



COMUNE DI PALADINA

Provincia di Bergamo

Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio in attuazione dell'art. 57 L.R. 11-03-2005 n. 12

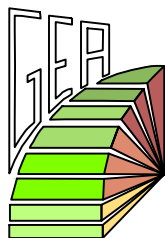
TITOLO ELABORATO

RELAZIONE TECNICA

N. PRATICA	TIPOLOGIA	FASE PROG.	SCALA	ELABORATI
20_129	PGT	DEFINITIVA	-	A

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE
0	Giugno 2022	Prima Emissione
1	Febbraio 2023	Modifica a seguito del Parere di Regione Lombardia
2	-	-
3	-	-

PROGETTISTI

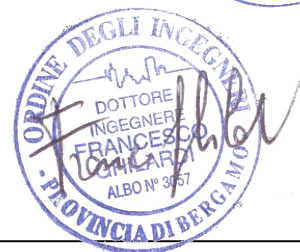


Studio G.E.A.
24020 RANICA (Bergamo)
Via La Patta, 30/d
Telefono e Fax: 035.340112
E - Mail: gea@mediacom.it

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



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



SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
1.1	<i>Obiettivi e quadro normativo di riferimento</i>	<i>3</i>
1.2	<i>Articolazione del lavoro e rapporti con gli studi geologici precedenti ..</i>	<i>4</i>
1.3	<i>Fasce fluviali del P.A.I.</i>	<i>6</i>
1.4	<i>Piano di gestione del rischio alluvioni.....</i>	<i>6</i>
2	QUADRO DISSESTI.....	7
2.1	<i>Criteri di realizzazione della cartografia del dissesto.....</i>	<i>7</i>
2.2	<i>Adeguamento della Carta dei dissesti P.A.I. – P.G.R.A. in recepimento dell'aggiornamento del P.G.R.A.</i>	<i>8</i>
2.3	<i>Interventi di sistemazione idraulica, riqualificazione ambientale e manutenzione fluviale lungo il torrente Quisa.</i>	<i>11</i>
3	VINCOLI	15
3.1	<i>Criteri di realizzazione della cartografia dei vincoli.....</i>	<i>15</i>
4	SINTESI DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI.....	17
4.1	<i>Criteri di realizzazione della cartografia di sintesi.....</i>	<i>17</i>
4.2	<i>Individuazione delle aree di criticità</i>	<i>19</i>
5	FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO.....	22
5.1	<i>Criteri di realizzazione della cartografia di fattibilità</i>	<i>22</i>
5.2	<i>Individuazione delle classi di fattibilità sul territorio.....</i>	<i>23</i>
5.3	<i>Nota per la valutazione del P.G.R.A. rispetto agli esistenti ambiti P.A.I.</i>	<i>26</i>
6	NORME GEOLOGICHE DI PIANO	28
7	VALUTAZIONE DELL'EFFETTO SISMICO.....	29
7.1	<i>Generalità e metodologie di analisi.....</i>	<i>29</i>
7.2	<i>Analisi sismica di 2° livello: Amplificazione Litologica.....</i>	<i>34</i>
7.2.1	Premessa.....	34
7.2.2	Indagine geognostica.....	37
7.2.3	Ubicazione delle indagini geofisiche.....	38
7.2.4	Documentazione fotografica	39
7.2.5	Tecnica MASW	47
7.2.6	Tecnica H/V	52



7.3	Sito 1: Centro Sportivo Comunale	56
7.3.1	Indagine MASW	56
7.3.2	Indagine H/V	58
7.3.3	Risultati ottenuti	61
7.4	Sito 2: Scuola Elementare.....	63
7.4.1	Indagine MASW	63
7.4.2	Indagine H/V	65
7.4.3	Risultati ottenuti	68
7.5	Sito 3: Scuola Materna	70
7.5.1	Indagine MASW	70
7.5.2	Indagine H/V	72
7.5.3	Risultati ottenuti	75
7.6	Sito 4: località Ghiaie	77
7.6.1	Indagine MASW	77
7.6.2	Indagine H/V	79
7.6.3	Risultati ottenuti	82
7.7	Sito 5: località Sombreno.....	84
7.7.2	Indagine H/V	86
7.7.3	Risultati ottenuti	89
7.8	Classi di sottosuolo.....	91
7.9	Verifica del fattore di amplificazione Fa	94
7.9.1	Verifica litologica.....	94
7.9.2	Amplificazione topografica.....	101
8	CONCLUSIONI.....	106
9	BIBLIOGRAFIA.....	110



1 PREMESSA

1.1 Obiettivi e quadro normativo di riferimento

Il Comune di Paladina (Bergamo) ha incaricato lo scrivente Studio G.E.A. di aggiornare lo studio geologico vigente, a seguito della predisposizione della variante generale al P.G.T. n. 2.

Il lavoro consiste nella parziale revisione della vigente componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T., redatta in prima versione nel 2007 dallo scrivente ad aggiornata in prima variante nel 2019 sempre dallo stesso.

L'aggiornamento è stato condotto secondo quanto disposto nei *"Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, N. 12"* (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616).

La presente variante consiste prevalentemente nell'integrazione all'interno della componente geologica degli ambiti derivanti dall'aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) per quanto riguarda il torrente Quisa secondo i criteri di cui alla d.g.r. 6738 del 2017.

Lo studio illustrato in queste pagine, redatto secondo i riferimenti normativi citati, è costituito dalla presente relazione tecnica, dalla cartografia e dalle norme geologiche di piano. In relazione separata è allegato il DOSRI (studio di invarianza idraulica)

Per i rilievi di terreno e la rappresentazione grafica dei dati è stato utilizzato, come base topografica, il rilievo aerofotogrammetrico del comune, lavorando nel sistema di coordinate Gauss-Boaga (ereditato dallo studio precedente). Gli shape file, tuttavia, saranno prodotti in coordinate WGS84, come da specifiche regionali.

Ciò che emerge da questo studio è una sintesi geo ambientale di carattere interpretativo, che non ha lo scopo di affrontare singoli problemi geologico - tecnici,



né esime l'Amministrazione Comunale ed i Cittadini dall'assolvere gli obblighi derivanti da specifiche normative di legge concernenti il settore edilizio, geotecnico ed ambientale.

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

1.2 Articolazione del lavoro e rapporti con gli studi geologici precedenti

Il presente studio non costituisce una componente geologica completamente nuova del territorio comunale, ma soltanto una revisione di quella precedente, che era sostanzialmente conforme al quadro dei dissesti P.A.I. già vigente al tempo.

Il lavoro è dunque consistito principalmente in:

- Adeguamento degli scenari di pericolosità del P.G.R.A. per il torrente Quisa;

Il nuovo studio, una volta conclusa la fase di approvazione, sostituirà completamente la precedente componente geologica e idrogeologica del P.G.T. per quanto attiene quadro del dissesto, quadro dei vincoli geologici e fattibilità geologica con relative norme di piano.

In termini di consultazione a livello comunale e di trasmissione agli Enti sovraordinati (Regione Lombardia, Provincia di Bergamo, Autorità di Bacino del Fiume Po, ecc.), il pacchetto completo del lavoro dovrà essere composto da:

- Materiale tematico di base dello studio Arethusa così come già inviato nella prima fase di stesura del lavoro (carte tematiche, relazione illustrativa escluse le norme, allegati).



- Nuova componente geologica, idrogeologica e sismica della variante al P.G.T. (il presente studio), a completa sostituzione di quella redatta nel 2007.

N.B.: sono altresì da tenere in considerazione tutti gli studi di approfondimento, di qualsiasi Professionista, eseguiti nel corso degli anni sui vari dissesti (frane, conoidi, valanghe, aree a rischio idrogeologico molto elevato, ecc.), e che hanno contribuito alla ridefinizione delle classi di rischio e/o degli ambiti di fattibilità per determinate aree del territorio comunale.

COMPOSIZIONE DELLO STUDIO GEOLOGICO	
NOME DELL'ELABORATO	PROVENIENZA
Relazione tecnica (solo parte generale ed illustrativa)	Studio Arethusa s.r.l. 2001
Relazione tecnica	Studio G.E.A. aggiornamento 2022
Norme geologiche di piano	Studio G.E.A. aggiornamento 2022
Tavola 1A – Carta geomorfologica con elementi litologici	Studio Arethusa s.r.l., aggiornamento studio GEA 2010
Tavola 1B – Carta geopedologica	Studio Arethusa s.r.l. 2001
Tavola 2A – Carta idrogeologica e della vulnerabilità	Studio Arethusa s.r.l. 2001
Tavola 2B – Sezione geologico-idrogeologica	Studio Arethusa s.r.l. 2001
Tavola 3 – Carta di prima caratterizzazione geotecnica	Studio Arethusa s.r.l. 2001
Tavola 1a – Carta della Pericolosità Sismica Locale	Studio G.E.A. aggiornamento 2022
Tavola 1b – Carta della Pericolosità Sismica Locale di 2° livello	Studio G.E.A. aggiornamento 2022
Tavola 2 – Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I - P.G.R.A.	Studio G.E.A. aggiornamento 2022
Tavola 3 – Carta dei Vincoli	Studio G.E.A. aggiornamento 2022
Tavola 4 – Carta di Sintesi	Studio G.E.A. aggiornamento 2022
Tavola 5 – Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano	Studio G.E.A. aggiornamento 2022
Tavola 6 – Carta di Fattibilità Geologica per aggiornamento mosaico regionale	Studio G.E.A. aggiornamento 2022

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



1.3 Fasce fluviali del P.A.I.

Nel presente studio geologico la fasce fluviali del P.A.I. relative al Fiume Brembo sono state riportate come indicato dal P.A.I. inoltre, in virtù dell'approvazione del **“Piano di Gestione del Rischio delle alluvioni nel distretto del Po (PGRA)”** in conformità agli artt. 7 e 8 della Direttiva 2007/60/CE, dell'art. 7 del D.lgs. n. 49/2010, nonché dell'art. 4 del D.L.gs. n. 219/2010 le suddette fasce sono state sovrapposte alle mappe di rischio di esondazione proprie del PGRA.

1.4 Piano di gestione del rischio alluvioni

All'interno dell'aggiornamento della componente geologica del PGT comunale vengono recepiti gli ambiti di pericolosità da alluvione per il reticolo secondario collinare e montano del torrente Quisa secondo i dettami della d.g.r. 6738 del 2017 *“Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione d'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po così come integrate della Variante adottata in data 7 dicembre 2016 con Deliberazione n. 5 del Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po”*



2 QUADRO DISSESTI

➤ TAVOLA N. 1 – CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA P.A.I. - P.G.R.A.

2.1 Criteri di realizzazione della cartografia del dissesto

I rilevamenti di terreno hanno permesso l'individuazione di un piccolo numero di aree in dissesto esistenti nel territorio di Paladina. Ovviamente non si tratta di un comune particolarmente critico dal punto di vista dei dissesti, essendo in gran parte pianeggiante o caratterizzato da rilievi piuttosto bassi e regolari. Sussistono comunque alcune aree di crollo diffuso lungo la scarpata fluviale del Brembo, alcune aree a pericolosità di esondazione lungo il Torrente Quisa ed un grosso conoide attivo non protetto a sud-est di Sombreno.

La Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. - P.G.R.A., redatta in scala 1:10000 su base C.T.R., è finalizzata ad aggiornare l'Elaborato 2 del P.A.I.; i dissesti contenuti in tale tavola provengono:

- Dagli strumenti informatizzati dell'Inventario dei Fenomeni Franosi della Regione Lombardia (Inventario Dissesti – GeoIFFI).
- Da quanto già esistente nel quadro dissesti aggiornato del P.A.I.
- Da quanto derivato dai rilevamenti in campo eseguiti con il presente studio (osservazioni di terreno e raccolta di dati bibliografici).

La legenda utilizzata segue gli standard grafici P.A.I., così come richiesto dai criteri attuativi della L.R. 12/2005.

La presente revisione non propone aggiornamenti al quadro dissesti del P.A.I. comunale.



2.2 Adeguamento della Carta dei dissesti P.A.I. – P.G.R.A. in recepimento dell'aggiornamento del P.G.R.A.

La componente geologica del P.G.T. di Paladina ha già integrato gli ambiti di pericolosità da alluvione per quanto riguarda il Reticolo Principale (fiume Brembo) all'interno della variante n. 1 al Piano redatta dagli scriventi nel 2018.

L'aggiornamento degli ambiti di allagabilità del torrente Quisa è stato pubblicato sul Geoportale Regione Lombardia con la Revisione 2019. Di tale revisione la Conferenza Istituzionale Permanente ha preso atto nella seduta del 20 dicembre 2019 con delibera n. 7 (entrata in vigore dal 16 marzo 2020).

COMUNE	PROVINCIA	ORIGINE MODIFICA	DESCRIZIONE MODIFICA	TIPOLOGIA / PROCEDURA DI MODIFICA	AMBITO TERRITORIALE ARIANCA
PALADINA	BERGAMO	Studi sulle aree interessate dagli eventi alluvionali 2014 - 2016	Integrazione aree allagabili da studio sottobacino Quisa	Modifica conseguente a Valutazione preliminare ai sensi art. 4 e 5 Direttiva 2007/60/CE e D. Lgs. 49/2010	RSCM
PALAZZAGO	BERGAMO	Correzione errori materiali	interni (l'area allagabile P1 risultava diversa dall'area Em. contenuta nel PGT del Comune di Palazzago per differenze relative al confine comunale)	Correzione errori materiali	RSCM
PALOSCO	BERGAMO	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM
PARATICO	BRESCIA	Studi sulle aree interessate dagli eventi alluvionali 2014 - 2016	Integrazione aree allagabili da studio sottobacino Querna	Modifica conseguente a Valutazione preliminare ai sensi art. 4 e 5 Direttiva 2007/60/CE e D. Lgs. 49/2010	RSCM
PARRE	BERGAMO	Correzione errori materiali	correzione errori materiali relativi all'area P3 al confine con Pario, Villa d'Ogna, Clusone e Ponte Nossà a seguito di controlli interni (l'area allagabile P3 risultava diversa dall'area Em. contenuta nel PGT del Comune per differenze relative al confine comunale)	Correzione errori materiali	RSCM
PASSIRANO	BRESCIA	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM
PEIA	BERGAMO	Studi sulle aree interessate dagli eventi alluvionali 2014 - 2016	Integrazione aree allagabili da studio sottobacino Roma	Modifica conseguente a Valutazione preliminare ai sensi art. 4 e 5 Direttiva 2007/60/CE e D. Lgs. 49/2010	RSCM
PERTICA ALTA	BRESCIA	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM
PESSANO CON BORNAGO	MILANO	Proposta formulata dal Comune	Modifica locale che tiene conto di una arginatura realizzata nel 2005 (Approvata in Conferenza Operativa ADBPO del 23 ottobre 2019)	Modifiche cartografiche alle mappe del PGRA (art. 10, comma 1) Deliberazione Comitato Istituzionale ADBPO 5/2016	RP
PIARIO	BERGAMO	Correzione errori materiali	correzione errori materiali relativi all'area P3 al confine con Parre e Villa d'Ogna a seguito di controlli interni (l'area allagabile P3 risultava diversa dall'area Em. contenuta nel PGT del Comune per differenze relative al confine comunale)	Correzione errori materiali	RSCM
PIATEDA	SONDRIO	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM
PIAZZOLO	BERGAMO	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM
PISSONE	BRESCIA	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM
POGGIRIDENTI	SONDRIO	Correzione errori materiali	Correzione errore materiale in corrispondenza Canale a ovale loc. Canfori a seguito di segnalazione del Comune	Correzione errori materiali	RSCM
PONTE DI LEGNO	BRESCIA	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM
PONTE NOSSA	BERGAMO	Correzione errori materiali	correzione errori materiali relativi all'area P3 al confine con Parre a seguito di controlli interni (l'area allagabile P3 risultava diversa dall'area Em. contenuta nel PGT del Comune per differenze relative al confine comunale)	Correzione errori materiali	RSCM
PONTE SAN PIETRO	BERGAMO	Studi sulle aree interessate dagli eventi alluvionali 2014 - 2016	Integrazione aree allagabili da studio sottobacino Quisa	Modifica conseguente a Valutazione preliminare ai sensi art. 4 e 5 Direttiva 2007/60/CE e D. Lgs. 49/2010	RSCM
PONTERANICA	BERGAMO	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI con recepimento aree allagabili da studio sottobacino Quisa	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM
PORTOZZA	COMO	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM
PRADALUNGA	BERGAMO	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM
PREMANA	LECCO	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM
PRESEZZO	BERGAMO	Correzione errori materiali	correzione errori materiali relativi alle aree P3 e P1 al confine con Ponte San Pietro a seguito di controlli interni (l'area allagabile P3-P1 risultava diversa dall'area Em. contenuta nel PGT del Comune per differenze relative al confine comunale)	Correzione errori materiali	RSCM
RANICA	BERGAMO	Proposta formulata dal Comune	modifiche/integrazioni da aggiornamento Elaborato 2 PAI ai sensi art. 18 N.d.A. PAI	Art. 18 N.d.A. PAI	RSCM

Figura 1 – Elenco dei Comuni con modifiche alle aree allagabili rispetto alle mappe 2015

L'aggiornamento classifica gli ambiti di pericolosità del torrente Quisa come Reticolo Secondario Collinare e Montano (RSCM).



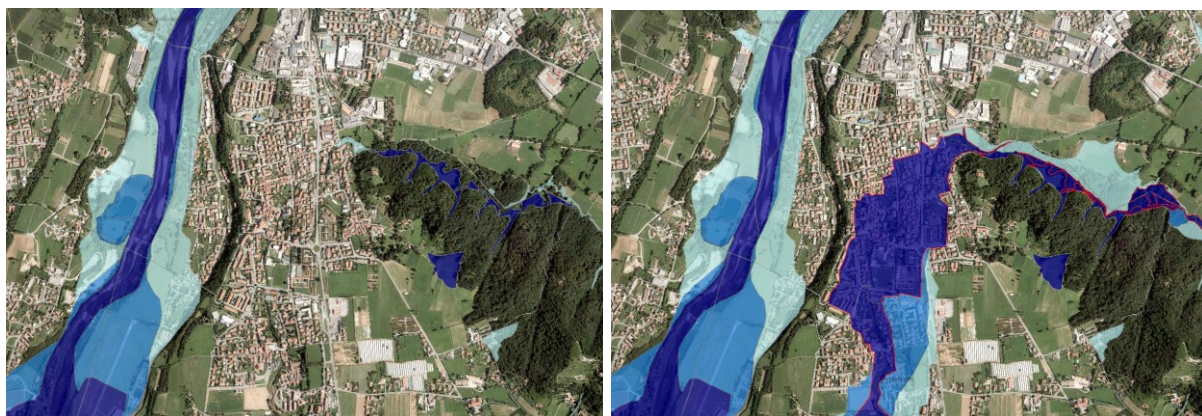


Figura 2 – Raffronto gli ambiti di pericolosità da alluvioni del PGRA nel 2015 (a sinistra) e la revisione del 2019 (a destra) presso il torrente Quisa

Rispetto al territorio comunale di Paladina, l'aggiornamento ha comportato:

- L'inserimento di un'importante ambito classificato in scenario frequente (P3/H) che comprende una porzione consistente del territorio urbanizzato di Paladina;
- L'inserimento di una fascia di scenario poco frequente (P2/M) nel settore meridionale, sponda sinistra del Quisa;
- L'inserimento di una fascia di scenario raro (P1/M) conseguente all'ambito a scenario poco frequente sempre nel settore meridionale, sponda sinistra.

L'aggiornamento con recepimento dell'ambito PGRA sul torrente Quisa come osservabile graficamente, pone in un importante contesto di vincolo gran parte del comparto urbanizzato di Paladina. Come descritto all'interno del paragrafo dedicato, la normativa associata a tali ambiti prende in sé i vincoli, parecchio ostativi, degli ambiti Ee, Eb ed Em come indicati all'interno dell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I.

Per svincolare l'intera area sarà necessario, così come indicato all'interno della d.g.r. 6738 del 2017, eseguire un nuovo studio di dettaglio a scala comunale degli ambiti di allagabilità.

In attesa del recepimento dello Studio di dettaglio nel P.G.T., si applica quanto riportato al punto 3.2.3 "procedure di adeguamento degli strumenti urbanistici"

dell'allegato A alla d.g.r. 6738 del 2017.

Nella fattispecie, le aree poste a rischio elevato R4 sono individuate con soprassegno a maglia quadrata all'interno della Tavola 2 "Carta del dissesto con legenda uniformata P.A.I. – P.G.R.A." e nella Tavola 5 "Carta della fattibilità geologica per le azioni di Piano".

I contenuti specifici sono riportati all'interno dell'elaborato B "Norme Geologiche di Piano" della presente variante.



2.3 Interventi di sistemazione idraulica, riqualificazione ambientale e manutenzione fluviale lungo il torrente Quisa.

All'interno delle cartografie dei Vincoli e di Sintesi viene riportata la perimetrazione delle aree di laminazione interessanti il territorio comunale di Paladina come definite all'interno del progetto degli interventi di sistemazione idraulica, riqualificazione ambientale e manutenzione fluviale lungo il torrente Quisa promossi dal Consorzio di Bonifica della Mada Pianura Bergamasca.

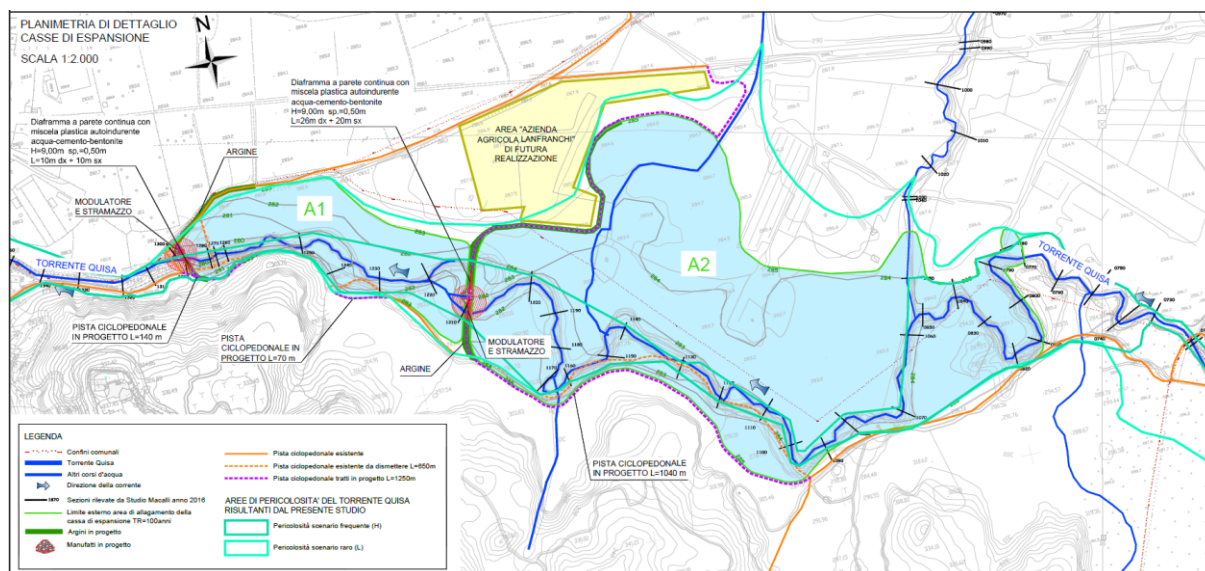


Figura 3 – Planimetria di progetto con individuazione delle aree di futura laminazione tra i territori comunali di Paladina e Sorisole

Ai fini della verifica idraulica degli interventi, si fa rimando allo Studio idrogeologico, idraulico ed ambientale redatto in supporto alla progettazione.

In particolare, dal confronto tra gli idrogrammi di entrata e di uscita dalle due aree di laminazione, è ben evidente l'azione delle opere sulle portate attese, come evidenziato dai grafici presenti nello Studio e di seguito riportati in stralcio:



FIGURA 43- LAMINAZIONE DELL'EVENTO CENTENARIO INDOTTA DALL'AREA DI ESPANSIONE A MONTE.

