

COMUNE DI CASTIONE DELLA PRESOLANA

PROVINCIA DI BERGAMO

COMMITTENTE

Amministrazione comunale di Castione della Presolana

Piazza Roma 3 – 24020 Castione della Presolana (BG)

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

DOCUMENTO DI PIANO E PIANO DELLE REGOLE

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

(art. 57 della LR 12/2005 e DGR IX/2616/2011)

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Ottobre 2020

RESPONSABILE DELLE PRESTAZIONI

ERA

Via Promessi Sposi 24 b – 24127 Bergamo (BG)
Email mail4info@era.cc – Tel/Fax +39 035.265.2801

Geol. Umberto Locati



INDICE

1. PREMESSA	5
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CLIMATICO.....	9
2.1 Inquadramento territoriale.....	9
2.2 Caratterizzazione climatica.....	10
2.2.1 Precipitazioni	10
2.2.2 Temperature	13
2.2.3 Anemometria.....	14
2.2.4 Precipitazione di breve durata e forte intensità.....	16
3. FASE DI ANALISI	19
3.1 Elementi strutturali e geologici	19
3.1.1 Assetto strutturale.....	19
3.1.2 Inquadramento geologico	21
3.1.2.1 Substrato roccioso.....	21
3.1.2.2 Depositi neogenico – quaternari.....	26
3.2 Elementi geomorfologici e di dinamica geomorfologica	33
3.2.1 Ricerca storica su eventi franosi ed alluvionali.....	36
3.2.2 Lineamenti geomorfologici e di dinamica geomorfologica	38
3.3 Elementi idrografici ed idrogeologici	40
3.3.1 Acque superficiali	40
3.3.2 Acque sotterranee.....	42
3.3.3 Lineamenti idrogeologici ed idrografici	44
3.3.3.1 Classi di permeabilità delle unità cartografate	45
3.4 Pericolosità sismica	47
3.4.1 Inquadramento sismotettonico e sismogenetico	49
3.4.2 Sismicità storica e strumentale	51
3.4.3 Macrozonazione sismica.....	54
3.4.4 Analisi e valutazione degli effetti sismici locali: aspetti metodologici	54
3.4.4.1 Generalità.....	54
3.4.4.1.1 Effetti di amplificazione sismica locale	56
3.4.4.1.2 Effetti di instabilità.....	56
3.4.4.2 Analisi e valutazione degli effetti sismici secondo la normativa regionale.....	56
3.4.4.2.1 Primo livello	57
3.4.4.2.2 Secondo livello	58
3.4.4.2.2.1 Amplificazione litologica.....	59
3.4.4.2.2.2 Amplificazione topografica	66
3.4.4.2.3 Terzo livello (fase di progettazione)	69
3.4.4.2.3.1 Effetti di instabilità	70
3.4.4.2.3.2 Effetti di cedimenti e/o liquefazioni	71
3.4.4.2.3.3 Effetti di amplificazione morfologica e litologica	72
3.4.5 Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito: valutazione del contesto comunale	74
3.4.5.1 Primo livello	74
3.4.5.2 Secondo livello	74
3.4.5.2.1 Approfondimenti negli scenari Z3	75
3.4.5.2.2 Approfondimenti negli scenari Z4	77
3.4.5.2.3 Sintesi degli aspetti di amplificazione sismica locale	93
4. FASE DI SINTESI / VALUTAZIONE.....	94
4.1 Sintesi dei vincoli a carattere geologico.....	94
4.1.1 Vincoli di polizia idraulica di cui al c. 114, Art. 3 della LR 1/2000 e smi – DGR X/7581/2017 e smi.....	94
4.1.2 Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile	94
4.1.3 Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/1989	95
4.1.4 Vincoli derivanti dal PTR	96
4.1.5 Geositi	96
4.2 Sintesi degli elementi tecnici.....	96
5. FASE DI PROPOSTA.....	100
5.1 Fattibilità geologica delle azioni di piano	100
5.2 Carta del dissesto con legenda uniformata PAI	106

