dei fenomeni di amplificazione sismica.



Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $F_{a_{0,1-0,5}}$	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

Fig.9 - Schema identificativo e tipologie delle situazioni di scarpata e tabella con i valori del F_a e dell'area d'influenza per varie tipologie di scarpata.

I F_a sono stati calcolati anche per l'intervallo 0,5-1,5s, ma in tal caso sono apparsi influenzati sensibilmente dalla variabilità del moto di input e quindi non sufficientemente adatti a rappresentare in modo univoco la risposta sismica al sito.

Il valore di F_a determinato deve essere approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato al ciglio del fronte principale, mentre all'interno della relativa area di influenza (fronte superiore) il valore è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario; lungo il fronte principale tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base del fronte stesso.

I valori di F_a così ottenuti sono poi utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

Zona di cresta rocciosa o cocuzzolo (Scenario Z3b)

La procedura semplificata è valida per lo scenario di zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo (Z3b), caratterizzata da pendii con inclinazione maggiore o uguale ai 10° ; il rilievo è identificato sulla base di cartografie a scala almeno 1:10.000 e la larghezza alla base è scelta in corrispondenza di evidenti rotture morfologiche. Sono da considerare creste

solo quelle situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo (h) maggiore o uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H) (scheda di valutazione).

Il materiale costituente il rilievo topografico, secondo la normativa vigente, deve avere una V_s maggiore o uguale ad 800m/s (equivalente alla categoria di sottosuolo A del D.M. 17/01/2018). In relazione a quest'ultimo punto si evidenzia però come la condizione $V_s \geq 800$ m/s sia, in numerosi casi, eccessivamente ottimistica per buona parte delle rocce del substrato roccioso italiano, specialmente nella loro porzione più superficiale, sovente alterata e fratturata. Queste rocce infatti, pur manifestando indubbiamente un comportamento litoide che le farebbe classificare senza dubbio in categoria di sottosuolo A, presentano spesso $V_s < 800$ m/s. La rigida applicazione della normativa vigente renderebbe quindi estremamente difficoltoso classificare in categoria A buona parte dei terreni italiani (almeno l'85% delle rocce sedimentarie), e anche molte rocce magmatiche o metamorfiche, il che rappresenta senza dubbio un controsenso. Per ovviare a tale incongruenza in presenza di un sottosuolo riconducibile a substrato roccioso, le V_s sono state considerate comunque > 800 m/s anche quando le velocità effettivamente osservate sono risultate inferiori al limite indicato dalla normativa. Nell'ambito delle creste si distinguono due situazioni (Fig.10):

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

Costituiscono elementi necessari per l'applicazione del metodo i seguenti parametri: larghezza alla base del rilievo L ; larghezza in cresta del rilievo l ; dislivello altimetrico massimo H e dislivello altimetrico minimo h dei versanti; coefficiente di forma H/L .

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, la curva più appropriata per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo 0,1-0,5 s, in base al valore del coefficiente di forma H/L . Il valore di F_a determinato viene approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta l , mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante. I valori di F_a così ottenuti sono utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa vigente. La valutazione del grado di protezione, per ambedue gli scenari morfologici (zona di scarpata e zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo), viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di F_a ottenuti dalle

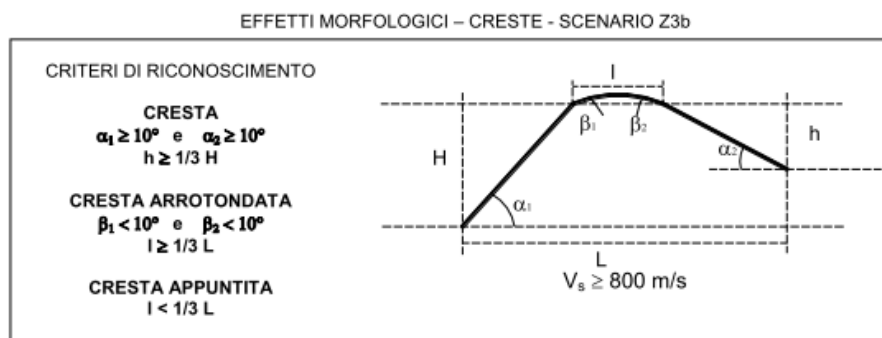


Fig.10 - Schema identificativo e tipologie delle situazioni di cresta.

Schede di valutazione con il valore di S_T delle Norme Tecniche per le Costruzioni, che si riporta nella seguente Fig.11. Tale valore S_T rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede, pertanto, di valutare il valore di F_a con l'apposita scheda e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di +/- 0,1 che tiene in conto la variabilità del valore di F_a ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare, quindi, due situazioni:

- il valore di F_a è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione topografica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione topografica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore.

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

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

Fig.11 - Valori massimi del Coefficiente di amplificazione topografica S_T .

4.5.4.2 Metodologia per la valutazione degli effetti di amplificazione litologica

Due edifici identici fondati su suoli diversi, con una situazione morfologica superficiale confrontabile, avvertono in maniera completamente diversa lo scuotimento del suolo causato dallo stesso sisma; anche in questa circostanza gli effetti attesi sui due edifici sono completamente diversi. La seguente Fig.12 schematizza il concetto che sta alla base delle analisi circa gli effetti di amplificazione litologica effettuate nel corso di questo studio.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di F_a per entrambi gli intervalli di periodo considerati 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s. Si tratta di una procedura semplificata, codificata anch'essa nell'Allegato 5 della D.g.r. n.9/2616 del 2011, che prevede l'impiego di abachi di riferimento e richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiori a 800m/s; la conoscenza degli spessori e delle V_s può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale, per una corretta individuazione del cosiddetto strato

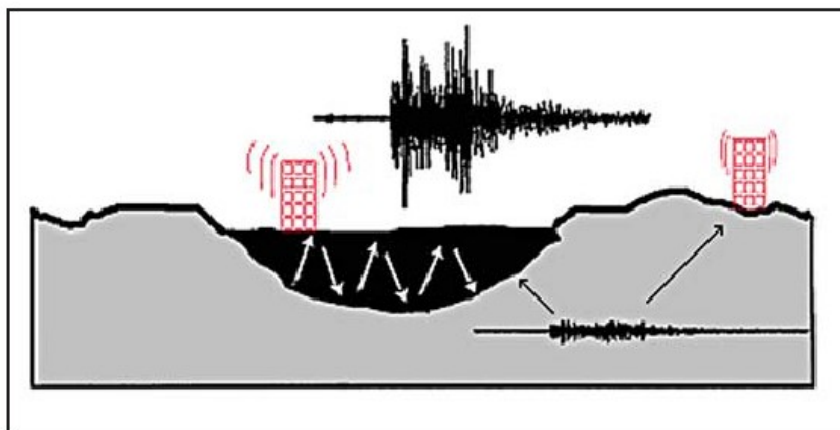


Fig.12 - Schematizzazione degli effetti di amplificazione sismica causati da una diversa situazione litologica a parità di condizione morfologica.

superficiale. In mancanza del raggiungimento del bedrock ($V_s \geq 800\text{m/s}$) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di V_s con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800m/s ;

- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico-geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento (riportate nella D.g.r. n.9/2616 del 2011).

Attualmente sono disponibili:

- una scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- una scheda per le litologie prevalentemente sabbiose.

Una volta individuata la scheda di riferimento, è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di V_s con la profondità, partendo dalla scheda tipo 1 e, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di V_s inferiori ai 600m/s , passando alla scheda tipo 2. In presenza di una litologia non contemplata dalle schede di valutazione allegate, si può utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle V_s con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine. Nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata, ma l'andamento delle V_s con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda, può essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle V_s con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale ed utilizzando la matrice della scheda di valutazione, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo $0.1-0.5$ s e nell'intervallo $0.5-1.5$ s, in base al

valore del periodo proprio del sito T. Il valore di Vs dello strato superficiale riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo.

Qualora lo strato superficiale abbia una profondità inferiore ai 4m si deve utilizzare, per la scelta della curva, lo strato superficiale equivalente, a cui si assegna una velocità Vs calcolata come media pesata del valore di Vs degli strati superficiali la cui somma supera i 4m di spessore.

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800m/s (se possibile) ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

ove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.

Il valore di F_a determinato deve essere approssimato alla prima cifra decimale.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con il valore fornito dalla Regione Lombardia per ciascun comune e per le diverse categorie di sottosuolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s. Tali valori, riportati nella banca dati in formato .xls (soglie_lomb.xls), rappresentano il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito. Il confronto con il valore di soglia avviene considerando una variabilità di +/- 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di F_a ottenuto (F_a calcolato non deve essere superiore al valore di F_a di soglia aumentato di 0,1).

Si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di F_a è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore, con il seguente schema:
 - o anziché lo spettro della categoria di sottosuolo B si utilizzerà quello della categoria di sottosuolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di sottosuolo D;
 - o anziché lo spettro della categoria di sottosuolo C si utilizzerà quello della categoria di sottosuolo D;
 - o anziché lo spettro della categoria di sottosuolo E si utilizzerà quello della categoria di sottosuolo D.
- Nel caso di presenza contemporanea di effetti litologici (Z4) e topografici (Z3) si devono analizzare entrambi i casi e scegliere quello più sfavorevole.

La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di Vs, utilizzati nella procedura di 2° livello

deve essere opportunamente motivata e a ciascun parametro utilizzato deve essere assegnato un grado di attendibilità, secondo la seguente Fig.13:

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

Fig.13 - Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi.

Approccio metodologico impiegato

Il 2° livello, pur facendo riferimento ad una procedura standardizzata, richiede una serie di parametri (in particolare la conoscenza di un adeguato modello geofisico del sottosuolo) che non sempre è disponibile come dato di partenza, e che pertanto condiziona pesantemente l'applicabilità del metodo. Per ovviare alla mancanza di informazioni di base adeguate all'applicazione della procedura del livello 2°, nel corso di questo lavoro si è anche fatto uso di tecniche geofisiche strumentali, procedendo di fatto anche all'applicazione della procedura di terzo livello, per buona parte del tessuto edificato del territorio comunale.

L'utilizzo di queste tecniche geofisiche ha consentito quindi da un lato di fornire dati di input più affidabili per l'applicazione della procedura di 2° livello, e dall'altro di ottenere una serie di informazioni, in particolare sulle frequenze di risonanza fondamentale dei siti investigati, il cui uso può essere particolarmente utile, in fase progettuale, agli ingegneri strutturisti che intendano verificare l'interazione dal punto di vista sismico del sistema terreno-edificio (la frequenza principale di risonanza costituisce infatti il parametro fondamentale per evitare, in fase progettuale, i fenomeni di *doppia risonanza*, - cioè la coincidenza delle frequenze di vibrazione proprie del sottosuolo con quelle degli edifici-, che costituiscono la vera causa delle distruzioni causate da un terremoto).

Operativamente, nelle principali situazioni geologiche sede di centri abitati del Comune di Almenno San Salvatore si sono effettuate delle indagini sismiche passive mediante tecnica HVSR, che hanno consentito di verificare le condizioni richieste dalla normativa vigente e di ricostruire adeguati modelli stratigrafici e geofisici del sottosuolo, e quindi di applicare la procedura standardizzata prevista.

Le misure a stazione singola del tremore sismico consentono infatti,

- attraverso l'analisi dei rapporti spettrali, di ricavare direttamente la frequenza (F) fondamentale di risonanza del sottosuolo, immediatamente correlabile al periodo (T) di oscillazione proprio del sito ($T = 1/F$), senza la necessità di ricorrere all'impiego di correlazioni empiriche come quella citata nei paragrafi precedenti (la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo è un parametro la cui correlazione con gli effetti di sito è ben più significativa di quella del Vs30, che viene richiesto a livello della normativa nazionale);
- previa opportuna inversione, di stimare in maniera rapida sia la stratigrafia superficiale che il Vs30, e di

- ricostruire un modello geofisico del sottosuolo, che può essere utilizzato per la valutazione degli effetti sismici di sito, come previsto dalla D.g.r. n.9/2616/2011.

In accordo allo schema di cui alla precedente Fig.13, tenuto conto che i dati in ingresso, sia stratigrafici che geofisici, vengono acquisiti per mezzo di prove dirette di sismica passiva, si può affermare che il livello di attendibilità dei dati utilizzati per l'espletamento della procedura di 2° livello sia considerabile "Alto".

Si illustrano brevemente di seguito le basi teoriche della metodologia impiegata (misure geofisiche di sismica passiva a stazione singola - HVSR), di cui si è fatto largo uso in questo lavoro.

Il microtremore sismico ambientale

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

Strumentazione impiegata

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 20 minuti ciascuna, sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Tutte le misure a stazione singola in campo aperto sono state orientate secondo il Nord.

4.5.4.3 Risultati dell'analisi di Amplificazione topografica

L'analisi ha preso in considerazione tutte le principali situazioni di cresta e scarpata interferenti con le aree urbanizzate. Si riportano di seguito nelle Tab.4, 5 e 6 i risultati della analisi di amplificazione topografica, distinguendo quelle relative agli Scenari di scarpata (Z3a), da quelle degli Scenari di cresta e cocuzzolo (Z3b), realizzate con appositi abachi riportati nell'All.5 della D.g.r.

Le sezioni topografiche relative a tutte le situazioni analizzate (che costituiscono una parte di quelle individuate nello studio di 1° livello) sono riportate nell'Appendice n.1 del presente rapporto.

Le tabelle mostrano come, fra le situazioni considerate, non siano presenti zone suscettibili di fenomeni di amplificazione sismica locale di entità superiore a quello delle Categorie topografiche delle NTC 2018 (il valore della Sez.1, secondo norma, è arrotondabile a 1,2), condizione che ragionevolmente si ritiene che possa essere estesa alla maggior parte del territorio comunale (Tab.5).

La normativa è da considerarsi generalmente sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione topografica del sito e quindi, in fase di progettazione, può essere applicato lo spettro previsto dalla normativa. Si raccomanda comunque, in caso di costruzioni di rilievo e per opere situate in aree non indagate dal presente studio ove si identificassero situazioni morfologiche passibili di fenomeni di amplificazione, di effettuare analisi simili a quelle descritte in precedenza.

Valutazione del Fattore di amplificazione topografico per lo Scenario di scarpata (Z3a)											
Sezione	Località	Tipo	Classe altimetrica (m)	Classe inclinazione (°)	Fa	Area influenza (m)	H (m)	h	Angolo scarpata (alfa)	Angolo fronte sup. (beta)	Lunghezza (m)
Sez. 3	Municipio-Valle Armisa	Scarpata ideale	20-40	10°-90°	1,2	16,3	21,71		18	0	127
Sez. 5	Quartiere Ronco-Molina	Scarpata ideale	20-40	10°-90°	1,2	15,0	20		28	0	113
Sez. 6	Cà Piazzole-Brembo	Scarpata ideale	20-40	10°-90°	1,2	21,3	28,42		40	0	98,62
Sez. 7	Santuario Madonna del Castello-Brembo	Scarpata ideale	20-40	10°-90°	1,2	24,4	32,49		26	0	183
Sez. 8	Via I° Maggio-Brembo	Scarpata in pendenza	>40	40°-60°	1,3	40,3	60,43	14,71	50	9	103
Sez.10	Via S.G. Artigiano-Brembo	Pendio	20-40	10°-90°			28,91	6,92	37	12	127,51

Tab.4 – Fattori di amplificazione sismica relativi agli Scenari di scarpata (Z3a).

Valutazione del Fattore di amplificazione topografico per lo Scenario di cresta (Z3b)													
Sezione	Località	Tipo	Fa	Angolo base dx alfa 1	Angolo base sin alfa 2	Angolo sommità dx beta 1	Angolo sommità sin beta 2	Altezza maggiore H	Altezza minore h	Lunghezza base L	Lunghezza sommità l	Rapporto l/L	rapporto H/L
Sez. 1	Via Roccoli nord	Cresta appuntita	1,24	17	20	7	11	78,76	65,13	401	29,71	0,07	0,20
Sez. 2	Via Roccoli sud	Cresta appuntita	1,16	12	12			81,66	67,84	581	6	0,01	0,14
Sez. 4	Via Masconzano	Cresta appuntita	1,08	28	9			16,8	11,17	159,14	9,95	0,06	0,11
Sez. 9	Collina di Vigna	Cresta appuntita	1,19	25	18			50,16	43,3	261,09	9,85	0,14	0,27
Sez. 11	Duno	Cresta arrotondata	1,13	47	28	10	9	83,03	68,39	309,98	105	0,14	0,27

Tab.5 – Fattori di amplificazione sismica relativi agli Scenari di cresta e cocuzzolo (Z3b).

Sezione	Località	Tipo	Fa	NTC2018	Parere
Sez. 1	Via Roccoli nord	Cresta appuntita	1,24 (arr.1,2)	T3	OK
Sez. 2	Via Roccoli sud	Cresta appuntita	1,16	T3	OK
Sez. 4	Via Masconzano	Cresta appuntita	1,08	T3	OK
Sez. 9	Collina di Vigna	Cresta appuntita	1,19	T3	OK
Sez. 11	Duno	Cresta arrotondata	1,12	T4	OK

Tab.6 – Raffronto fra i valori di amplificazione topografica calcolati e quelli proposti dalla normativa.

4.5.4.4 Risultati dell'analisi di Amplificazione litologica

La procedura prevista dalla Regione Lombardia per valutare gli effetti di amplificazione di sito legati a problematiche di tipo litologico prevede l'impiego di abachi semplificati che richiedono una procedura di validazione dei dati di ingresso, e la stima del fattore di amplificazione da confrontare con il valore di soglia definito dalla D.g.r. n.8/7374 del 2008 per ciascun comune, in relazione al diverso intervallo di oscillazione caratteristico (0,1-0,5s e 0,5-1,5s) e alle diverse categorie di sottosuolo (B, C, D ed E).

I parametri di input per l'applicazione della procedura di 2° livello sono stati ricavati con l'approccio seguente:

- definizione del modello geofisico del sottosuolo mediante inversione delle curve HVSR rilevate in sito e le cui registrazioni ed elaborazioni sono riportate nell'Appendice n.2;
- calcolo della Vs30 in ciascuna situazione esaminata, e conseguente individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento ai sensi del D.M. 17/01/2018 sulla base dello schema della Fig.14;
- individuazione della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, attraverso il riconoscimento dei picchi HVSR più significativi che scaturiscono dalle registrazioni, e quindi definizione del periodo di oscillazione caratteristico del sottosuolo, calcolato sia come inverso della frequenza fondamentale di risonanza, sia con la formula proposta dalla normativa (nelle successive valutazioni, salvo in rari casi con frequenze di sito particolarmente chiare e significative, si è considerato sempre, fra i due, il periodo che forniva i valori più conservativi)
- individuazione dello spessore dello strato superficiale a bassa velocità sismica e definizione di tale velocità delle onde S (Vs), necessario per la scelta della curva da usarsi nell'abaco.

A partire dai dati di input sopra riportati si è proceduto preliminarmente alla validazione delle condizioni di base imposte dalla procedura, e successivamente al calcolo del fattore di amplificazione Fa utilizzando le correlazioni Fa-T, o la lettura diretta degli abachi di riferimento.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Fig.14 – **Categorie di sottosuolo riportate nel D.M. 17/01/2018.**

Il valore di Fa stimato (tenuto conto di una variabilità di +/- 0.1) è stato infine confrontato con valore di soglia definito dalla D.g.r. n.8/7374 del 2008 per il Comune di Val Almenno San Salvatore, in funzione degli intervalli di oscillazione caratteristici e in funzione delle diverse categorie di sottosuolo (Fig.15).

Intervallo	Valori soglia			
	B	C	D	E
0.1 - 0.5	1.4	1.8	2.2	2.0
0.5 - 1.5	1.7	2.4	4.2	3.1

Fig.15 - Valori di soglia del fattore d'amplificazione sismica di soglia definiti dalla D.g.r. n.8/7374/2008 per il Comune di Almenno San Salvatore.

Nella seguente Tab.7 si riportano sinteticamente i risultati di tutte le misure HVSR eseguite e delle relative elaborazioni, nonché le ipotesi adottate per la valutazione del Fattore di Amplificazione, in accordo alla procedura definita dalla normativa.

Le indagini hanno interessato essenzialmente le aree urbanizzate della zona pedecollinare e dei terrazzi alluvionali dove, per i maggiori spessori dei materiali di copertura, sono più probabili i fenomeni di amplificazione sismica (zona centrale della città, zona artigianale a Nord, ripiani a sud).

Tutti i risultati delle misure HVSR (complessivamente 11) sono presentati nell'Appendice n.2.

Sigla	Ubicazione	Vs30 [m/s]	Categoria suolo	F [Hz]	Vs 1° strato [m/s]	H 1° strato [m]	T=1/F	SCHEDA		TIPO	CURVA
T01	Via Regina Teodolinda	486	B	5,63	287	8,3	0,18	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T02	Palestra comunale	280	C	1,72	172	7,3	0,58	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	1
T03	Via Romanelle	558	B	10,50	367	9,5	0,10	D	SABBIOSA	1	3
T04	Via Postico	572	B	6,72	345	5,5	0,14	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	3
T05	Cimitero	647	B	23,00	392	4,9	0,04	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T06	Via IV Novembre	365	B	4,50	291	14,0	0,22	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T07	Parco Via Teodolinda	456	B	13,13	274	5,3	0,08	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	3
T08	Laghetto Lurani	472	B	32,40	349	7,4	0,03	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	3
T09	La Frasca	430	B	5,10	323	13,2	0,19	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	3
T10	Chiesa San Giorgio	382	B	7,00	282	10,3	0,14	D	SABBIOSA	1	2
T11	Chiesa Madonna Cast.	494	B	21,44	542	113,5	0,05	D	SABBIOSA	1	NA

Tab.7 – Tabella di sintesi con i risultati delle misure HVSR e le elaborazioni effettuate per la valutazione del Fattore di amplificazione.