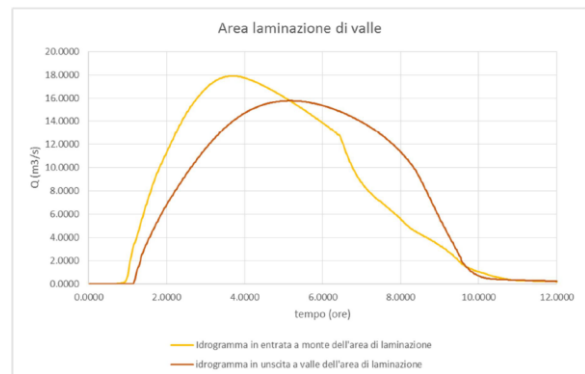


FIGURA 44- LAMINAZIONE DELL'EVENTO CENTENARIO INDOTTA DALL'AREA DI ESPANSIONE A VALLE.

Figura 4 – Modellazione degli idrogrammi di piena a monte ed a valle delle vasche di laminazione

Nello studio si riporta: *come visibile dai grafici, la cassa di monte opera una riduzione delle portate al colmo di piena superiore a 20 m³/s, più contenuto è invece l'effetto della seconda cassa (circa 2 m³/s), per via dei minori volumi di invaso a disposizione; la cassa di valle ha quindi la finalità principale di ritardare ulteriormente il colmo di piena, di circa 1.5 h, contribuendo in maniera sostanziale allo sfasamento rispetto all'idrogramma di piena del t. Rino.*

Sempre richiamando i risultati dello Studio idraulico sopra citato, è utile notare la diretta conseguenza in termini di *miglioramento della funzionalità idraulica dei ponti e degli attraversamenti nel comune di Paladina ed in parte nel comune di Valbrembo, nello specifico:*

- *Ponte di via Roma a Paladina (sezione 1390, scheda P009 nell'allegato B) allo stato di fatto ha un funzionamento in pressione per la piena centenaria; l'inserimento delle aree di laminazione consente di evitare il funzionamento in pressione del ponte e garantire un franco di sicurezza di circa 50 cm rispetto l'intradosso.*
- *Ponte sulla SS470 a Paladina (sezione 1450, scheda P010 nell'allegato B) allo stato di fatto ha un funzionamento in pressione per la piena centenaria; l'inserimento delle aree di laminazione consente di evitare il funzionamento in pressione del ponte e garantire un franco di sicurezza di circa 90cm rispetto l'intradosso;*

- *Ponte di Via 2 Giugno a Paladina (sezione 1480, scheda P011 nell'allegato B) allo stato di fatto non è garantito il franco di sicurezza di 1m per la piena di progetto; l'inserimento delle aree di laminazione consente di raggiungere un franco di sicurezza superiore al metro;*
- *Ponte di Via Monte Grappa a Paladina (sezione 1500, scheda P012 nell'allegato B) allo stato di fatto ha un funzionamento in pressione per la piena centenaria; l'inserimento delle aree di laminazione consente di evitare il funzionamento in pressione del ponte e garantire un franco di sicurezza di circa 35 cm rispetto l'intradosso;*
- *Ponte di Via 4 novembre a Paladina (sezione 1540, scheda P013 nell'allegato B) allo stato di fatto ha un funzionamento in pressione per la piena centenaria; l'inserimento delle aree di laminazione consente di evitare il funzionamento in pressione del ponte e garantire un franco di sicurezza di circa 20 cm rispetto l'intradosso;*
- *Ponte di Via Aldo Moro tra Paladina e Valbrembo (sezione 1580, scheda P014 nell'allegato B) l'inserimento delle aree di laminazione consente di migliorare il franco di sicurezza del ponte portandolo di circa 25 cm;*
- *Ponte di Piazza vittoria a Valbrembo (sezione 1640, scheda P015 nell'allegato B) l'inserimento delle aree di laminazione consente di migliorare il franco di sicurezza del ponte di circa 10 cm.*

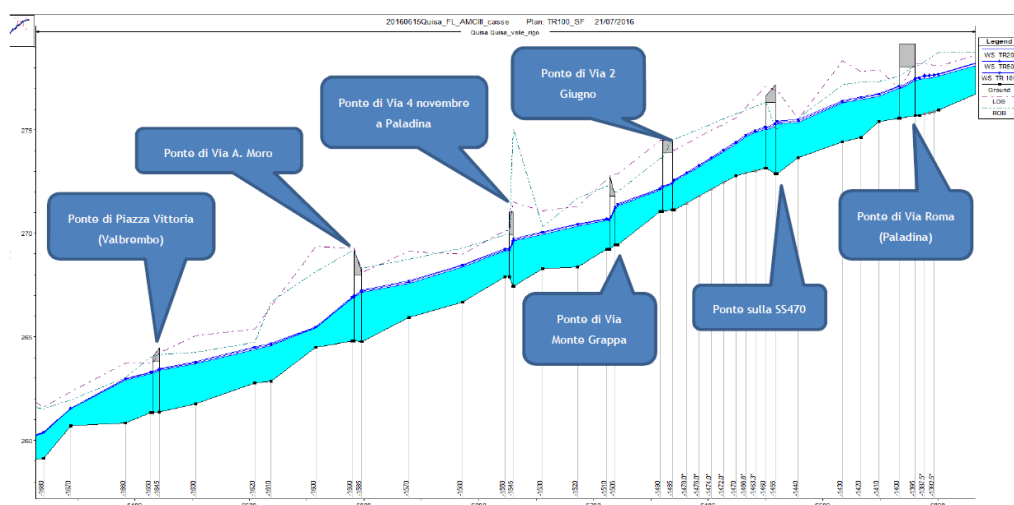


FIGURA 46- MODELLAZIONE IN HEC-RAS DELLO STATO DI PROGETTO - LOTTO 1. I RISULTATI VISUALIZZATI RIGUARDANO I PROFILI DELLA CORRENTE NEL TRATTO QUISA COMPRESO TRA LE SEZIONI 1390 E 1670 (PALADINA E VALBREMBO) E SI RIFERISCONO ALL'EVENTO CON TR=20, 50 E 100 ANNI, IN IPOTESI DI MEDIO GRADO DI SATURAZIONE DEL SUOLO. COME SI OSSERVA DAI PROFILI DI CORRENTE, A SEGUITO DELL'INSERIMENTO DELLE AREE DI LAMINAZIONE, NESSUNO DEI PONTI PRESENTI NEL TRATTO MODELLATO HA UN COMPORTAMENTO IN PRESSIONE



Si riporta infine la tabella valutativa di confronto tra i volumi di esondazione attesi nel tratto urbano nella situazione ante opera (S.F.) e di progetto (SP).

Si sottolinea che l'intervento di realizzazione delle vasche è incluso all'interno dei lotti 1A-1B del Progetto.

Punto di esondazione	Volumi di esondazione (m ³)				
	Tempo di ritorno	S.F.	S.P - Lotto 1A (Lotto 1B)	SP - lotto 1A e 2	S.P - Lotto 1, 2, e 3
<u>Punto 5</u> - a monte del ponte di Via Monte Grappa a Paladina (sezione 1500)	TR20	26'000	0	0	0
	TR50	35'000	0	0	0
	TR100	38'500	0	0	0
<u>Punto 6</u> - a monte del ponte di Piazza Vittoria a Valbrembo (sezione 1640)	TR20	32'000	0	0	0
	TR50	38'000	0	0	0
	TR100	44'500	0	0	0
<u>Punto 7</u> - Ponte San Pietro (sezione 2130-2160 in sponda destra)	TR20	200	0	0	0
	TR50	11'500	0	0	0
	TR100	22'200	8'000	0	0
<u>Punto 8</u> - ponte via S. Lucia tra Mozzo e Ponte S. Pietro (sez. 2240)	TR20	0	0	0	0
	TR50	500	500	0	0
	TR100	800	800	0	0
<u>Punto 9</u> - a monte del ponte di via Merena tra Curno e Ponte S. Pietro (sez. 1390-1400)	TR20	164'000	121'000 (0)	121'000	0
	TR50	199'000	173'300 (0)	173'300	0
	TR100	223'000	208'000 (0)	208'000	0
<u>Punto 10</u> - a valle del ponte di via Merena tra Curno e Ponte S. Pietro (sez. 1390-1400)	TR20	18'000	17'500 (0)	17'500	0
	TR50	23'000	23'000 (0)	23'000	0
	TR100	27'100	27'100 (0)	27'100	0

In particolare, è utile osservare il totale abbattimento dei volumi di esondazione nel settore territoriale direttamente a valle delle vasche, ivi incluso in territorio comunale di Paladina.



3 VINCOLI

➤ TAVOLA N. 3 – CARTA DEI VINCOLI

3.1 Criteri di realizzazione della cartografia dei vincoli

I nuovi criteri di realizzazione degli studi geologici di supporto ai Piani di Governo del Territorio prevedono, in fase di sintesi, la realizzazione di un'adeguata cartografia che indichi chiaramente i vincoli di carattere geologico, idraulico e idrogeologico cui è sottoposto il territorio comunale (Carta dei Vincoli realizzata in scala 1:2000).

Tali vincoli sono riassumibili in:

- Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/89, ed in particolare:
 - *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (Elaborato 2 – Quadro del dissesto aggiornato)*: ambiti di dissesto (frane, esondazioni torrentizie, conoidi) così come presenti nel quadro dissesto aggiornato P.A.I. vigente ed aggiornati/modificati in seno al presente studio.
 - *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (Elaborato 8 – Fasce fluviali)*: fasce fluviali A, B e C del Fiume Brembo. Si precisa che i limiti di tali fasce sono stati leggermente modificati per adeguarli alla scala di maggior dettaglio della cartografia, sulla base di elementi morfologici certi
 - *Quadro del dissesto così come presente nel S.I.T. regionale e/o derivante dal presente studio, proposto in aggiornamento*: ambiti di dissesto presenti nel quadro dissesti della Regione Lombardia e sottoposti a modifiche/integrazioni in seno al presente studio. Di fatto, nel GeolFFI non si riscontrano dissesti significativi, perciò questo strumento non è praticamente entrato in gioco nella definizione dei vincoli geologici.
 - *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni*: ambiti di allagabilità definiti mediante studio idraulico di dettaglio sulla aste del Brembo (Reticolo Principale) e de torrente Quisa (Reticolo Secondario Collinare e Montano)
- *Vincoli di polizia idraulica ai sensi della d.g.r. 25 gennaio 2002 n. 7/7868*: a



seguito della redazione, da parte dello scrivente, dello studio del Reticolo Idrico Minore del comune, sono state individuate le fasce di rispetto dei corsi d'acqua nel territorio comunale, definite in 10 m (e talora 5 m) dalle sponde esterne. In tutti i casi, il graficismo indicato in Carta dei Vincoli per le fasce di rispetto è indicativo; la distanza di 5 m o 10 m deve di fatto essere valutata puntualmente sul terreno e misurata sempre a partire dai cigli esterni delle sponde. Inoltre, **a causa di possibili errori cartografici, inaccessibilità delle aree, proprietà private, ecc. sarà sempre necessario determinare topograficamente di volta in volta la posizione delle fasce di rispetto in relazione alla reale posizione del reticolo, dal momento in cui lo stesso può talvolta differire da quello riportato in cartografia.** *In assenza di aggiornamento topografico, l'organizzazione del reticolo idrico superficiale e delle conseguenti fasce di rispetto non viene variato rispetto alla variante del 2018.*

- *Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile:* zona di tutela assoluta e zona di rispetto delle captazioni pubbliche ad uso idropotabile (sorgenti), individuate ai sensi del D.Lgs. 152/2006 art. 94. Nel comune di Paladina non è stata riscontrata nessuna captazione pubblica idropotabile, né ve ne sono all'esterno in adiacenza ai confini comunali; pertanto, questo vincolo non sussiste nel territorio comunale. Questi vincoli non vanno confusi con il cosiddetto "Vincolo Idrogeologico" ai sensi del R.D.L. 30-12-1923 n. 3267, che non ha nessuna connessione con le opere di captazione.
- *Geositi:* nel territorio di Paladina non sono stati individuati geositi preesistenti né si propone la perimetrazione di nuovi geositi.
- *Interventi idraulici:* all'interno della carta dei Vincoli viene riportata l'area di laminazione prevista a seguito della realizzazione delle vasche di espansione realizzate al confine comunale con Sorisole.



4 SINTESI DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI

➤ TAVOLA N. 4 – CARTA DI SINTESI

4.1 Criteri di realizzazione della cartografia di sintesi

Sulla carta di sintesi sono stati apportati gli aggiornamenti risultati dagli studi approfondimenti delle aree PAI (Fa e fascia fluviale B) e P.G.R.A.

La fase di sintesi della cartografia relativa agli studi geologici di supporto ai Piani di Governo del Territorio prevede la realizzazione di una cartografia adeguata, che sintetizzi in scala opportuna (1:5000 o superiore) le principali problematiche di ordine geologico, geomorfologico, idrogeologico e idrologico separatamente indicate nella cartografia tematica.

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

- *Aree vulnerabili per l'instabilità dei versanti*: problematiche connesse alla presenza di fenomeni di dissesto lungo i pendii.
- *Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico*: problematiche legate alla presenza di corsi d'acqua e relativi fenomeni di dissesto (esondazioni), carenze delle opere di difesa spondale e simili.
- *Aree vulnerabili da un punto di vista idrogeologico*: problematiche legate a particolari configurazioni degli acquiferi, ai bacini di alimentazione delle sorgenti ed alla circolazione idrica sotterranea.
- *Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche*: problematiche geotecniche legate alle caratteristiche intrinseche dei terreni o ad elementi e processi che ne determinano un peggioramento qualitativo (ristagni, impaludamenti, materiali di riporto, ecc.).
- *Interventi idraulici* (vasche Quisa)

Nel territorio comunale di Paladina le aree critiche sono piuttosto scarse, comunque



le più significative sono senz'altro quelle di tipo idraulico e quelle legate alla scadente qualità geomeccanica dei terreni.

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

Si noti come vi sia corrispondenza fra gli ambiti individuati nella Carta di Sintesi e le classi di fattibilità indicate nella Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano. La classe di fattibilità 2 (fattibilità con modeste limitazioni) corrisponde all'assenza di fenomeni critici. La presenza di elementi di vulnerabilità comporta invece l'attribuzione della classe 3 (divisa in ambiti) o della classe 4 (ancora divisa in ambiti), a seconda del livello di criticità. La coesistenza di ambiti critici corrispondenti a classe 3 e 4 sulla medesima area comporta automaticamente l'attribuzione della classe 4, cioè la più vincolante, anche se nella realizzazione di interventi e nella predisposizione di indagini occorre tener conto delle prescrizioni e degli approfondimenti previsti per tutti i fenomeni di criticità presenti.



4.2 Individuazione delle aree di criticità

La distribuzione dei differenti ambiti di criticità geologica rispecchia fedelmente le problematiche del territorio.

In particolar modo:

- *Aree vulnerabili per l'instabilità dei versanti*
 - Aree di frana attiva (Fa): ambiti caratterizzati da fenomeni franosi attivi riconosciuti dai rilevamenti di terreno. I fenomeni compresi in questa categoria sono crolli da scarpata molto ripida o parete subverticale in erosione. Gli ambiti sono individuabili anche sulla Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. - P.G.R.A. 1:10000 e sulla Carta dei Vincoli. Si tratta di un'unica area corrispondente alla scarpata fluviale antica del Brembo lungo il Canale Legler oggetto di recenti approfondimenti sottoposti all'esame e parere della Regione Lombardia.
 - Aree acclivi o prossime a scarpate acclivi (as): aree ad acclività medio-elevata o poste in immediata prossimità di scarpate acclivi, talora caratterizzate da presenza di fenomeni erosivi diffusi, ruscellamento concentrato, colluviamento, soliflusso e soil creep. Distribuite lungo i versanti del comparto collinare e in prossimità della scarpata fluviale del Brembo lungo il Canale Legler.
 - Aree molto acclivi e/o in erosione accelerata (er): zone site in versante da acclive a molto acclive, con concomitanza di più problematiche geomorfologiche e geotecniche. In particolare, si riscontrano coperture detritiche diffuse (depositi di versante), balze e pareti rocciose, impluvi molto incisi, forre e tracce di erosione superficiale diffusa. Distribuite nel comparto collinare, soprattutto lungo il versante nord dei colli. In generale, questo ambito è presente ovunque vi siano aree molto acclivi e/o in erosione senza però evidenti fenomeni di dissesto quali frane, crolli o conoidi.



- **Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico**

- Aree di conoide attivo non protetto (Ca): aree di conoide caratterizzate da potenziali fenomeni di trasporto in massa. È stato individuato un solo ambito posto a sud-est di Sombreno.
- Aree ricadenti in fascia fluviale A del P.A.I. (fluvA): aree coincidenti con gli ambiti di fascia fluviale A del P.A.I. Sul territorio comunale questo ambito occupa l'alveo attivo del Fiume Brembo e le sue immediate pertinenze in località Ghiaie.
- Aree ricadenti in fascia fluviale B del P.A.I. (fluvB): aree coincidenti con ambiti di fascia fluviale B del P.A.I. Sul territorio comunale questo ambito è praticamente inesistente tranne due aree molto ridotte lungo il Brembo nelle estremità nord e sud del territorio.
- Aree ricadenti in fascia fluviale C del P.A.I. (fluvC): aree coincidenti con gli ambiti di fascia fluviale C del P.A.I. Sul territorio comunale questo ambito occupa una stretta fascia nord-sud in località Ghiaie, appena all'esterno della fascia A/B. Come meglio esplicitato nelle norme geologiche di piano, l'utilizzo di queste aree ai fini edificatori deve essere subordinato alla valutazione delle condizioni idrauliche del sito in rapporto al verificarsi di eventi di piena, in modo da escludere con certezza che su tali aree possano sussistere interferenze in tal senso.
- Aree la cui pericolosità è legata a potenziale esondazioni del torrente Quisa:
 - Aree soggette ad esondazioni molto frequenti del torrente Quisa,
 - Aree soggette ad esondazioni poco frequenti del torrente Quisa
 - Aree soggette a potenziali esondazioni rare del torrente Quisa

Questi ambiti, dal punto di vista normativo, integrano e sostituiscono gli ambiti Ee ed Em presenti nel settore nord collinare del territorio comunale. Essendo questi derivati dal P.G.R.A. e, di conseguenza, da uno studio di dettaglio del torrente Quisa, si ritiene necessario mantenere le perimetrazioni dettate all'interno dell'aggiornamento del P.G.R.A.. Nel settore collinare si sottolinea in ogni caso che le differenze tra le due perimetrazioni si esplicano in piccole



incongruenze grafiche, senza avere effettiva difformità tra le due perimetrazioni a livello di scala territoriale. La scelta di uniformare le due perimetrazioni è dettata dalla doverosa necessità di rendere agile alla lettura il piano, senza dover creare degli ambiti di intersezione difficilmente leggibili e di poco significato tecnico.

- *Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico*
 - Aree ad elevata vulnerabilità idrogeologica (idrg): ambiti caratterizzati da elevata permeabilità dei terreni e in genere da coperture pedologiche sottili, che determinano un elevato grado di vulnerabilità idrogeologica del suolo e del sottosuolo. Si tratta di una vasta area occupante l'alveo attivo del Fiume Brembo, le sue immediate pertinenze e tutto il terrazzo fluviale di primo ordine (abitato di Ghiaie) anche per le potenziali perdite del Canale Legler. In queste aree dovranno generalmente essere evitate attività che possano compromettere la qualità delle acque sotterranee, quali ad esempio installazione di industrie pericolose, concentrazioni eccessive di concimi agricoli, stoccaggi di materiali inquinanti e via discorrendo.
- *Aree vulnerabili dal punto di vista geotecnico*
 - Aree dotate di proprietà geotecniche scadenti (sg): ambiti di buona estensione caratterizzati da bassa qualità geotecnica dei terreni e/o da presenza di terreni fini su pendii inclinati. Concentrati nel comparto collinare e in corrispondenza delle litologie di origine lacustre del bacino di Petosino (parte nord del territorio comunale).



5 FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO

➤ TAVOLA N. 5 – CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO

5.1 Criteri di realizzazione della cartografia di fattibilità

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

La cartografia di fattibilità consiste di una tavola in scala 1:2000, oltre che di una tavola finalizzata all'aggiornamento del mosaico informatizzato regionale di fattibilità geologica in scala 1:10000 su base C.T.R.

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



5.2 Individuazione delle classi di fattibilità sul territorio

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

La classe di fattibilità 2 (gialla), la meno limitante, occupa una discreta parte del territorio comunale, anche se è stata ristretta rispetto al precedente piano a causa dell'introduzione degli ambiti PGRA.

La principale differenza è osservabile nella porzione centrale del territorio comunale, che vede il passaggio dalla classe 2 alla classe 4, come osservabile graficamente.

In queste porzioni di territorio non sono state riscontrate particolari problematiche di ordine geologico; sarà ad ogni modo necessario attenersi alle norme di piano, con particolare riferimento all'esecuzione delle adeguate indagini geotecniche per le opere edilizie.

La classe di fattibilità 3 (arancio) occupa, con le sue varie suddivisioni, porzioni importanti del territorio comunale. Inoltre, essa funge generalmente da fascia di sicurezza fra le classi 2 e 4. Le zone più significative ricadenti in classe 3 sono:

- Gli ambiti di potenziale esondazione del torrente Quisa per cui corrispondono le aree di rischio R4.
- Il terrazzo fluviale di primo ordine del Brembo in corrispondenza dell'abitato di Ghiaie.
- Una stretta fascia a monte della scarpata fluviale che decorre lungo il Canale Legler.
- Le fasce di rispetto del Torrente Quisa.
- Tutto il comparto collinare ad eccezione delle aree più ripide ricadenti in classe 4.
- L'area con scadenti caratteristiche geotecniche nella parte nord del comune.
- Una porzione limitata di territorio posta nel settore sud alla sinistra idrografica del Quisa, corrispondente agli ambiti P1/L e P2/M del P.G.R.A.



Le problematiche riscontrate sono di varia tipologia, riconducibili principalmente a motivazioni geomorfologiche, geotecniche, idrogeologiche e idrauliche già ampiamente descritte nel capitolo relativo alla cartografia di sintesi.

La classe di fattibilità 4 con le sue varie suddivisioni occupa:

- Gli ambiti di potenziale esondazione del torrente Quisa esterni alle aree di rischio R4.
- Alcuni pendii particolarmente ripidi nel comparto collinare.
- La scarpata fluviale lungo il Canale Legler e le potenziali aree di accumulo al piede di questa.
- L'alveo attivo del Fiume Brembo e le sue immediate pertinenze (ovvero le aree ricadenti nella fascia fluviale A del P.A.I.).
- Alcuni impluvi nel comparto collinare.
- Il conoide attivo non protetto posto a sud-est di Sombreno.