5.2.1	Analisi del vigente quadro del dissesto con legenda uniformata PAI e modifiche apportate	109
5.2.1.1	Aree oggetto di studi di dettaglio per la ripermetrazione.....	109
5.2.1.2	Modifiche apportate in aree non oggetto di precedenti studi di dettaglio.....	110
5.2.1.2.1	Frane inserite nello studio 2016	110
5.2.1.2.2	Frane non inserite nello studio 2016.....	116
5.2.1.2.3	Trasporto in massa su conoidi	119
5.2.1.2.4	Esondazioni e dissesti morfologici a carattere torrentizio	123
5.2.1.2.5	Aree valanghive	123
APPENDICE UNO		124
Documentazione consultata		124
APPENDICE DUE		127
Indagini sismiche per la definizione della pericolosità sismica locale		127
MASW A.....		127
MASW B.....		127
MASW C.....		128
MASW D.....		128
HVSr E.....		129
HVSr 1.....		130
HVSr 2.....		132
HVSr 3.....		134
HVSr 4.....		136
HVSr 5.....		138
HVSr 6.....		140
HVSr 7.....		142
HVSr 8.....		144
HVSr 9.....		146
HVSr 10.....		148
HVSr 11.....		150
HVSr 12.....		152
HVSr 13.....		154

Tavole allegate

ID	Oggetto	Scala
GEO_01	Lineamenti geologici	1:10.000
GEO_02	Lineamenti geomorfologici	1:10.000
GEO_03	Lineamenti idrologici ed idrogeologici	1:10.000
GEO_04	Pericolosità sismica locale (PSL)	1:10.000
GEO_05	Vincoli a carattere prettamente geologico	1:10.000
GEO_06 – NO	Sintesi degli elementi di pericolosità	1:5.000
GEO_06 – NE		
GEO_06 – SO		
GEO_06 – SE		
GEO_07 – NO	Fattibilità delle azioni di piano	1:5.000
GEO_07 – NE		
GEO_07 – SO		
GEO_07 – SE		
GEO_08	Fattibilità delle azioni di piano su carta tecnica regionale	1:10.000
GEO_09	Cartografia del dissesto con legenda uniformata PAI	1:10.000

Allegati

ID	Oggetto
Allegato 01	Norme Geologiche di Piano (NGdP)



Gestione dei diritti (Rights Management)

CC – BY – NC – SA

REVISIONE	DATA	OGGETTO
00	Ottobre 2020	Emissione
01		
02		
03		

Estratto da metadata standard ISO15836 / Dublin Core (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>)

Il presente documento è costituito da 155 pagine.

Le leggi e le altre normative menzionate in questo documento ed eventuali allegati sono fornite al solo scopo informativo ed elaborate per un inquadramento tecnico dell'incarico; non costituiscono in alcun modo parere o raccomandazione legale.

ERA risponde unicamente sulla rispondenza del presente documento agli obiettivi descritti in premessa e/o meglio precisati nell'atto di affidamento dell'incarico. La responsabilità per l'utilizzo delle valutazioni / dati contenuti nel presente documento per qualsiasi altra finalità, ricade esclusivamente sull'utilizzatore dei dati stessi; pertanto non si assume alcuna responsabilità per eventuali danni sofferti, risultanti da decisioni intraprese e/o azioni eseguite da terze parti sulla base dei contenuti del presente documento ed eventuali allegati.

Le valutazioni riportate nel presente documento sono basate su informazioni acquisite o disponibili in conseguenza dell'affidamento dell'incarico e sono condizionate dai limiti imposti dalla tipologia e dalla consistenza dei dati utilizzabili, dalle risorse disponibili, nonché dal programma di lavoro concordato con il Committente.

1. PREMESSA

Il Comune di Castione della Presolana è dotato di Piano di Governo del Territorio approvato con deliberazione di Consiglio 43/2016 ed efficace dal 16/11/2016 a seguito della pubblicazione sul Bollettino ufficiale della Regione Lombardia dello specifico avviso.

Lo studio geologico del 2016 a firma del geol. M. Marella è stato redatto ai sensi della DGR IX/2616/2011 mediante integrazione, per gli aspetti sismici, del precedente studio geologico realizzato da ECOGEO nel 2002 (attuato sulla base della DGR VI/37918/1998 e della DGR VII/7365/2001) che a sua volta ha ripreso lo studio geologico realizzato da GEOTER nel 1995 (attuato sulla base delle indicazioni della DGR V/36147/1993).