Nel seguito (Tab.8) si riportano, per ciascuna situazione, i risultati del confronto tra il valore di Fa stimato e quello di riferimento sopra riportato, con l'indicazione del livello di protezione -sufficiente o insufficiente- nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale garantita dalla normativa vigente. Come già detto dettagliatamente nel Par.4.5.4.2, si ricorda in sintesi che, in fase di progettazione edilizia, in caso di protezione sufficiente si può procedere con la categoria di sottosuolo tipica del sito, mentre in caso di protezione insufficiente è invece necessario o effettuare

analisi più approfondite (3° livello), o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore.

Dalla tabella si rileva come quasi tutte le situazioni considerate (tutte poste su terrazzi di fondovalle), sulla base della semplice misura HVSR delle Vs30, siano riconducibili alle Categorie di sottosuolo B, e come per cinque di esse i Fattori di amplificazione risultino superiori ai valori di soglia previsti per tale categoria, con la necessità quindi di passare, secondo le indicazioni della normativa, alla categoria di sottosuolo superiore C e, in un caso, alla Categoria D. L'osservazione della situazione geologica del terrazzo della Zona artigianale permette inoltre di ipotizzare, per tale sito, anche la necessità di utilizzare la Categoria E (terreni con Vs proprie delle Categorie C e D con spessori inferiori a 30m).

Le misurazioni eseguite in sito hanno inoltre mostrato la presenza del principale riflettore (probabilmente corrispondente al substrato roccioso), quasi sempre a profondità superiori a qualche decina di metri.

Le valutazioni esposte presentano il margine d'incertezza tipico della Fase di Pianificazione entro cui si è svolto il presente studio, fase in cui difficilmente si hanno a disposizione precisi dati circa natura e spessori dei materiali. Come previsto chiaramente dalla normativa, una più precisa definizione delle categorie di sottosuolo deve essere effettuata in Fase di Progettazione dei singoli interventi, grazie a più specifiche indagini geotecniche e sismiche.

Sintesi dell'analisi di Amplificazione litologica

- Lo studio è stato quindi condotto come segue:
 - o con l'esecuzione, nelle principali aree urbanizzate del territorio comunale impostate su depositi di copertura, di una serie di misure sismiche HVSR, che hanno permesso la valutazione del parametro Vs30 e la conseguente definizione della Categoria di sottosuolo, indipendentemente dalla natura e dagli spessori dei terreni presenti,
 - o con le analisi previste dalla normativa per verificare se il fattore di amplificazione calcolato sia o meno superiore a quello di soglia, e quindi se la normativa sia da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.
- Lo stesso ha portato
 - o all'individuazione, per ogni sito studiato, del fattore di amplificazione e quindi della categoria di suolo che meglio descrive le reali condizioni del sito e al contempo garantisce il rispetto della normativa, e
 - o alla definizione di massima di zone per le quali con l'impiego della categoria di sottosuolo indicata la normativa nazionale è in grado di tenere in considerazione gli effetti di amplificazione di sito. Tale categoria è:
 - la A, o eventualmente la B (rocce tenere e rocce molto fratturate), per gran parte dei versanti, dove vi è chiaramente una condizione di roccia affiorante o subaffiorante,
 - la B e C per le zone pedecollinari e per i vari terrazzi alluvionali prospicienti il Fiume Brembo, impostate le prima su depositi colluviali, torrentizi ed alluvionali grossolani, gli altri su depositi alluvionali ghiaiosi e conglomeratici di notevole spessore,
 - la B e C, e presumibilmente anche la E, per il terrazzo della Zona Artigianale, caratterizzata da depositi alluvionali con velocità Vs tipiche della Categoria C, il cui spessore però non è certo che raggiunga i 30m previsti dalla normativa.

Intervallo Fa	Valori soglia			
	B	C	D	E
0.1 - 0.5	1,4	1,8	2,2	2,00
0.5 - 1.5	1,7	2,4	4,2	3,10

Sigla	Ubicazione	Vs30 [m/s]	F [Hz]	T	T =1/F	valori di Fa stimati		Fa (con variabilità +/- 0.1)		Categoria suolo	DATI NORMATIVA DI RIFERIMENTO (da D.M. 14/01/2008)		Valutazione rispetto alla Normativa sismica		Categoria suolo proposta	Valutazione rispetto a Normativa sismica (0.1<T<0.5)
						0.1<T<0.5	0.5<T<1.5	0.1<T<0.5	0.5<T<1.5		Valori Fa soglia		Valori di Fa			
											0.1<T<0.5	0.5<T<1.5	0.1<T<0.5	0.5<T<1.5		
T01	Via Regina Teodolinda	486	5,63	0,69	0,18	1,9	1,5	0,5	-0,2	B	1,4	1,7	insufficiente	sufficiente	C-E	sufficiente
T02	Palestra Comunale	280	1,72	0,79	0,58	2,3	1,5	0,9	-0,2	B	1,4	1,7	insufficiente	sufficiente	D	sufficiente
T03	Via Romanelle	558	10,5	0,88	0,10	1,2	1,0	-0,2	-0,7	B	1,4	1,7	sufficiente	sufficiente	B	sufficiente
T04	Via Postico	572	6,72	0,55	0,14	1,4	1,1	0,0	-0,7	B	1,4	1,7	sufficiente	sufficiente	B	sufficiente
T05	Cimitero	647	23	0,40	0,04	1,8	1,0	0,4	-0,7	B	1,4	1,7	insufficiente	sufficiente	C	sufficiente
T06	Via IV Novembre	365	4,5	0,34	0,22	1,9	1,2	0,5	-0,6	B	1,4	1,7	insufficiente	sufficiente	C	sufficiente
T07	Parco Via Teodolinda	456	13,1	0,08	0,08	1,0	1,0	-0,4	-0,7	B	1,4	1,7	sufficiente	sufficiente	B-E	sufficiente
T08	Laghetto Lurani	472	32,4	0,65	0,03	1,7	1,6	0,3	-0,2	B	1,4	1,7	insufficiente	sufficiente	C	sufficiente
T09	La Frasca	430	5,1	0,30	0,19	1,5	1,1	0,1	-0,6	B	1,4	1,7	sufficiente	sufficiente	B	sufficiente
T10	Chiesa San Giorgio	382	7	0,69	0,14	1,4	1,1	0,0	-0,6	B	1,4	1,7	sufficiente	sufficiente	B	sufficiente
T11	Chiesa Madonna del Castello	494	21,4	0,83	0,05	1,0	1,0	-0,4	-0,7	B	1,4	1,7	sufficiente	sufficiente	B	sufficiente

Tab.8 – Tabella di sintesi con i risultati delle analisi di Amplificazione sismica.

- in un solo caso, forse causa di un locale accidente geologico o di modifiche antropiche, la categoria di sottosuolo è risultata la D. Tale fatto evidenzia ulteriormente la citata necessità di eseguire puntualmente nelle zone d'intervento specifiche indagini sismiche.

Correlazione tra altezza degli edifici e le frequenze di risonanza più dannose alla stabilità

Se si considera una relazione tipica tra altezza di un edificio in cemento armato e il suo periodo di risonanza con i relativi intervalli di confidenza, è possibile rappresentare in un grafico la relazione tra frequenza di risonanza del sito e l'altezza dell'edificio con analoghe frequenze di vibrazione (Fig.16). L'area azzurra indica la zona in cui la coincidenza delle frequenze di risonanza (sito ed edificio) produce effetti di amplificazione che devono essere attentamente valutati perché sono proprio questi fenomeni a incidere pesantemente sulla stabilità degli edifici.

Nel caso del Comune di Almenno San Salvatore, nella zona sottoposta a procedura di 2° livello per gli effetti di amplificazione litologica, sono state osservate frequenze di risonanza sostanzialmente comprese fra 1,72 e 32,4Hz, con valore medio di 11,9Hz. Escludendo le frequenze maggiori, meno significative dal punto di vista ingegneristico, i valori medi di frequenza si pongono fra 5 e 7Hz, valori indicativi di un bedrock sismico collocabile indicativamente intorno ai 14-18m.

Nel caso delle frequenze maggiori appare evidente dal grafico che gli edifici maggiormente vulnerabili dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza, sono quelli di 1 o 2 piani, mentre nel caso delle frequenze inferiori gli edifici maggiormente sensibili sono indicativamente quelli di 2-3 piani.

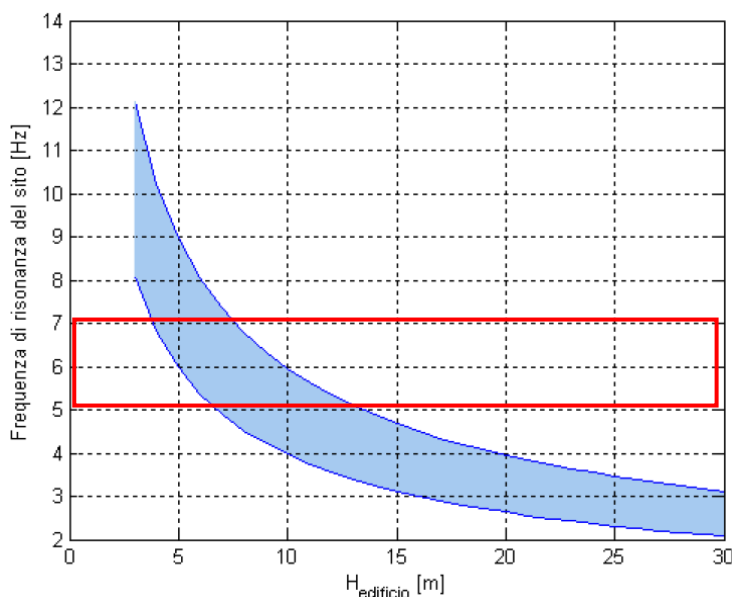


Fig.16 - Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato. La zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza ed il rettangolo rosso i valori di frequenza di picco più frequenti nell'area comunale.

4.5.4.5 Carta dei Fattori di amplificazione

I risultati delle analisi per la valutazione dei Fattori di amplificazione topografici e litologici sono stati riportati nella "Carta dei Fattori di amplificazione" dove:

- per quanto riguarda le zone interessate da amplificazione topografica, le tracce delle sezioni analizzate (non sono riportate, all'intorno dell'elemento -cresta o scarpata-, le aree con i valori del Fattore di amplificazione ridotti in base alla distanza, in quanto i possibili fenomeni di amplificazione sismica locale sono di entità inferiore a quelli delle Categorie topografiche delle NTC 2018);
- per quanto riguarda il Fattore di amplificazione litologico, sono riportati in carta i punti ove sono state eseguite le misure sismiche HVRS e una tabella con i valori del Fattore di amplificazione valutati in tali punti per il solo intervallo 0,1-0,5s (dal momento che per l'intervallo 0,5-1,5s i Fattori calcolati sono risultati sempre inferiori ai valori di soglia comunale) e con la corrispondente categoria di sottosuolo;
- in considerazione della notevole variabilità geologica del territorio comunale, non è stato possibile applicare fedelmente la procedura proposta dalla D.g.r., che prevede, a seguito degli studi effettuati, la zonazione del territorio in aree con diverso Fattore di amplificazione. Nel precedente par.4.5.4.4 viene comunque fornita un'indicazione di massima del Fattore di amplificazione e della categoria di sottosuolo caratteristici delle principali macroaree del territorio comunale. Vista la varietà di situazioni geologiche presenti nel territorio comunale, si ribadisce una volta ancora la necessità che per ogni intervento edilizio di rilievo vengano eseguite specifiche analisi sismiche finalizzate alla determinazione dell'effettivo fattore di amplificazione locale.

4.6 SINKHOLES E CAVITA' SOTTERRANEE

La D.g.r. n.11/7564 del 15.12.2022 “Integrazione dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio relativa al tema degli sprofondamenti (Sinkhole) (Art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12)” prevede che nell'ambito degli studi a supporto della Componente geologica del PGT vengano effettuate specifiche indagini per la valutazione del rischio geologico connesso alla presenza di cavità nel terreno, siano esse di origine naturale o antropica.

Come previsto dalla D.g.r. è stata innanzitutto condotta una ricerca bibliografica sui documenti storici disponibili in rete, che non ha però fornito alcun particolare elemento, e sono quindi state richieste al Comune tutte le possibili informazioni relative alla presenza di antiche miniere e cave, e ad aggrottamenti e cavità esistenti ed eventi di cedimento avvenuti nel territorio comunale in passato. Anche quest'ultima indagine non ha fornito alcun particolare risultato.

Anche il rilievo di tipo geologico-geomorfologico, eseguito per la predisposizione della “Carta Geomorfologica” ed esteso all'intera area comunale, non ha evidenziato alcun elemento, quali doline, cavità o sprofondamenti di terreno.

Nel corso delle indagini in sito si sono comunque riconosciuti i seguenti elementi, riguardo ai quali se d'interesse, dovranno essere eseguiti approfondimenti d'indagine in fase di progettazione edilizia:

- presenza di piccoli scavi e di manufatti lungo il ripido fianco roccioso Nord-ovest del Monte Duno, apparentemente legati ad antiche attività estrattive. La zona è molto acclive e in mediocri/precarie condizioni di stabilità, ed è ben distante dalle aree urbanizzate; per tali motivi non si è ritenuto di eseguire approfondimenti sulla conoscenza dei siti, attività che potrà essere effettuate in futuro, se d'interesse e con adeguate risorse;
- lungo la scapata conglomeratica a Sud del Ponte di Almenno sono localmente presenti importanti aggrottamenti, la cui origine appare in relazione in alcuni casi con un'antica erosione del piede del pendio da parte delle acque del fiume, in altri con un progressivo degrado del conglomerato ad opera degli agenti atmosferici e delle acque circolanti (la roccia conglomeratica presenta variabili gradi di cementazione e resistenza). Non si hanno notizie a riguardo nè si sono riconosciute relazioni fra tali aggrottamenti e il ciglio superiore del terrazzo urbanizzato, relazioni che tuttavia non possono essere del tutto escluse. Vista la generale casualità con cui tali aggrottamenti possono formarsi, si raccomanda che in fase di progettazione di nuove opere o di ristrutturazione di altre esistenti poste a ridosso dl ciglio del terrazzo, vengano eseguite adeguate indagini in profondità (indicativamente 10-20m), per verificare la consistenza del terreno in profondità e la presenza di eventuali cavità nel conglomerato.

5. FASE DI SINTESI E VALUTAZIONE

5.1 CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI

La “Carta dei Vincoli geologici” a scala 1: 5.000 è stata redatta considerando le indicazioni introdotte dalla D.g.r. n.9/2616 del 30/11/2011, che prevede la rappresentazione delle aree interessate da limitazioni d’uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati di contenuto prettamente geologico.

Nel Comune di Almenno San Salvatore sono presenti i seguenti vincoli:

- Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. n.183/89 (P.A.I. - Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico). Le aree in dissesto evidenziate nel Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico sono vincolate dalle relative Norme di Attuazione, adottate con Deliberazione del Comitato Istituzionale n.18 in data 26.04.2001 e successive modifiche e integrazioni. La descrizione delle aree soggette a vincoli P.A.I. è riportata al successivo par.6.1.
- Vincoli derivanti dal P.G.R.A. Per le aree soggette ad alluvioni riportate nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (recepimento della Direttiva Alluvioni della Comunità Europea 2007/60/CE), la cui descrizione è riportata al successivo par.6.2, valgono le prescrizioni del cap.3 della D.g.r. n.10/6738 del 2017.
- Vincoli di Polizia idraulica. Le aree soggette a vincolo di Polizia Idraulica sono normate ai sensi del R.D. 523/1904 art.96 e successive modifiche e integrazioni, fra cui la recente D.g.r. n.9/5714 del 15.12.2021, riprese dal Regolamento comunale di Polizia Idraulica redatto dal sottoscritto nel corrente 2023.
- Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile. Tali aree sono vincolate ai sensi del D.Lgs. n.258/2000, dell’art.21 del D.Lgs. n.152/99 e soprattutto dell’art.94 del D.Lgs. n.152 del 03/04/2006). Si ricorda a riguardo che in Comune di Almenno San Salvatore la fornitura idrica è garantita da Hydrogest e che nell’area comunale sono presenti solo due pozzi ad uso idropotabile, ubicati all’estremità meridionale in fregio al Fiume Brembo.
- Geositi. In Comune di Almenno San Salvatore non sono presenti Geositi.
- Vincoli derivanti dal PTR. La normativa prevede che debbano essere identificati i perimetri di infrastrutture strategiche di interesse regionale (vasche di laminazione) contenute nella Tabella “Progetti di riferimento per le previsioni di infrastrutture per la difesa del suolo” dell’elaborato SO1 “Obiettivi prioritari di interesse regionale e sovraregionale – Obiettivi prioritari per la difesa del suolo” del Piano Territoriale Regionale”. Non vi sono previsioni in ambito comunale sulla base dell’aggiornamento del PTR.

5.2 CARTA DI SINTESI

La “Carta di Sintesi” a scala 1: 5.000 è stata realizzata utilizzando i dati riportati nelle tavole già descritte. Per la delimitazione delle aree omogenee di pericolosità/vulnerabilità sono stati seguiti i criteri indicati nella D.g.r. n.9/2616 del 2011, adattandoli alla realtà comunale ed integrandoli ove necessario con situazioni non specificate. Sono stati delimitati i seguenti ambiti di pericolosità/vulnerabilità:

- Aree pericolose dal punto di vista dell’instabilità dei versanti;
- Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico;
- Aree che presentano scadenti o mediocri caratteristiche geotecniche;

- Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico.

All'interno di tali ambiti sono state identificate le seguenti unità:

- Area di frana attiva e quiescente. Si tratta di limitate aree in dissesto osservate nel corso del rilievo, per lo più in stato di quiescenza o di moderata attività.
- Area a pericolosità potenziale per frane complesse. E' stato posto in questa classe solo il principale dei tre elementi di medie dimensioni definiti nel precedente studio del 2009 come "Scivolamento rotazionale traslativo quiescente", situato sopra la Strada Provinciale della Valle Imagna; gli altri due, ubicati uno sul fianco Nord ovest del Monte Duno, ed uno nell'impluvio presso il Ristorante Lemine, non sono stati invece ritenuti tali da essere classificati come sopra.

Le tre zone sono state oggetto di accurati sopralluoghi, che non hanno rivelato in nessuno dei casi elementi riconducibili a particolari fenomeni d'instabilità: in particolare, nel caso del dissesto più importante dei tre, quello presso la strada della Valle Imagna, all'interno dello stesso sono presenti un piccolo fabbricato ("Sede degli Alpini") con relativa strada di accesso, apparsi entrambi perfettamente integri, e un tratto della Strada Provinciale, anch'essa risultata integra e, sulla base delle informazioni raccolte, mai interessata da fenomeni deformativi. Alla luce di quanto osservato, d'accordo con l'Ufficio Tecnico, si è ritenuto pertanto opportuno procedere come segue:

- o classificare i due dissesti minori come Frana superficiale diffusa e, nella carta P.A.I., come Frana Stabilizzata,
 - o pur con il dubbio che anche il maggiore dei tre dissesti andrebbe riclassificato come gli altri, viste le dimensioni e i notevoli costi che comporterebbe un'indagine geotecnica ed un monitoraggio volto ad appurare l'effettiva stabilità dell'area, mantenere la precedente classificazione, senza dubbio a favore di sicurezza, rimandando gli approfondimenti a quando questi si renderanno effettivamente necessari.
- Area soggetta a caduta di massi. La classe comprende tutte le pareti rocciose che evidentemente sono interessate da cadute di massi, fenomeni comunque di tipo sporadico. La principale area con tali caratteristiche è data dalla scarpata rocciosa alta parecchie decine di metri posta sul lato Nord del Monte Duno e prospiciente il Torrente Imagna. I fenomeni, come detto, sono sporadici e comportano un alto pericolo, ma un rischio abbastanza contenuto, data l'assenza d'insediamenti e percorsi e la difficile accessibilità del fondovalle (forra del Torrente Imagna).
In tale classe sono state inserite anche le aree che nel precedente studio erano state classificate come "aree interessate da frane di crollo in blocchi" poste sul crinale a monte del km16 della Strada Provinciale per la Roncola; come tutte le zone con caduta di massi, queste sono state valutate in stato di quiescenza.
 - Area a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata e stimata o calcolata area di influenza. La classe comprende le scarpate rocciose che bordano i terrazzi di Almenno, costituite nel settore settentrionale per lo più da roccia calcarea, e in quella centrale e meridionale da conglomerato. Tali scarpate sono evidentemente interessate dalla possibilità di distacco di massi, fenomeni comunque meno frequenti e ed intensi rispetto a quello della zona del T. Imagna.
 - Area con potenziale instabilità superficiale. La classe comprende vaste aree del territorio comunale a pendenza medio-elevata, sia in roccia (affiorante o subaffiorante con limitate coperture) che impostate su terreni di copertura, e in condizioni di mediocre stabilità, che possono essere interessate da distacchi di materiali e locali fenomeni d'instabilità superficiale. Di fatto la classe comprende le seguenti due classi della D.g.r. 2616:

1. Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza
2. Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche geotecniche dei terreni

In tale classe sono state incluse diverse aree molto acclivi presenti sui versanti boschivi, dove chiaramente possono innescarsi vari fenomeni di dissesto (per lo più piccoli smottamenti, distacco di massi e detriti, colate di terreno) comunque comportanti rischio medio basso (data la posizione dei siti), e gran parte delle aree individuate come potenzialmente franose nel precedente studio geomorfologico, per le quali i più recenti sopralluoghi non hanno evidenziato particolari segni di attività (tali aree sono state riviste e quindi inserite nella nuova carta per lo più senza apportarvi modifica alcuna, per le ragioni già espresse in precedenza a proposito delle cosiddette “frane complesse”).