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

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



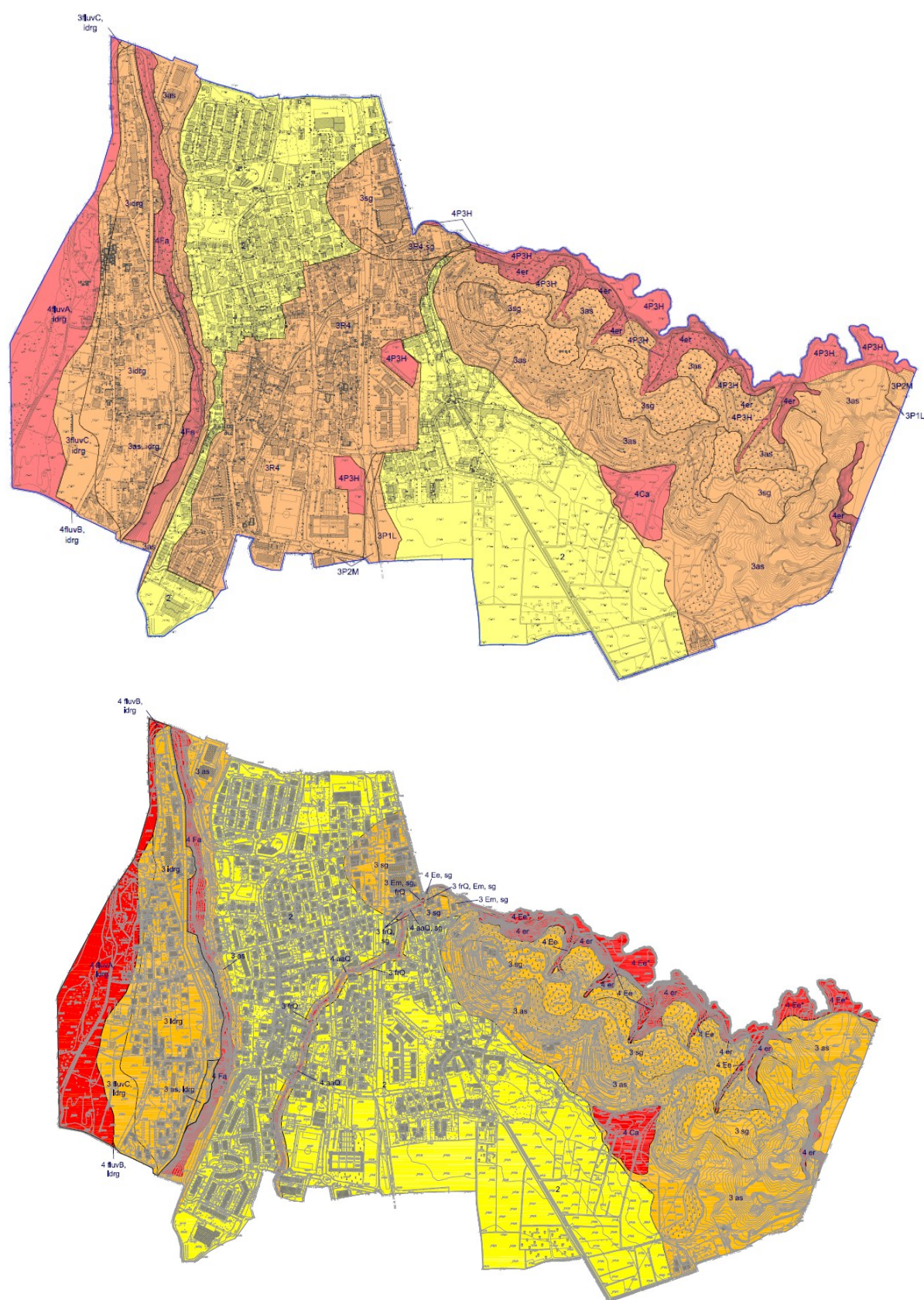


Figura 5 – Raffronto delle carte di fattibilità del 2018 (sotto) e variante proposta (sopra)

5.3 Nota per la valutazione del P.G.R.A. rispetto agli esistenti ambiti P.A.I.

Nella definizione degli ambiti di fattibilità sul territorio comunale, importante considerazione deve essere espressa in merito alle mutue relazioni tra gli ambiti di cui agli Elaborati 2 e 8 del P.A.I. rispetto agli ambiti derivati dall'aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

Nello specifico, nel territorio di Paladina abbiamo 2 situazioni di coesistenza degli ambiti P.A.I. – P.G.R.A.:

- Il primo, corrispondente alla coesistenza delle fasce P.A.I. (elaborato 8 del P.A.I.) con la pericolosità del reticolo principale PGRA del fiume Brembo. In questo caso la coesistenza era già stata risolta nella precedente variante mantenendo i riferimenti dei limiti delle fasce P.A.I. in quanto maggiormente vincolanti a livello territoriale.
- Il secondo, corrispondente alla coesistenza, nel settore nord collinare del territorio comunale, tra gli ambiti Ee ed Em del P.A.I. e la pericolosità del reticolo secondario collinare montano PGRA del torrente Quisa. In questo caso, l'allegato A alla d.g.r. 6738 del 2017 definisce quanto segue: *“Aree esondabili già individuate nell’elaborato 2 del P.A.I. così come aggiornate dai comuni. Le aree esondabili che sono già stata individuate nell’Elaborato 2 del PAI mantengono la normativa già vigente, ai sensi dell’art. 9, commi da 5 a 9 (aree Ee, Eb, Em, Ca, Cp, Cn)...”*.

Di conseguenza, per gli ambiti precedentemente individuati con gli ambiti Ee ed Em del P.A.I. viene aggiornata in nomenclatura la classe di attribuzione, accordandola con gli ambiti P.G.R.A., senza tuttavia andare ad aggiornare il significato normativo dell'ambito. Questa procedura è occorsa al fine di uniformare con gli equivalenti ambiti posti entro il territorio urbanizzato. Pertanto, vengono rese univocamente le sottoclassi P1L, P2M e P3H con i conseguenti riferimenti normativi all'elaborato 2 del P.A.I. (Vedasi Elaborato 2 – Norme Geologiche di Piano).



Infine, per quanto riguarda gli ambiti introdotti dal P.G.R.A. in aree NON precedentemente inserite entro l'Elaborato 2 del P.A.I., vale sempre quanto descritto all'interno della d.g.r. 6738/2017: *"altre aree esondabili che non derivano dall'Elaborato 2 del PAI così come aggiornato dei Comuni. LE aree allagabili presenti nell'ambito RSCM che non derivano dall'elaborato 2 del P.A.I. sono assoggettate alle norme di cui all'art. 9 delle N.d.A. del PAI, e in particolare:*

- a) Nelle aree interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H), vigono le limitazioni e prescrizioni stabilite dall'art. 9, comma 5 per le aree Ee*
- b) Nelle aree interessate da alluvioni frequenti (aree P2/M), vigono le limitazioni e prescrizioni stabilite dall'art. 9, comma 6 per le aree Eb*
- c) Nelle aree interessate da alluvioni frequenti (aree P1/L), vigono le limitazioni e prescrizioni stabilite dall'art. 9, comma 7 per le aree Em*

Quanto sopra è reso tuttavia per le aree poste esternamente agli ambiti classificati come rischio R4, per le quali di contro si associa specifica normativa come da d.g.r. 6738/2017 (punto 3.2.3 dell'Allegato A).



6 NORME GEOLOGICHE DI PIANO

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

Per ciascun ambito di intervento, indipendentemente dalla classe di fattibilità assegnata ad ogni poligono e dagli studi di approfondimento indicati nelle specifiche classi di fattibilità, devono essere comunque applicate le disposizioni previste dal D.M. 14 settembre 2005 “Norme tecniche per le costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n. 222 del 23 settembre 2005 – Supplemento Ordinario n. 159) e D.M. 14 gennaio 2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008 – Supplemento Ordinario n. 30).

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



7 VALUTAZIONE DELL'EFFETTO SISMICO

- **TAVOLA N. 2a – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE**
- **TAVOLA N. 2b – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE DI 2° LIVELLO**

7.1 Generalità e metodologie di analisi

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

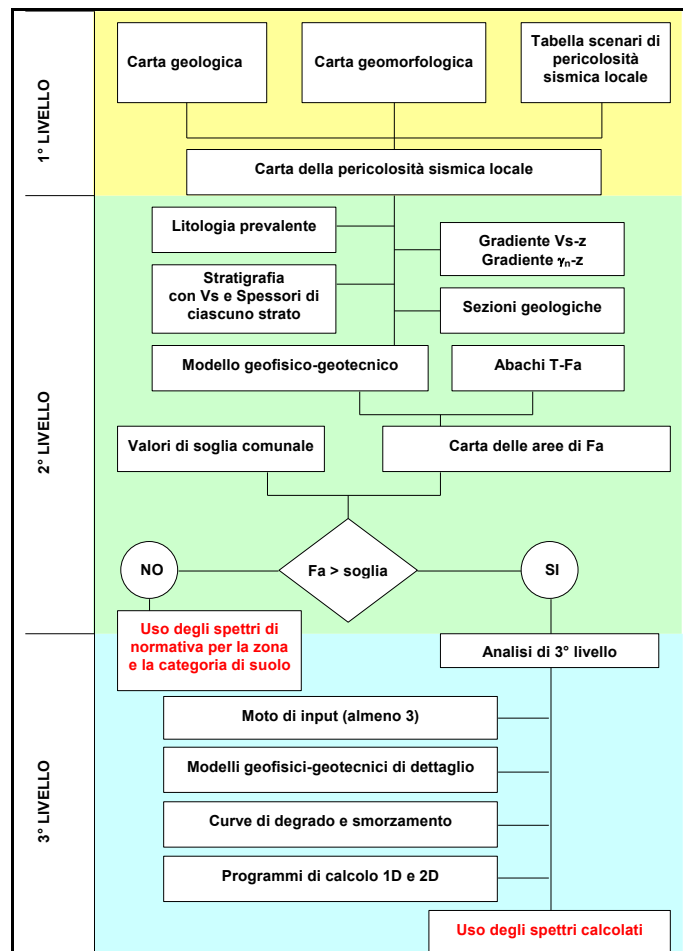
L'Ordinanza è peraltro entrata in vigore contestualmente al D.M. 14-09-2005 "Norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 222 del 23-09-2005 Supplemento ordinario n. 159.

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

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



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



**Figura 6 - Diagramma dei percorsi di definizione dei tre livelli di approfondimento sismico
(Criteri attuativi L.R. 12/05 – Regione Lombardia)**

Il **1° livello**, obbligatorio per tutti i comuni (quindi anche quelli classificati in zona 4), consiste in una zonazione del territorio comunale in aree a diverso grado di



pericolosità sismica locale, sulla base degli elementi geologici e geomorfologici presenti, nonché la redazione di una Carta della Pericolosità Sismica Locale contenente tali perimetrazioni.

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

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



COMUNE	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
OSIO SOPRA	1.5	1.9	2.3	2.0
OSIO SOTTO	1.5	1.9	2.3	2.0
PAGAZZANO	1.5	1.9	2.3	2.0
PALADINA	1.4	1.8	2.2	2.0
PALAZZAGO	1.4	1.9	2.2	2.0
PALOSCO	1.5	1.9	2.3	2.0
PARRE	1.4	1.9	2.2	2.0

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

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0,5 E 1,5 s				
	Valori soglia			
COMUNE	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
OSIO SOPRA	1.7	2.4	4.3	3.1
OSIO SOTTO	1.7	2.4	4.3	3.1
PAGAZZANO	1.7	2.4	4.3	3.1
PALADINA	1.7	2.4	4.2	3.1
PALAZZAGO	1.7	2.4	4.2	3.1
PALOSCO	1.7	2.4	4.3	3.1
PARRE	1.7	2.4	4.2	3.1

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



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

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

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

In seguito all'analisi sismica di primo livello, nel territorio di Paladina sono stati individuati diversi ambiti di amplificazione sismica locale:

- **Z1a zone caratterizzate da movimenti franosi attivi** (effetto sismico di instabilità). Individuate in corrispondenza di tutti gli ambiti di franosità attiva individuati nella Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. - P.G.R.A. e nella Carta di Sintesi. A questa zona di amplificazione sismica è attribuita la classe di pericolosità sismica H3.
- **Z1c zone potenzialmente franose** (effetto sismico di cedimento/liquefazione). Sono state classificate in questo ambito le aree coincidenti agli ambiti "as" individuati nella carta di Sintesi. Attribuibili alla classe di pericolosità sismica H2..
- **Z2 zone con caratteristiche geotecniche scadenti** (effetto sismico di cedimento/liquefazione). Individuate in corrispondenza di tutti gli ambiti con



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

- **Z3a zone di ciglio $H > 10$ m (scarpate con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)** (effetto sismico di amplificazione topografica). Attribuibili alla classe di pericolosità sismica H2.
- **Z4a zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi** (effetto sismico di amplificazione litologica). Ricadono in questo ambito tutte le aree costituite da depositi alluvionali e fluvioglaciali. Gran parte del territorio pianeggiante di Paladina ricade in questo ambito. Sono esclusi, al contrario, i conoidi, in quanto ricadenti in zona Z4b. Questi ambiti sono attribuibili alla classe di pericolosità sismica H2.
- **Z4b zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre** (effetto sismico di amplificazione litologica). Ricade in questa zona il conoide pedemontano posto a sud-est di Sombreno. Attribuibili alla classe di pericolosità sismica H2.

Come già accennato, gli ambiti di amplificazione sismica sono cartografati nella Tavola 2a – Carta della Pericolosità Sismica Locale e nella Tavola 2b - Carta della Pericolosità Sismica Locale di 2° livello (in scala 1:5.000). Essi sono anche stati sovrapposti, mediante retinature trasparenti, alla Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano per l'aggiornamento del mosaico regionale.

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

7.2 Analisi sismica di 2° livello: Amplificazione Litologica

7.2.1 Premessa

La normativa nazionale (NTC08) introduce una classificazione dei suoli per la



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

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

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

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

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

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

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

Nel panorama legislativo si ricorda inoltre la normativa regionale lombarda, la D.G.R.



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

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



7.2.2 Indagine geognostica

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

Pertanto sono stati scelti n. 5 siti campione posti nel territorio comunale e, in ciascuno di essi, è stata eseguita una campagna di indagine sismica caratterizzata dalla combinazione delle seguenti tecniche:

- prospezione sismica multicanale con tecnica MASW,
- sismica passiva a stazione singola con tecnica H/V.

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

Dal punto di vista strettamente normativo, tuttavia, nei contesti ove il substrato roccioso risulti compreso tra 3 e 30 m (come per i casi oggetto del presente studio) invece che di Vs,30, sovrastimato per la presenza del contributo del bedrock nel calcolo delle velocità medie, bisognerebbe parlare di Vs,n con "n" pari alla distanza tra le future fondazioni ed il bedrock sismico, definito come l'orizzonte caratterizzato da $V_s \geq 800$ m/s.

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



7.2.3 Ubicazione delle indagini geofisiche

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

- Sito 1 - Centro sportivo comunale;
- Sito 2 - Scuola elementare;
- Sito 3 - Scuola materna;
- Sito 4 - Località Ghiaie;
- Sito 5 - Località Sombreno.



Figura 7 - Ubicazione dei siti oggetto di indagine. Immagine tratta da <https://www.google.it/maps/>

7.2.4 Documentazione fotografica

Di seguito si riporta l'ubicazione su ortofoto delle indagini geofisiche effettuate e alcune fotografie delle prospezioni MASW e delle misure con tecnica H/V.



Figura 8 - Ubicazione delle indagini eseguite sul sito 1



Figura 9 - Sito 1, prova MASW



Figura 10 - Sito 1, prova H/V



Figura 11 - Ubicazione delle indagini eseguite sul sito 2



Figura 12 - Sito 2, prova MASW



Figura 13 - Sito 2, prova H/V



Figura 14 - Ubicazione delle indagini eseguite sul sito 3



Figura 15 - Sito 3, prova MASW



Figura 16 - Sito 3, prova H/V



Figura 17 - Ubicazione delle indagini eseguite sul sito 4



Figura 18 - Sito 4, prova MASW



Figura 19 - Sito 4, prova H/V



Figura 20 - Ubicazione delle indagini eseguite sul sito 5



Figura 21 - Sito 5, Prove MASW e H/V

7.2.5 Tecnica MASW

7.2.5.1 Cenni metodologici

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine geofisica che consente la definizione del profilo di velocità delle onde superficiali di taglio (V_s) in funzione della profondità, basandosi sulla registrazione multicanale fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) disposti sulla superficie del suolo e collegati ad un sismografo, a seguito di un'energizzazione sismica artificiale del terreno. Si tratta di una metodologia di indagine sismica attiva, ossia registra le onde di superficie generate da una specifica sorgente (mazza battente) da posizionare esternamente allo stendimento di geofoni ad una distanza variabile (*offset*) e sempre in asse con questo.

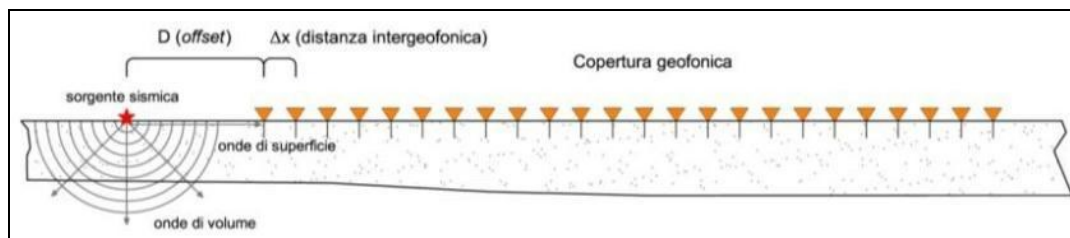


Figura 22 – Disposizione geometrica di una prova sismica di tipo MASW.

Le acquisizioni vengono eseguite con stendimenti in cui i geofoni sono collocati su una linea retta ad una distanza reciproca costante determinata dalle condizioni geologiche locali e logistiche; risulta infatti fondamentale che non vi siano variazioni stratigrafiche laterali lungo lo stendimento e che lo stesso non subisca brusche differenze di quota.

Attraverso l'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale, la tecnica MASW consente di ricostruire il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo attraverso la stima delle V_s . Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con velocità direttamente correlate alla rigidità della

porzione di terreno interessata.

È sperimentalmente provata la relazione che lega le leggi del moto delle onde di Rayleigh e quelle delle onde di taglio S; la velocità delle prime è infatti influenzata direttamente da alcuni parametri quali la velocità delle onde P, la densità del mezzo ed, in particolare, proprio dalla velocità delle onde S. La propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati, avviene in maniera diversa rispetto ai mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda che interessano il terreno a diverse profondità e che risultano condizionate dalle caratteristiche elastiche e di rigidità del sottosuolo. Lunghezza d'onda " λ ", frequenza " f " e velocità di propagazione " V " sono legate dalla relazione:

$$V = \lambda * f.$$

In generale, lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario lunghezze d'onda minori, poiché associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

Assumendo quindi che ci sia una variazione verticale della velocità, ogni componente di frequenza di un'onda di superficie ha una diversa velocità di propagazione (velocità di fase) per una ed una sola componente di frequenza. Questa caratteristica di unicità si riflette pertanto in una differente lunghezza d'onda per ciascuna frequenza propagata: un tale comportamento viene definito *dispersione*. Per osservare la natura dispersiva di un segnale sismico si usa un'analisi chiamata *overtone* che consente la costruzione di un grafico dove i trend delle massime ampiezze locali rappresentano l'energia dispersiva (modo fondamentale e modi superiori di propagazione).

Dall'analisi del sismogramma si costruisce un grafico denominato spettro delle velocità che rappresenta tutte le possibili velocità di fase per il range di frequenza considerato. Lo studio dello spettro del segnale consente poi di definire la curva di dispersione che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda a cui



corrispondono i massimi spettrali d'energia. La curva di dispersione è estraibile attraverso un processo di *picking* direttamente dal grafico poiché essa approssimativamente posa sui massimi dello spettro stesso.

Il passo finale è il processo di inversione o modellazione diretta della curva di dispersione per arrivare alla definizione del profilo delle velocità delle onde S. Una volta definito un modello iniziale, dedotto dalla curva di dispersione osservata e/o ricostruito a partire da dati geologici noti del sito, il programma ricerca un profilo delle V_s la cui curva teorica di dispersione meglio si approssima a quella sperimentale corrispondente al sottosuolo del sito di indagine usando, come guida e condizioni al limite, l'errore RMS (*misfit*). Tanto più è corretto il modello iniziale tanto più piccolo è il numero di iterazioni necessarie per raggiungere il *best fit*. A questo punto è possibile definire il modello finale le cui caratteristiche (spessori e velocità delle onde S) meglio approssimano quelle reali e si ottiene il profilo delle V_s .

Vista la finalità del presente elaborato, le scelte interpretative sono volte nella direzione della maggior sicurezza e quindi in occasione di biunivocità sono state preferite condizioni cautelative in termini di spessori e valori di V_s che portano a situazioni più sfavorevoli dal punto di vista degli effetti sismici di sito.

Sintetizzando quanto sin qui esposto, la procedura è articolata nei seguenti passi:

- acquisizione, registrazione e analisi dei dati sismici contenenti le onde di Rayleigh per un intervallo sufficientemente ampio di frequenze;
- determinazione dello spettro del segnale con velocità di fase in funzione della frequenza (dominio “f - V”) o numero d'onda – frequenza (dominio “f - k”);
- identificazione e picking della curva di dispersione (determinazione dei punti che sullo spettro di velocità appartengono ad un certo modo di propagazione dell'onda);
- inversione della curva di dispersione e/o modellazione diretta della velocità delle onde di superficie, attraverso iterazioni successive per la definizione di un modello finale le cui caratteristiche (spessori e velocità) meglio approssimano quelle reali.



Quest'ultimo processo può essere facilitato e perfezionato attraverso la conoscenza della stratigrafia locale, in funzione della quale vengono definiti modulo di Poisson, spessore degli strati e velocità delle onde S; analizzando e confrontando i vari parametri è possibile trovare la soluzione che meglio rappresenta la realtà geologica del sito indagato.



7.2.5.2 Acquisizione dati

Per l'esecuzione dell'indagine sismica secondo la tecnica MASW in oggetto si è utilizzata la seguente strumentazione:

- sismografo digitale multicanale Soilspy Rosina (Moho s.r.l.) a 16 canali;
- n. 16 geofoni verticali da 4,5 Hz;
- mazza battente da 8 kg;
- piattello metallico di battuta;
- pc portatile.

Per il posizionamento del piattello di battuta (shot point) è stata preparata una piazzola ottenuta asportando i primi centimetri di suolo vegetale e infiggendo la piastra stessa di alcuni centimetri nel terreno; in questo modo si è ottenuta una migliore energizzazione sismica in termini di ampiezza e di spettro dell'impulso immesso, con un incremento del rapporto segnale/rumore. Per attenuare il possibile rumore incoerente derivante dall'esterno e migliorare la qualità del dato, sono state effettuate n. 5 acquisizioni e si è poi proceduto a farne una media (stacking).

7.2.5.3 Elaborazione ed interpretazione dei risultati

I dati acquisiti in campagna sono stati, in primo luogo e dove necessario, sottoposti ad una fase di processing digitale al fine di ridurre i rumori di fondo e strumentali, aumentando in tal modo il rapporto segnale/rumore ed esaltando le onde di superficie. Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l..



7.2.6 Tecnica H/V

7.2.6.1 Cenni metodologici

La tecnica H/V nasce da studi condotti in Giappone attorno al 1950 ed è basata sullo studio dei rapporti di ampiezza che, nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali), esistono fra il rumore sismico misurato sul piano orizzontale (H) e quello misurato lungo la componente verticale (V). L'idea che sta alla base della procedura è quella secondo cui il rapporto H/V consente di eliminare il ruolo della sorgente isolando gli effetti delle modalità di propagazione delle onde sismiche. In particolare, si osserva che l'andamento dei rapporti spettrali in funzione della frequenza di vibrazione (funzione H/V) mostra dei massimi in corrispondenza delle frequenze di risonanza per le onde S generate da forti variazioni di velocità.

La tecnica H/V fa parte della sismica passiva, cioè il ramo della sismologia che studia il rumore sismico ambientale, definito come l'insieme delle piccole vibrazioni sismiche presenti ovunque sulla superficie terrestre e generate da sorgenti naturali o antropiche.

Le onde sismiche che ne derivano sono tipicamente a bassa energia, con ampiezze dell'ordine di $10^{-4}/10^{-2}$ mm (Okada; 2003).

Inoltre, in base al contenuto in frequenza, inferiore o superiore a 0,5 Hz, si parla rispettivamente di microsismica (primariamente di origine naturale) o microtremore (di origine generalmente antropica).



Il rumore sismico ambientale è una sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici, da cui la possibilità di estrarre da esso, mediante opportune tecniche di analisi, informazioni sui sistemi risonanti studiati. Il metodo dei rapporti spettrali H/V è basato sul calcolo del rapporto degli spettri di Fourier del rumore nel piano orizzontale H e della componente verticale V (Nakamura; 1989).

Il significato teorico del rapporto spettrale H/V è abbastanza immediato nel caso in cui si consideri un mezzo semplice formato da due soli strati: il bedrock ed uno strato superficiale più soffice.

Si precisa che per bedrock si intende qualunque strato con velocità nettamente maggiore di quello sovrastante, in grado di determinare un picco di risonanza; tale strato non deve necessariamente essere una roccia ma, soprattutto in ambiti di pianura, può essere una sabbia o una ghiaia.

Le frequenze di risonanza, in questo sistema, sono pertanto date da:

$$f_r = \frac{V_s}{4H}$$

dove V_s indica la velocità delle onde di taglio nel mezzo e H lo spessore dello strato che risuona alla frequenza f_r .

Tali frequenze, associabili ai picchi del rapporto H/V, possono essere quindi eccitate dal rumore di fondo e diventare visibili nello spettro del rumore sismico misurato in superficie.