In sede di applicazione del vigente PGT e relativamente alla componente geologica, idrogeologica e sismica, si sono evidenziate alcune criticità sia derivanti dall'incongruenza tra effettivo assetto geologico – geomorfologico di alcune porzioni del territorio comunale e le derivate carte di pericolosità e vulnerabilità (questo fatto ha comportato anche la necessità di predisposizione di studi di dettaglio ai sensi del punto 1.3 della DGR IX/2616/2011), sia legate all'incongruente vincolistica stabilita nello studio geologico con gli elementi di pericolosità e vulnerabilità dallo stesso identificati.

Al fine di ovviare a tali criticità, anche con l'ausilio delle esperienze applicative relative al vigente studio geologico, si è avviata nell'ambito di una variante al PGT anche una revisione integrale della sua componente geologica, idrogeologica e sismica. Tale revisione non ha coinvolto le aree già ricomprese negli studi di dettaglio valutati positivamente dalla Regione Lombardia ma ne ha fatto propri gli esiti, opportunamente adeguandoli al contesto ed estendendone le risultanze ove ciò fosse possibile.

Rispetto alle sopravvenute norme per la prevenzione del dissesto idrogeologico, si evidenzia come nella presente revisione è integrato l'aspetto del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA), attuato a livello regionale mediante DGR X/6738/2017, non presente nello studio geologico del 2016; inoltre nella presente revisione viene effettuato anche un raccordo, per quanto possibile, con le previsioni del RR 7/2017 e smi sull'invarianza idraulica.

La DGR IX/2616/2011, presa come riferimento per la revisione dello studio geologico, che sostituisce le previgenti DGR VIII/7374/2008 e DGR VII/1566/2005 è intervenuta essenzialmente sulle modalità di ripermimetrazione delle aree in dissesto contenute nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) e delle aree a rischio idrogeologico molto elevato (cosiddette "aree 267"), individuando anche una casistica per cui non è possibile procedere a ripermimetrazioni delle predette aree, oltre a ridefinire i criteri per la valutazione della pericolosità nelle aree soggette ai diversi fenomeni di dissesto.

La DGR IX/2616/2011 ha anche recepito in modo organico le disposizioni nazionali in campo sismico previste dal DM 14 gennaio 2008 (NTC08) ora sostituite dal

DM 17 gennaio 2018 (NTC18), già in parte introdotte dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274/2003 inerentemente l'aspetto di prevenzione del rischio sismico e fatte proprie dalla Regione Lombardia con DGR VII/14964/2003.

Riguardo all'aspetto sismico occorre evidenziare che nella DGR VII/14964/2003 era semplicemente trascritta l'iniziale proposta di classificazione dei comuni effettuata nell'OPCM 3274/2003; la previsione della DGR VII/14964/2003 è stata però revisionata con DGR X/2129/2014 la cui entrata in vigore è stata differita al 10 Aprile 2016 ai sensi della DGR X/2489/2014 e della DGR X/4144/2015: secondo la DGR X/2129/2014 il Comune passa da Zona Sismica 4 a Zona Sismica 3. Questo cambiamento di zona impone, in ambito di pianificazione comunale, di attuare il secondo livello di cui al punto 1.4 della DGR IX/2616/2011 che è relativo alla caratterizzazione semi – quantitativa degli effetti di amplificazione. Considerando che nello studio geologico del 2016 la valutazione di secondo livello era basata su un numero esiguo di indagini, si sono conseguiti ulteriori dati sismici sitospecifici derivanti da una campagna specificatamente realizzata e si sono meglio definite le zone omogenee del territorio comunale (microzonazione sismica) alle quali associare elementi e prescrizioni da utilizzare nella progettazione di nuove opere e messa in sicurezza di quelle esistenti.

Al fine di garantire la coerenza interna della documentazione inerente la componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT, si è operato l'aggiornamento di tutti gli elaborati, anche al fine di introdurvi le più recenti conoscenze relative al territorio comunale.