- Area di frana relitta. La classe comprende zone interessata in passato da dissesti, ora chiaramente non più attivi. Nel corso dello studio se ne sono individuate in particolar modo due, impostate entrambe su terreni eluvio-colluviali e poste una a monte di Via del 150° dell'Unità d'Italia, e una a monte di Via Adamello: in entrambi i casi si apprezza una chiara concavità nel versante, ma nessun altro segno riconducibile a fenomeni in atto o quiescenti. In merito alla frana sopra Via Adamello, sulla base delle limitate informazioni raccolte, pare che il dissesto sia avvenuto alla fine dell'800 in occasione di importanti eventi piovosi, e che lo stesso abbia comportato la formazione di una colata di fango che investì la contrada sottostante, causando anche la morte di una persona.
- Area ripetutamente allagata in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabile (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20-50 anni), con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido. Tale area corrisponde alla Fascia A del P.A.I., a quella identificata come P3 del P.G.R.A. lungo la sponda destra del Fiume Brembo, e a quella adiacente l'alveo del Torrente Imagna, lungo la forra terminale (di fatto si tratta di un alveo di piena, più che di una vera e propria zona esondabile);
- Area allagata in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabile con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche. Tale area corrisponde a quella identificata come P2 del P.G.R.A. lungo la sponda destra del Fiume Brembo.
- Area potenzialmente inondabile individuata con criteri geomorfologici tenendo conto delle criticità derivanti da punti di debolezza delle strutture di contenimento, quali tratti di sponde in erosione, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti, sezioni di deflusso insufficienti anche a causa della presenza di depositi di materiale vario in alveo o in sua prossimità. Tale area corrisponde alla piana prativa di sponda sinistra del Torrente Tornago, impostatasi sul conoide alluvionale nel tratto subito a monte dello sbocco del torrente nel Fiume Brembo.
- Depositi superficiali limoso argillosi con scadenti/mediocri caratteristiche geotecniche. La classe comprende essenzialmente le aree con depositi colluviali e detritici fini presenti in vari punti dell'area comunale ed in particolare nella zona pedecollinare, dove gli stessi coprono sia il substrato roccioso che i depositi fluvioglaciali.
- Terreni di riporto. Sono state identificate tutte le principali zone interessate da riporti antropici, dati per lo più da terre con frammista ghiaia, ma anche da limi e sabbie, e da ghiaia e ciottoli.

- In merito alla possibile presenza di cavità sotterranee (D.g.r. n.9/7564 del 15 dicembre 2022), non avendo riscontrato alcun particolare elemento a riguardo nel corso delle indagini in sito, nella carta non è stata identificata alcuna area interessata da tale problema. Come detto, non si può escludere la possibilità della presenza di vuoti artificiali nel terreno lungo il versante settentrionale del Monte Duno (vecchie escavazioni) e lungo il ciglio del terrazzo di Almenno (vuoti naturali), in particolare nella zona conglomeratica. Come già riferito, dovrà essere cura dei Progettisti delle nuove opere l'esecuzione di adeguate indagini volte a verificare la sicurezza dei siti a fronte del pericolo di cedimenti del terreno.

6. FASE DI PROPOSTA

6.1 CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO

La L.R. n.12/2005 e le successiva delibera di attuazione prevedono la suddivisione dell'intera area comunale in quattro Classi di Fattibilità geologica:

- Classe 1: Fattibilità senza particolari limitazioni
- Classe 2: Fattibilità con modeste limitazioni
- Classe 3: Fattibilità con consistenti limitazioni
- Classe 4: Fattibilità con gravi limitazioni.

Le quattro classi sopra citate sono di seguito descritte, unitamente ai criteri adottati per la loro definizione sul territorio comunale.

6.1.1 Classi di fattibilità

6.1.1.1 Classe 1: Fattibilità senza particolari limitazioni

In accordo alla normativa, in questa classe ricadono *“quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale”*.

La classe comprende aree generalmente pianeggianti o subpianeggianti, con buone caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche dei terreni presenti e non interessate da fenomeni di dissesto idrogeologico. La presenza di falda idrica è inoltre tale da non interferire con il suolo e primo sottosuolo.

Nel territorio comunale, data la generale acclività dei siti, la notevole variabilità in senso sia verticale che orizzontale dei terreni e delle rocce presenti, la possibilità di fenomeni di carsismo nelle aree con rocce carbonatiche, e la possibile bassa soggiacenza della falda idrica in alcune zone, in accordo ai criteri comunemente utilizzati per la zonazione delle aree montane, si è deciso di non riferire nessuna area alla Classe 1, neppure quelle ove in effetti non è stato riconosciuto alcun problema particolare. Si segnala comunque che zone rilevate ed impostate sul substrato roccioso, quali in particolare quelle di Monte Duno e di Collina di Vigna, possono ragionevolmente essere considerate al passaggio fra le Classi 1 e 2.

6.1.1.2 Classe 2: Fattibilità con modeste limitazioni

In accordo alla normativa, *“la classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa”*.

La classe comprende sia aree a modesta acclività caratterizzate da terreni di qualità mediocre con variabili spessori, che aree a media pendenza impostate su materiali di buona qualità geotecnica o sul substrato roccioso, e non interessate da alcun rilevante problema idrogeologico (frane, caduta massi, erosioni varie, ecc.).

Possono essere presenti fenomeni di dissesto, che devono comunque essere ben circoscrivibili e di modesta entità, oppure presentare limitate dimensioni ed essere già stati oggetto di interventi di bonifica ben riusciti.

Sono state attribuite alla Classe 2 le aree pianeggianti impostate su depositi alluvionali e in parte sul substrato roccioso presenti subito a monte del ciglio del terrazzo prospiciente il Fiume Brembo (zona Via Regina Teodolinda e

settore centro-meridionale dell'abitato), e così pure alcuni settori rilevati impostati su roccia o su terreni ghiaiosi di buona qualità, di bassa acclività e adeguatamente distanti dai versanti, quali in particolare le zone della Cà Verde, di Monte Duno e di Collina di Vigna, di parte della Via del Roccolo, di tratti della cresta del Monte Castra (zona Torre) e di Molina.

6.1.1.3 Classe 3: Fattibilità con consistenti limitazioni

In accordo alla normativa, *“la classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.”*

L'utilizzo di queste zone è pertanto subordinato alla realizzazione di supplementi di indagine per acquisire una maggiore conoscenza geologico-tecnica dell'area e del suo intorno, attività che consentiranno di definire le idonee destinazioni d'uso, le volumetrie ammissibili, le tipologie costruttive più opportune, nonché le opere di sistemazione e bonifica e gli eventuali sistemi di monitoraggio geologico.

La classe comprende sia aree di media acclività potenzialmente soggette a fenomeni di dissesto idrogeologico, come frane di varia tipologia e caduta di massi, sia aree meno acclivi ma con terreni di scadente qualità o interessate da fenomeni alluvionali. Rispetto alla Classe 2 le fenomenologie elencate sono caratterizzate da maggiore estensione e diffusione, e richiedono la necessità di realizzare opere di difesa di maggior impegno tecnico e finanziario.

Le aree di Classe 3, suddivise a seconda delle problematiche puntualmente presenti, costituiscono la maggior parte del territorio comunale, e comprendono:

- gran parte dei versanti boschivi, che per quanto a tratti assai acclivi, sono in genere impostati su roccia e discretamente stabili,
- la fascia pedecollinare, caratterizzata dalla presenza, a seconda dei siti, sia di accumuli colluviali, che di depositi di versante con importati coperture (zone a ridosso del Torrente Tornago), che di terreni fluviali antichi con coperture limoso-argillose di notevole spessore (zona del Centro storico comunale),
- i terreni alluvionali dei terrazzi più bassi lungo il Fiume Brembo (ove non presenti classificazioni più severe dovute agli aspetti idraulici).

In particolare, con riferimento alla D.g.r. n.9/2616 del 2011, la Classe comprende:

- terreni di riporto.
- Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza,
- aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche geotecniche dei terreni,
- area di frana relitta,
- area potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti, corrispondenti alle piene con tempo di ritorno di 100-200 anni (corrispondente alla Fascia P2 del P.G.R.A),
- area a pericolosità media o moderata per esondazione Em (foce del Torrente Tornago),
- depositi colluviali limoso argillosi con scadenti/mediocri caratteristiche geotecniche,
- terreni di riporto.

La classe comprende anche le aree individuate come franose nei precedenti studi geomorfologici, per le quali i più recenti sopralluoghi non hanno evidenziato particolari criticità.

6.1.1.4 Classe 4: Fattibilità con gravi limitazioni

In accordo alla normativa, in tali zone *“l’alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all’utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d’uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, ivi comprese quelle interrato, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall’art.27, comma 1, lettere a), b), c) della L.R. n.12/2005, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l’adeguamento alla normativa antisismica.”*

Si devono inoltre fornire indicazioni in merito alle opere di sistemazione idrogeologica e, per i nuclei abitati esistenti, deve essere valutata la necessità di predisporre sistemi di monitoraggio geologico, che permettano di tenere sotto controllo l’evoluzione dei fenomeni in atto. Eventuali opere pubbliche e di interesse pubblico devono essere valutate puntualmente e, a tal fine, alle istanze per l’approvazione da parte dell’autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

In tale classe sono state inserite:

- le scarpate rocciose interessate da problemi di caduta massi,
- le aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata,
- le aree a pericolosità potenziale per frane complesse,
- le aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (20-50 anni) corrispondente alla Fascia A del P.A.I. e a quella P3 del P.G.R.A.,
- le aree con pericolo di esondazione molto elevato (area Ee del P.A.I.).

6.1.2 Sintesi dei criteri adottati per la redazione della Carta di Fattibilità

La classificazione in termini di Fattibilità geologica delle aree interessate da diverse criticità è sinteticamente riportata nella seguente Tab.9, che fa riferimento nelle linee essenziali alla Tab.1 del par.3.2 della D.g.r. n.9/2616 del 2011.

6.1.3 Presentazione della Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano

La “Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano”, in accordo a quanto previsto dalla D.g.r. n.9/2616 del 2011, è presentata in due versioni:

- “Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano” (Tav.6) con indicate:
 - o con i tre classici colori giallo, arancione e rosso, rispettivamente le Classi di fattibilità geologica 2, 3 e 4, e
 - o con tre sovrassegni, le tipologie di fenomeni che maggiormente condizionano la fattibilità geologica delle varie zone del territorio comunale; in particolare sono indicate con il barrato rosso le aree con prevalenti problemi di stabilità dei versanti, con quello verde le zone con problemi geotecnici e con quello blu le aree interessate da problemi idraulici.
- “Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano con Scenari di PSL” (Tav.7) con indicate:
 - o le tre Classi di fattibilità geologica,
 - o gli scenari di Pericolosità sismica, con apposite retinature sovrapposte ai colori delle classi, come richiesto dalla D.g.r. n.9/2616 del 2011.

AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA DELLA STABILITÀ DEI VERSANTI	
<ul style="list-style-type: none"> - Area di frana attiva e quiescente; - Area a pericolosità potenziale per frane complesse (derivata da precedenti studi geomorfologici); - Area soggetta a caduta di massi; - Aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata e stimata o calcolata area di influenza. 	Classe 4
<ul style="list-style-type: none"> - Area a pendenza medio-elevata con potenziale instabilità superficiale che comprende: <ul style="list-style-type: none"> o Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza, o Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche geotecniche dei terreni. La classe comprende anche le aree individuate come franose nei precedenti studi geomorfologici, per le quali i più recenti sopralluoghi non hanno evidenziato particolari criticità. - Area di frana relitta. 	Classe 3
AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDRAULICO	
<ul style="list-style-type: none"> - Fascia A del P.A.I. e Fascia P.G.R.A P3 (aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (20-50 anni); - Area a pericolosità molto elevata per esondazione Ee (forra del Torrente Imagna). 	Classe 4
<ul style="list-style-type: none"> - Fascia P.G.R.A P2 (aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti corrispondenti alle piene con tempo di ritorno di 100-200 anni); - Area a pericolosità media o moderata per esondazione Em (foce del Torrente Tornago). 	Classe 3
AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA GEOTECNICO	
<ul style="list-style-type: none"> - Aree con riporti di materiale; - Depositi superficiali limoso argillosi con scadenti/mediocri caratteristiche geotecniche. 	Classe 3
<ul style="list-style-type: none"> - Aree a modesta pendenza con terreni resistenti localmente con limitati dissesti. 	Classe 2

Tab.9 - Sintesi dei criteri adottati per la “Carta di Fattibilità per le azioni di Piano”, in accordo alla D.g.r. n.9/2616 del 2011.

6.2 CARTA P.A.I. – P.G.R.A.

6.2.1 Il Piano per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po (P.A.I.)

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po, adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino con Deliberazione n.18 del 26.04.2001 ed approvato con D.P.C.M. del 24 maggio 2001, ha la finalità di ridurre il rischio idrogeologico entro valori compatibili con gli usi del suolo in atto, in modo tale da salvaguardare l'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti.

Il P.A.I. contiene:

- La delimitazione delle fasce fluviali (Fascia A, Fascia B, Fascia B di progetto e Fascia C) dell'asta del Po e dei suoi principali affluenti (Elaborato 8).
- La delimitazione e classificazione, in base alla pericolosità, delle aree in dissesto per frana, valanga, esondazione torrentizia e conoide (che caratterizzano la parte montana del territorio regionale (Elaborato 2, Allegato 4).
- La perimetrazione e la zonazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato in ambiente collinare e montano (zona 1 e zona 2) e sul reticolo idrografico principale e secondario nelle aree di pianura (zona I e zona BPr) (Elaborato 2, Allegato 4.1),
- Le norme alle quali le sopraccitate aree a pericolosità sono assoggettate (Elaborato 7, Norme di attuazione).

Per la determinazione delle fasce fluviali, indicate con le lettere A, B e C, l'Autorità di Bacino del Fiume Po ha provveduto alla determinazione dei seguenti elementi:

- portate di piena con diversi tempi di ritorno, ricavate tramite l'impiego di apposita modellazione idrologica ed idraulica;
- profili liquidi in condizioni di piena, definiti con modelli di calcolo in grado di tener conto del livello di dettaglio dei dati geometrici e idraulici dell'alveo disponibili, e delle caratteristiche di opere e manufatti presenti nel corso d'acqua.

Così facendo, considerando come piena di riferimento quella con tempo di ritorno di 200 anni, è stato determinato il livello idrico corrispondente, e sono state individuate le seguenti fasce, così come definite dall'Autorità di Bacino:

- La "Fascia A" o Fascia di deflusso della piena, costituita dalla porzione di alveo che, per la piena di riferimento, è sede prevalente del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;
- la "Fascia B" o Fascia di esondazione; esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento, ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata;
- la "Fascia C" o Area di inondazione per piena catastrofica; è costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento (500 anni).

Oltre alle fasce fluviali del Fiume Brembo, nella Tav.10 ("Carta P.A.I. - P.G.R.A."), sono perimetrate le seguenti zone in dissesto individuate dal P.A.I.:

- Aree franose:

- Fq: aree di frana quiescente, comprendenti, fra l'altro, tutti i versanti rocciosi ove possono verificarsi cadute di massi (fenomeni comunque sporadici);
- Fs: aree di frana relitta o stabilizzata, circoscritte ai siti unicamente interessati da modeste deformazioni ora apparentemente non più attive o da aree in erosione ora stabilizzate o in fase di stabilizzazione.
- Aree allagabili e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua:
 - Ee: aree a pericolosità molto elevata di esondazione torrentizia; tale classificazione è presente unicamente nel fondovalle del Torrente Imagna, dove l'alveo è delimitato da alte pareti rocciose;
 - Em: aree a pericolosità media o moderata di esondazione torrentizia; tale classificazione è presente unicamente nel tratto terminale del Torrente Tornago, dove è presente un conoide che nell'area di Almenno San Bartolomeo è occupata dagli impianti della ditta PM, mentre nell'area di Almenno San Salvatore è completamente prativo.

Come riportato in seguito, sono invece state eliminate le aree Eb lineari (a pericolosità elevata per esondazione), data la scarsa rilevanza di tali elementi (si tratta di piccoli impluvi, spesso in roccia, di larghezza massima di 1-2m, posti nella parte superiore dei versanti con bacini imbriferi molto ridotti),

6.2.1.1 Proposte di modifica all'esistente cartografia P.A.I.

Nel presente progetto, oltre ad inserire le fasce fluviali P.A.I. e le aree P.G.R.A., sono state proposte piccole modifiche alla vigente carta P.A.I., relative essenzialmente alle aree di esondazione di corsi d'acqua del Reticolo Idrico Minore e a piccole frane quiescenti e stabilizzate.

Tali modifiche sono state effettuate sulla base di un'attenta osservazione diretta delle situazioni d'interesse e quindi di una revisione critica della loro importanza e del loro significato nell'ambito della cartografia P.A.I., che si ricorda essere cartografia a scala sovregionale. Le principali modifiche alla cartografia PAI-PGRA sono le seguenti:

- Sono state inserite le fasce idrauliche PAI del Fiume Brembo e le aree PGRA;
- sono invece stati inseriti due tratti di corsi d'acqua chiaramente interessati da esondazione posti sui due torrenti più importanti dell'area comunale, il Torrente Imagna e il Torrente Tornago, rispettivamente classificati come Ee e Em (questi nel precedente studio non erano stati segnalati);
- sono stati eliminati i brevi tratti di alcuni corsi d'acqua del Reticolo Idrico Minore, presenti nella zona mediana e superiore dei versanti, che erano stati classificati come "Eb lineari": si tratta nella maggior parte dei casi di tratti di alcune decine di metri (non dell'intero corso d'acqua) di piccoli fossati (larghezza 1-2m) asciutti e spesso scavati in roccia, posti nella parte mediana e superiore dei pendii, e pertanto con bacini di alimentazione molto contenuti (in genere dalla frazione di ettaro a 1-2 ettari). Lungo gli stessi non sono state osservate evidenze di alcun tipo di dissesto e esondazione e pertanto sono state eliminate dalla carta (peraltro non erano riportati sul Geoportale), visto anche il carattere della cartografia P.A.I.;
- sono state classificate come Fq le scarpate con potenziale instabilità (caduta massi) prospicienti il T.Imagna e quelle che limitano il terrazzo di Almenno sia sul lato del F.Brembo, che su quello del T.Tornago, prima non classificate.
- alcune frane per lo più di piccole dimensioni originariamente definite come "frana superficiale diffusa" (massimo di 1-2 ettari) sono state riclassificate "stabilizzate" anziché "quiescenti", e ad una frana stabilizzata (località Collina di Vigna) è stata apportata una riduzione areale, sulla base delle reali evidenze di sito.

Le modifiche ai corsi d'acqua sono del tutto ininfluenti sulla sicurezza e sui vincoli gravanti sulle aree. Tutti i corsi infatti, comprese le zone non più classificate come "Aree di esondazione", sono infatti soggetti alla normativa del

Reticolo Idrico comunale (R.D. 25 luglio 1904 n.523, L.R. n. 4/2016 e D.g.r. n.XI/5714 del 15.12.2021), che nelle fasce vieta ogni nuove costruzione e limita gli interventi di manutenzione e modifica di quelli esistenti, di fatto con norme anche più severe di quelle del P.A.I. (ad esempio, la L.R. n. 4/2016, in caso di non compatibilità e assenza di titolo edificatorio prevede unicamente la demolizione senza ricostruzione, mentre il P.A.I. consente interventi manutentivi dell'esistente).

Si riporta di seguito il confronto fra le superfici delle categorie di dissesto Ee, Eb, Em, Fa, Fq, Fs nella cartografia PAI PGRA del 2009-2012 (vigente) e in quella del 2023 (proposta).

Confronto aree (mq)		
	Studio geologico 2009-2012	Proposta variante 2023
Ee	0	12781
Eb	0 (solo lineari)	0
Em	0	9929
Fa	9683	0 (solo puntuali)
Fq	67033	150253
Fs	161171	159609

6.2.2 Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali (D.lgs. n. 49 del 2010), in attuazione della Direttiva Europea 2007/60/CE, "Direttiva Alluvioni". Il P.G.R.A. viene predisposto a livello di distretto idrografico e aggiornato ogni 6 anni. Per il Distretto Padano, cioè il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d'acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Fiume Po (P.G.R.A.-Po).