7.2.6.1.1 Frequenze di vibrazione e doppia risonanza

Un sisma è composto da onde di frequenza differente, che subiscono amplificazioni differenti. La frequenza a cui corrisponde la massima amplificazione viene detta frequenza naturale di vibrazione del terreno. I danni maggiori si hanno in quelle strutture la cui frequenza naturale di vibrazione è prossima alla frequenza naturale di vibrazione del terreno. In questi casi si verifica il fenomeno della **doppia risonanza**. Le ampiezze di oscillazione del terreno e dell'edificio si combinano, amplificando in maniera disastrosa le sollecitazioni sulla struttura.

Il fenomeno della doppia risonanza consente di spiegare il danneggiamento selettivo che si osserva quasi sempre nelle aree colpite da un sisma. Variando le condizioni geologiche locali, varia la frequenza naturale del terreno. Edifici con simile frequenza naturale possono subire livelli di danno molto differenti fra loro, perché posti in siti dove cambia la situazione geologica.

Grazie all'impiego della tecnica H/V è possibile determinare la frequenza naturale del terreno, fornendo una informazione fondamentale per la progettazione di nuovi edifici o per la verifica di quelli esistenti.

La frequenza naturale degli edifici si determina attraverso formule empiriche, come quelle proposte nelle NTC08, oppure eseguendo misure dirette con strumentazione sensibile posta all'interno dell'edificio.

7.2.6.2 Acquisizione dati

Per l'esecuzione dell'indagine sismica secondo la tecnica H/V in oggetto si è utilizzato il tromografo digitale Tromino 3G prodotto dalla Moho s.r.l..



7.2.6.3 Elaborazione ed interpretazione dei risultati

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Grilla prodotto da Moho s.r.l., eseguendo su ciascuna tomografia le seguenti operazioni.

- **Analisi della traccia.** La pulizia della traccia è preliminare a qualsiasi tipo di modellazione. La rimozione dei disturbi è di fondamentale importanza anche per l'analisi delle curve H/V. Tali curve devono essere statisticamente significative, ossia essere caratterizzate da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato.
- **Modellazione.** L'osservazione simultanea delle curve H/V e degli spettri delle singole componenti permette di distinguere i picchi di origine stratigrafica da quelli di natura antropica. Un picco di origine naturale individuato sulla curva H/V coincide, sugli spettri delle singole componenti, ad un minimo locale della componente spettrale verticale.



7.3 Sito 1: Centro Sportivo Comunale

7.3.1 Indagine MASW

Parametri di acquisizione

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
16	3	45	1	5	2	512

Sismogramma

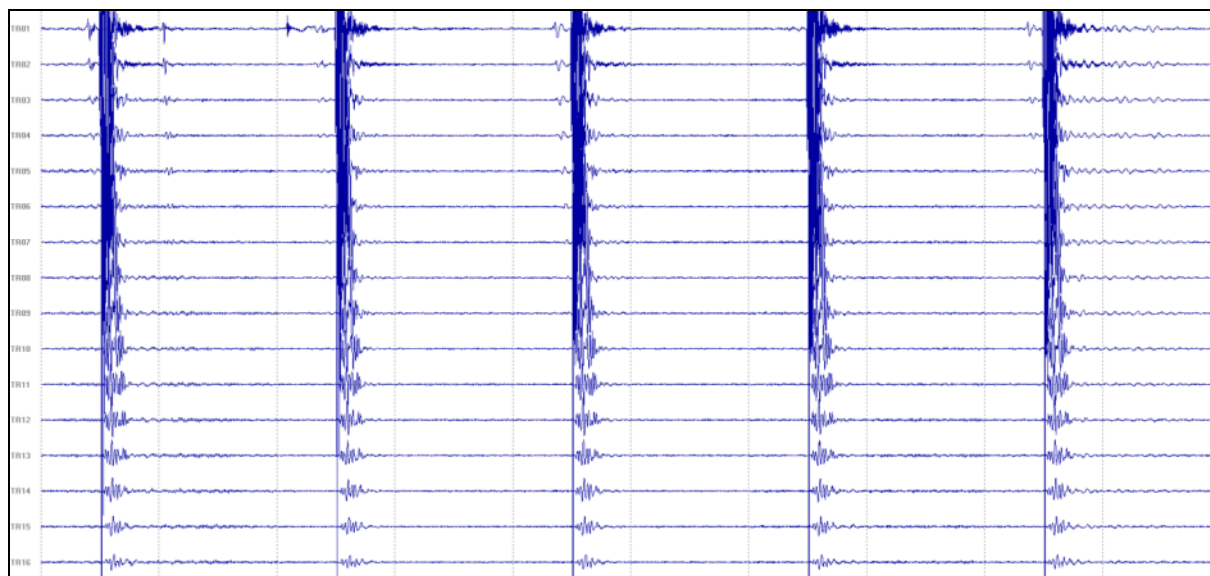
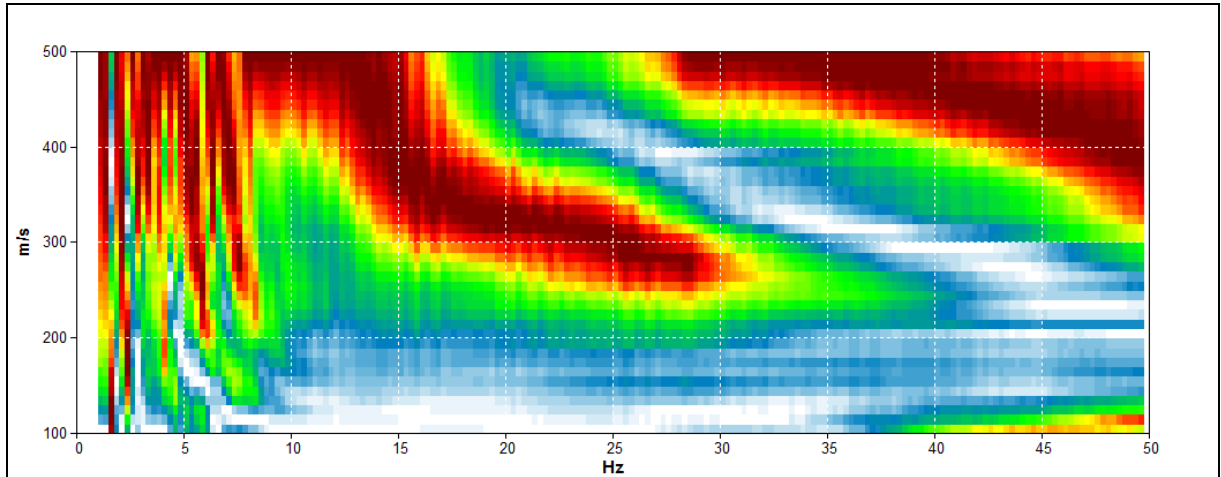


Figura 23 - Sismogramma acquisito

Spettro di velocità di fase**Figura 24 - Spettro delle velocità ottenuto dalla prova MASW**

La fase di processing digitale del segnale ha permesso di ottimizzare l'identificazione dello spettro relativo alle onde di superficie; il modo fondamentale risulta meglio definito ed interpretabile nell'intervallo di frequenza $15 \div 30$ Hz.

7.3.2 Indagine H/V

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Nuvoloso
Data registrazione	20/12/2016	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	14' 00"
Vincolo stratigrafico	MASW		

Analisi della traccia

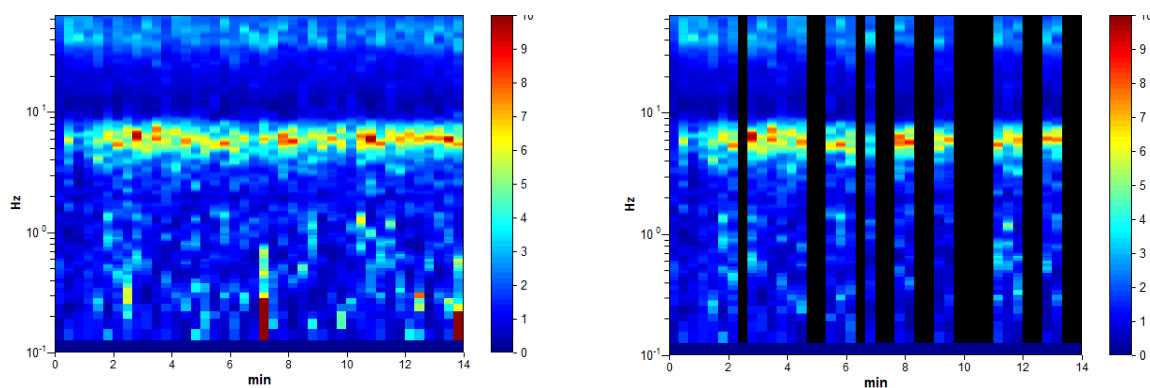


Figura 25 – Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi

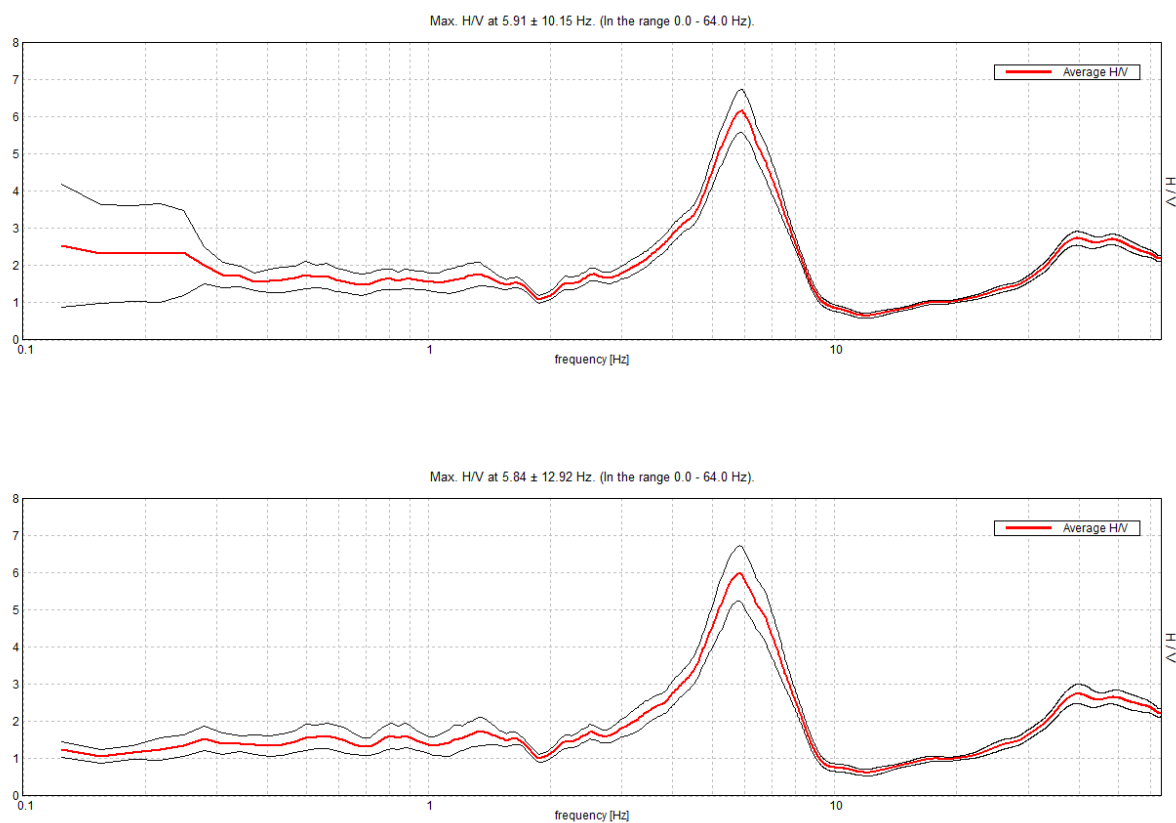


Figura 26 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi

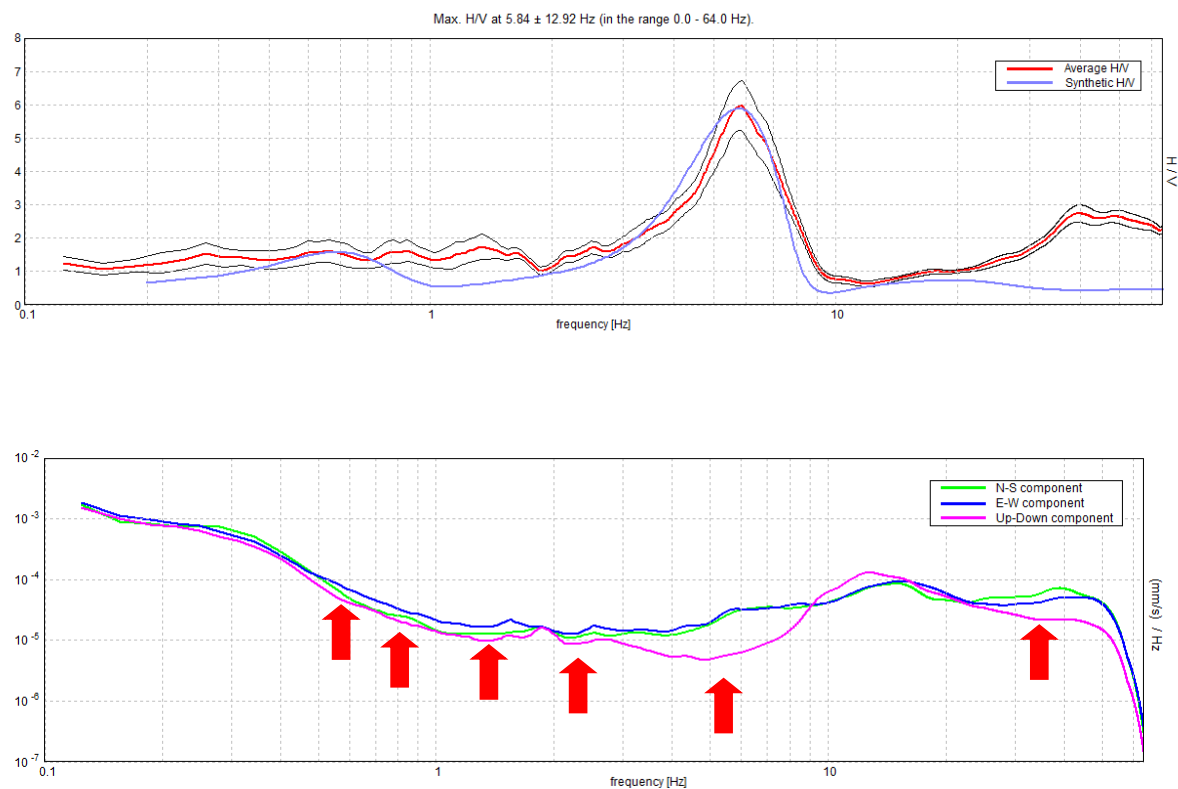
Modellazione

Figura 27 - Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica

7.3.3 Risultati ottenuti

Il profilo sismo - stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle due indagini geofisiche eseguite (H/V + MASW) si caratterizza per la presenza di livelli soffici nei primi 15 m, cui segue un riflettore rigido al quale è associato un notevole contrasto di impedenza. Da questo livello la Vs cresce velocemente raggiungendo valori prossimi agli 800 m/s intorno ai 50 m da p.c.. Il bedrock sismico (1470 m/s), infine, si trova ad oltre 300 m da p.c..

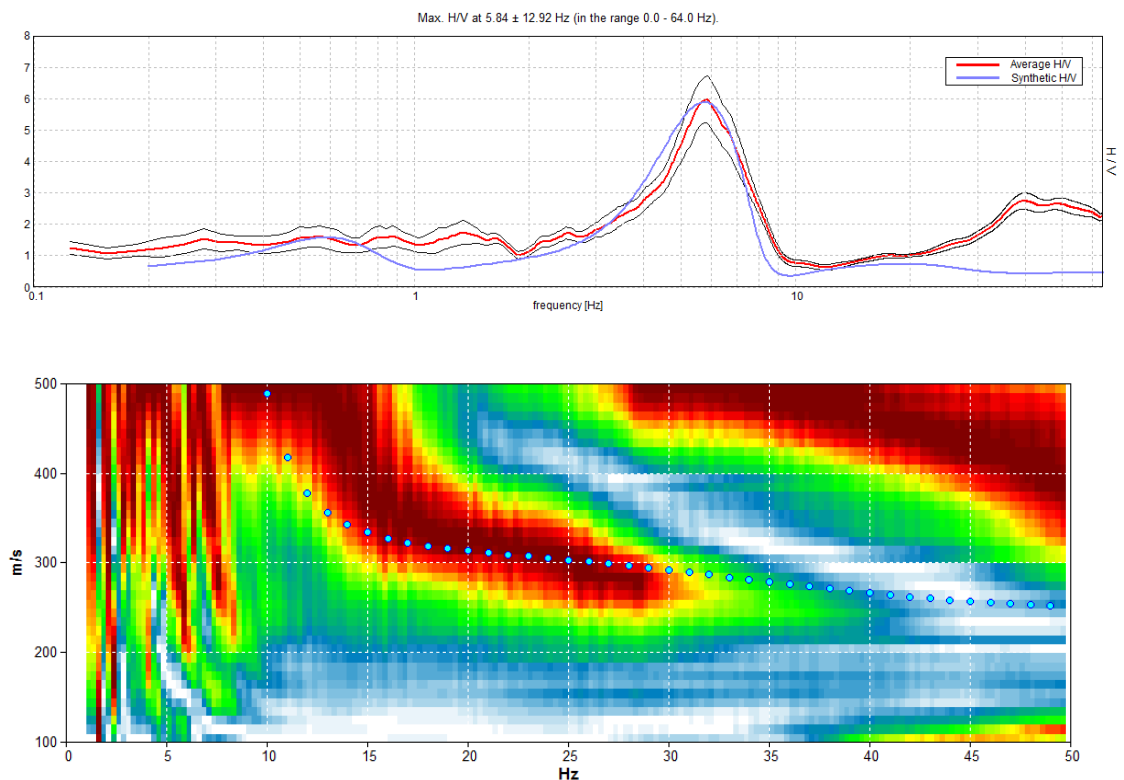
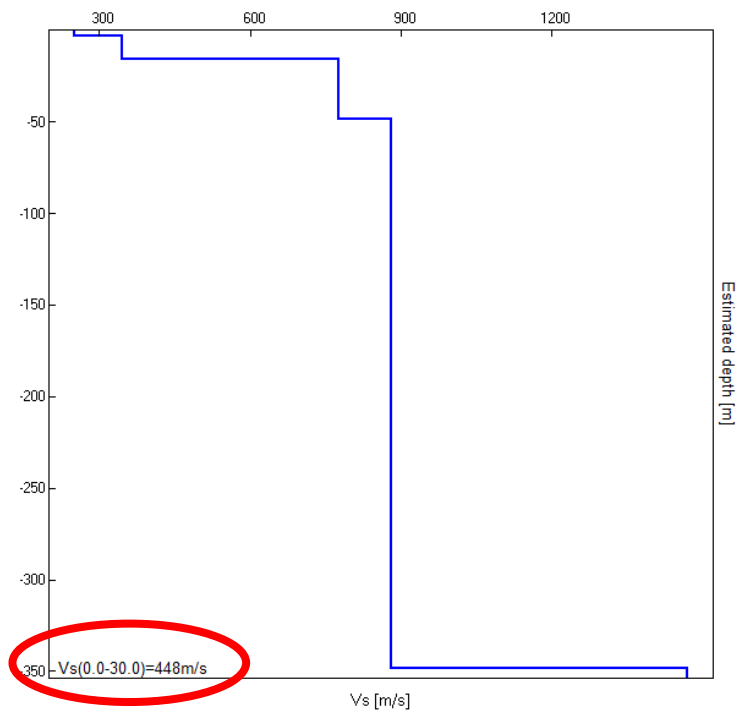


Figura 28 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V

Di seguito sono riassunti: il modello sismo stratigrafico del sito, il profilo verticale delle onde S ed il valore di Vs30 riferibili ai primi metri di sottosuolo.



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
3,00	3,00	250
15,50	12,50	345
48,50	33,00	775
348,50	300,00	880
∞	∞	1470

Nel caso in esame lo spettro H/V ha consentito di individuare le frequenze di risonanza del terreno, che mostrano i seguenti valori: 39,0 Hz, 5,9 Hz, 2,5 Hz, 1,3 Hz, 0,8 Hz, 0,5 Hz. Per un maggior dettaglio sulle frequenze di risonanza si rimanda al capitolo precedente.



7.4 Sito 2: Scuola Elementare

7.4.1 Indagine MASW

Parametri di acquisizione

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
13	3	36	1	5	2	512

Sismogramma

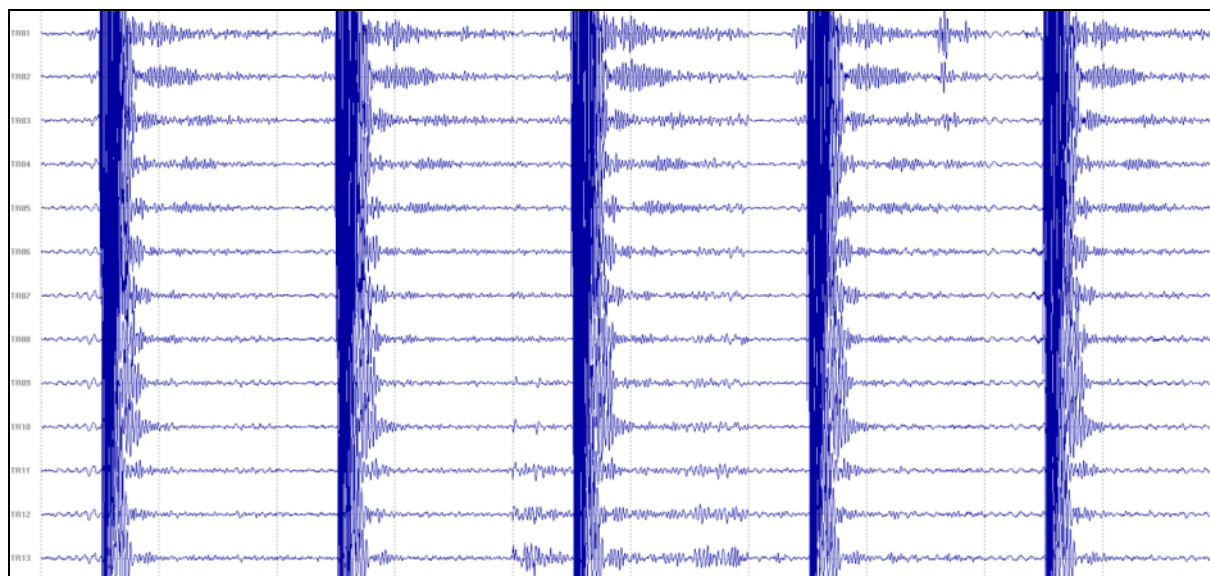


Figura 29 - Sismogramma acquisito

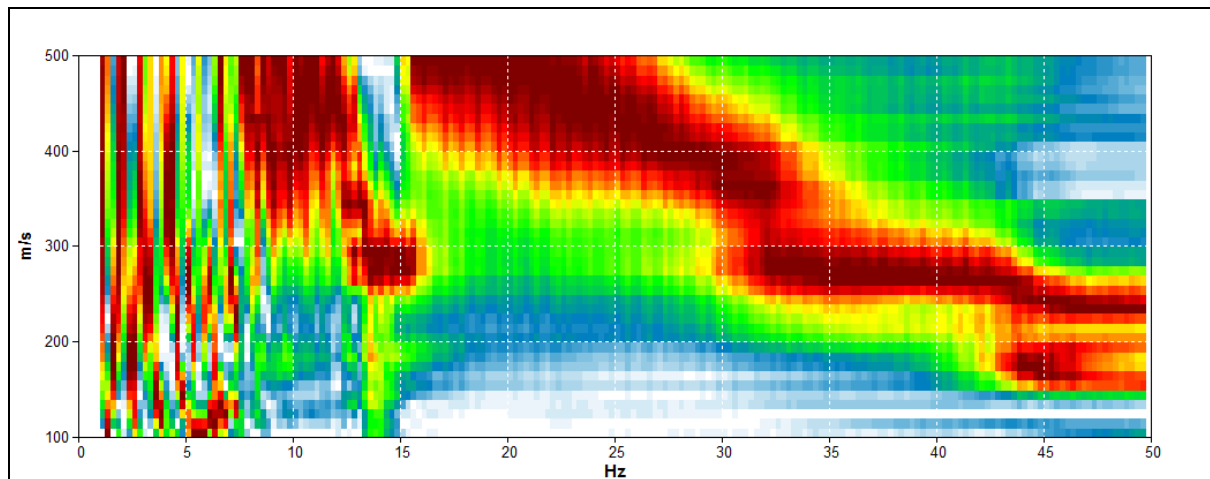
Spettro di velocità di fase

Figura 30 - Spettro delle velocità ottenuto dalla prova MASW

La fase di processing digitale del segnale ha permesso di ottimizzare l'identificazione dello spettro relativo alle onde di superficie; il modo fondamentale risulta meglio definito ed interpretabile nell'intervallo di frequenza 30 ÷ 50 Hz.