Per la redazione dell'aggiornamento dello studio geologico si è quindi proceduto secondo lo schema metodologico stabilito dalla DGR VIII/2616/2011, suddividendo le attività in tre fasi: (1) fase di inquadramento / analisi (inclusa la pericolosità sismica), (2) fase di sintesi/valutazione e (3) fase di proposta; rispetto ai documenti che compongono il PGT, ai sensi dell'art. 57 della LR 12/2005 gli elaborati della prima fase sono parte integrante del Documento di Piano, quelli delle ultime due fanno parte del Piano delle Regole.

Nell'aggiornamento si sono realizzati i seguenti elaborati della fase di inquadramento / analisi:

- 1) cartografia riportante i *lineamenti geologici* del territorio comunale in scala 1:10.000. In quest'elaborato sono riportate le informazioni di carattere geologico (natura litologica dei terreni, assetto giaciturale / strutturale delle unità e rapporti reciproci) del territorio comunale. Le informazioni riportate sono state ricavate dalla bibliografia esistente (con particolare riferimento al CARG ed alla carta geologica della Provincia di Bergamo), opportunamente valutate / integrate da specifici rilievi;
- 2) cartografia riportante i *lineamenti geomorfologici* del territorio comunale in scala 1:10.000. In quest'elaborato sono riportate le informazioni di carattere geomorfologico (forme riconoscibili e stato di attività dei processi responsabili della morfogenesi) del territorio comunale mediante osservazioni originali e valutazioni della bibliografia esistente (con particolare riferimento alle informazioni contenute nel SIT Regionale);

- 3) cartografia riportante i *lineamenti idrologici ed idrogeologici* del territorio comunale in scala 1:10.000. In quest'elaborato sono riportate le caratteristiche di permeabilità superficiale dei terreni, le aree esondabili individuate su base morfologica o, quando disponibili, in base a modellizzazioni, l'ubicazione delle sorgenti perenni e le aree di protezione idrogeologica. Sono poi riportate le fasce di rispetto delle opere per captazione d'acqua asservite a sistemi acquedottistici per uso umano (pozzi e sorgenti) e la classificazione dei corsi d'acqua ai sensi dell'art. 3, c. 114 della LR 1/2000;
- 4) Come previsto dalla DGR IX/2616/2011 è stata realizzata una cartografia riportante la *Pericolosità Sismica Locale (PSL)*, relativamente all'analisi di I livello, inerente l'intero territorio comunale ed in scala 1:10.000. Tale elaborato riporta anche l'ubicazione delle indagini sismiche disponibili e la sintesi delle valutazioni di II livello.

Le raccomandazioni regionali prevedono, ove possibile, la realizzazione di un elaborato *di prima caratterizzazione geotecnica* basato su dati bibliografici. Tale elaborato non ha potuto essere realizzato per via della limitatezza delle informazioni bibliografiche disponibili, come pure dalla notevole disomogeneità nella loro distribuzione sul territorio comunale.

Come previsto dalla DGR IX/2616/2011, si realizzati i seguenti elaborati della fase di sintesi:

- 5) cartografia riportante i la *sintesi dei vincoli normativi a carattere prettamente geologico*. Su tale cartografia, redatta per l'intero territorio comunale in scala 1:10.000, sono rappresentate le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati correlati alla prevenzione del dissesto idrogeologico;
- 6) cartografia riportante i la *sintesi degli elementi tecnici*. Su tale cartografia, redatta per l'intero territorio comunale in scala 1:5.000, sono individuate le aree caratterizzate da omogenei elementi di pericolosità geologico / geotecnica, idraulica ed idrogeologica; come previsto dalla DGR IX/2616/2011, gli elementi di pericolosità sono derivati esclusivamente dalla documentazione di analisi e non anche dalla trasposizione dei vincoli di cui all'elaborato precedente (salvo quelli derivanti dal PAI).