Il primo P.G.R.A. (P.G.R.A. 2015) è stato adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po con delibera n.4 del 17 dicembre 2015 e approvato con delibera n.2 del 3 marzo 2016; lo stesso è stato definitivamente approvato con d.p.c.m. del 27 ottobre 2016.

La prima revisione del P.G.R.A. (P.G.R.A. 2021), relativa al sessennio 2022-2027, è stata adottata dalla Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po con deliberazione n.3 del 29.12.2020 e approvata con deliberazione n.5 del 20.12.2021.

La Regione Lombardia, con D.g.r. n.10/6738 del 19 giugno 2017, ha definito le disposizioni per l'attuazione del P.G.R.A. nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle Norme di Attuazione del P.A.I. del bacino del Fiume Po.

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni è suddiviso in due sezioni:

- la Sezione A, che contiene la mappatura delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, classificate in base alla pericolosità e ai livelli di rischio, l'individuazione delle situazioni territoriali con maggiori criticità e le misure da attuare per ridurre il rischio nelle fasi di prevenzione (es. vincoli all'uso del suolo,

delocalizzazioni, comunicazione del rischio ai cittadini) e protezione (es. realizzazione di opere di difesa strutturale);

- la Sezione B contiene il quadro attuale del sistema di protezione civile in materia di rischio alluvioni, una diagnosi delle principali criticità e le misure da attuare per ridurre il rischio nelle fasi di preparazione (es. allerte, sistemi di monitoraggio, piani di emergenza), ritorno alla normalità e analisi (es. valutazione e rimborso danni, analisi degli eventi accaduti, politiche assicurative).

Le disposizioni regionali per l'attuazione del P.G.R.A. in campo urbanistico stabiliscono che i comuni provvedano al recepimento delle aree allagabili del P.G.R.A. e delle relative norme nello strumento urbanistico comunale; ciò deve avvenire nel rispetto dei termini stabiliti per l'adeguamento dei P.G.T. alla L.R. n.31/2014 sulla riduzione del consumo di suolo (ovvero alla prima scadenza del Documento di Piano, dopo l'adeguamento di PTR e PTCP alla stessa L.R. n.31/2014).

Le mappe del P.G.R.A. contengono la delimitazione delle aree per diversi scenari di pericolosità:

- aree P3/H (high) o aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (20-50 anni), tengono conto dei livelli idrici corrispondenti alle piene con tempo di ritorno di 10-20 anni per il Reticolo Principale;
- aree P2/M (medium) o aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti, tengono conto dei livelli idrici corrispondenti alle piene con tempo di ritorno di 100-200 anni e la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un tempo di ritorno superiore a 100 o 200 anni;
- aree P1/L (low) o aree potenzialmente interessate da alluvioni rare, tengono conto dei livelli idrici corrispondenti alle piene con tempo di ritorno di 500 anni.

Le aree allagabili, nel Comune di Almenno San Salvatore, ricadono nei seguenti "ambiti territoriali":

- Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP);
- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM).

La Tav.10 "Carta P.A.I. - P.G.R.A.", redatta in scala 1: 5.000 sull'intero territorio comunale, individua i tematismi e gli azionamenti delle aree allagabili del Reticolo Principale di fondovalle e del Reticolo Secondario Collinare e Montano, come richiesto dalla D.g.r. n.10/6738. Dal confronto con le fasce P.A.I. si rileva come le aree allagabili relative al Fiume Brembo proposte dal P.G.R.A. abbiano un'estensione leggermente diversa rispetto alle fasce P.A.I., fatto presumibilmente legato alla diversa base cartografica utilizzata e al rilievo di maggior dettaglio usato dal P.G.R.A., ed in particolare:

- le aree H e M sono nel complesso coincidenti fra loro e sono di poco meno ampie dei limiti della fascia B del P.A.I.,
- le aree L sono praticamente coincidenti con la fascia C del P.A.I., fatta eccezione per la zona subito a Sud del Santuario della Madonna del Castello, dove l'area L raggiunge la sommità della scarpata prativa, mentre la Fascia C corre alla base della stessa. In generale per entrambe si rileva la notevole estensione sul versante, con quote che in alcuni casi raggiungono le diverse decine di metri sull'alveo attuale del fiume.

Si evidenzia comunque, a riguardo, che le aree allagabili non sostituiscono le fasce fluviali, ma costituiscono un'integrazione all'esistente zonazione P.A.I. con aggiornamento in termini di livelli di piena e di portate, redatta grazie ai livelli idrici corrispondenti alle tre piene di riferimento considerate ed utilizzando rilievi topografici di dettaglio.

Il P.G.R.A., interpolando l'utilizzo del suolo con gli scenari di pericolosità, fornisce poi una mappatura del rischio da eventi alluvionali. La Carta del rischio individua, sulla base del confronto tra la classe di pericolosità e la classe di danno associata all'elemento esposto, quattro classi rappresentate mediante colori: giallo (R1-Rischio moderato o nullo), arancione (R2-Rischio medio), rosso (R3-Rischio elevato), viola (R4-Rischio molto elevato).

Il presente studio, con la modifica proposta per le “Aree di esondazione P.A.I.” di fatto comporterà modifiche anche alle aree esondabili del P.G.R.A.sul Reticolo Minore.

Viste le modifiche in atto, ed inoltre il fatto che le modifiche del 2018 sono state recepite solo a fine anno 2022 e che in tale data, non si è ritenuto necessario redigere la Carta del Rischio, carta che potrà invece essere oggetto di un futuro aggiornamento del Piano.

Comune di Almenno San Salvatore (BG)

Aggiornamento della Componente geologica, idrogeologica e sismica a supporto del P.G.T. (ai sensi della L.R. n. 12 del 11.03.2005 e delle D.g.r. n.2616 del 2011, D.g.r. n.6738 del 19.06.2017 e D.g.r. n.4685 del 10.05.2021)

Relazione geologica: Parte 1 - Relazione illustrativa

Dott. Geologo Augusto Azzoni - Via F. Nullo n.31, 24128 Bergamo

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1-3 - Viste sul centro abitato.



Foto 5 e 6 - Viste sui vigneti della zona occidentale e sui pendii presso la Cà Verde.

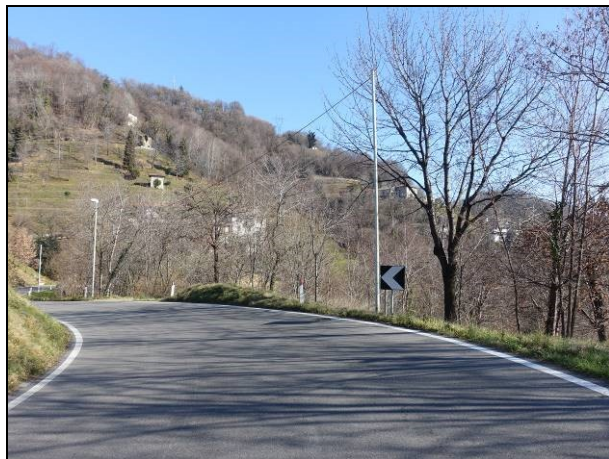


Foto 7 e 8 - Vista sui pendii presso Via Castra e sulla vicina area della vecchia cava.

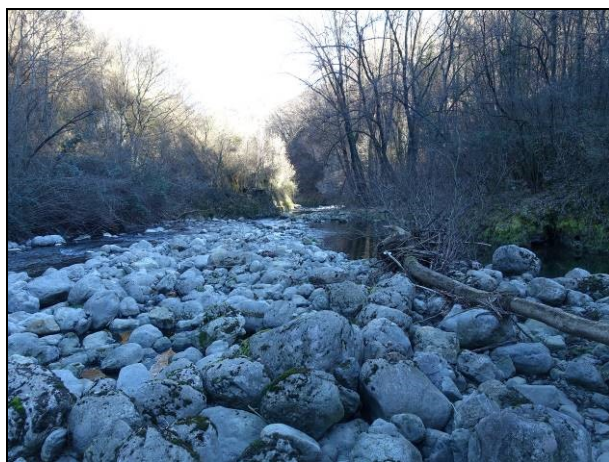


Foto 9 e 10 - Vista sull'alveo del Torrente Imagna e sul ponte stradale che collega Clanezzo ad Almenno.



Foto 11 e 12 - Vista sul pendio interessato da un vecchio dissesto (Via Adamello) e sulla Zona Artigianale.



Foto 13 e 14 - Viste sul terrazzo fluviale del F. Brembo e sulla scarpaa rocciosa presso il Ponte della SP.



Foto 15 e 16 - Viste sul pendio a monte del ponte e sull'alveo del F. Brembo subito sotto il ponte.



Foto 17 e 18 - Vista sullo sbocco della valle Doga e sulla scarpata sotto la Chiesa della Madonna del Castello.

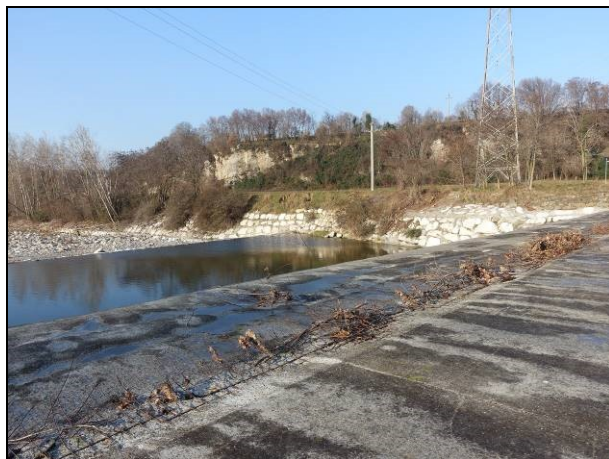


Foto 19 e 20 – Viste sulla sponda destra del F. Brembo, con locali zone in erosione.



Foto 21 - Scarpata conglomeratica che limita il terrazzo fluvio-glaciale di Almenno.



Foto 22 e 23 – Viste su un tubo di scarico e sull'argine in pietrame nella parte bassa della sponda del F. Brembo.



Foto n.24 e 29 – Viste sulla Valle del Torrente Tornago, procedendo da monte a valle.

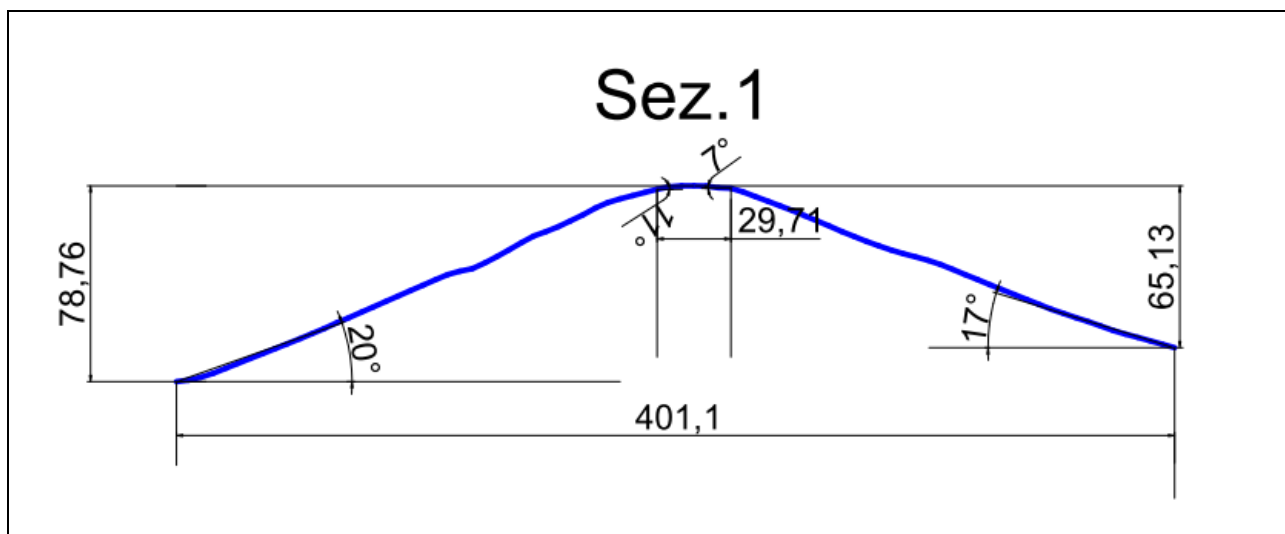


Foto n.30 e 31 – Viste sulla bassa Valle del Torrente Tornago, procedendo da monte a valle.

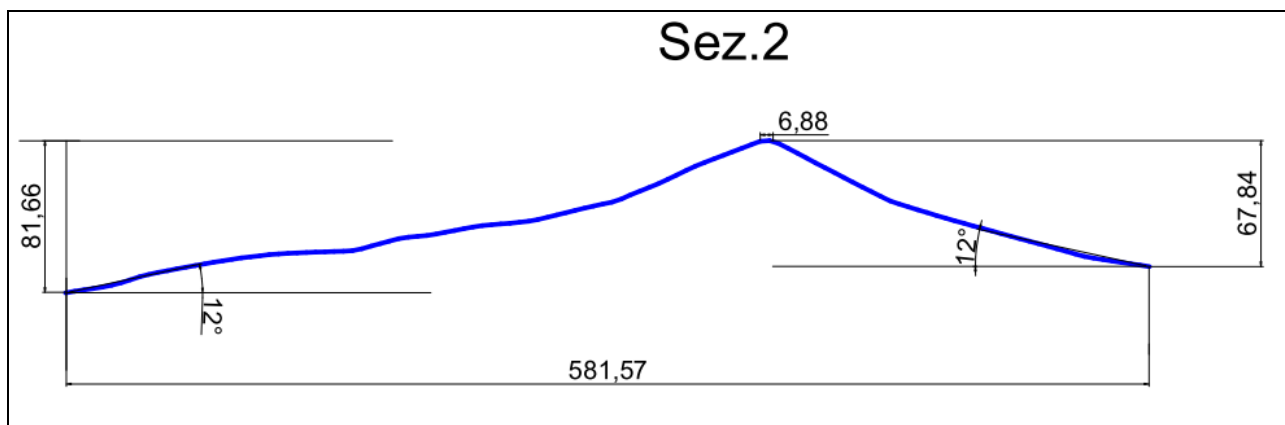


Foto n.32-35 – Viste sulla Valle del Torrente Armisa, procedendo da monte a verso valle.

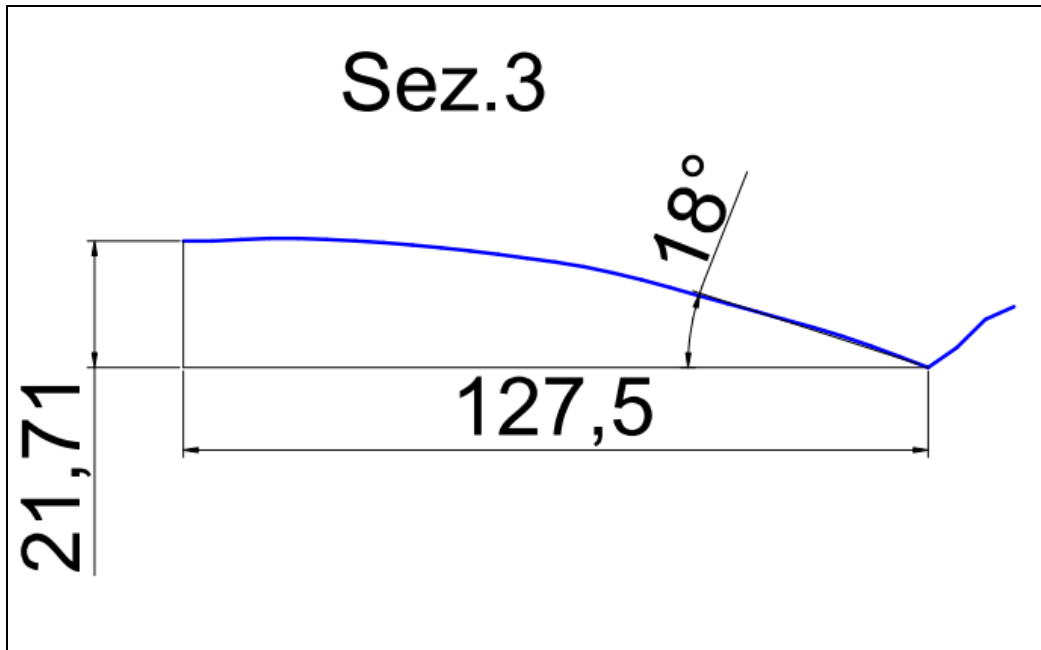
**APPENDICE 1: Sezioni topografiche considerate per la
valutazione degli effetti morfologici sul Fattore di amplificazione
topografico**



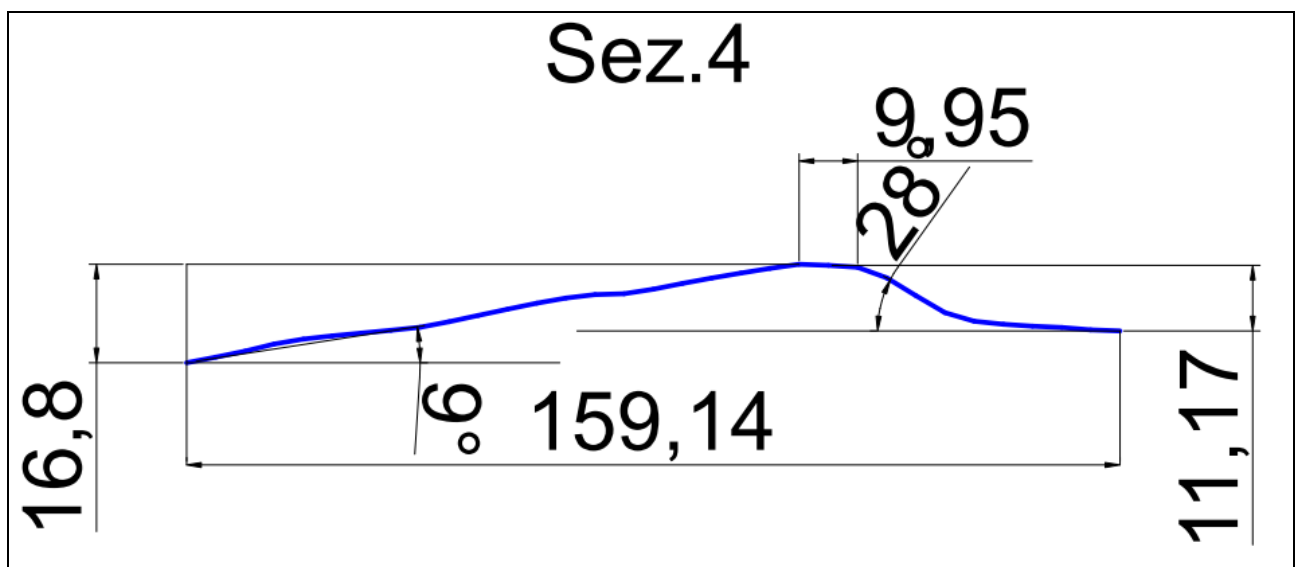
Sezione n.1 – Via Roccoli Nord (cresta appuntita).



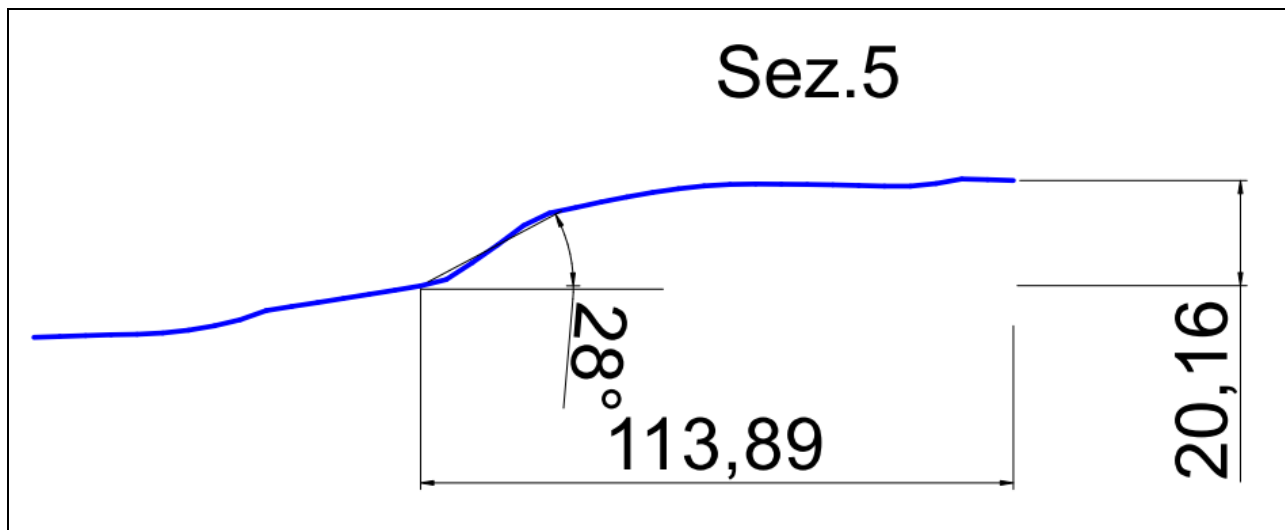
Sezione n.2 – Via Roccoli Sud (cresta appuntita).