7.4.2 Indagine H/V

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Nuvoloso
Data registrazione	20/12/2016	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamento	10 %
Orientamento dello strumento	Parallelo Torrente Quisa	Durata della registrazione	14' 00"
Vincolo stratigrafico	MASW		

Analisi della traccia

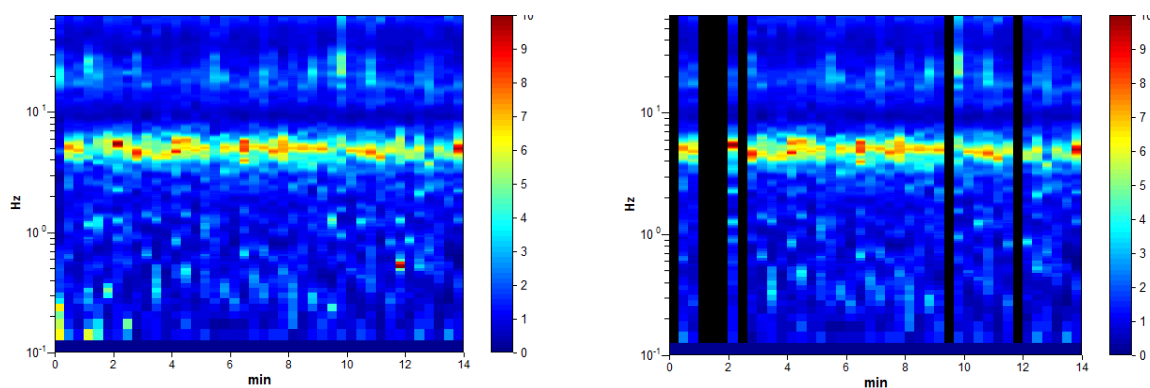


Figura 31 – Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi

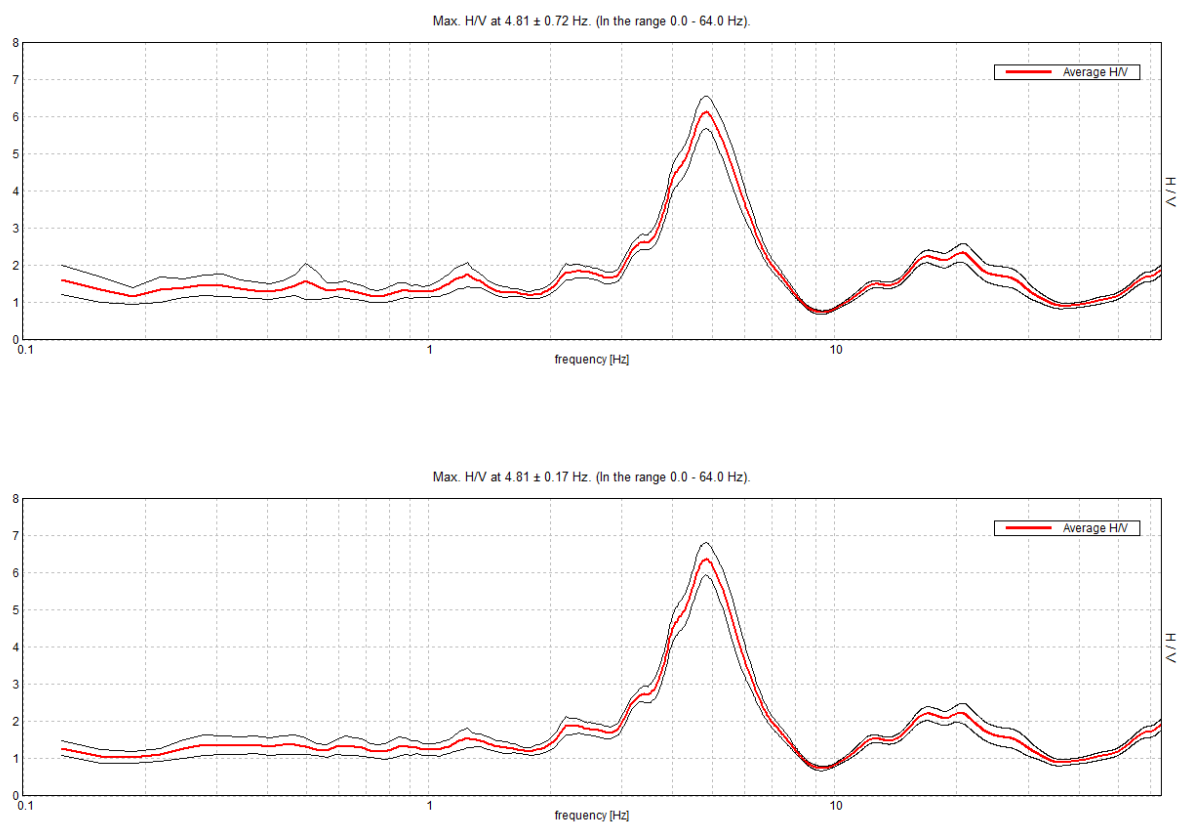


Figura 32 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi

Modellazione

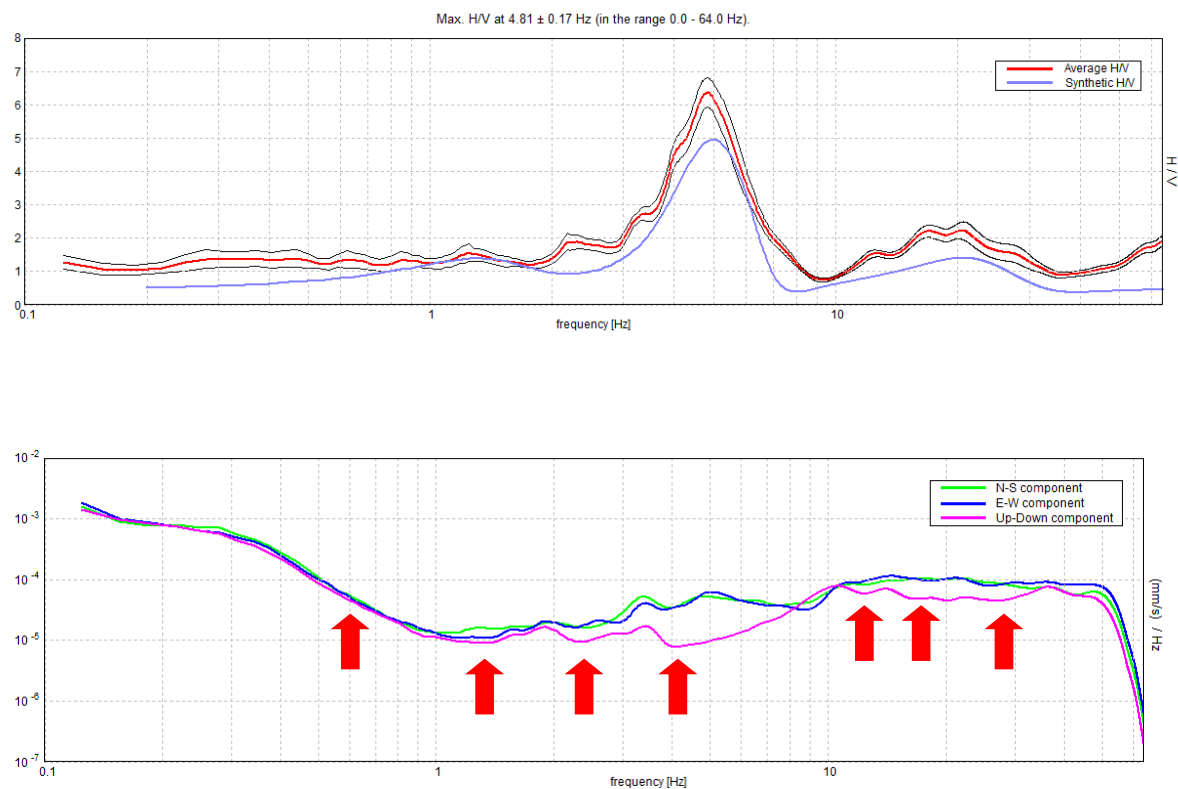


Figura 33 - Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica

7.4.3 Risultati ottenuti

Il profilo sismo - stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle due indagini geofisiche eseguite (H/V + MASW) si caratterizza per la presenza di un riflettore molto rigido a circa 20 m da p.c., in corrispondenza del quale si registra un notevole salto della Vs, che passa da 380 m/s a 835 m/s. Successivamente, alla profondità di circa 150 m da p.c., viene intercettato il bedrock sismico (1200 m/s).

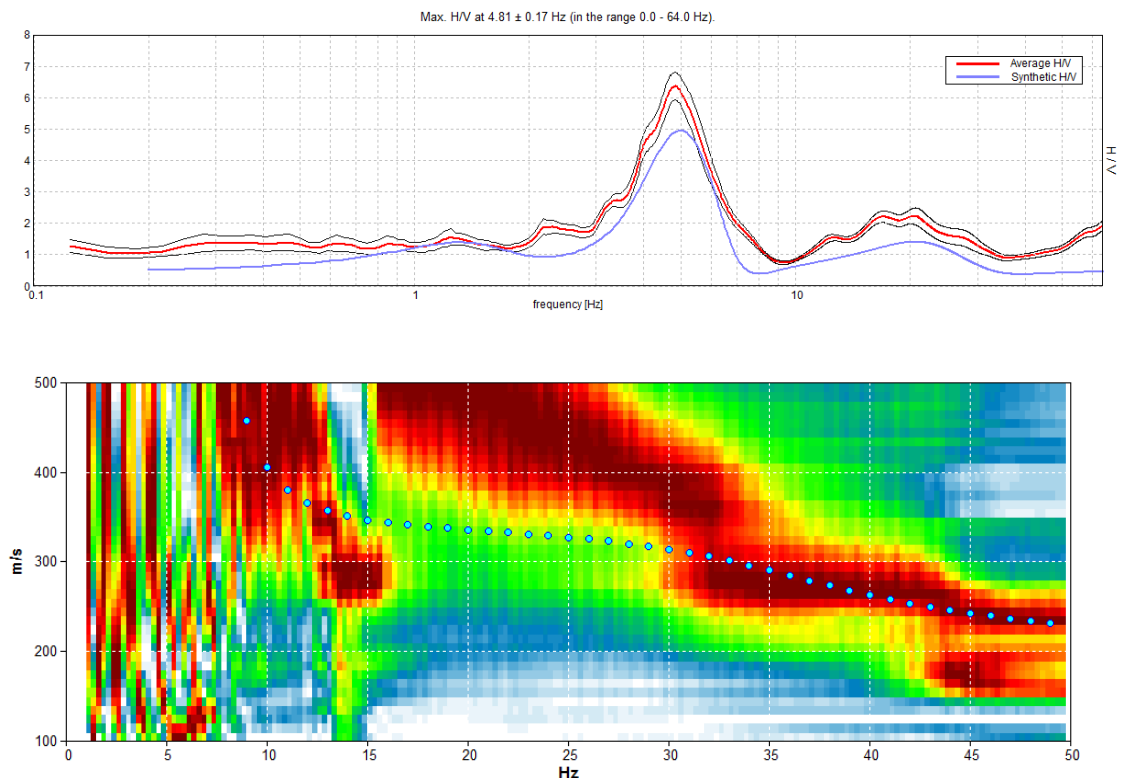
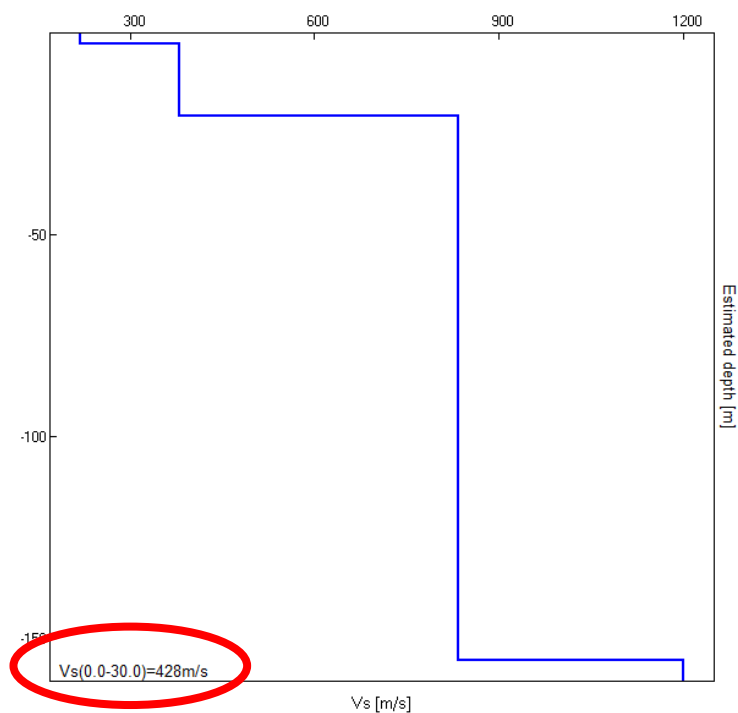


Figura 34 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V

Di seguito sono riassunti: il modello sismo stratigrafico del sito, il profilo verticale delle onde S ed il valore di Vs30 riferibili ai primi metri di sottosuolo.



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2,50	2,50	220
20,50	18,00	380
155,50	135,00	835
∞	∞	1200

Nel caso in esame lo spettro H/V ha consentito di individuare le frequenze di risonanza del terreno, che mostrano i seguenti valori: 17,5 Hz, 4,8 Hz, 2,2 Hz, 1,25 Hz e 0,6 Hz. Per un maggior dettaglio sulle frequenze di risonanza si rimanda al capitolo precedente.



7.5 Sito 3: Scuola Materna

7.5.1 Indagine MASW

Parametri di acquisizione

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
16	3	45	1	5	2	512

Sismogramma

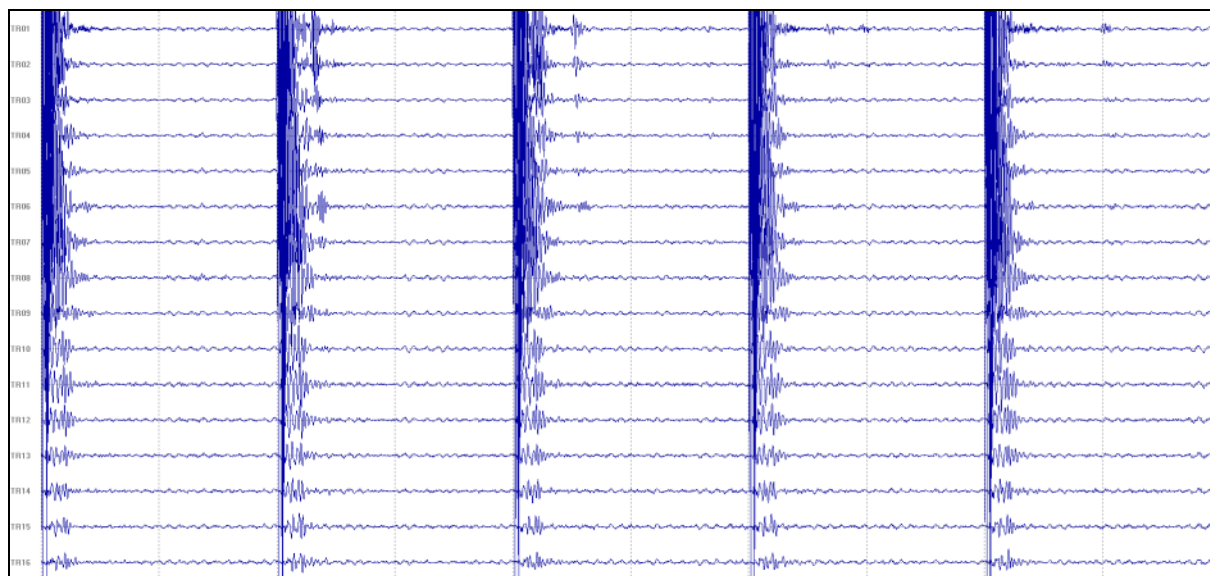


Figura 35 - Sismogramma acquisito

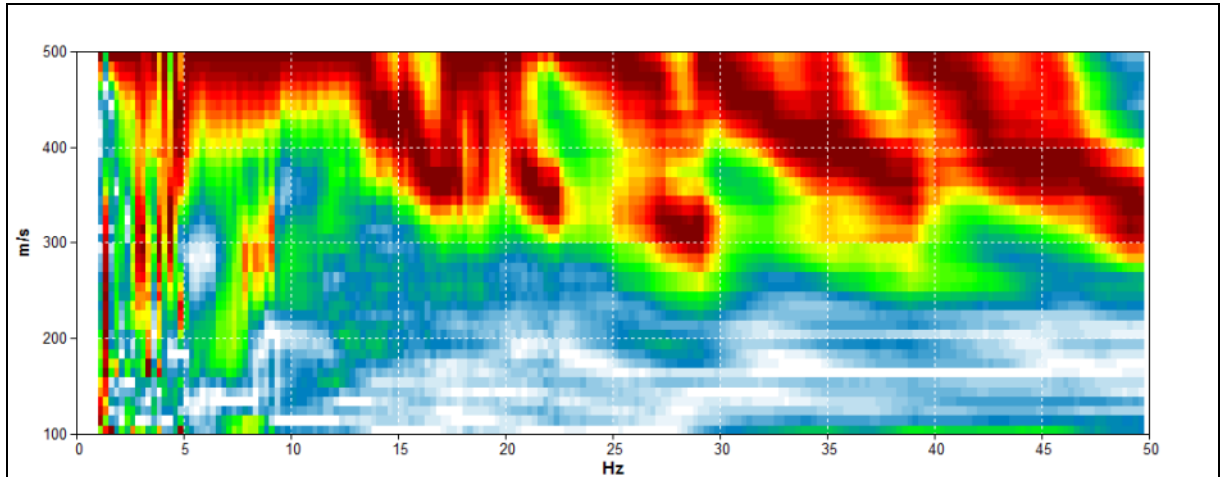
Spettro di velocità di fase

Figura 36 - Spettro delle velocità ottenuto dalla prova MASW

La fase di processing digitale del segnale ha permesso di ottimizzare l'identificazione dello spettro relativo alle onde di superficie; il modo fondamentale risulta meglio definito ed interpretabile nell'intervallo di frequenza 15 ÷ 30 Hz.

7.5.2 Indagine H/V

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Nuvoloso
Data registrazione	20/12/2016	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamento	10 %
Orientamento dello strumento	Parallelo orlo di terrazzo morfologico	Durata della registrazione	14' 00"
Vincolo stratigrafico	MASW		

Analisi della traccia

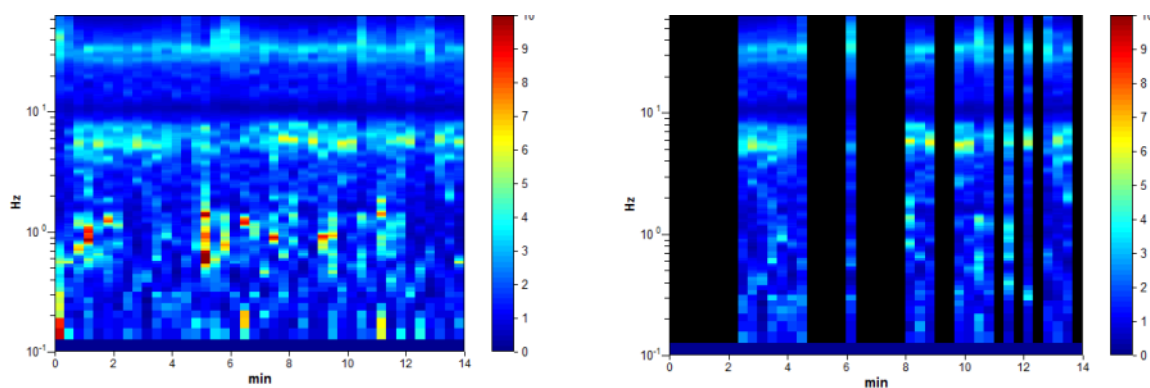


Figura 37 – Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi

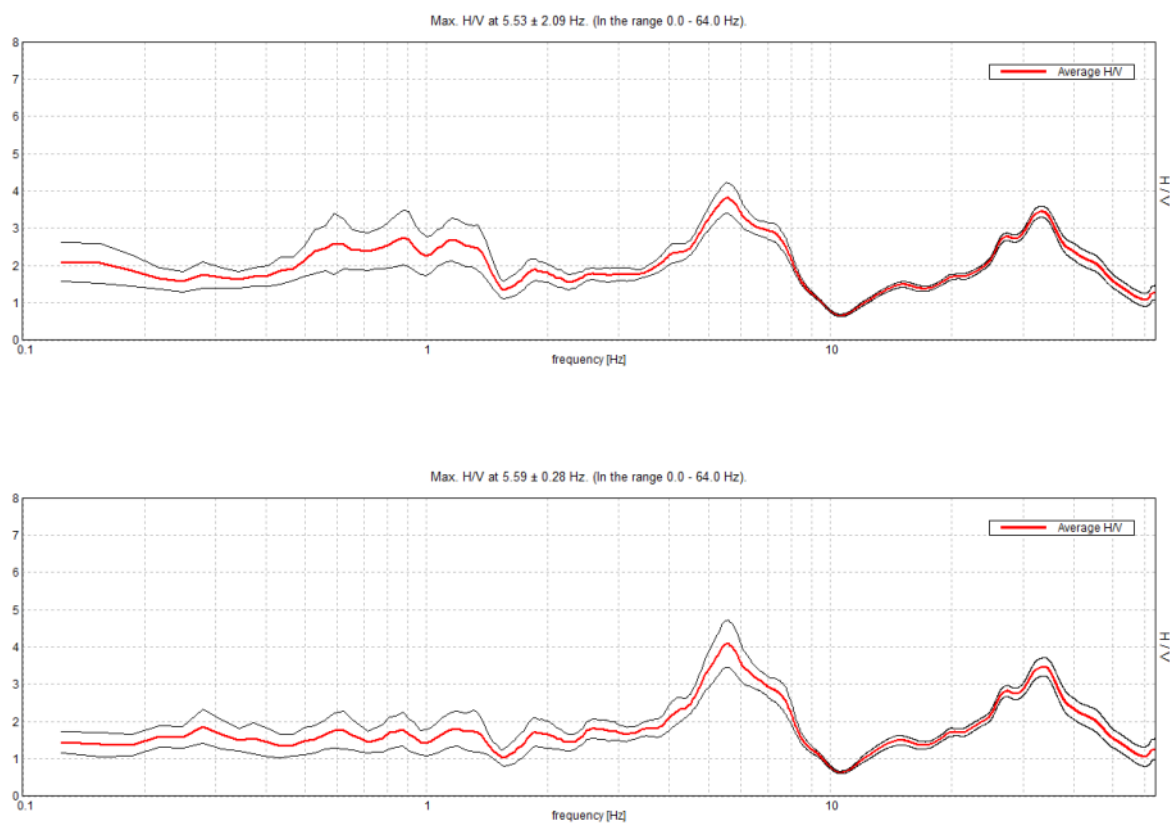


Figura 38 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi

Modellazione

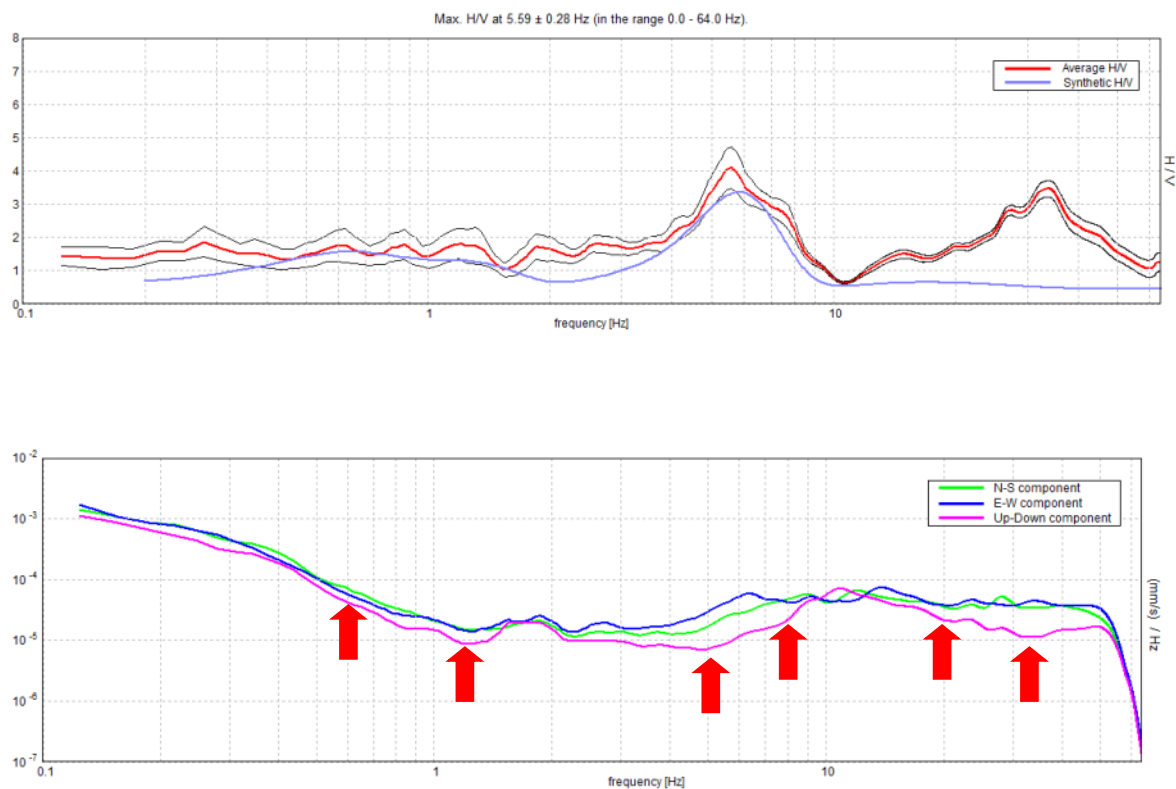


Figura 39 - Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica

7.5.3 Risultati ottenuti

Il profilo sismo - stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle due indagini geofisiche eseguite (H/V + MASW) si caratterizza per un graduale aumento della Vs fino alla profondità di circa 17,5 m da p.c., con valori compresi tra 250 m/s e 415 m/s. Alla profondità di 17,5 m da p.c. si trova un riflettore rigido in corrispondenza del quale la Vs sale a oltre 700 m/s, per poi raggiungere il bedrock sismico (1600 m/s) alla profondità di oltre 400 m da p.c..