Si sono poi realizzati i seguenti elaborati della fase di proposta:

- 7) cartografia riportante la *fattibilità geologica delle azioni di piano* riprodotta in scala 1:5.000 per l'intero territorio comunale (la scala nominale di lavoro, relativamente agli areali edificati, di prevista edificazione e di aree contigue per una distanza significativa è stata in scala 1:2.000). Oltre all'individuazione degli areali a fattibilità omogenea secondo la suddivisione riportata nella DGR VIII/2616/2011 (classe 1, 2, 3 e 4), sono state individuate specifiche sottoclassi ai fini di individuare, nell'ambito di un unico elaborato, anche le problematiche tecniche che hanno contribuito a portare in una determinata classe un particolare areale. Questa scelta, sulla base di esperienze già effettuate, rende molto più facile la gestione e la lettura da parte dell'utente della

carta di fattibilità;

- 8) cartografia riportante la *fattibilità geologica delle azioni di piano* redatta per l'intero territorio comunale in scala 1:10.000.
- 9) cartografia riportante il *quadro del dissesto con legenda uniformata PAI*. Su tale cartografia, redatta per l'intero territorio comunale in scala 1:10.000, sono individuate le aree in dissesto di entità significativa, per la pianificazione a scala di bacino, ed i vari fenomeni di dissesto sono stati classificati e ricondotti alla casistica di cui al Titolo I delle NdA del PAI; al fine di ricomprendere in un unico elaborato tutta la vincolistica del PAI, su tale elaborato sono stati riportati anche i vincoli di cui al Titolo V delle NdA del PAI.

La fase di proposta è accompagnata anche dalla redazione di **specifiche Norme Geologiche di Piano (NGdP)**, contenenti la normativa d'uso della carta di fattibilità e le indicazioni a carattere sismico, nonché il richiamo alla normativa derivante dalla carta dei vincoli.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CLIMATICO

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il territorio comunale di Castione della Presolana ricade entro la Comunità Montana Valle Seriana Superiore e si estende su un'area di circa 42,5 km²; dal punto di vista geografico occupa un'ampia conca compresa tra le creste della Presolana e del Blum da un lato, quelle del Pora del Pizzo Formico dall'altro e posta tra la valle Seriana e la Valcamonica, una quarantina di chilometri a Nord di Bergamo.

Il comune confina ad est Angolo Terme (BS), a nord con Colere e Rovetta, a sud con Onore, Rogno, Songavazzo e a ovest con Fino del Monte (Figura 1).