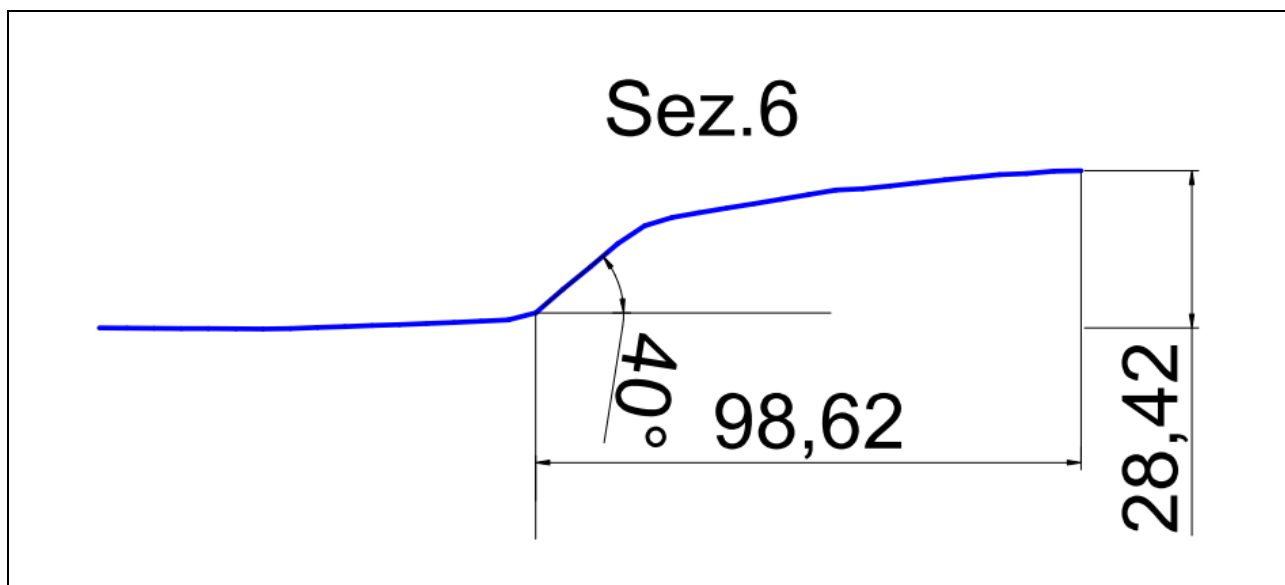
Sezione n. 3 – Municipio – Valle Armisa (scarpata ideale).



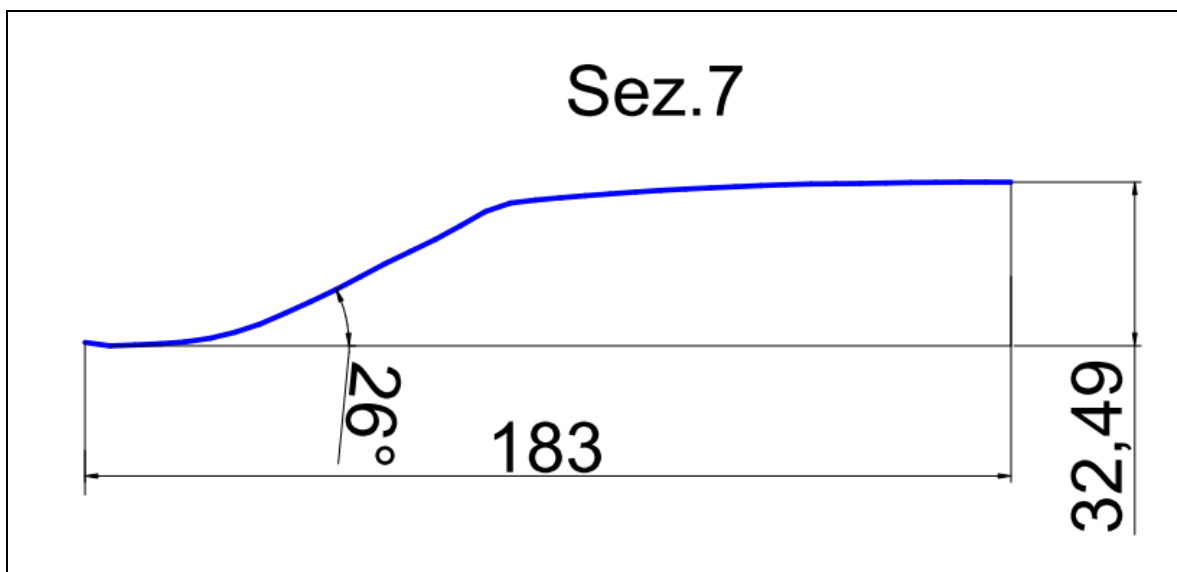
Sezione n.4 – Via Masconzano (cresta appuntita).



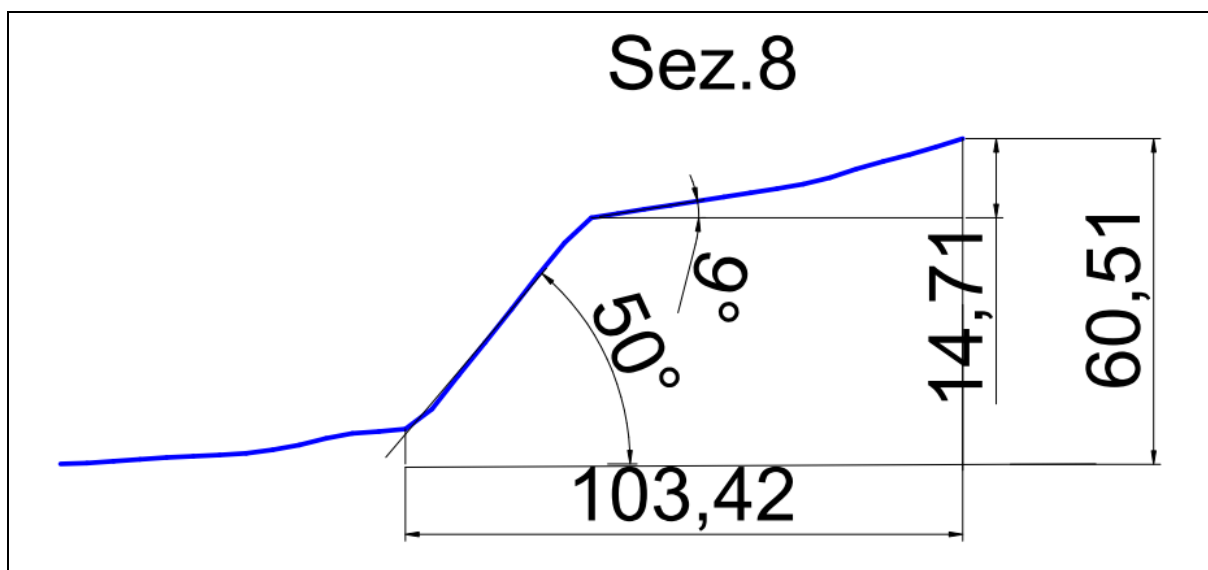
Sezione n.5 – Quartiere Ronco Molino (scarpata ideale).



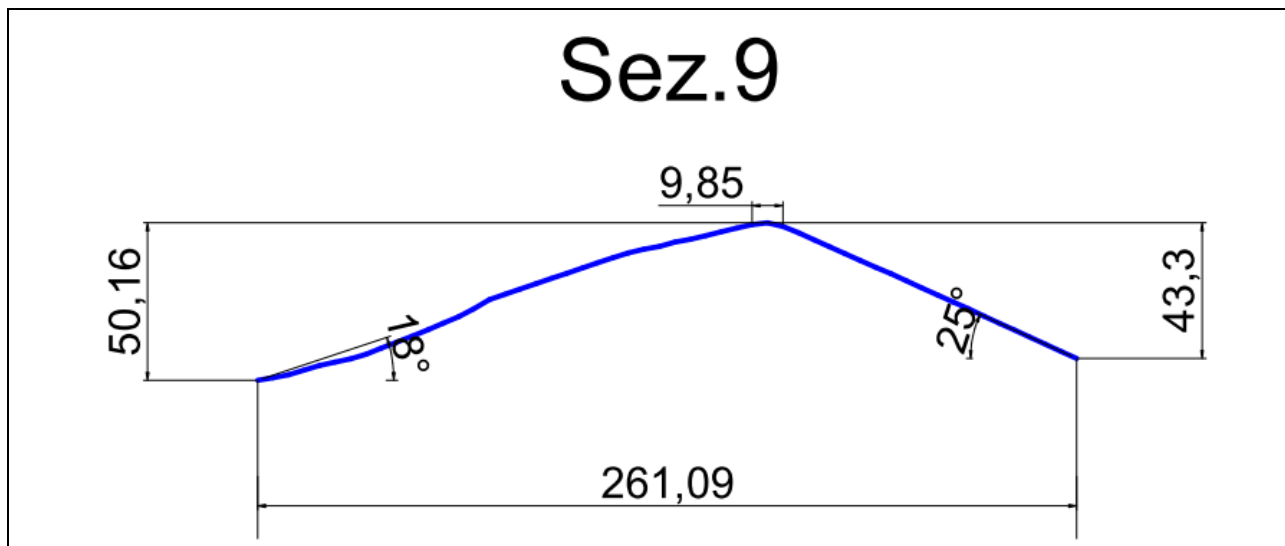
Sezione n.6 – Ca' Piazzole Brembo (scarpata ideale).



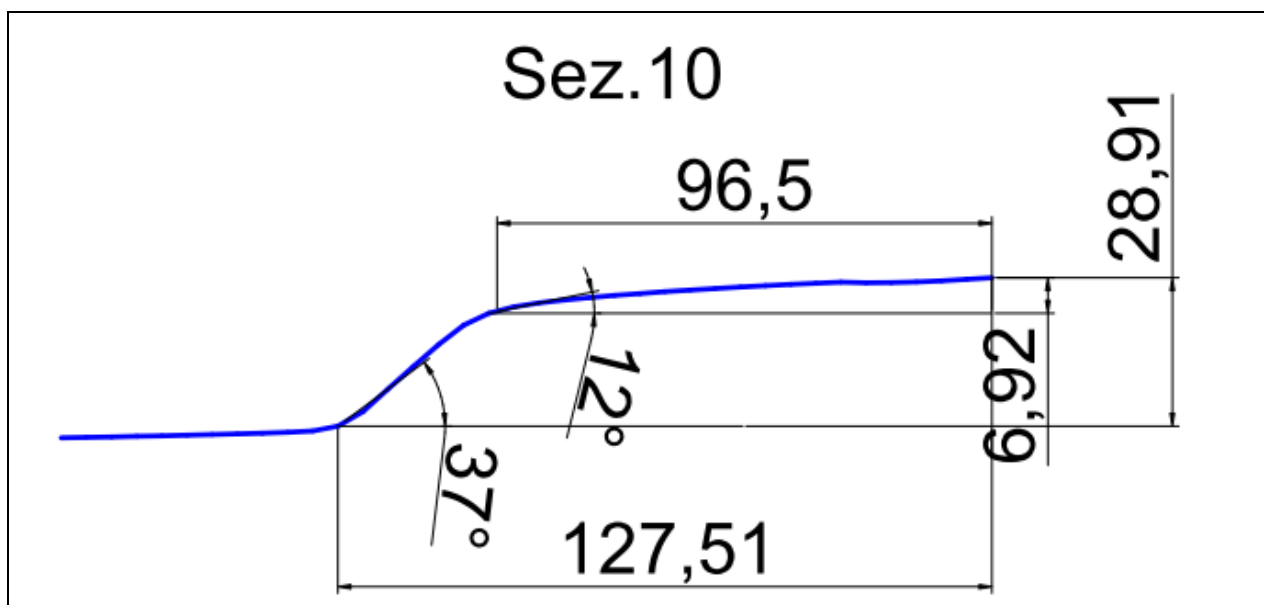
Sezione n.7 – Santuario Madonna del Castello - Brembo (scarpata ideale).



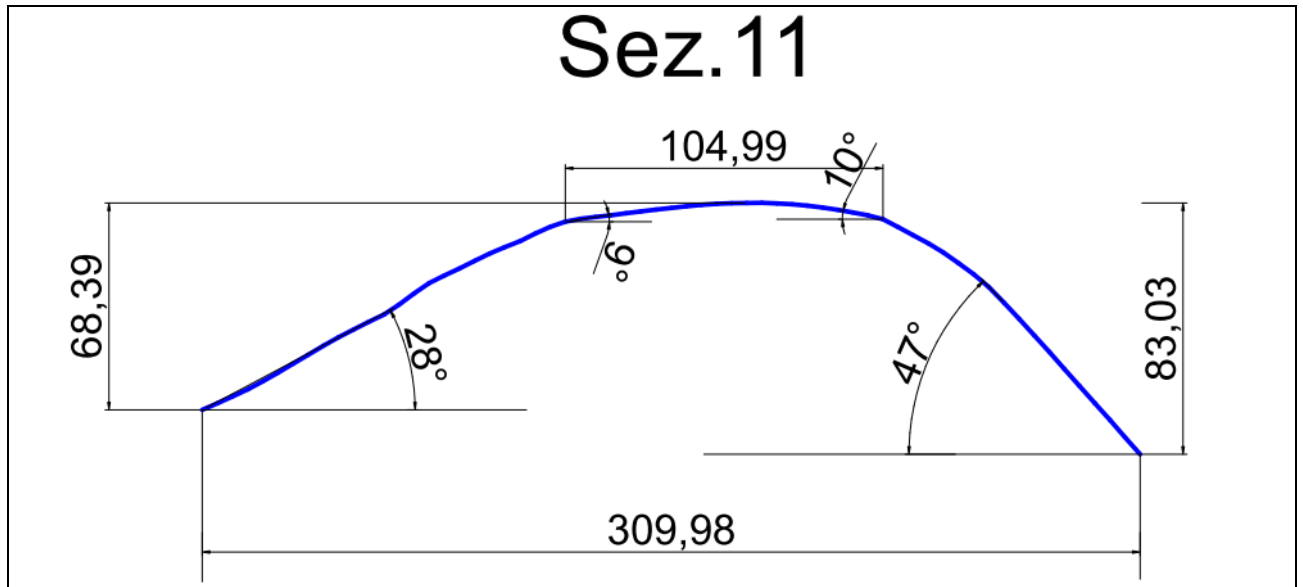
Sezione n.8 – Via I Maggio - Brembo (scarpata in pendenza).



Sezione n.9 – Collina di Vigna (cresta appuntita).



Sezione n.10 – Via S. G. Artigiano - Brembo (pendio).



Sezione n.11 – Duno (cresta arrotondata).

APPENDICE 2: Misure di rumore sismico HVSR a stazione singola

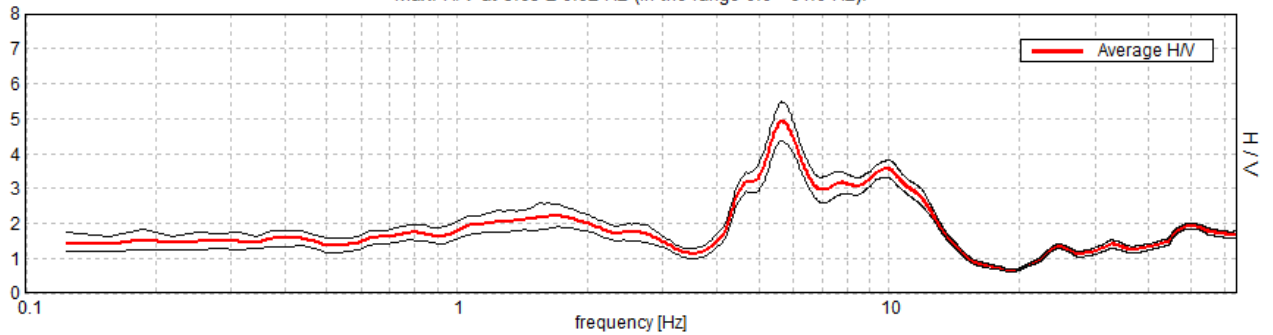
ALMENNO SAN SALVATORE, TR.1 - Via Regina Teodolinda (Zona Artigianale)

Instrument: TEN-0031/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 11/08/22 09:02:41 End recording: 11/08/22 09:22:42
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

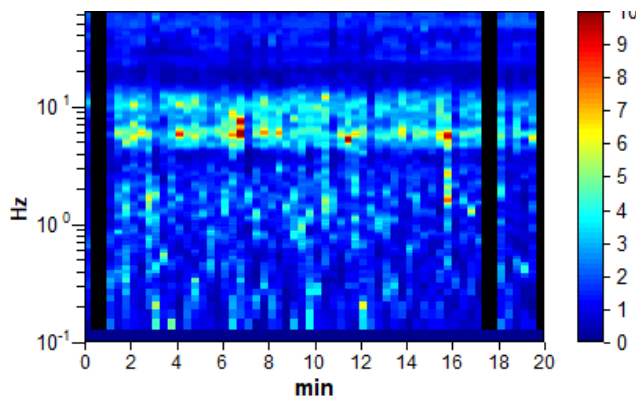
Trace length: 0h20'00". Analyzed 92% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

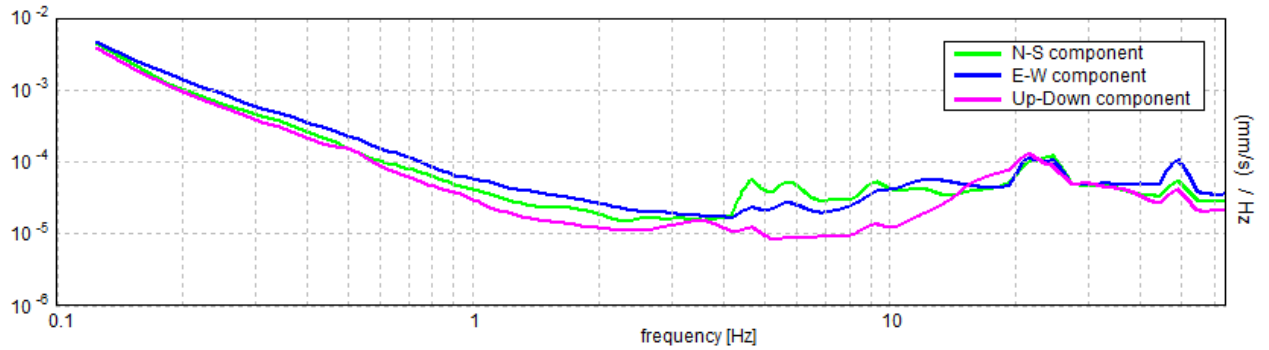
Max. H/V at 5.63 ± 0.92 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



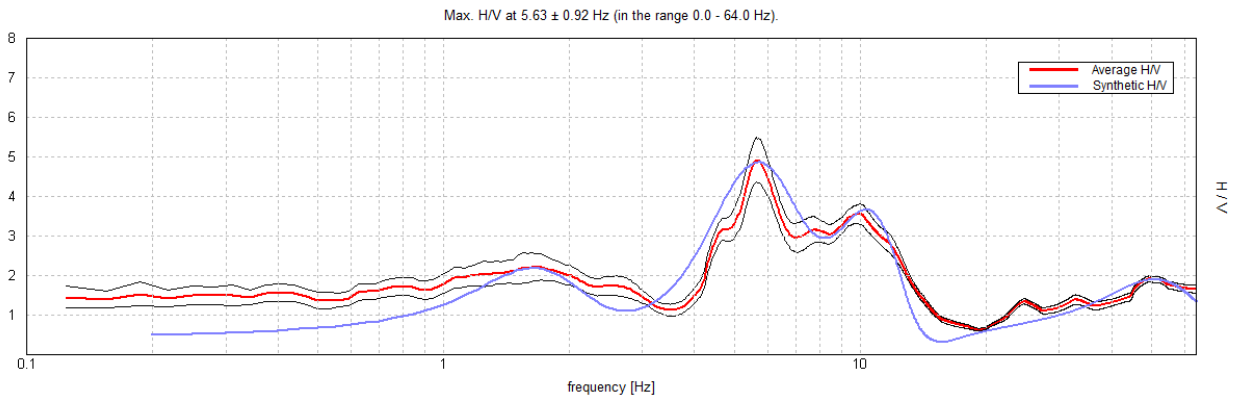
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

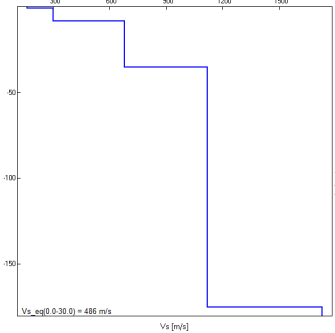


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.75	0.75	160	0.42
8.25	7.50	300	0.42
35.25	27.00	680	0.42
175.25	140.00	1120	0.42
inf.	inf.	1730	0.42

Vs_eq(0.0-30.0)=486m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 5.63 ± 0.92 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	5.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	6187.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 271 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.344 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	12.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.93 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.16329 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.91848 < 0.28125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5663 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.4	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