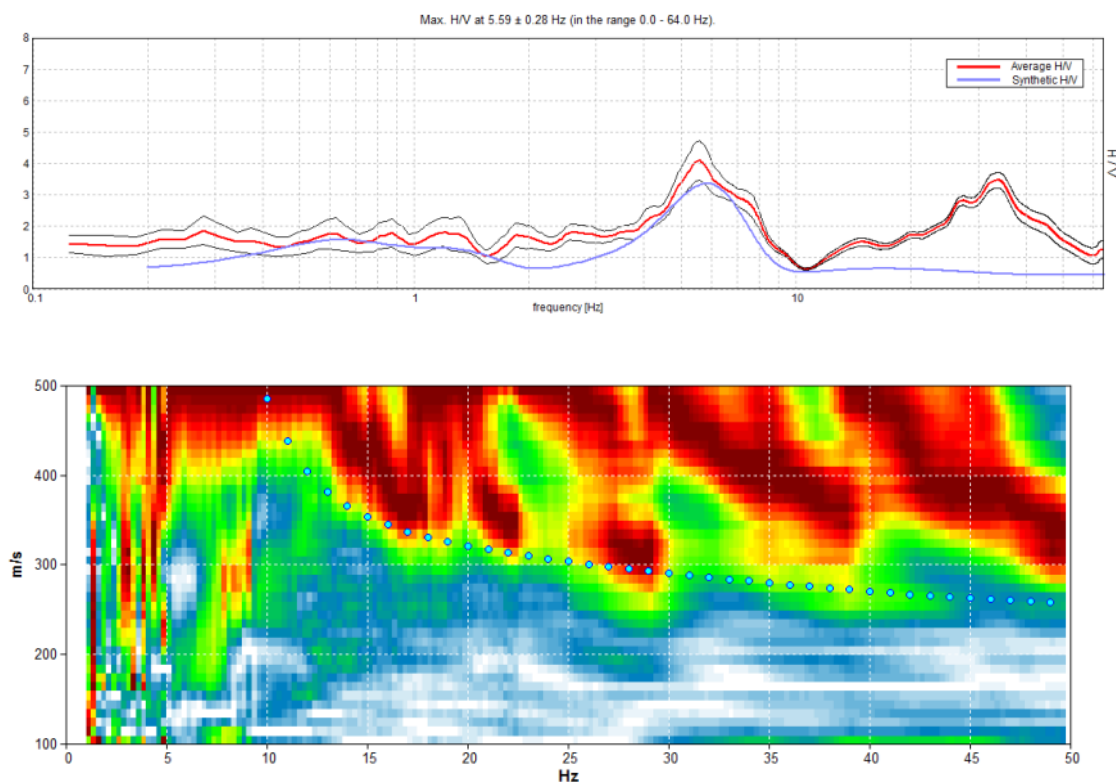
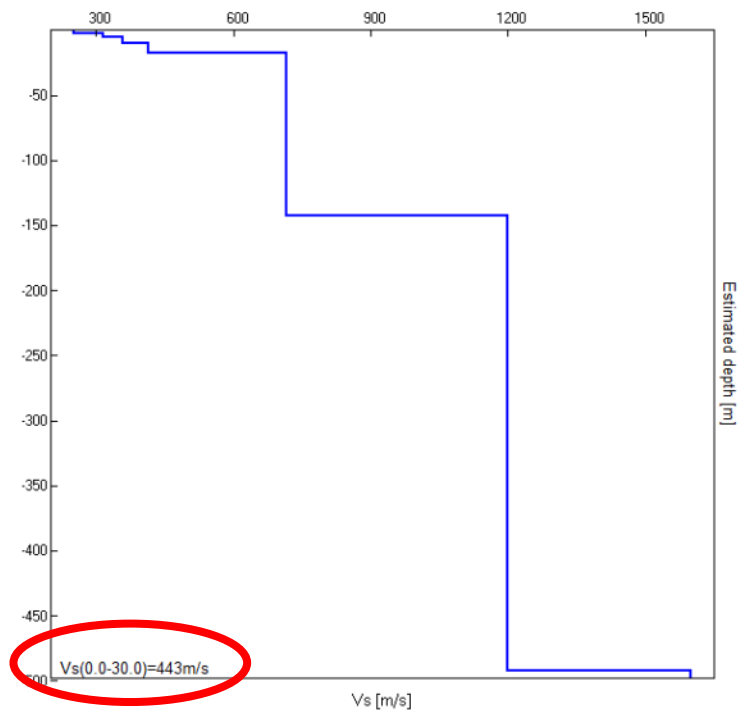


Figura 40 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V

Di seguito sono riassunti: il modello sismo stratigrafico del sito, il profilo verticale delle onde S ed il valore di Vs30 riferibili ai primi metri di sottosuolo.



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2,50	2,50	251
5,50	3,00	314
10,00	4,50	357
17,50	7,50	414
142,50	125,00	715
492,50	350,00	1200
∞	∞	1600

Nel caso in esame lo spettro H/V ha consentito di individuare le frequenze di risonanza del terreno, che mostrano i seguenti valori: 30,0 Hz, 5,5 Hz, 1,2 Hz, 06 Hz. Per un maggior dettaglio sulle frequenze di risonanza si rimanda al capitolo precedente.



7.6 Sito 4: località Ghiaie

7.6.1 Indagine MASW

Parametri di acquisizione

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
16	3	45	1	5	2	512

Sismogramma

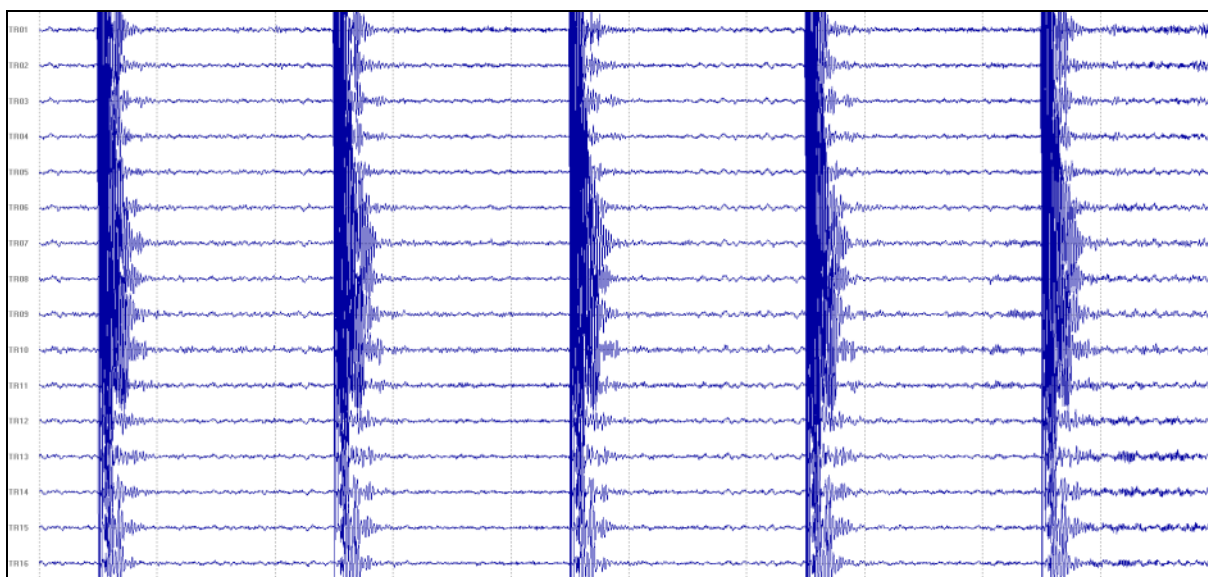


Figura 41 - Sismogramma acquisito

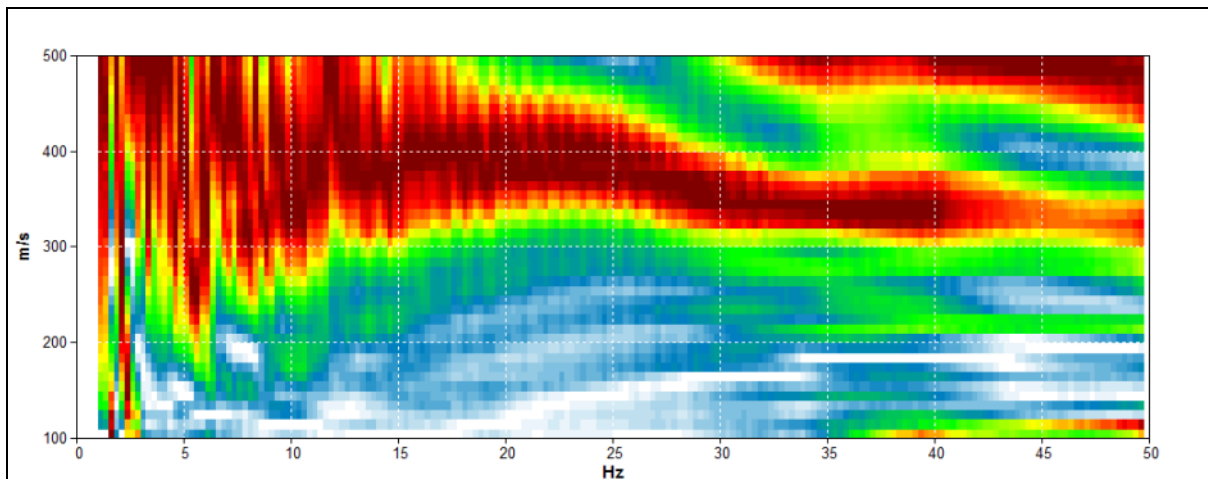
Spettro di velocità di fase

Figura 42 - Spettro delle velocità ottenuto dalla prova MASW

La fase di processing digitale del segnale ha permesso di ottimizzare l'identificazione dello spettro relativo alle onde di superficie; il modo fondamentale risulta meglio definito ed interpretabile nell'intervallo di frequenza 25 ÷ 50 Hz.

7.6.2 Indagine H/V

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Nuvoloso
Data registrazione	19/12/2016	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamento	10 %
Orientamento dello strumento	Parallelo Fiume Brembo	Durata della registrazione	14' 00"
Vincolo stratigrafico	MASW		

Analisi della traccia

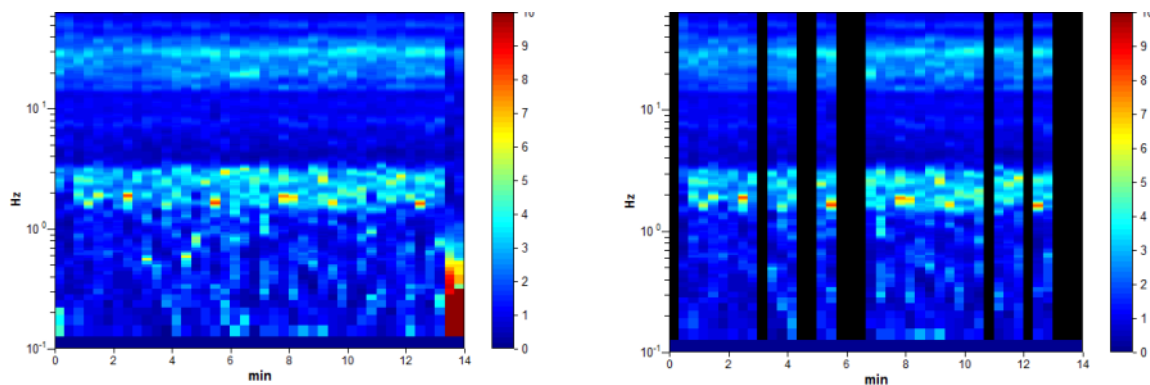


Figura 43 – Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi

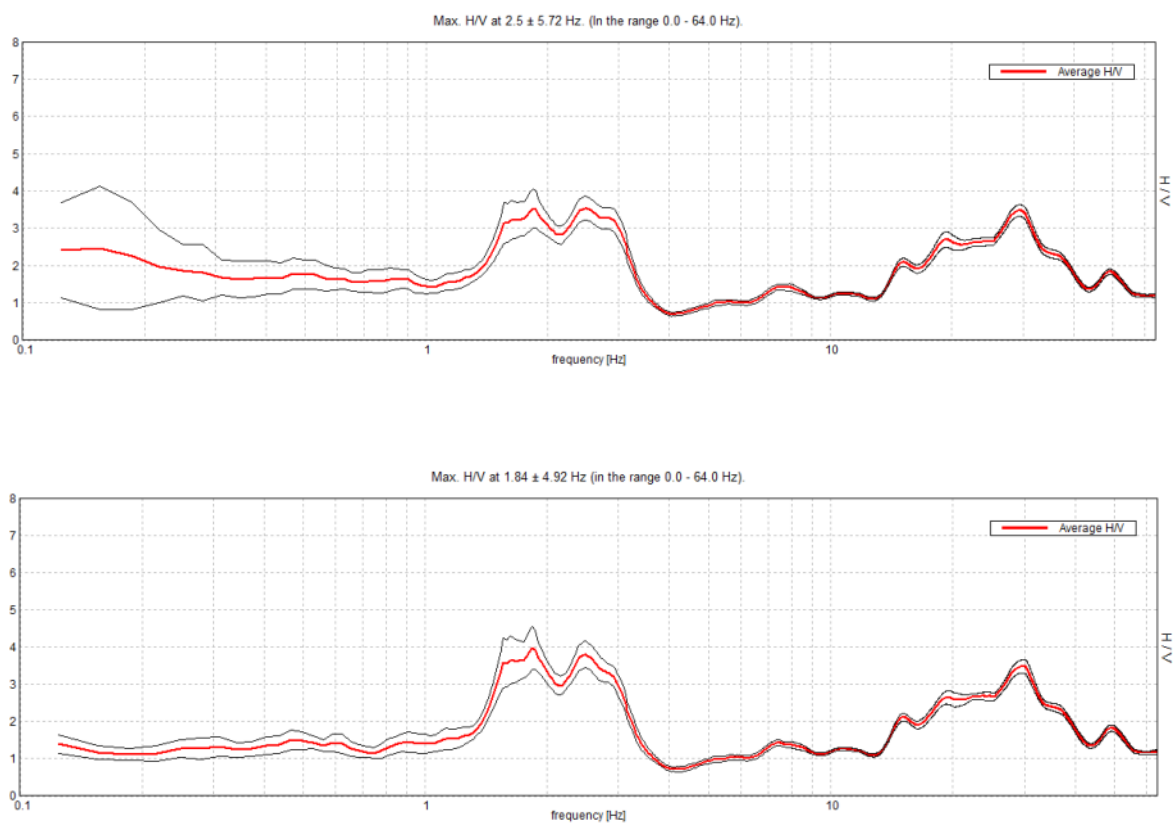


Figura 44 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi

Modellazione

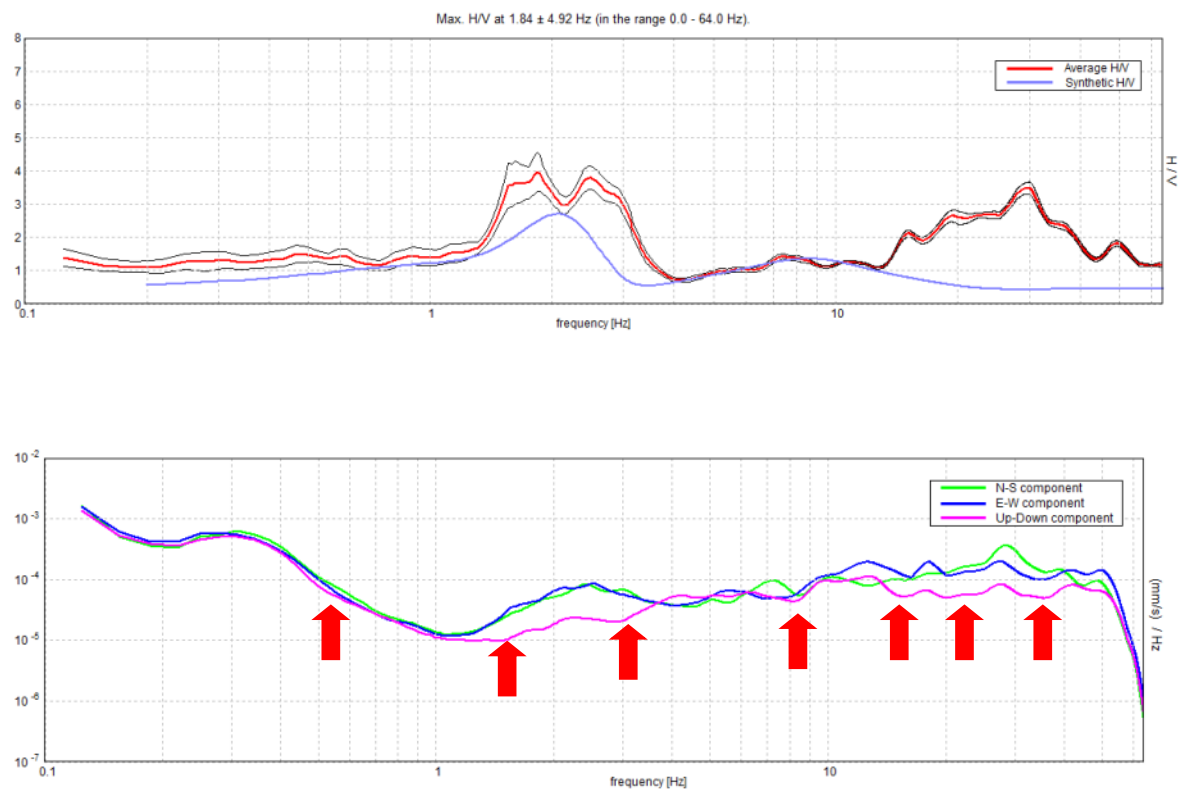


Figura 45 - Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica

7.6.3 Risultati ottenuti

Il profilo sismo - stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle due indagini geofisiche eseguite (H/V + MASW) si caratterizza per un graduale aumento della Vs nei primi 75 m, con valori compresi tra 310 m/s e 600 m/s. Alla profondità di circa 75 m da p.c. si registra la presenza di un riflettore molto rigido in corrispondenza del quale la Vs passa ad un valore di 1200 m/s, raggiungendo poi il bedrock sismico (1500 m/s) ad oltre 350 m da p.c..

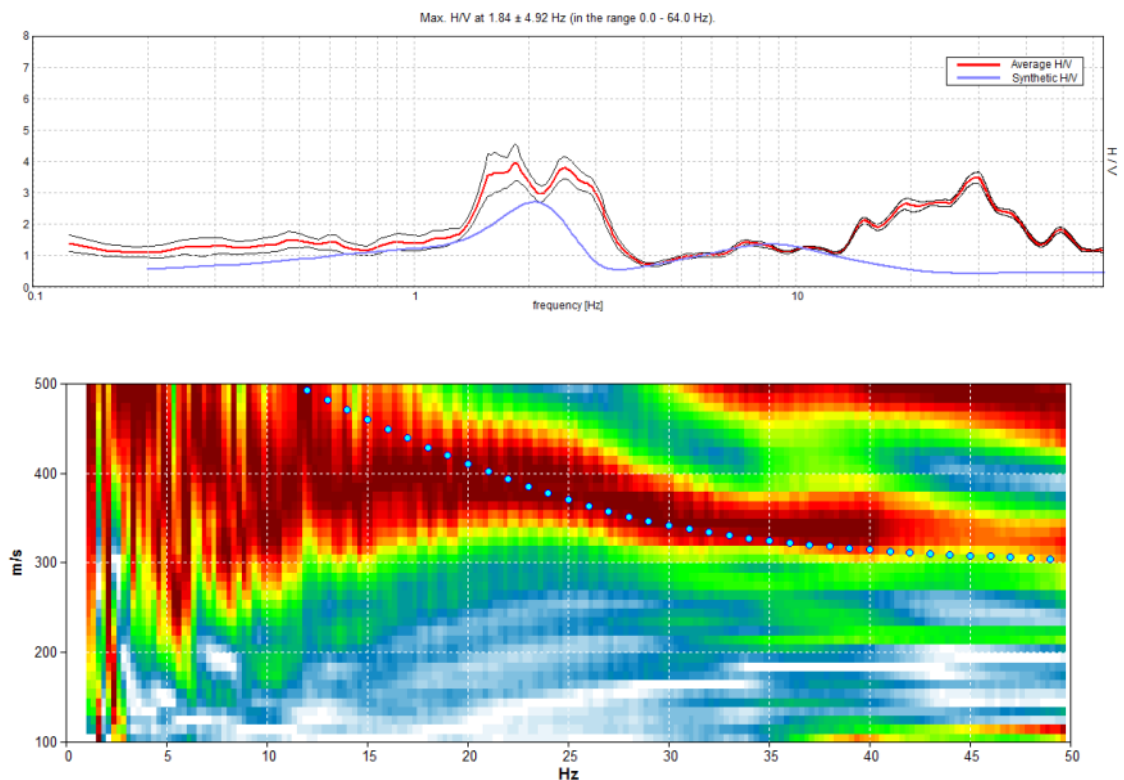
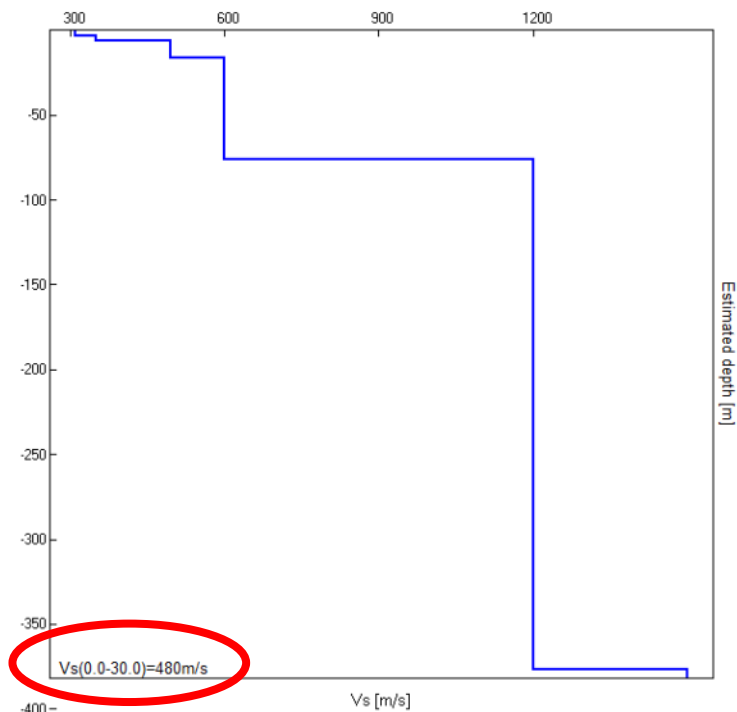


Figura 46 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V

Di seguito sono riassunti: il modello sismo stratigrafico del sito, il profilo verticale delle onde S ed il valore di Vs30 riferibili ai primi metri di sottosuolo.