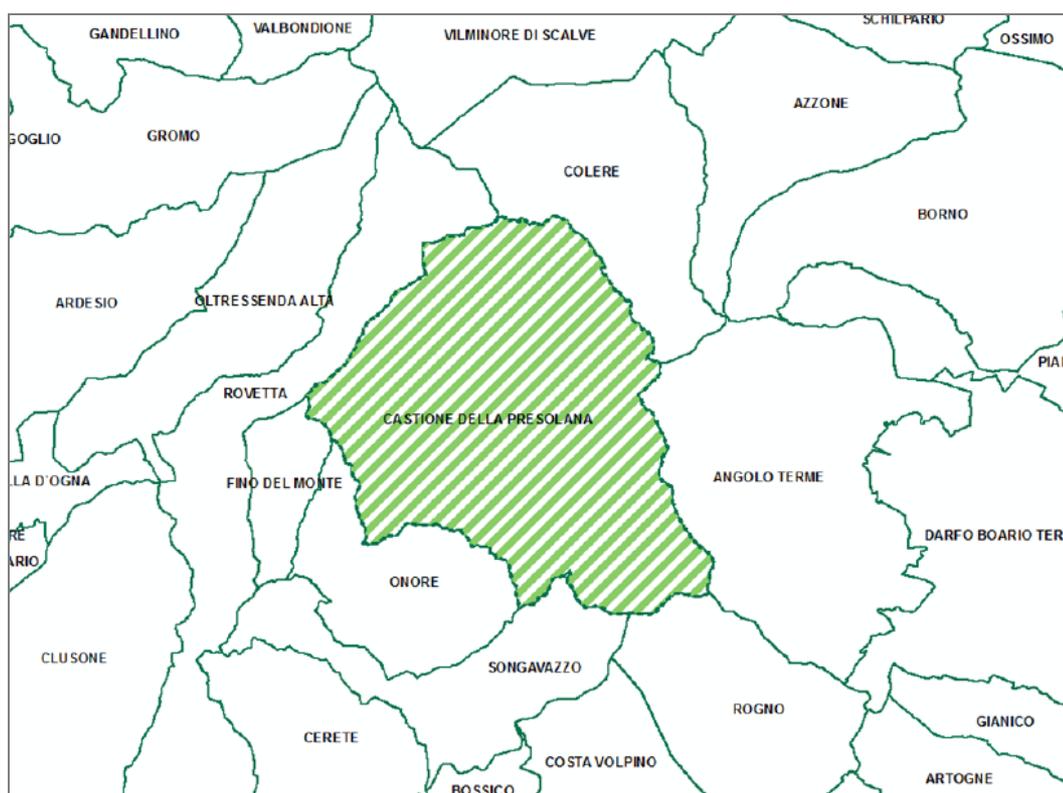


Figura 1: Inquadramento territoriale.

Il fondovalle di Castione ha quote comprese tra i 780 m ed i 1.080 m slm, mentre la corona di montagne che lo circondano raggiunge l'altitudine massima di 2.521 m sul Pizzo della Presolana.

I tratti geomorfologici del territorio e del paesaggio sono fortemente condizionati dalla componente litologico – strutturale. Nel settore nordoccidentale prevale il paesaggio rupestre "dolomitico" della Presolana, ubicato sopra pendii erbosi ed abetaie ubicati ai suoi piedi. Una quinta di rilievi rocciosi più bassi si frappone tra le frastagliate cime della Presolana e di Bares e il pianoro urbanizzato; è costituita dalla formazione della Dolomia Principale, che in questa zona è spesso molto fratturata, tanto da dar origine ad una morfologia di tipo calanchiva. A Sud della valle di Tede, invece, i pendii più dolci e prativi del versante settentrionale del monte Pora sono legati alla blanda inclinazione degli strati e alla presenza di roc-

ce più tenere ed erodibili.

Dal punto di vista idrografico, il territorio di Castione non appartiene al bacino del Serio, ma a quello dell'Oglio; infatti il torrente Gera, che scorre nella valle di Tede in direzione Est-Ovest, nel comune di Onore ruotando verso SO diviene torrente Valleggia e quindi a Cerete come torrente Borlezza scorre da Nord a Sud, per sfociare a Castro nel lago d'Iseo con il nome di Tinazzo.

Una intensa urbanizzazione, legata soprattutto alla villeggiatura e al turismo, ha determinato forti trasformazioni nella fascia subpianeggiante del terrazzo fluvio-glaciale.

La popolazione residente nel comune al 2018 ammonta a 3.419 abitanti, con una densità media di 80,3 abitanti/km².

2.2 CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA

2.2.1 Precipitazioni

Il comune di Castione della Presolana si inserisce all'interno di un territorio le cui principali caratteristiche fisiche sono la spiccata continentalità dell'area, il debole regime del vento e la persistenza di condizioni di stabilità atmosferica.

Dal punto di vista dinamico, la presenza della barriera alpina influenza in modo determinante l'evoluzione delle perturbazioni di origine atlantica, determinando la prevalenza di situazioni di occlusione e un generale disaccoppiamento tra le circolazioni nei bassissimi strati e quelle degli strati superiori. Tutti questi fattori influenzano in modo determinante le capacità dispersive dell'atmosfera e quindi le condizioni di accumulo degli inquinanti, soprattutto nel periodo invernale, ma anche la presenza di fenomeni fotochimici nel periodo estivo.

Il clima è, pertanto, di tipo continentale, ovvero caratterizzato da inverni piuttosto rigidi ed estati calde. Le precipitazioni di norma sono poco frequenti e concentrate in primavera ed autunno, mentre la ventilazione è scarsa in tutti i mesi dell'anno. Durante l'inverno il fenomeno di accumulo degli inquinanti è più accentuato, a causa della scarsa circolazione di masse d'aria al suolo. La temperatura media è piuttosto bassa e l'umidità relativa è generalmente molto elevata.