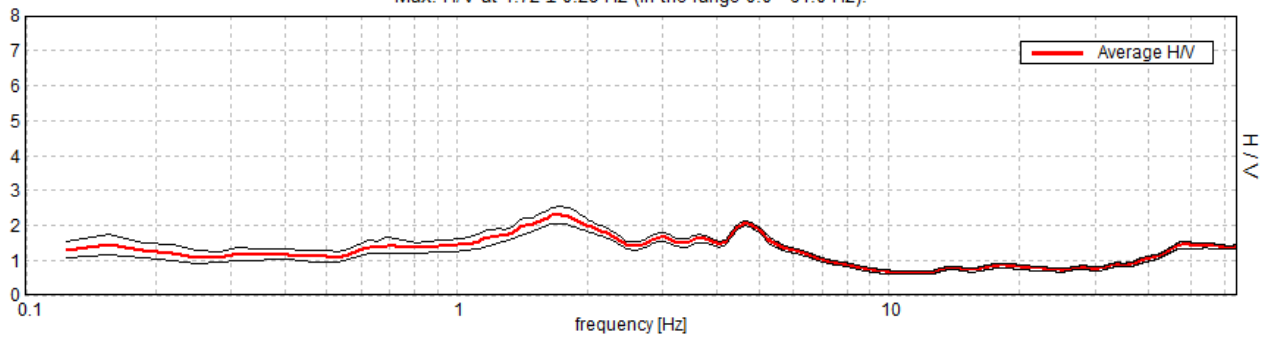
ALMENNO SAN SALVATORE, Tr.2 -Palestra Comunale

Instrument: TEN-0031/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 11/08/22 09:32:31 End recording: 11/08/22 09:52:32
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

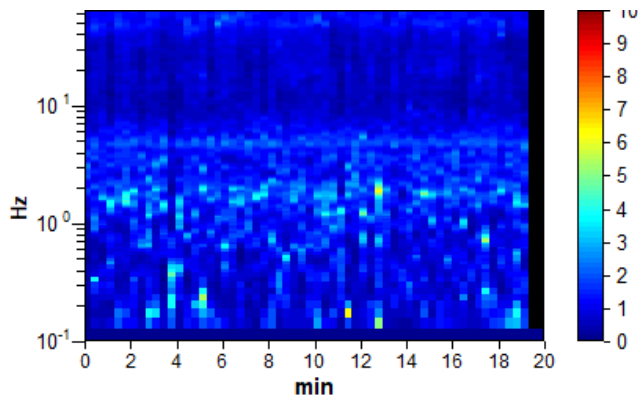
Trace length: 0h20'00". Analyzed 97% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

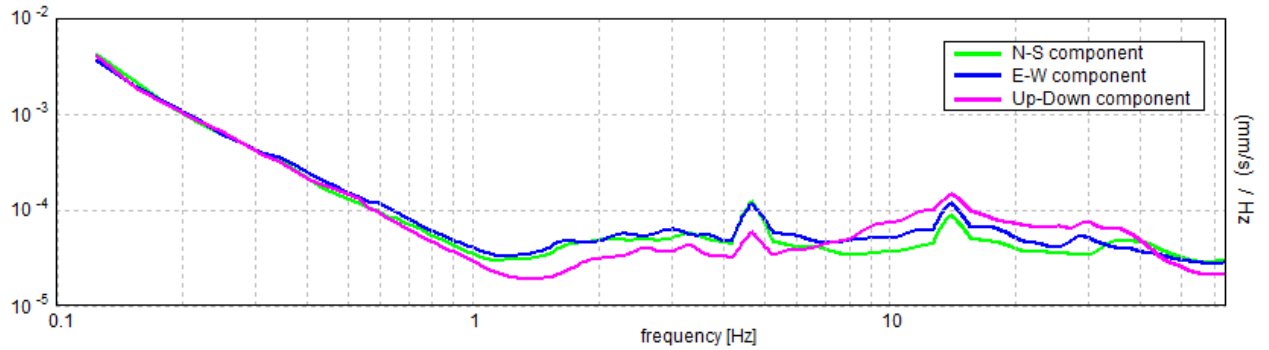
Max. H/V at 1.72 ± 0.28 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



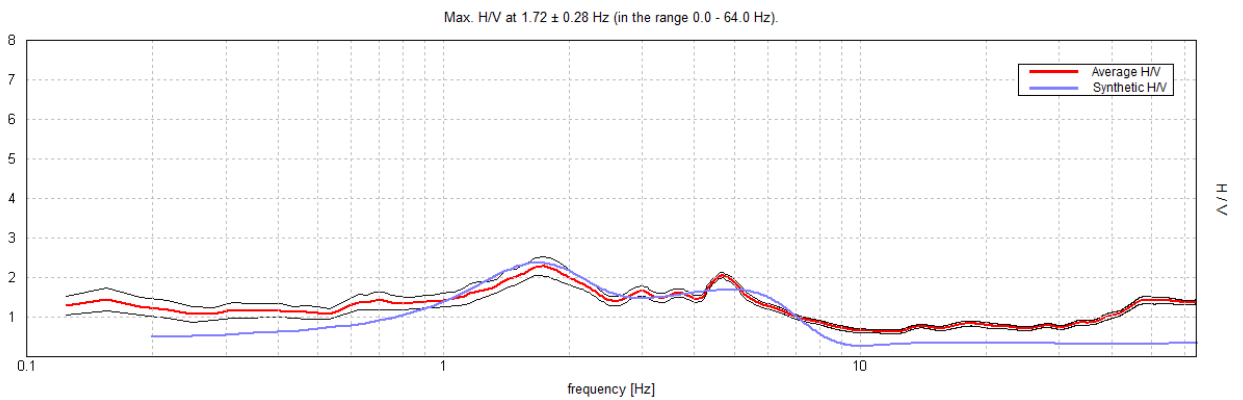
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

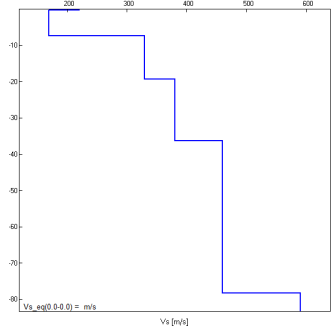


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.30	0.30	220	0.45
7.30	7.00	170	0.42
19.30	12.00	330	0.45
36.30	17.00	380	0.45
78.30	42.00	460	0.45
inf.	inf.	590	0.45

Vs_eq(0.0-30.0)=280m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *gnlla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 1.72 ± 0.28 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.72 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1993.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 84 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.531 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.30 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.16402 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.28191 < 0.17188		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2367 < 1.78	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.4	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

ALMENNO SAN SALVATORE - Tr.3, Via Romanelle (presso Sede Carabinieri)

Instrument: TEN-0031/01-07

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 11/08/22 10:01:14 End recording: 11/08/22 10:21:14

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 90% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

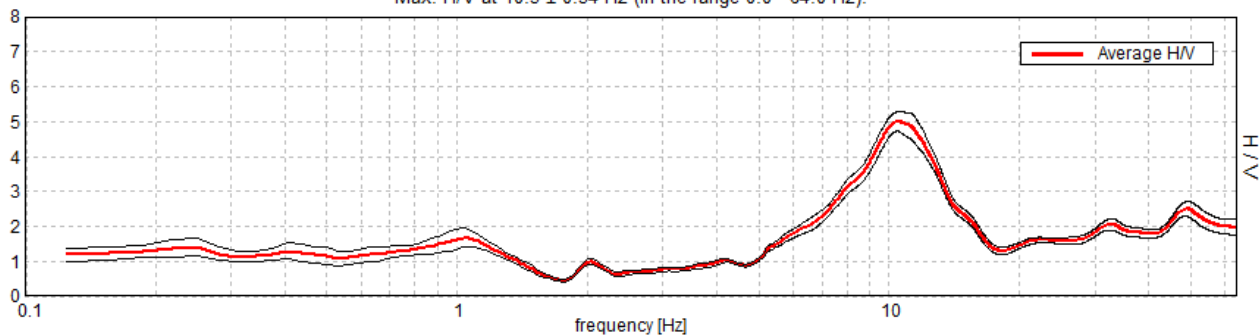
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

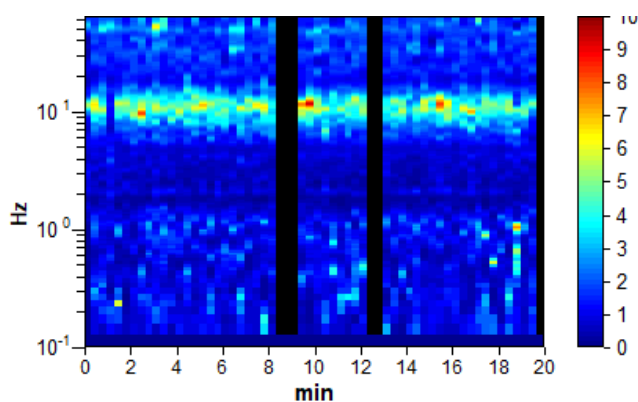
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

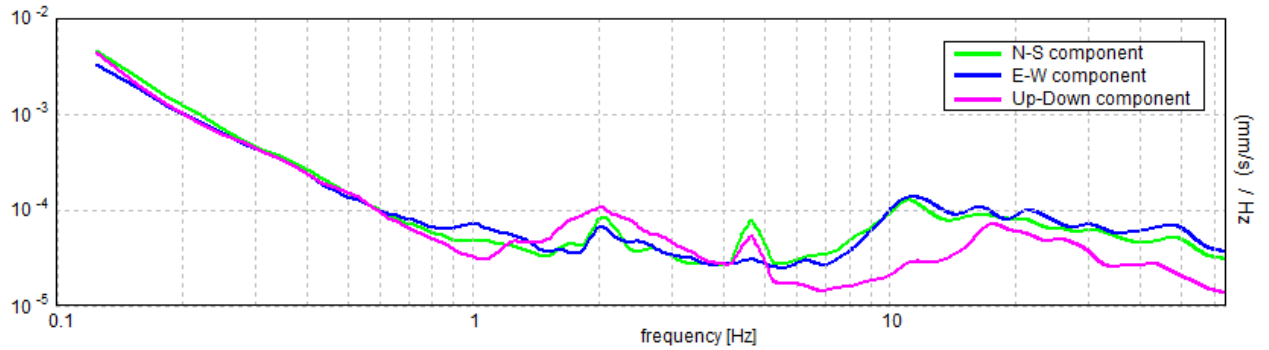
Max. H/V at 10.5 ± 0.34 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



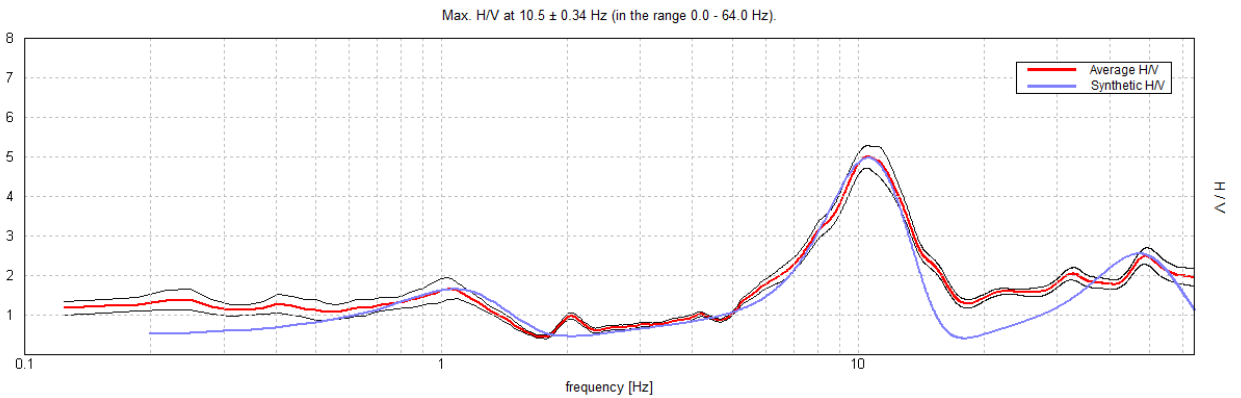
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

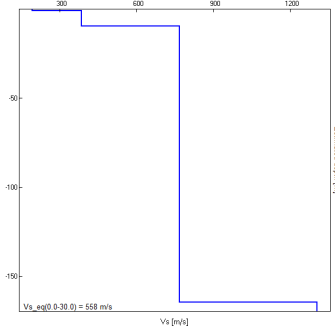


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	193	0.45
9.50	8.50	387	0.45
164.50	155.00	769	0.45
inf.	inf.	1306	0.45

Vs_eq(0.0-30.0)=558m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 10.5 ± 0.34 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	10.50 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	11340.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 505 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.281 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	14.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.00 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.03243 < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.34055 < 0.525	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2791 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.4	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

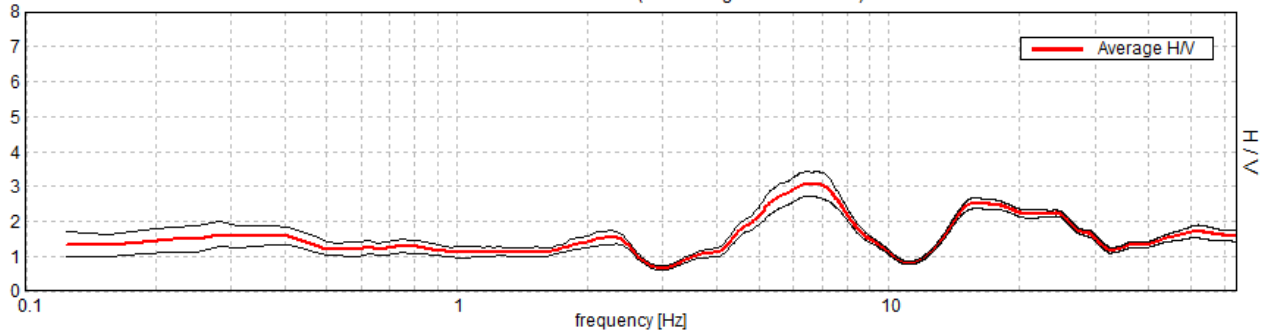
ALMENNO SAN SALVATORE, Tr.4 - Via Postico

Instrument: TEN-0031/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 26/05/23 10:01:04 End recording: 26/05/23 10:21:05
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

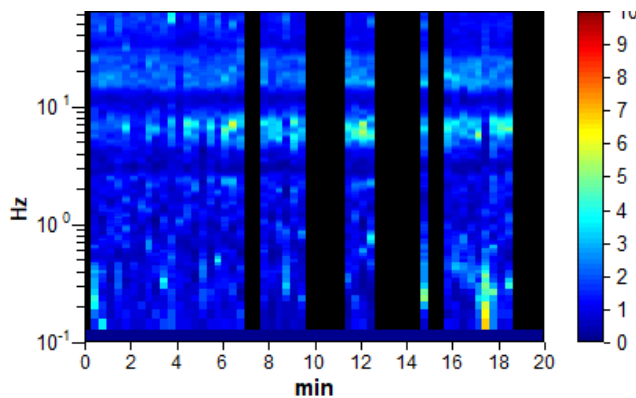
Trace length: 0h20'00". Analyzed 67% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

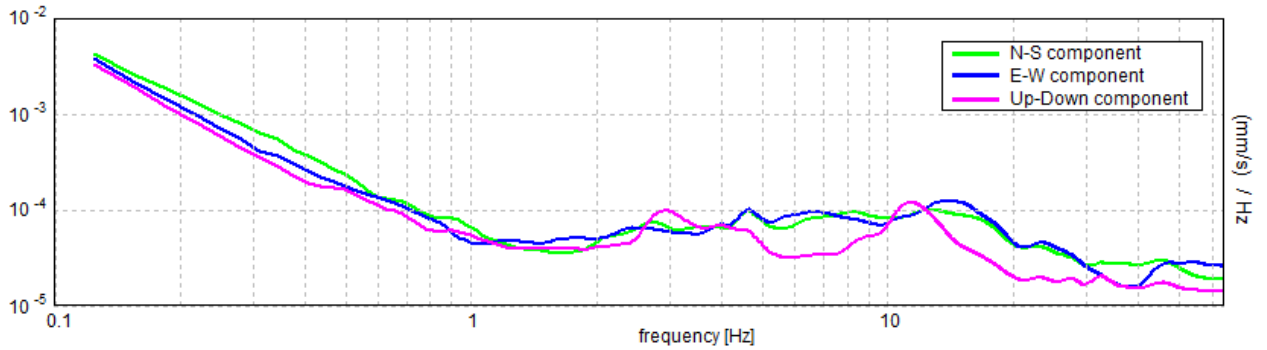
Max. H/V at 6.47 ± 5.46 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



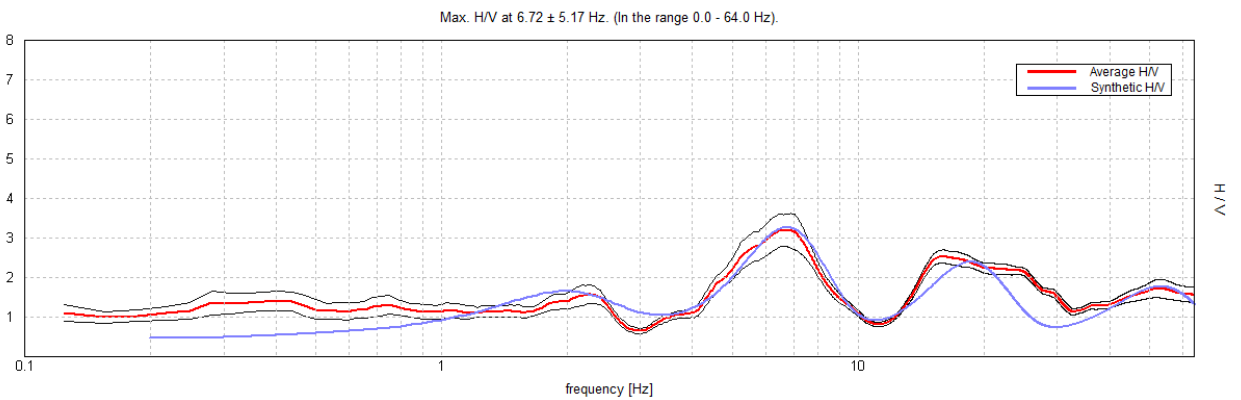
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

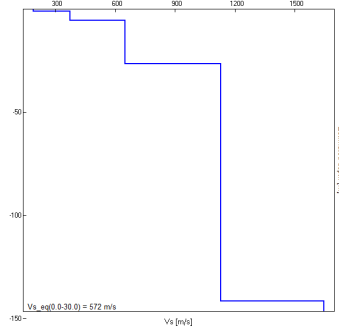


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.90	0.90	190	0.42
5.50	4.60	375	0.42
26.50	21.00	650	0.45
141.50	115.00	1130	0.45
inf.	inf.	1647	0.45

Vs_eq(0.0-30.0)=572m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 6.47 ± 5.46 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	6.47 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	5175.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 312 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.344 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.08 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.84425 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	5.46125 < 0.32344		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3498 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Freq. range [Hz]	Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$				
	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

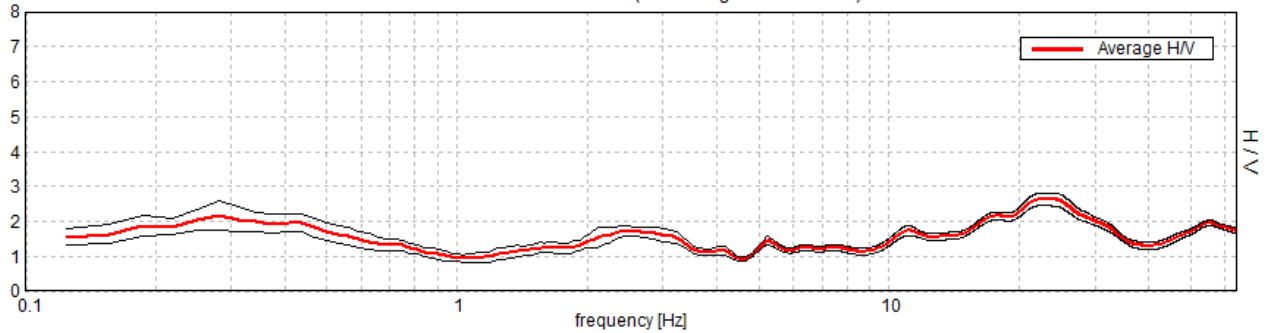
ALMENNO SAN SALVATORE, Tr.5 - Cimitero

Instrument: TEN-0031/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 26/05/23 10:30:10 End recording: 26/05/23 10:50:11
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

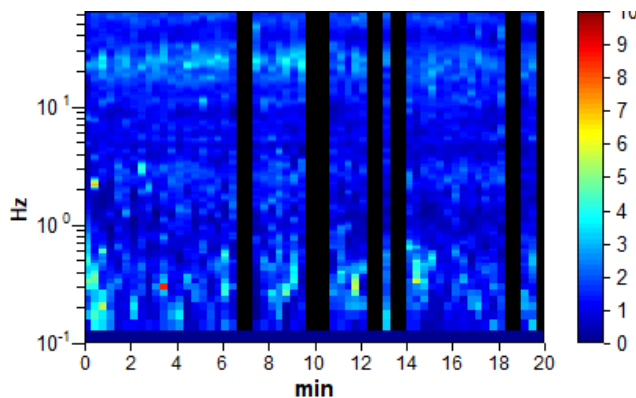
Trace length: 0h20'00". Analyzed 80% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