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
3,50	3,50	310
6,50	3,00	350
16,50	10,00	495
76,50	60,00	600
376,50	300,00	1200
∞	∞	1500

Nel caso in esame lo spettro H/V ha consentito di individuare le frequenze di risonanza del terreno, che mostrano i seguenti valori: 30,0 Hz, 15,0 Hz, 8,0 Hz, 2,5 Hz, 1,8 Hz, 0,9 Hz, 0,5 Hz. Per un maggior dettaglio sulle frequenze di risonanza si rimanda al capitolo precedente.



7.7 Sito 5: località Sombreno

7.7.1.1 Indagine MASW

Parametri di acquisizione

<i>Numero geofoni</i>	<i>Spaziatura geofoni [m]</i>	<i>Lunghezza stendimento [m]</i>	<i>Geofono trigger</i>	<i>Offset [m]</i>	<i>Durata registrazione [s]</i>	<i>Frequenza di campionamento [Hz]</i>
16	3	45	1	5	2	512

Sismogramma

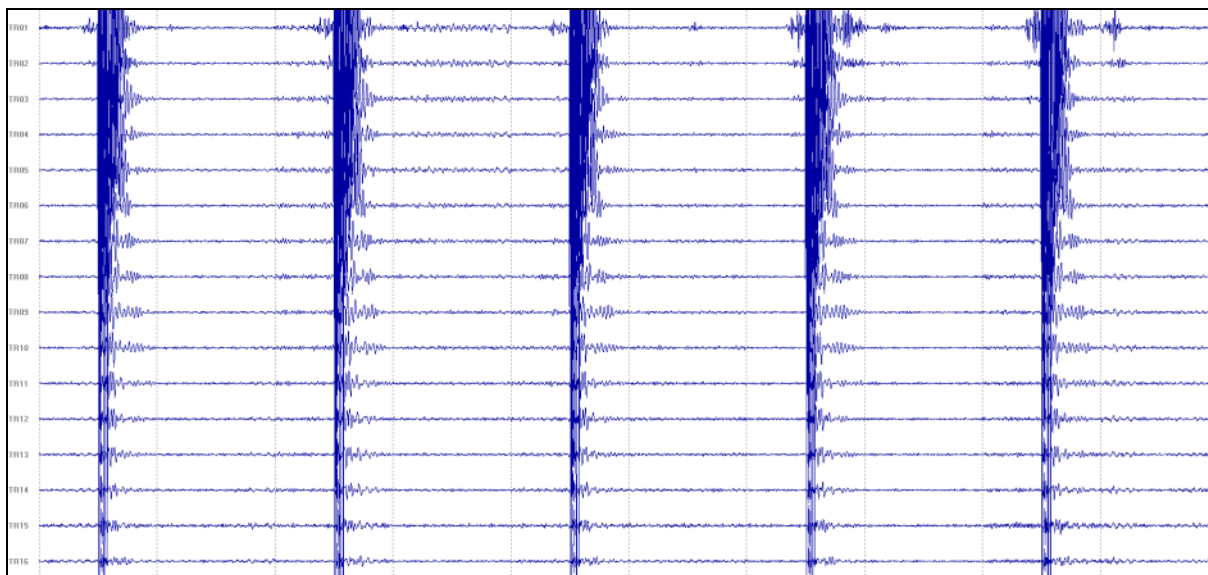
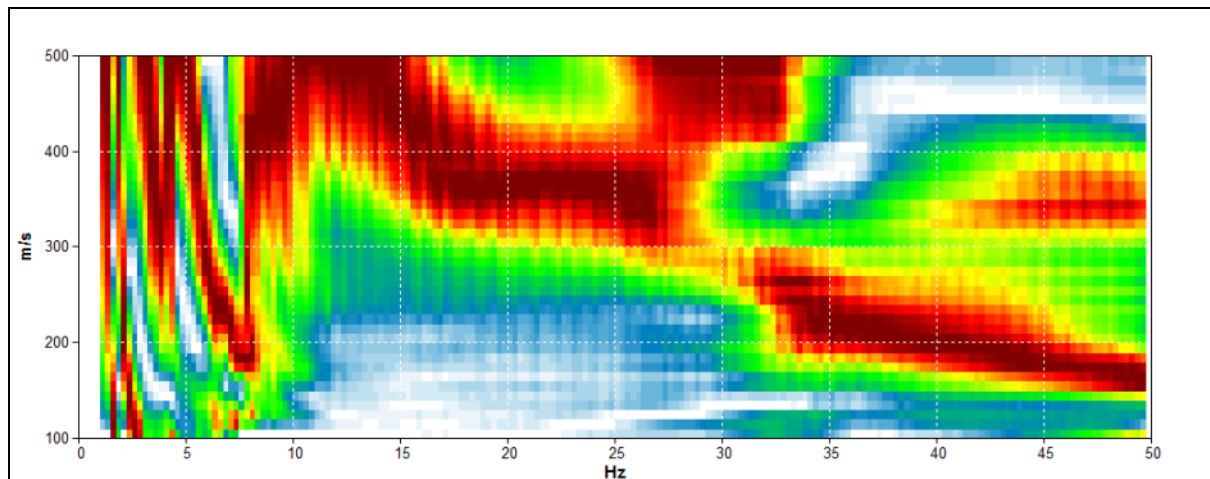


Figura 47 - Sismogramma acquisito

Spettro di velocità di fase**Figura 48 - Spettro delle velocità ottenuto dalla prova MASW**

La fase di processing digitale del segnale ha permesso di ottimizzare l'identificazione dello spettro relativo alle onde di superficie; il modo fondamentale risulta meglio definito ed interpretabile nell'intervallo di frequenza 30 ÷ 50 Hz.

7.7.2 Indagine H/V

Frequenza di campionamento	128 Hz	Condizioni meteorologiche	Nuvoloso
Data registrazione	20/12/2016	Lunghezza finestre	20 s
Terreno di misura	Suolo	Tipo di lisciamento	Triangular window
Accoppiamento suolo strumento	Piedini lunghi	Lisciamento	10 %
Orientamento dello strumento	Nord	Durata della registrazione	14' 00"
Vincolo stratigrafico	MASW		

Analisi della traccia

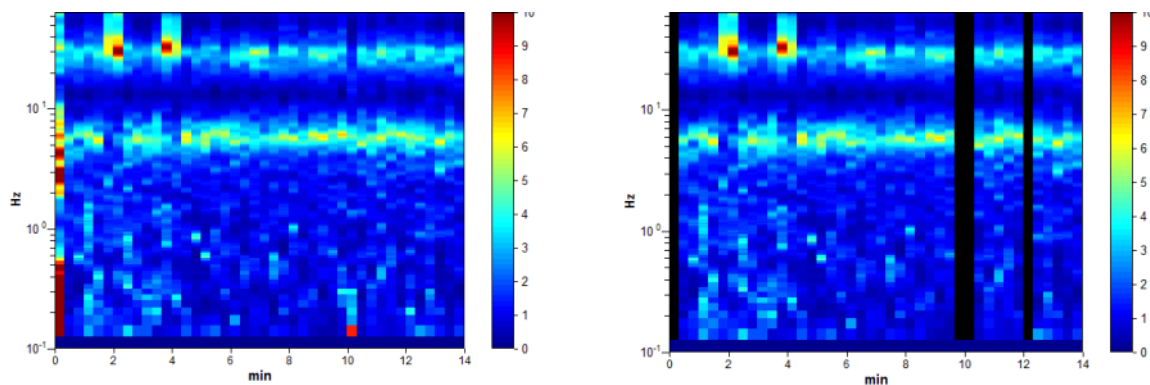


Figura 49 – Serie temporale H/V durante la misura e in seguito alla rimozione dei disturbi

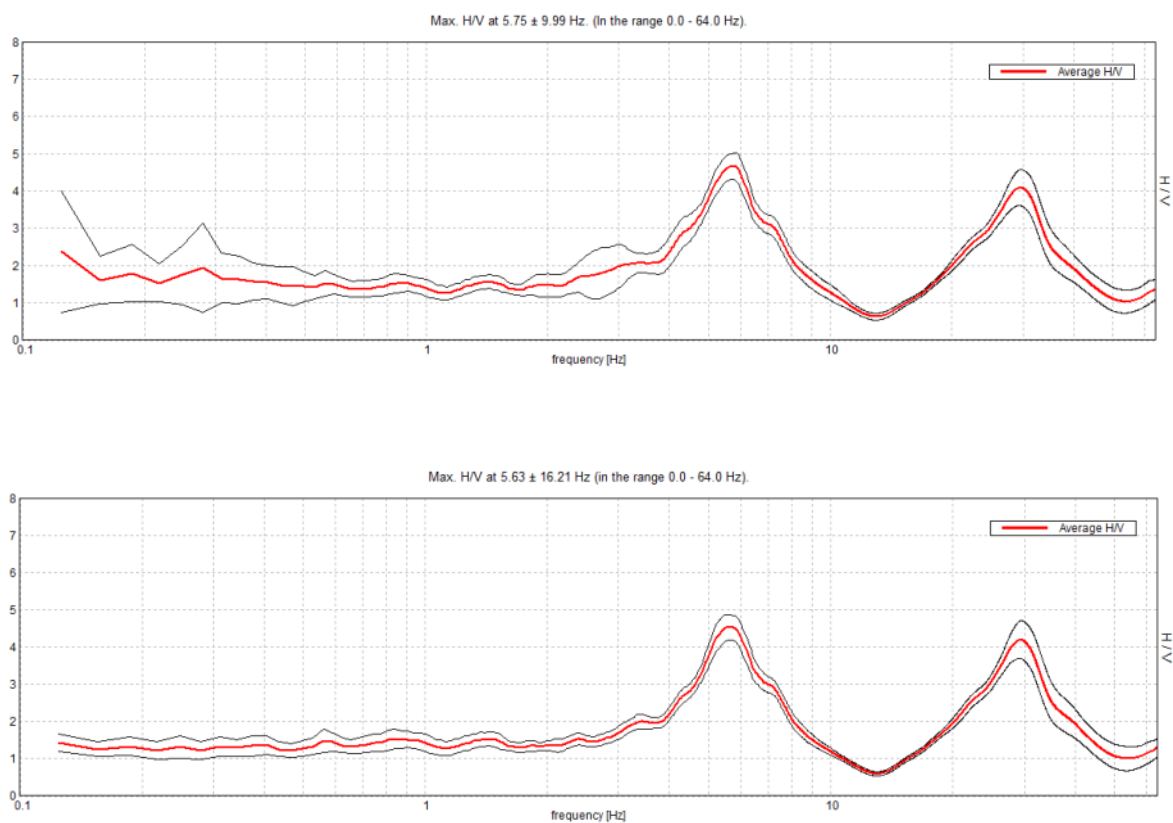


Figura 50 - Curve H/V e deviazione standard prima e dopo la rimozione dei disturbi

Modellazione

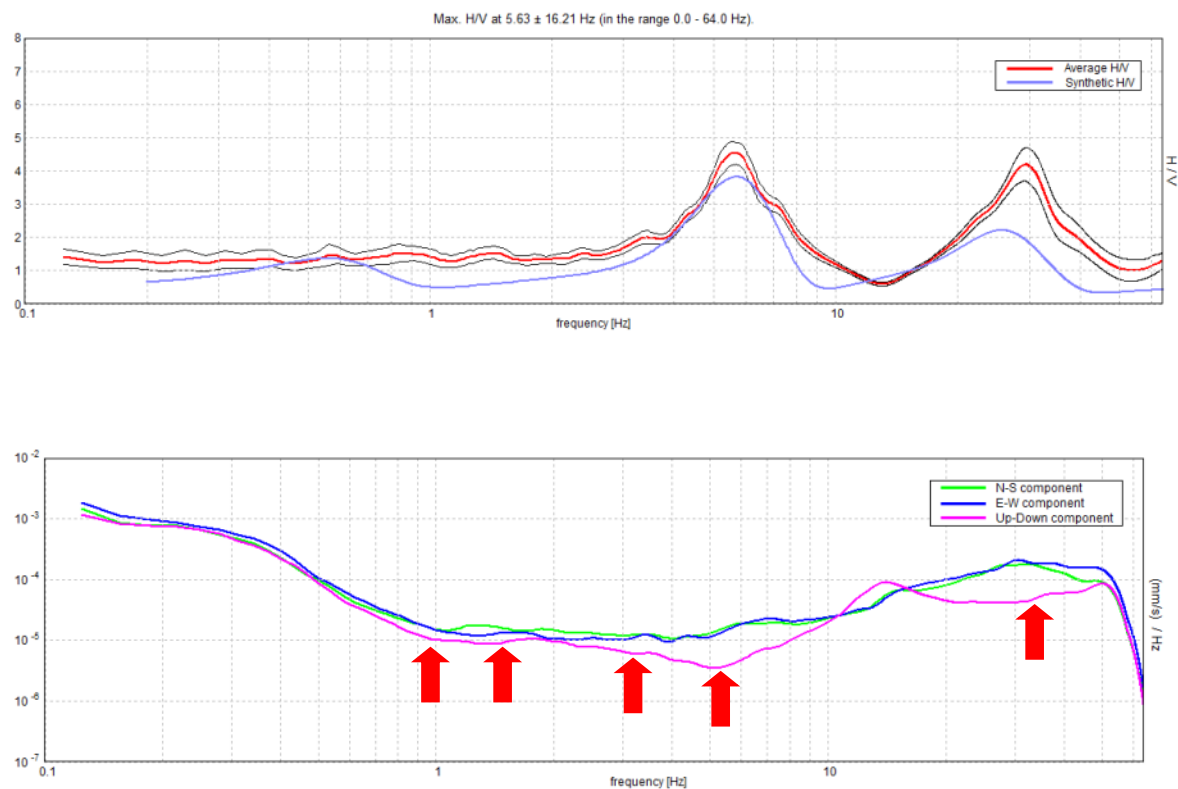


Figura 51 - Dall'alto in basso: curva H/V nella prima immagine; spettri delle singole componenti nella seconda immagine. Le frecce rosse indicano i picchi di origine stratigrafica

7.7.3 Risultati ottenuti

Il profilo sismo - stratigrafico verticale ricavato dall'interpretazione congiunta delle due indagini geofisiche eseguite (H/V + MASW) si caratterizza per la presenza di due riflettori rigidi superficiali, posti alle profondità di 1,5 m e 13,5 m. La Vs, pertanto, cresce rapidamente, arrivando a 630 m/s in corrispondenza del secondo riflettore e raggiungendo poi il bedrock sismico (1050 m/s) ad oltre 250 m di profondità.

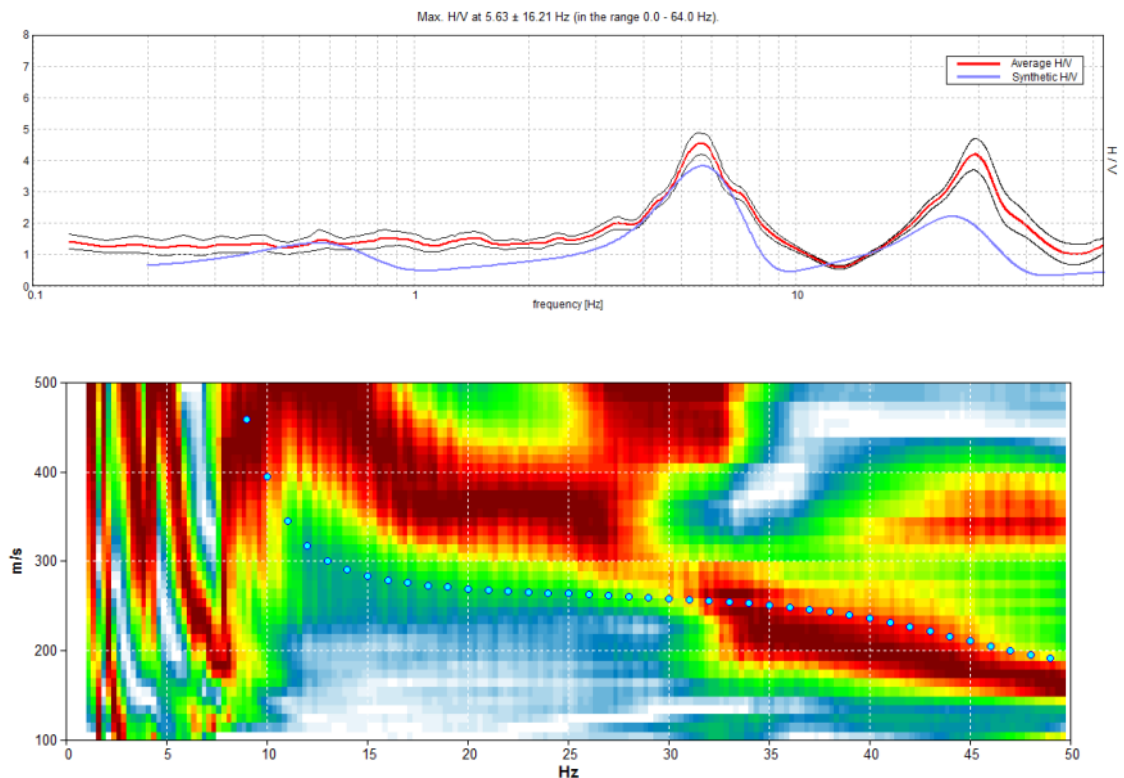
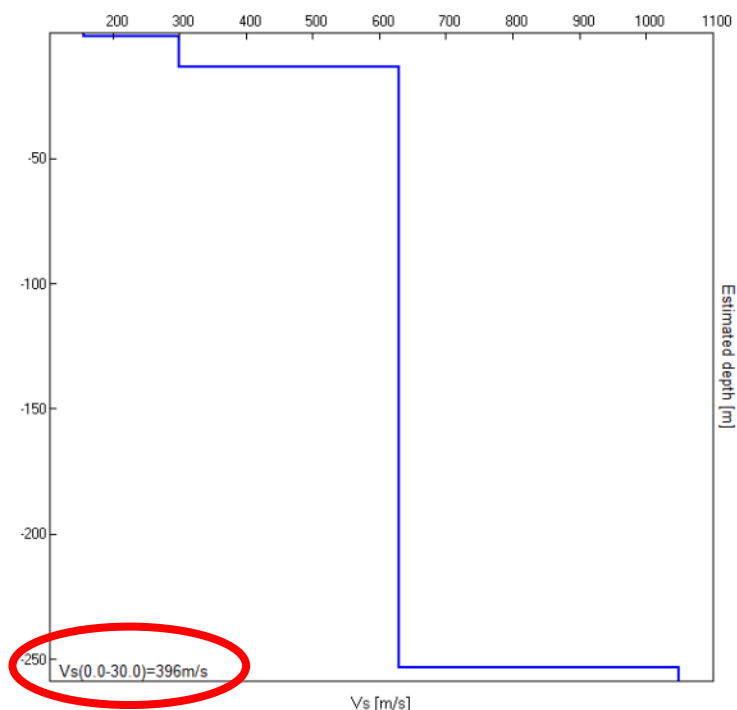


Figura 52 - Interpretazione congiunta delle curve di inversione e H/V

Di seguito sono riassunti: il modello sismo stratigrafico del sito, il profilo verticale delle onde S ed il valore di Vs30 riferibili ai primi metri di sottosuolo.



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1,50	1,50	156
13,50	12,00	300
253,50	240,00	630
∞	∞	1050

Nel caso in esame lo spettro H/V ha consentito di individuare le frequenze di risonanza del terreno, che mostrano i seguenti valori: 30,0 Hz, 5,5 Hz, 3,4 Hz, 2,4 Hz, 1,4 Hz, 0,6 Hz. Per un maggior dettaglio sulle frequenze di risonanza si rimanda al capitolo precedente.

7.8 Classi di sottosuolo

Per quanto concerne la caratterizzazione sismica dei siti in esame, si utilizza il valore del parametro **V_{S30}** ottenuto dalla relazione:

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

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo per un totale degli N strati riconosciuti nei primi 30 metri di sottosuolo a partire dalla superficie.

Il valore così ottenuto deve essere confrontato con la tabella che segue, al fine di ottenere la corretta classificazione sismica del sito.

Tabella 4.6 Classificazione del sito in categorie di sottosuolo prevista dalle NTC08 e definizione dei coefficienti S_s e C_c					
Suolo	$V_{S,30}$ [m/s]	$N_{SPT,30}$ [colpi/25cm]	$c_{u,30}$ [kPa]	S_s	C_c
A	> 800	-	-	1	1
B	360-800	>50	>250	$1 \leq 1.4 - 0.4 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.2$	$1.1 \cdot (T_C^*)^{-0.2}$
C	180-360	15-50	70-250	$1 \leq 1.7 - 0.6 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.5$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	< 180	<15	<70	$0.9 \leq 2.4 - 1.5 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.8$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.5}$
E	< 20m di suolo classificabile come C o D su suolo di tipo A			$1 \leq 2 - 1.1 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.6$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.4}$

Figura 53 – Classificazione del sito mediante valore Vs30

Sito 1: Centro Sportivo Comunale



Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
3,00	3,00	250
15,50	12,50	345
48,50	33,00	775
348,50	300,00	880
∞	∞	1470
Vs₃₀ = 419 m/s		
SUOLO "B"		

Figura 54 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità Vs30

Sito 2: Scuola Elementare		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
2,50	2,50	220
20,50	18,00	380
155,50	135,00	835
∞	∞	1200
Vs₃₀ = 429 m/s		
SUOLO "B"		

Figura 55 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità Vs30

Sito 3: Scuola Materna		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
2,50	2,50	251
5,50	3,00	314
10,00	4,50	357
17,50	7,50	414
142,50	125,00	715
492,50	350,00	1200
∞	∞	1600
Vs₃₀ = 443 m/s		
SUOLO "B"		

Figura 56 – Tabella riassuntiva con i valori di velocità Vs30

Sito 4: Località Ghiaie		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
3,50	3,50	310
6,50	3,00	350
16,50	10,00	495



76,50	60,00	600
376,50	300,00	1200
∞	∞	1500
Vs₃₀ = 480 m/s		
SUOLO "B"		

Figura 57 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità Vs30

Sito 5: Località Sombreno		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
1,50	1,50	156
13,50	12,00	300
253,50	240,00	630
∞	∞	1050
Vs₃₀ = 396 m/s		
SUOLO "B"		

Figura 58 - Tabella riassuntiva con i valori di velocità Vs30



7.9 Verifica del fattore di amplificazione Fa

7.9.1 Verifica litologica

È stato poi verificato il valore di amplificazione in sito, utilizzando la procedura descritta nei *Criteri attuativi della L.R. 12/2005*.