Il clima di Milano, di cui sono noti i parametri termopluviometrici sin dal 1763 – 64, nel corso di questi ultimi 243 anni ha mostrato alcune fluttuazioni abbastanza significative. Esse indicano un periodo più freddo tra il 1830 ed il 1860, a cui è seguito un costante aumento della temperatura, che nell'ultima decade è superiore di 1,3°C rispetto alla media secolare. Queste variazioni fanno seguito alle fluttuazioni climatiche naturali, seguite al termine della "Piccola Era Glaciale" (1550 – 1750), caratteristiche della nostra era, ed alle variazioni di origine antropica conseguenti all'aumento della superficie edificata dell'area urbana milanese.

Dagli anni 1940 – 50 fino agli anni 1970 – 80 questa tendenza si è in parte bloccata: infatti, gli inverni hanno ripreso ad essere più rigidi e le estati più calde, successivamente negli anni 1960 – 70 gli inverni hanno continuato ad essere sempre più miti, ma le estati più fresche, mentre dal 1970 gli inverni rigidi sono diventate delle eccezioni e le estati tornano sempre più torride, oltre che afose.

Ne consegue una maggiore variabilità stagionale e, in definitiva, un peggioramento, dal punto di vista ambientale, delle condizioni climatiche.

La tropicalizzazione del clima è sempre più evidente ed è confermata anche dalla variazione del regime pluviometrico, che a fronte di una stazionarietà delle precipitazioni invernali e ad una diminuzione delle precipitazioni primaverili ed autunnali, mostra un incremento dell'intensità delle precipitazioni estive di breve durata e forte intensità, accompagnate da forti venti.

Un primo riferimento per la stima delle precipitazioni medie relative dell'area in esame è la *Carta delle precipitazioni medie annue relative al periodo 1881 – 1990*, redatta a cura della Regione Lombardia, di cui la Figura 2 rappresenta uno stralcio del settore in cui ricade il territorio; il rettangolo in rosso indica la posizione approssimativa dell'area comunale, caratterizzato da precipitazioni medie annue intorno ai 1200 – 1400 mm annui.