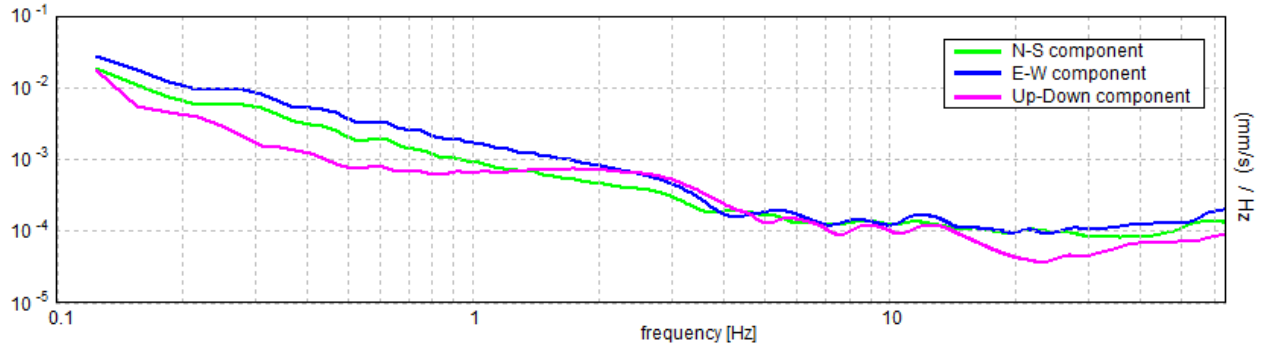
Max. H/V at 23.0 ± 8.06 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



H/V TIME HISTORY

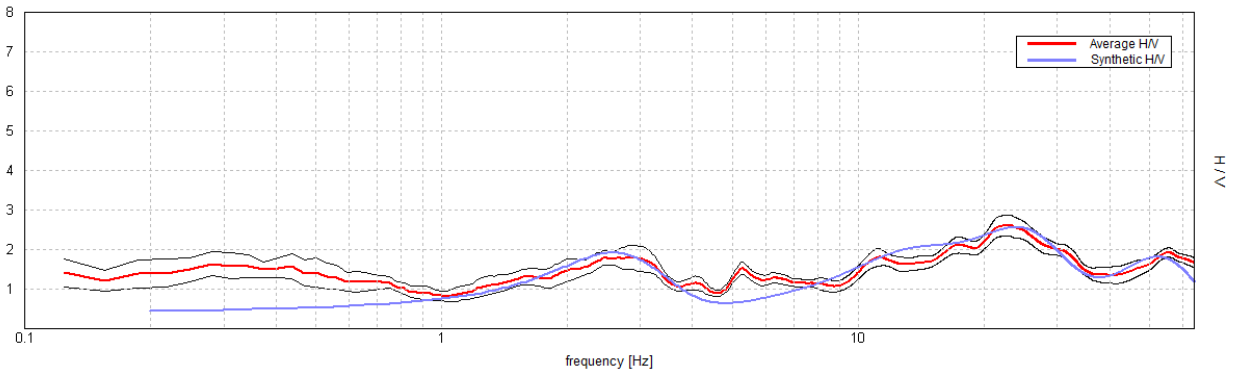


SINGLE COMPONENT SPECTRA



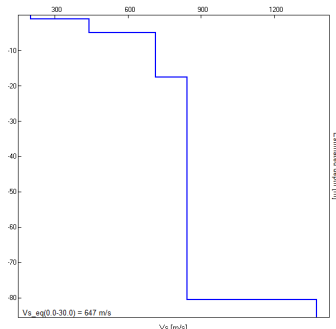
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 22.84 ± 5.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	200	0.42
4.90	3.90	441	0.42
17.50	12.60	714	0.45
80.50	63.00	842	0.45
inf.	inf.	1375	0.45

Vs_eq(0.0-30.0)=647m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 23.0 ± 8.06 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	23.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	22080.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1105 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	9.75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	37.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.64 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.35039 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	8.05906 < 1.15		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1789 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Freq. range [Hz]	Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$				
	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

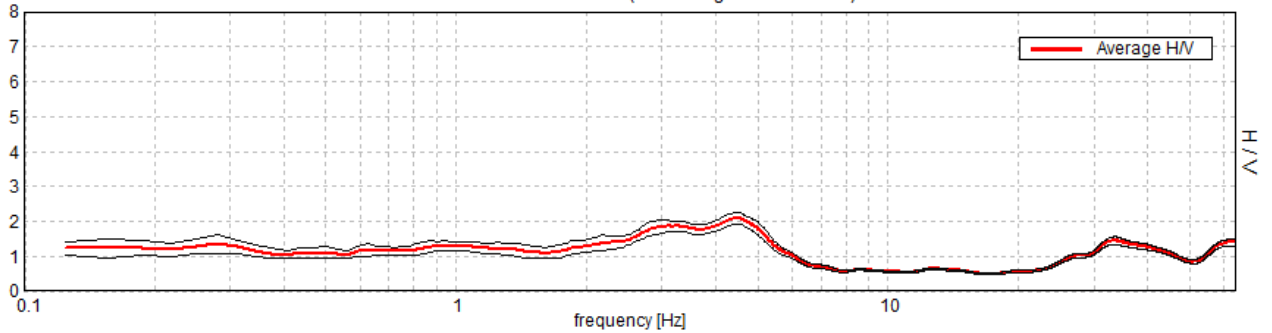
ALMENNO SAN SALVATORE, Tr.6 - Via IV Novembre

Instrument: TEN-0031/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 16/09/22 16:59:41 End recording: 16/09/22 17:19:42
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

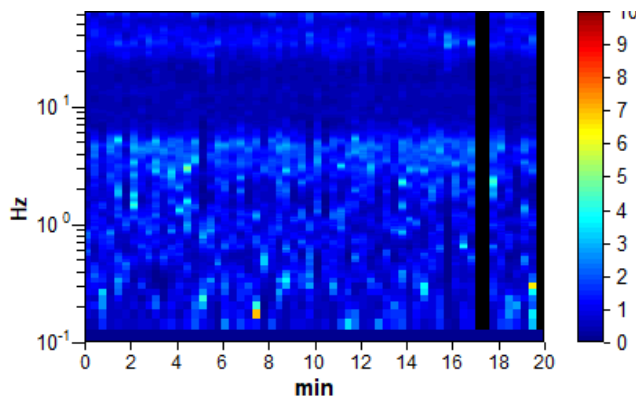
Trace length: 0h20'00". Analyzed 95% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

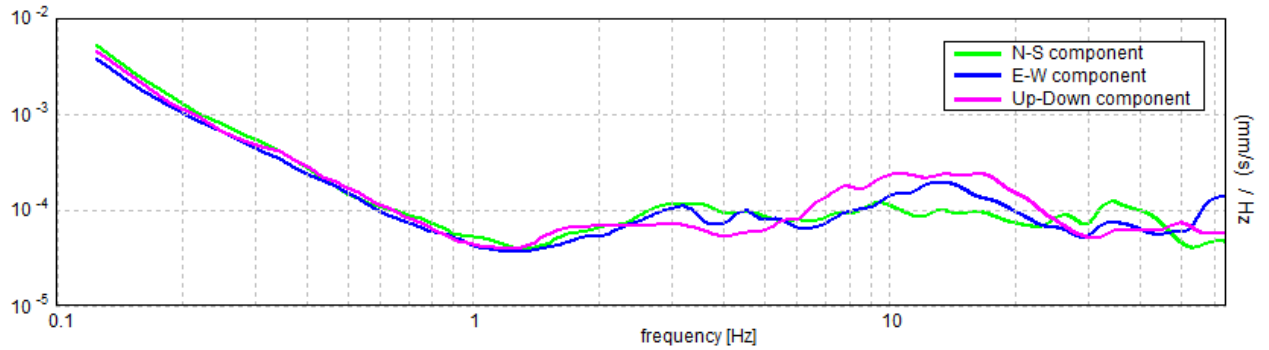
Max. H/V at 4.5 ± 1.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



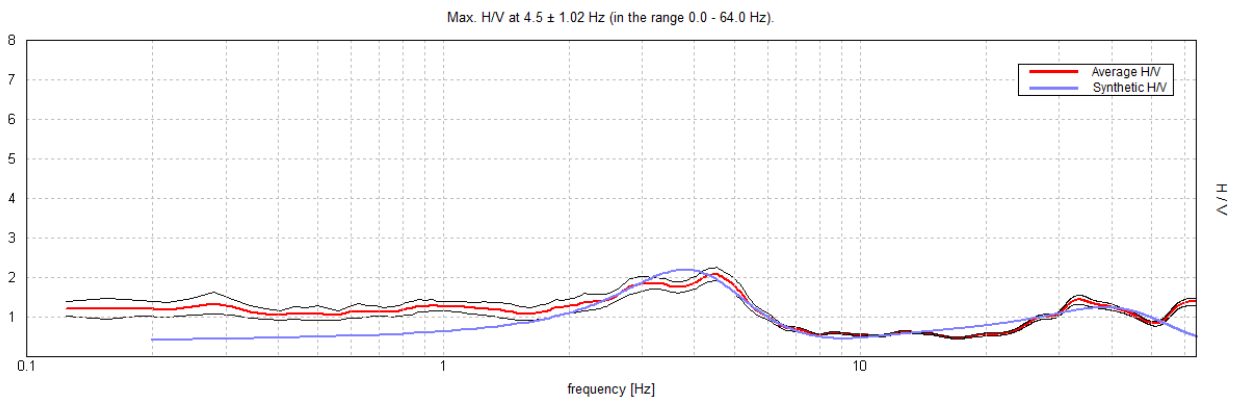
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

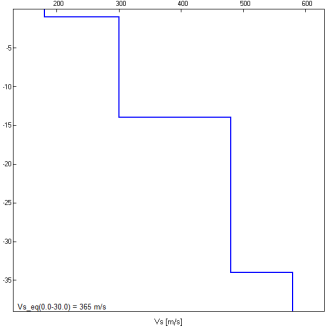


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	180	0.45
14.00	13.00	300	0.45
34.00	20.00	480	0.45
inf.	inf.	580	0.45

Vs_eq(0.0-30.0)=365m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 4.5 ± 1.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	4.50 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	5130.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 217 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.10 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.22633 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.01848 < 0.225		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1636 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

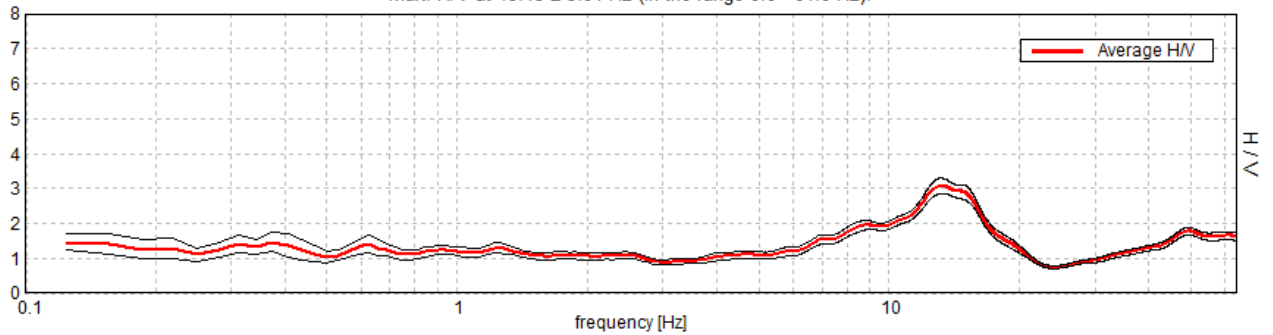
ALMENNO SAN SALVATORE, Tr.7 - Parco Giochi Via Regina Teodolinda

Instrument: TEN-0031/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 28/09/22 11:56:16 End recording: 28/09/22 12:16:17
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

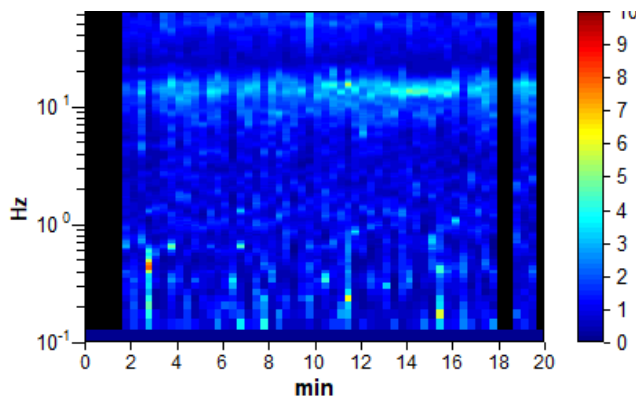
Trace length: 0h20'00". Analyzed 87% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

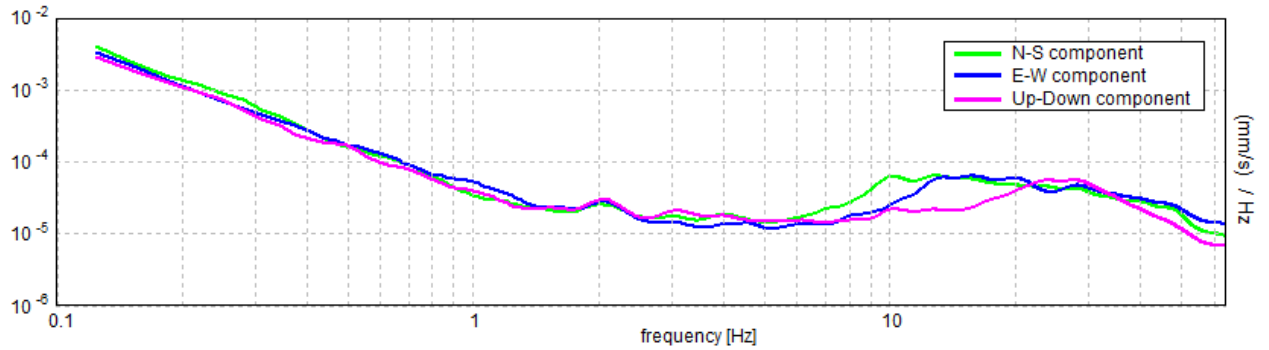
Max. H/V at 13.13 ± 3.04 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



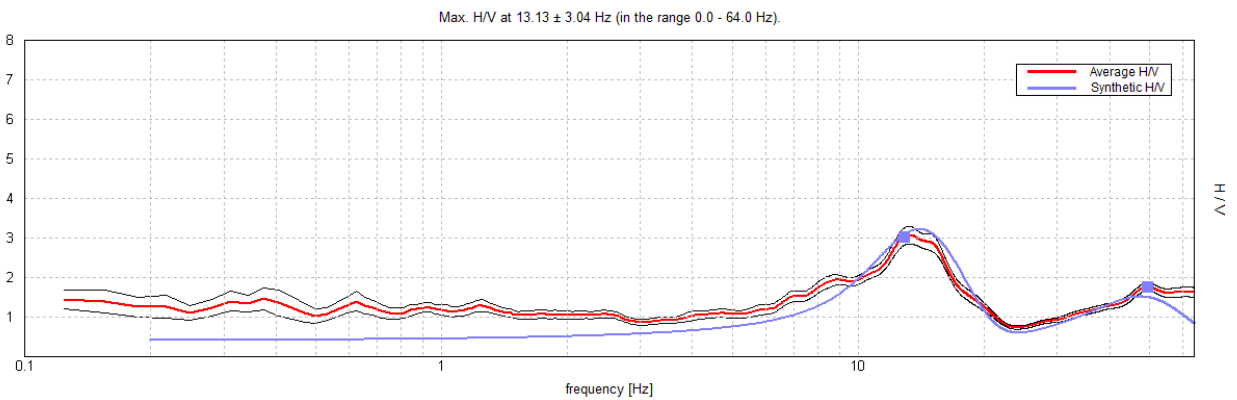
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

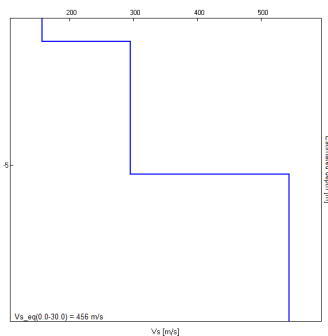


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.80	0.80	157	0.42
5.30	4.50	295	0.42
inf.	inf.	544	0.42

Vs_eq(0.0-30.0)=456m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 13.13 ± 3.04 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	13.13 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	13650.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 631 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.344 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	18.469 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.07 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.23178 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$3.04206 < 0.65625$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2226 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Freq. range [Hz]	Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$				
	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

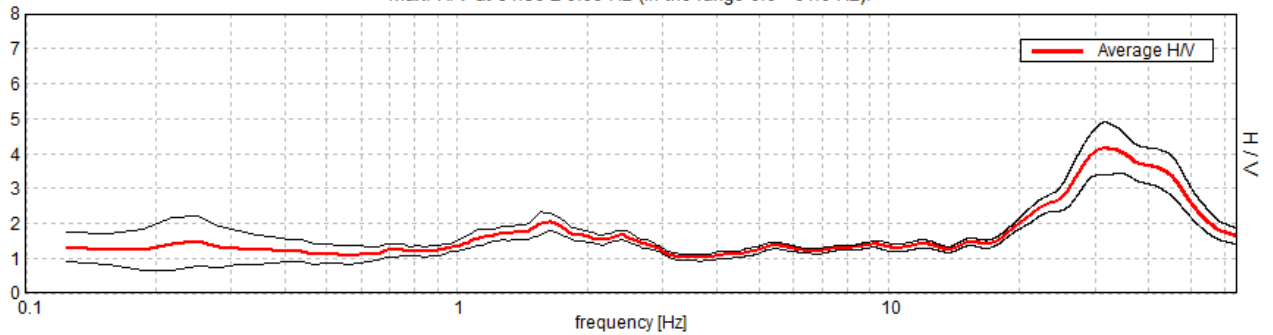
ALMENNO SAN SALVATORE, Tr.8 - Laghetto Lurani

Instrument: TEN-0031/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 23/09/22 17:11:00 End recording: 23/09/22 17:31:01
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

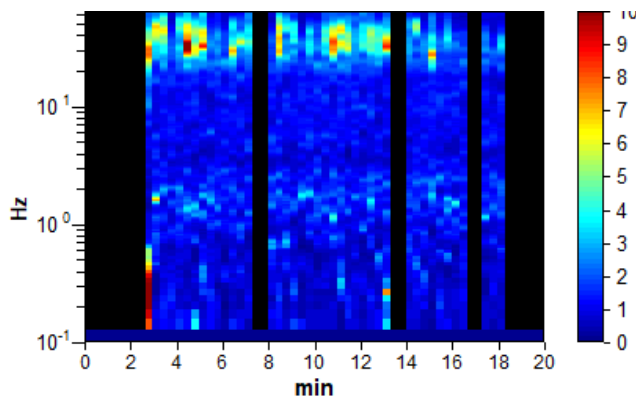
Trace length: 0h20'00". Analyzed 68% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

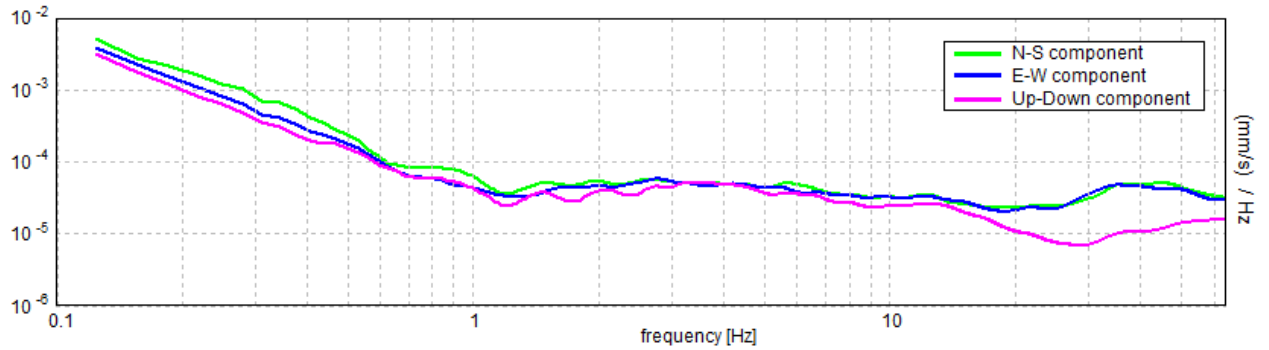
Max. H/V at 31.56 ± 9.99 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