Mediante il 2° livello di approfondimento quindi si individuano quelle aree dove la normativa nazionale non è sufficiente a salvaguardare dagli effetti dell'amplificazione sismica locale, ovvero quelle zone dove il fattore di amplificazione Fa calcolato è superiore al valore Fa di soglia fornito per il comune dal Politecnico di Milano.

In queste aree bisogna procedere con gli approfondimenti di 3° livello, oppure usare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore

In base ai dati ricavati dalle indagini indirette (H/V) sono stati calcolati il valore delle V_{s30} e il periodo proprio (T) per ogni colonna stratigrafica analizzata.

Il valore delle V_{s30} è stato calcolato utilizzando la seguente equazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\left(\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s_i}} \right)}$$

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 800 m/s 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.



Sempre in base ai dati ricavati dalle indagini indirette, si è associata ad ogni ambito di interesse la relativa scheda litologica di valutazione di riferimento, verificandone la validità in base all'andamento dei valori di Vs con la profondità.

Le schede litologiche associate sono risultate le seguenti:

Località	Tipologia scheda
Sito 1 (C.S. Comunale)	Limoso-sabbiosa tipo 2
Sito 2 (Scuola Elementare)	Limoso-sabbiosa tipo 2
Sito 3 (Scuola Materna)	Limoso-sabbiosa tipo 2
Sito 4 (Loc. Ghiaie)	Limoso-sabbiosa tipo 2
Sito 5 (Loc. Sombreno)	Limoso-sabbiosa tipo 2

È stato successivamente valutato lo spessore del primo strato per l'intervallo di periodo 0.1 – 0.5 s.



È stato così possibile calcolare il valore di F_a per gli intervalli di periodi 0.1 – 0.5 s e 0.5 – 1.5 s, individuando così i valori soglia del fattore di amplificazione in funzione della categoria di suolo e per i due intervalli di periodi.

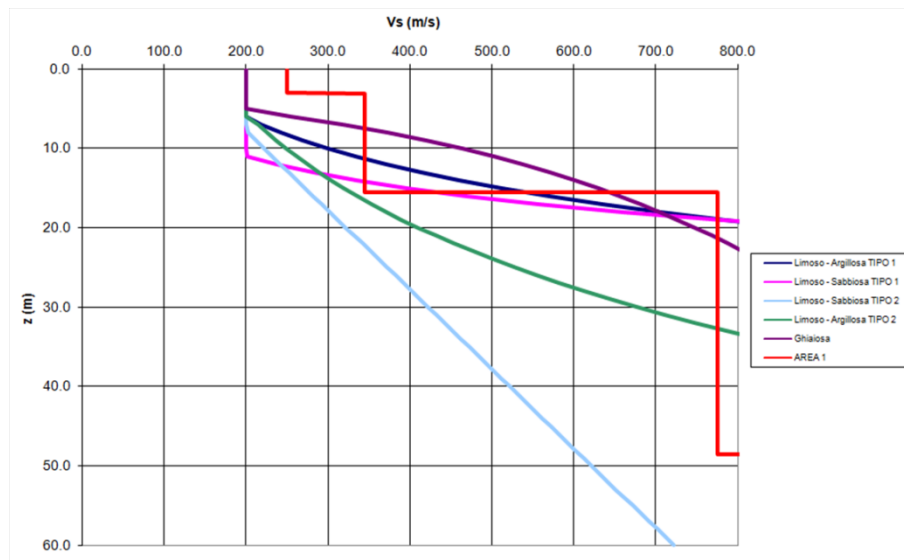
Tali valori sono stati confrontati con il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia, che rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito

Di seguito si allegano i calcoli relativi, che consentono di individuare le aree a diversa pericolosità sismica (H1 o H2) ed in modo particolare quelle in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a caratterizzare da un punto di vista sismico il territorio.

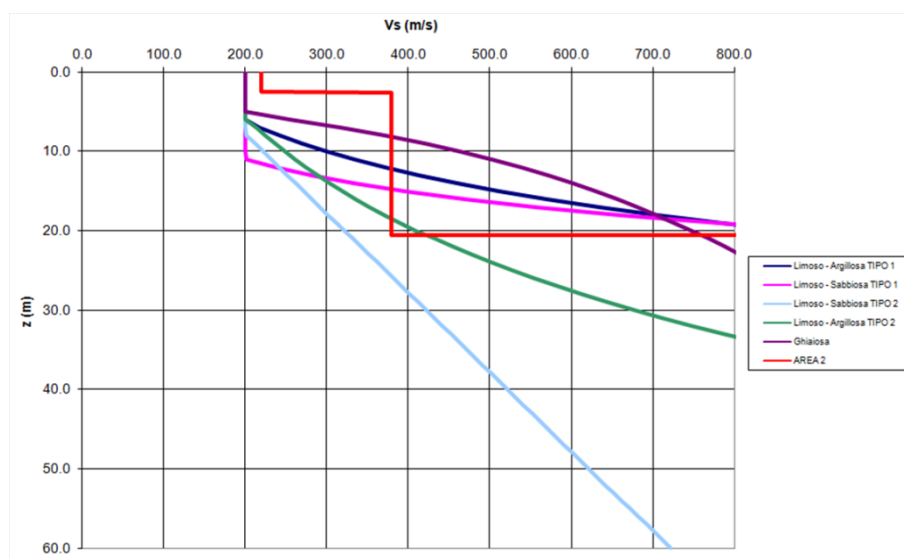


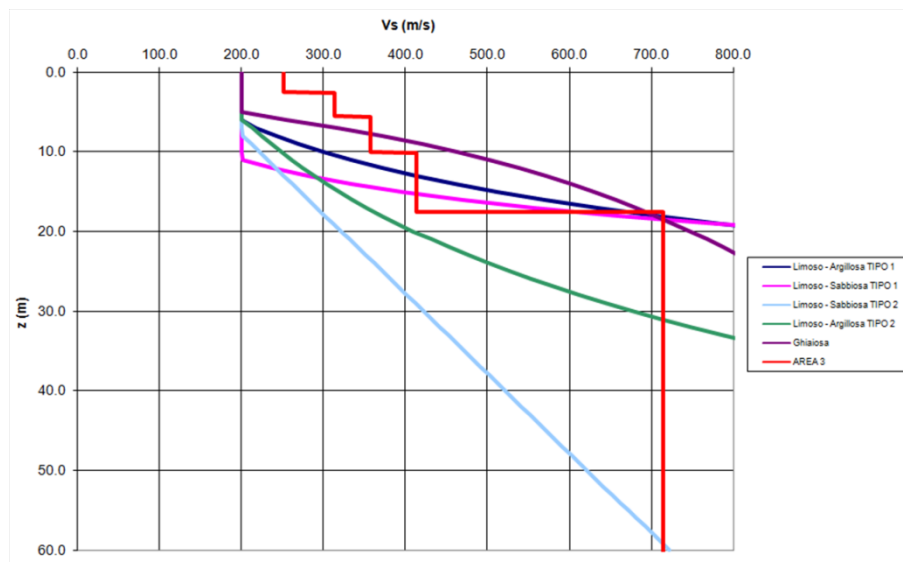
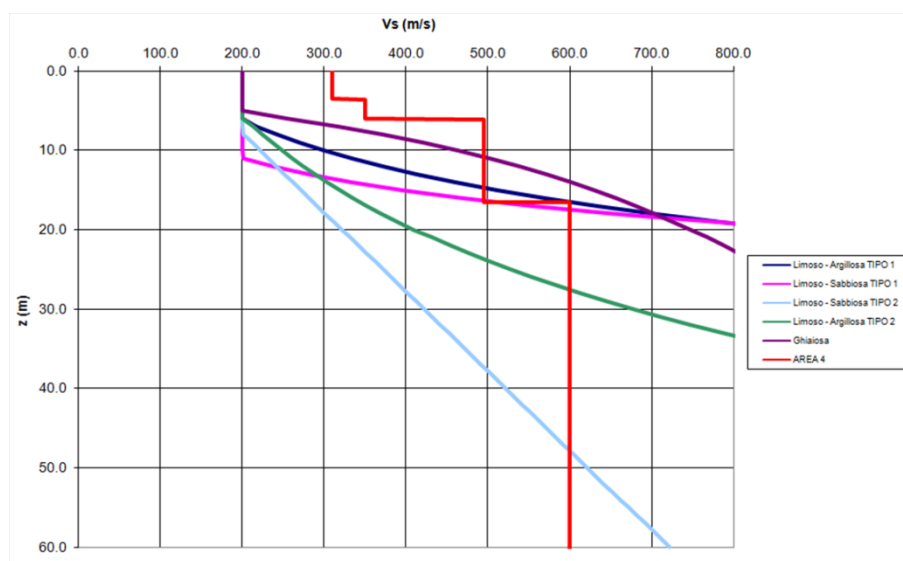
Associazione scheda litologica

Centro Sportivo Comunale

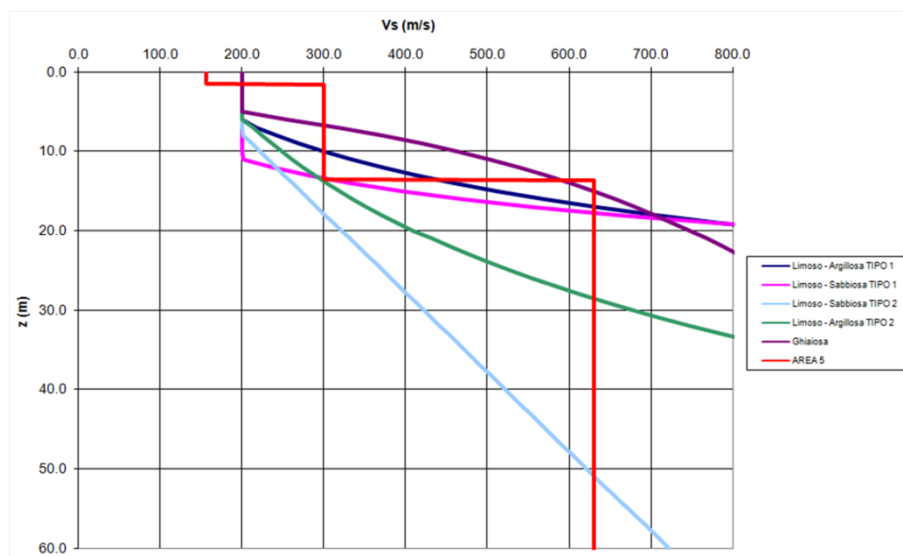


Scuola Elementare



Scuola Materna**Località Ghiaia**

Località Sombreno



Riassunto calcoli riferiti alla scheda litologica

Località	Vs30 [m/s]	Tipo suolo	T _{sito} [s]	T _{0,1 – 0,5}		T _{0,5 – 1,5}	
				Fa Calcolato	Fa soglia	Fa Calcolato	Fa soglia
C.S. Comunale	448,00	“B”	0,31	1,8	1,4	1,3	1,7
Scuola Elementare	428,00	“B”	0,23	1,6	1,4	1,2	1,7
Scuola Materna	443,00	“B”	0,85	1,6	1,4	1,5	1,7
Località Ghiaie	480,00	“B”	0,54	1,7	1,4	1,5	1,7
Località Sombreno	396,00	“B”	1,66	1,6	1,4	0,5	1,7

Dove:

V_{s30} = velocità onde di taglio

T_{sito} = periodo proprio del sito T

T_{0,1 – 0,5} = periodo riferito a strutture basse e rigide

T_{0,5 – 1,5} = periodo riferito a strutture alte e flessibili

Fa = fattore di amplificazione



Dai risultati dell'analisi condotta, si ricava che:

- per il periodo T compreso tra 0,5 e 1,5, le aree studiate presentano un valore di Fa inferiore al valore di soglia comunale, pertanto la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, e si applica lo spettro di valori previsto dalla normativa stessa;
- per il periodo T compreso tra 0,1 e 0,5, le aree studiate presentano un valore di Fa superiore al valore di soglia comunale, pertanto la normativa non è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, e di conseguenza i Professionisti dovranno eseguire l'analisi sismica di 3° livello sui singoli progetti, oppure utilizzare lo spettro di valori della categoria di suolo peggiore (C).

Sulla Carta della Pericolosità Sismica Locale, Tavola 2b, è riportata l'area in cui la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione sismica locale per il periodo $0,1 < T < 0,5$.

7.9.2 Amplificazione topografica

Come dimostrato all'interno della precedente variante del Piano, la scarpata morfologica del F. Brembo, ad ovest del territorio comunale, non ha caratteristiche sismiche di bedrock sismico. All'interno della precedente variante si era volutamente scelto di NON eseguire l'analisi topografica sulla scarpata, all'interno della presente variante si ritiene possibile eliminare completamente l'attribuzione in classe Z3 della scarpata, in accordo alle linee guida della d.g.r. 2616/2011.



Per quanto concerne creste e cucuzzoli è stato applicato il secondo livello nel territorio EST del Comune.

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 deve avere una Vs maggiore o uguale ad 800 m/s.

Nell'ambito delle creste si distinguono due situazioni:

- 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).

La valutazione del grado di protezione, per ambedue gli scenari (zona di scarpata e zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo), viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di Fa ottenuti dalle Schede di valutazione con il valore di St delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Tale valore St 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 Fa con la scheda di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di + 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare, quindi, due situazioni:

- il valore di Fa è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da



considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;

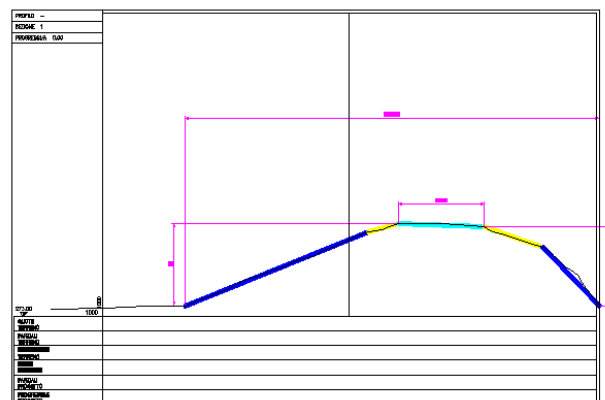
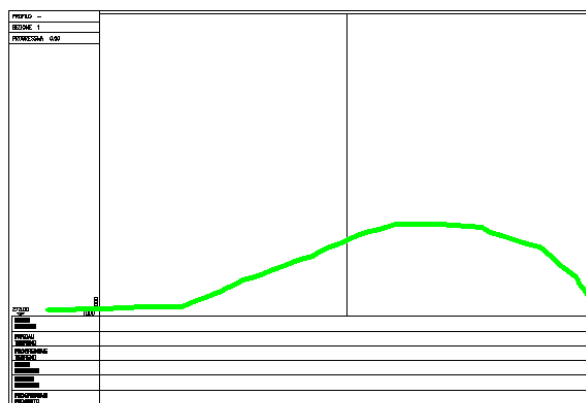
- il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia.

Per quanto concerne creste/cucuzzoli, tale tipologia è stata valutata attentamente nelle aree *interferenti con urbanizzato e/o urbanizzabile*, e in generale con classe di fattibilità diversa dalla classe 4.

Di seguito si riporta un'immagine con l'indicazione delle tracce delle sezioni.



SEZIONE 1



SEZIONE N° 1

Valori

L =	283	m
l =	59	m
H =	56	m
h =	54	m
$\alpha_1 =$	22	gradi (°)
$\alpha_2 =$	46	gradi (°)
$\beta_1 =$	17	gradi (°)
$\beta_2 =$	19	gradi (°)

CRESTA

$\alpha_1 \geq 10^\circ$	OK
$\alpha_2 \geq 10^\circ$	OK
$h \geq 1/3 H$	OK

CRESTA ARROTONDATA

$\beta_1 < 10^\circ$	NO
$\beta_2 < 10^\circ$	NO
$l \geq 1/3 L$	NO

CRESTA APPUNTITA

$l < 1/3 L$	OK
-------------	----

CRESTA APPUNTITA

Creste Appuntite

L > 350	Fa _{0.1-0.5} =	1,2
250 < L < 350	Fa _{0.1-0.5} =	1,2
150 < L < 250	Fa _{0.1-0.5} =	1,2
L < 150	Fa _{0.1-0.5} =	1,1

Creste Arrotondate

Fa 0.1-0.5 =	1,1
--------------	-----

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei risultati trovati con le relative soglie in

funzione del tipo di cresta e versante individuato.

Sezione [m/s]	T _{0,1 - 0,5}	
	Fa Calcolato	Fa soglia
1	1,2	1,4
2	1,1	1,2
3	1,2	1,2
4	NO CRESTA	-
5	1,1	1,2
6	1,2	1,2
7	NO CRESTA	-
8	1,2	1,2

In generale, dalle analisi effettuate, si riscontra che per buona parte del territorio il valore di Fa è inferiore o uguale al valore di soglia limite.

Per tali aree, viste le approssimazioni di calcolo, gli scriventi ritengono che la normativa risulti quindi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica.



8 CONCLUSIONI

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Paladina è stato redatto il presente Adeguamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della Legge Regionale n. 12 del 11-03-2005 a seguito della Variante N. 2.

Le modifiche introdotte rispetto allo studio precedente sono.

- Integrazione dell'ambito di pericolosità del reticolo secondario collinare montano del torrente Quisa (P.G.R.A.) e conseguente aggiornamento della cartografia dedicata.

Lo studio si compone di:

- Relazione Tecnica,
- Norme Tecniche di Attuazione
- Carta del Dissesto con legenda uniformata P.A.I. - P.G.R.A.
- Carta della Pericolosità Sismica Locale
- Carta della Pericolosità Sismica Locale di 2° Livello
- Carta dei Vincoli
- Carta di Sintesi
- Carta della Fattibilità per le azioni di piano
- Carta della Fattibilità per azioni di piano per aggiornamento mosaico regionale



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

In generale, si tratta di un territorio abbastanza variegato, che racchiude in sé i caratteri tipici dell'alta pianura bergamasca con morfologie prettamente fluviali, conservando però anche elementi geomorfologici tipici dei rilievi della Flessura Pedemontana.

La geologia è caratterizzata nel comparto collinare dalla presenza di substrato terziario flyschoidale, a cui si sovrappongono e giustappongono depositi superficiali prevalentemente di origine alluvionale.

Le problematiche connesse ai dissesti sono contenute. A livello di frane, sussistono in pratica solamente i fenomeni di crollo diffuso lungo la scarpata fluviale a est del Canale Legler. Si riscontrano poi un conoide attivo a sud-est di Sombreno ed una serie di aree a pericolosità di esondazione torrentizia lungo il Torrente Quisa. Il quadro dei dissesti è stato aggiornato tenendo conto di queste problematiche.

Dal punto di vista delle problematiche idrauliche, oltre al Torrente Quisa sono da tenersi in considerazione le fasce fluviali individuate lungo il Fiume Brembo dall'Elaborato 8 del P.A.I. e le nuove e più recenti individuate con il P.G.R.A..

Vi sono, infine, problematiche di vulnerabilità idrogeologica sul terrazzo fluviale di 1° ordine del Brembo ed ambiti di criticità per scadenti caratteristiche geotecniche sia sui colli, sia nella parte nord del comune, dove si trovano terreni prevalentemente limoso-argillosi legati al Bacino Lacustre di Petosino.

Si ribadisce la necessità di rispettare le norme di polizia idraulica e le fasce di rispetto (che devono sempre essere valutate puntualmente sul terreno mediante rilievi topografici) per tutti i corsi d'acqua appartenenti al Reticolo Idrico Principale ed al Reticolo Idrico Minore.

Per gli ambiti a vulnerabilità idrologica - individuati con lo studio di dettaglio



eseguito sul T. Quisa lo scrivente ritiene che non possa essere applicata la recente normativa di recupero ed utilizzo abitativo dei piani seminterrati.

Per l'applicazione delle fasce di rispetto riportate nella Carta dei Vincoli hanno valore indicativo; occorre sempre far riferimento allo studio del Reticolo Idrico Minore, realizzato dallo scrivente contestualmente al presente studio.

La cartografia di proposta nasce dall'attenta valutazione di tutti gli elementi di criticità riassunti nelle tavole di vincolo e di sintesi (che tengono conto, a loro volta, della cartografia tematica di inquadramento). Le carte di fattibilità delle azioni di piano, infatti, stabiliscono le attitudini dei diversi ambiti territoriali nei confronti dei futuri interventi urbanistici. Per la realizzazione di queste carte e, di concerto, delle norme geologiche di piano, si è scelto un approccio fortemente legato alla normativa vigente ed agli strumenti di pianificazione sovraordinata, suddividendo le classi di fattibilità in numerosi ambiti, ad ognuno dei quali sono associate una o più norme in base alle criticità riscontrate ed alle limitazioni esistenti (ad esempio, perimetrazioni P.A.I.).

Nei prossimi anni sarà infatti importante valutare con molta attenzione la sostenibilità territoriale di eventuali ulteriori espansioni insediative. Si dovrà considerare la disponibilità della risorsa primaria, l'acqua, che rappresenta in ogni caso un fattore di criticità: le falde sotterranee e le opere di captazione, infatti, necessitano sempre di adeguate politiche di tutela.

Di concerto, sarà necessario tenere conto delle aree caratterizzate da proprietà geotecniche scadenti, frane da crollo, esondazioni ed erosioni dei corsi d'acqua, fenomeni di trasporto in massa (conoidi), fasce fluviali. In linea di massima, l'espansione urbanistica dovrebbe di principio concentrarsi sulle aree contraddistinte dal grado di criticità geologica più basso possibile, quali per esempio le zone ricadenti in classe di fattibilità 2.

Significativa dovrà peraltro essere l'attuazione di politiche di valorizzazione (o eventuale recupero) di aree caratterizzate da un elevato valore paesaggistico e naturalistico. Sono certamente da citare, tra gli ambiti più significativi del territorio e



degni della maggiore attenzione, il comparto collinare e la scarpata fluviale lungo il Canale Legler.

Nella progettazione ed esecuzione di qualsiasi intervento pubblico o privato, occorrerà attenersi scrupolosamente a tutte le norme geologiche stabilite dal presente studio, sia per quanto concerne le indagini geologico-geotecniche richieste caso per caso, sia per quanto attiene alle prescrizioni tecniche, ai divieti ed agli accorgimenti costruttivi, anche in termini di normativa sismica. Si ricorda poi che la Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano deve sempre essere consultata di concerto con le altre cartografie di proposta, in particolare la Carta di Sintesi e la Carta dei Vincoli, poiché determinati vincoli normativi (quali ad esempio le fasce di rispetto dei corsi d'acqua, i dissesti puntuali non perimetrati, le aree di salvaguardia delle captazioni idropotabili, i geositi, ecc.) sono riportati solamente su queste carte. Si rammenta anche che le norme di piano contenenti articoli stralciati da strumenti legislativi esterni (quali ad esempio le norme di attuazione del P.A.I. per i dissesti e le valanghe) devono sempre essere controllate utilizzando le versioni vigenti di tali strumenti, poiché non si può escludere che essi possano essere, in futuro, sottoposti a modifiche, integrazioni o variazioni rispetto ai testi attuali. Gli articoli di legge esterni riportati nel presente documento rappresentano dunque un riferimento legislativo utile per una rapida ed efficace consultazione, ma devono sempre essere verificati con gli strumenti legislativi originali.



9 BIBLIOGRAFIA

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

1. Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici e loro varianti (Dott. Geol. Ermanno Dolci, 2001).
2. Carta Geologica della Provincia di Bergamo e relative Note Illustrative (Provincia di Bergamo, 2000).
3. Mosaico informatizzato degli studi geologici comunali della Regione Lombardia, consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it.
4. Inventario dei Fenomeni Franosi della Regione Lombardia, consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it.
5. Criteri attuativi L.R. 12/2005 per il Governo del Territorio – Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio (Bollettino Ufficiale Regione Lombardia n. IX/2616 – del 30 novembre 2011 e successive integrazioni).
6. Atlante dei dissesti P.A.I. e delle fasce fluviali, consultabile su www.adbpo.it.
7. Direttiva 2007/60 CE "Alluvione".
8. Studio idraulico del Torrente Quisa.