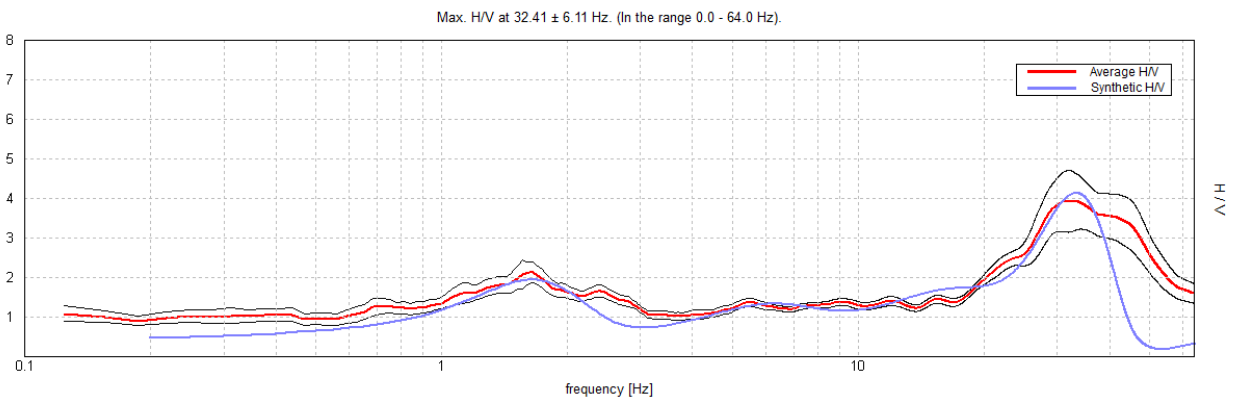
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

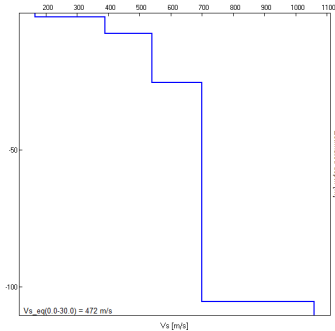


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.35	1.35	165	0.45
7.35	6.00	390	0.45
25.35	18.00	540	0.45
105.35	80.00	700	0.45
inf.	inf.	1060	0.45

Vs_eq(0.0-30.0)=472m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 31.56 ± 9.99 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	31.56 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	25881.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1516 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	20.375 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	54.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.14 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.31638 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	9.98567 < 1.57813		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.7568 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

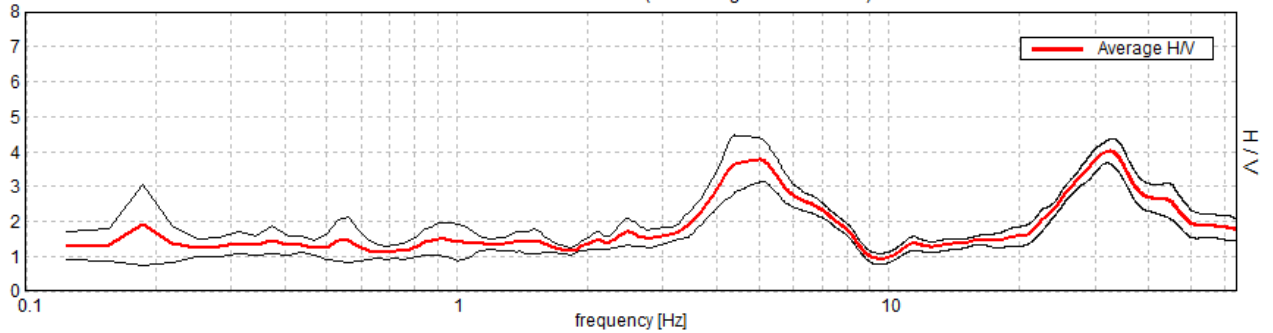
ALMENNO SAN SALVATORE, Tr.9 - La Frasca

Instrument: TEN-0031/01-07
Data format: 16 bit
Full scale [mV]: 51
Start recording: 23/09/2022 17:41:28 End recording: 23/09/2022 18:01:29
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

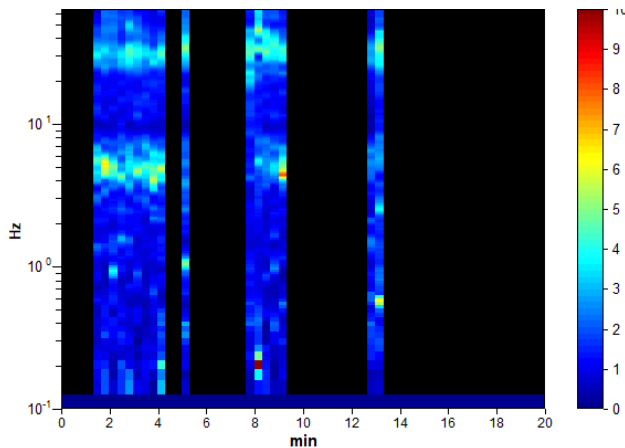
Trace length: 0h20'00". Analyzed 28% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

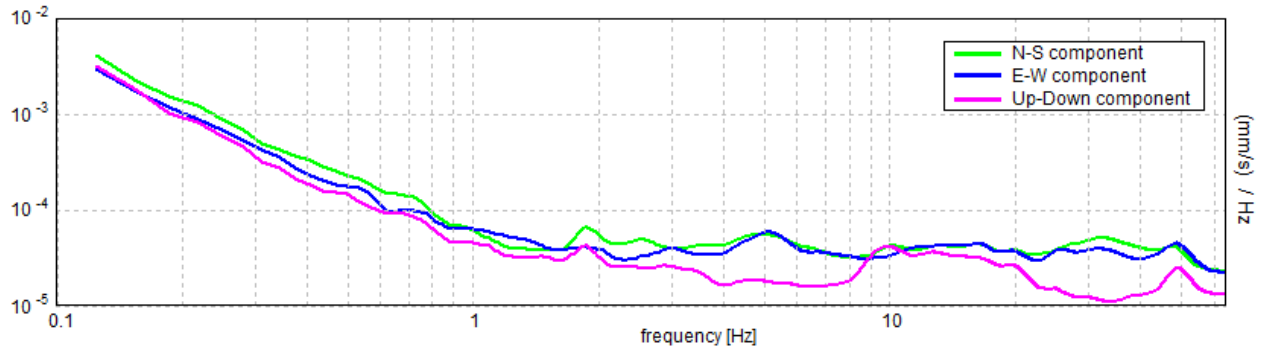
Max. H/V at 32.44 ± 23.03 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



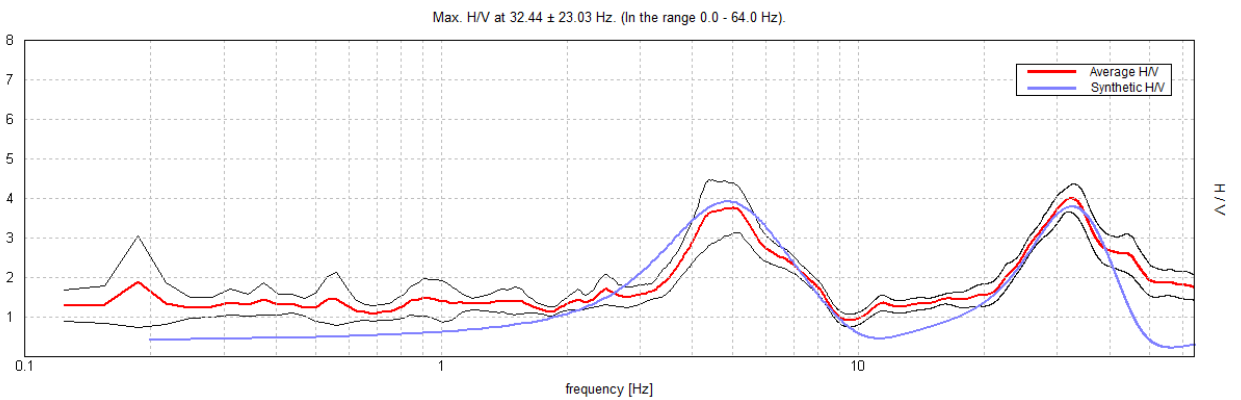
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

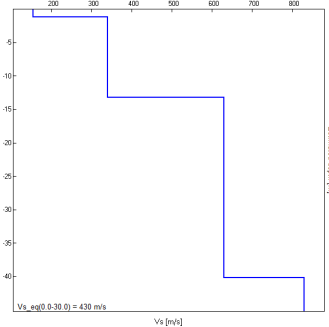


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.20	1.20	155	0.45
13.20	12.00	340	0.45
40.20	27.00	630	0.45
inf.	inf.	830	0.45

Vs_eq(0.0-30.0)=430m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *griffa* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 32.44 ± 23.03 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	32.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	11028.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1530 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	22.5 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	49.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.00 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.70984 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	23.02539 < 1.62188		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3509 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

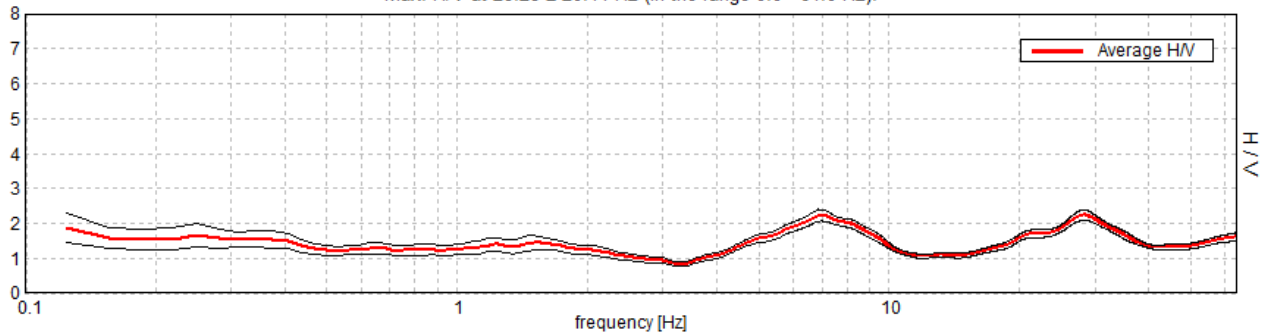
ALMENNO SAN SALVATORE, Tr. 10 - Chiesa San Giorgio

Instrument: TEN-0031/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 28/09/22 11:23:40 End recording: 28/09/22 11:43:41
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

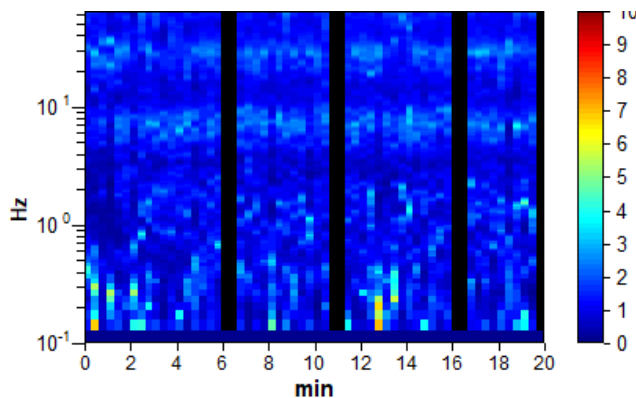
Trace length: 0h20'00". Analyzed 88% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

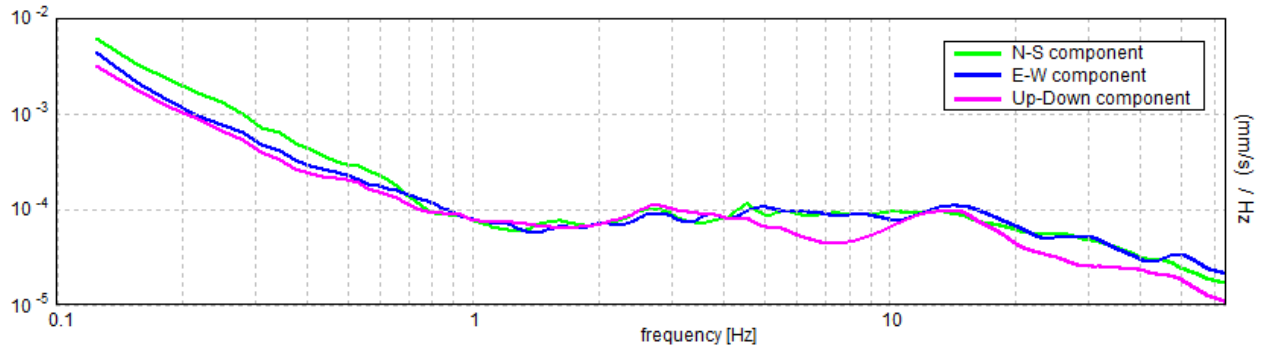
Max. H/V at 28.28 ± 20.44 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



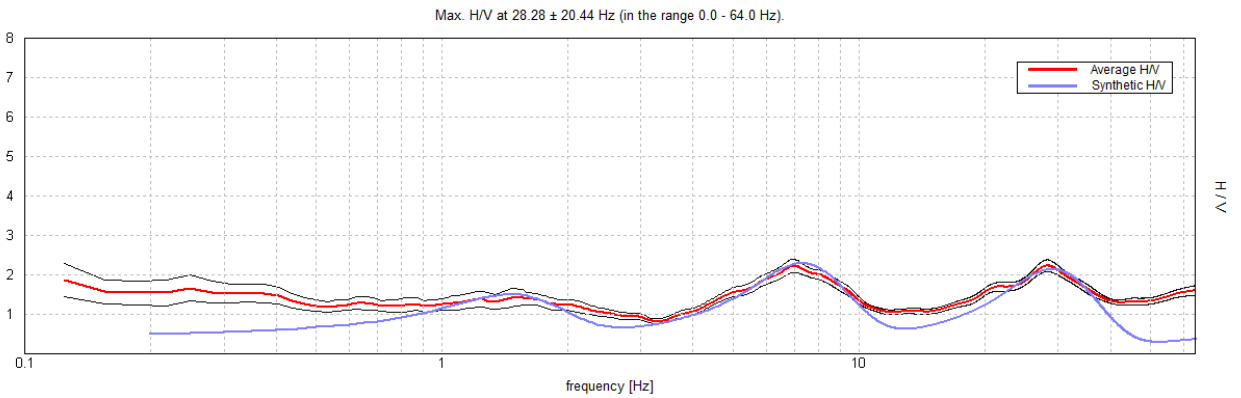
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

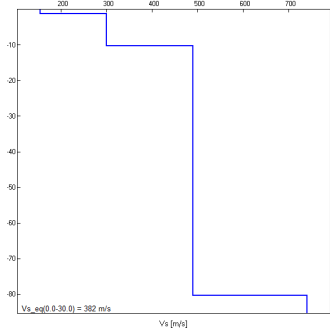


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.30	1.30	155	0.45
10.30	9.00	300	0.45
80.30	70.00	490	0.45
inf.	inf.	740	0.40

Vs_eq(0.0-0.0)= 382m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *gnlla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 28.28 ± 20.44 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	28.28 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	29978.1 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1358 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	15.469 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.24 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.72277 < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	20.44091 < 1.41406		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1491 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Freq. range [Hz]	Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$				
	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

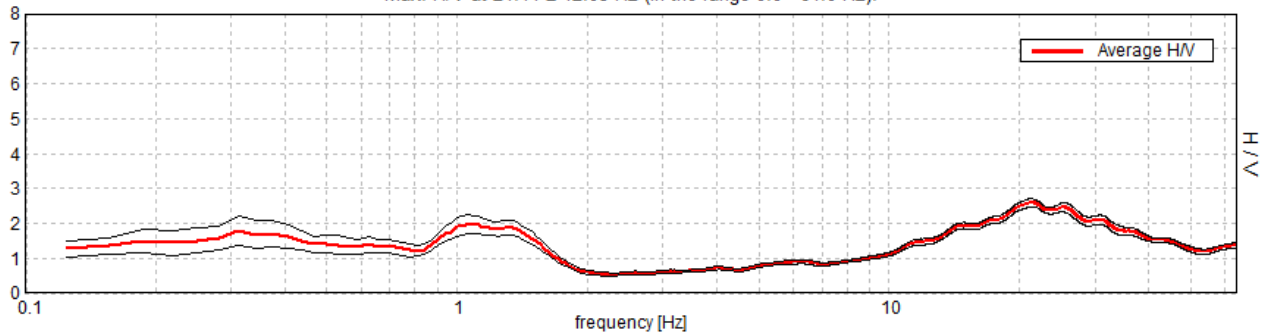
ALMENNO SAN SALVATORE, Tr.11 - Chiesa Madonna Del Castello

Instrument: TEN-0031/01-07
Data format: 16 byte
Full scale [mV]: n.a.
Start recording: 28/09/22 10:50:45 End recording: 28/09/22 11:10:46
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available

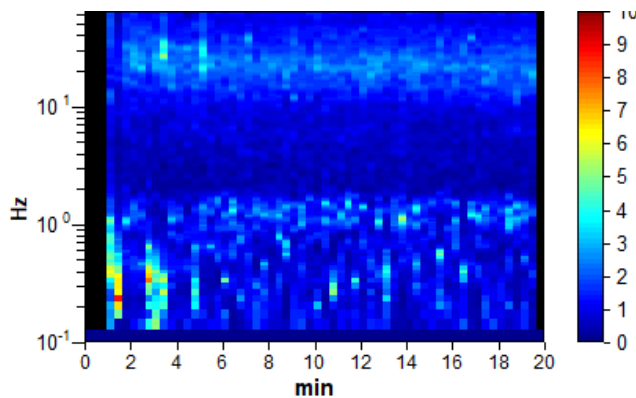
Trace length: 0h20'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

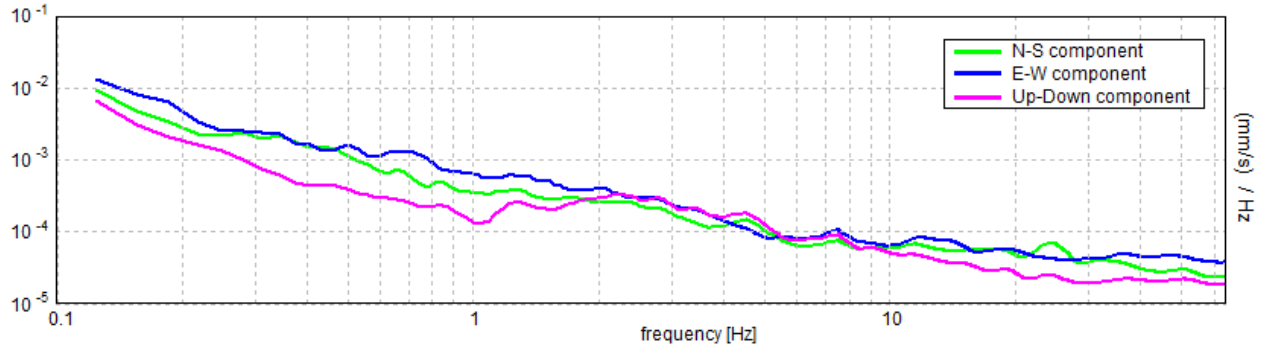
Max. H/V at 21.44 ± 12.05 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



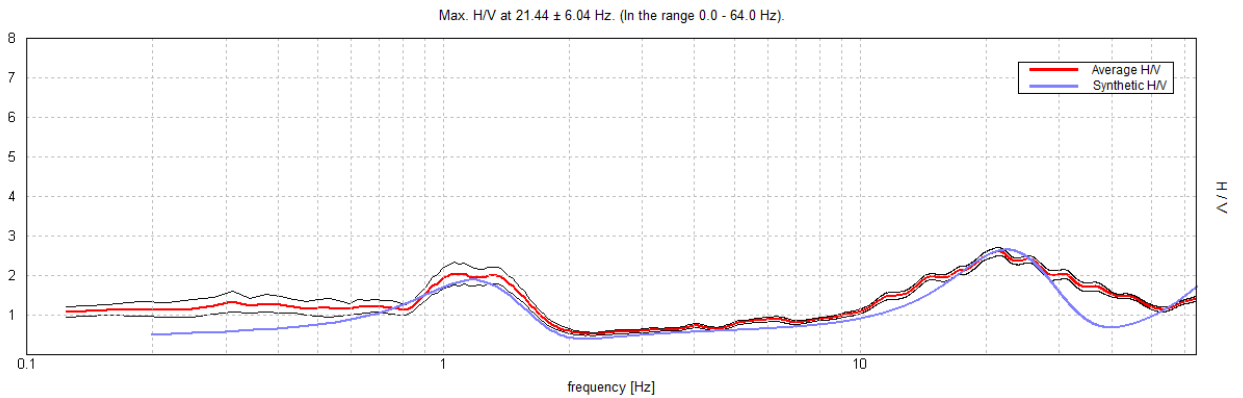
H/V TIME HISTORY



SINGLE COMPONENT SPECTRA

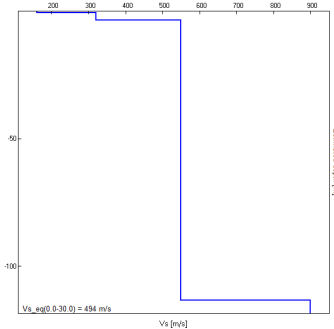


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	160	0.45
3.50	3.00	320	0.45
113.50	110.00	550	0.45
inf.	inf.	900	0.45

Vs_eq(0.0-30.0)=494m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 21.44 ± 12.05 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	21.44 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	24010.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1030 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	10.75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	49.031 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.59 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.56197 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	12.04716 < 1.07188		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1142 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20