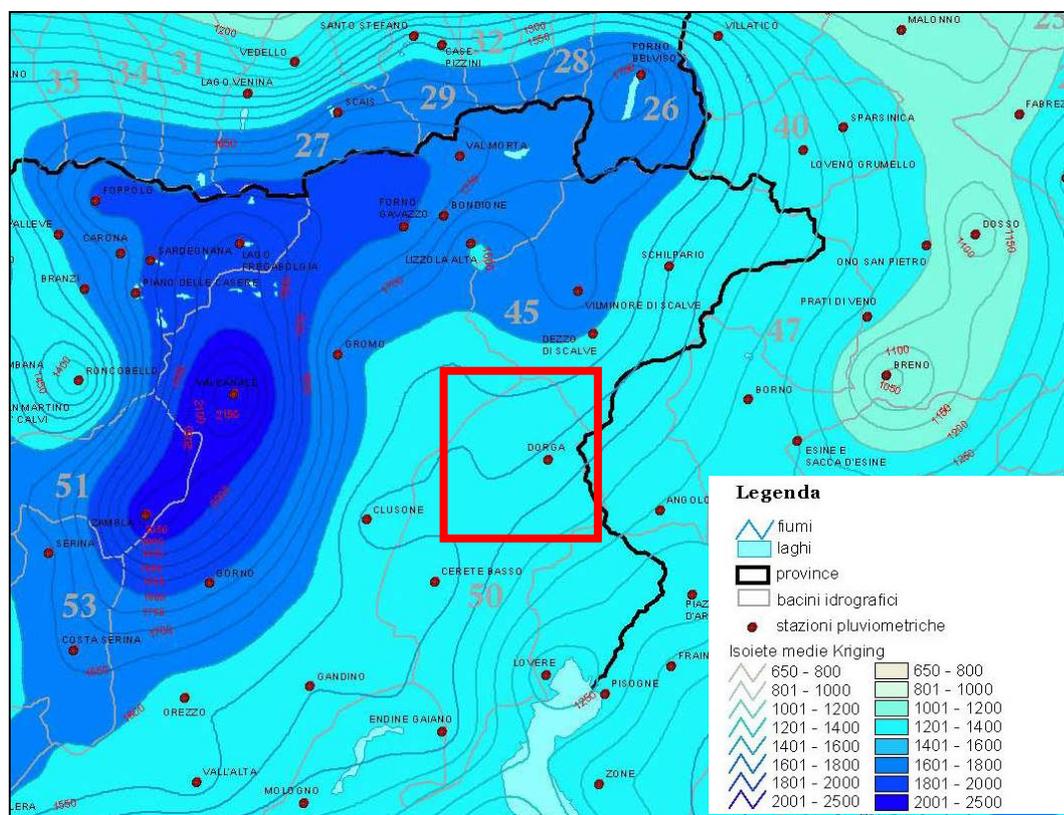


Figura 2: Carta delle precipitazioni medie annue del territorio in cui ricade il comune di Castione della Presolana (registrate nel periodo 1891 – 1990).

Nel territorio di Clusone dal 1951 al 1996 ha funzionato una stazione di rilevamento pluviometrico, i cui dati sono contenuti nella Banca Dati utilizzati per la stesura del PTUA. I dati completi sono riportati in Tabella 1.

Dall'analisi si ricava che la piovosità media annua nel periodo considerato è pari a 1.324,06 mm, in linea con quanto indicato in Figura 2 e che i massimi delle medie mensili si concentrano nei mesi di Ottobre (151,52 mm), Luglio (133,94 mm) Agosto (131,93 mm) e Maggio (129,90 mm).

Nel periodo considerato, l'anno più piovoso è stato il 1960 con 2063,60 mm di

pioggia mentre l'anno con precipitazione inferiore tra quelli con le registrazioni complete è stato il 1993 con 794 mm.

Anno	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Annuale
1951	163,60	281,80	157,20	146,80	114,80	176,00	156,40	126,00	147,80	56,80	449,60	49,60	2026,40
1952	14,40	31,00	46,80	221,00	159,40	79,40	99,80	149,20	163,80	303,20	58,20	30,40	1356,60
1953	12,20	9,00	0,00	69,00	10,40	51,40	206,40	229,40	148,80	478,60	19,00	34,00	1268,20
1954	14,40	8,60	170,80	87,60	220,00	230,20	107,00	189,00	72,40	78,20	92,00	177,00	1447,20
1955	52,00	103,00	79,20	11,20	122,60	92,20	219,60	150,20	132,80	97,60	69,80	43,80	1174,00
1956	79,60	9,00	148,60	284,40	90,20	169,80	210,00	123,60	141,40	45,00	54,60	6,00	1362,20
1957	93,00	127,00	33,20	75,00	172,80	229,80	203,00	113,40	53,40	146,20	202,40	146,00	1595,20
1958	15,00	105,20	27,20	184,60	82,40	178,20	133,20	115,60	66,40	166,40	61,80	230,60	1366,60
1959	40,80	9,40	213,20	204,00	140,60	178,60	261,80	149,80	67,00	232,00	222,80	231,80	1951,80
1960	142,80	45,00	65,80	40,40	234,40	192,00	163,00	216,60	287,40	385,60	129,20	161,40	2063,60
1961	117,20	11,40	0,00	137,20	135,00	227,00	153,20	53,40	14,00	176,60	185,20	66,80	1277,00
1962	100,40	31,00	92,20	171,40	118,40	136,80	80,20	35,80	50,60	75,80	112,20	45,40	1050,20
1963	86,20	31,40	91,20	145,00	131,20	153,00	166,40	237,20	123,20	54,60	378,60	57,80	1655,80
1964	23,80	40,80	147,80	102,60	87,60	136,80	101,80	129,00	14,40	224,80	81,40	73,20	1164,00
1965	89,20	6,20	129,00	33,00	135,00	112,00	143,00	145,00	323,00	50,00	135,00	79,00	1379,40
1966	7,40	74,00	13,80	184,80	91,40	86,20	208,80	170,00	14,00	315,60	205,40	104,20	1475,60
1967	8,60	42,20	132,20	143,00	121,00	127,80	112,00	150,60	161,60	71,60	260,80	7,20	1338,60
1968	8,60	211,60	41,80	105,80	119,80	133,00	84,00	153,20	112,60	60,60	112,00	38,80	1181,80
1970	70,40	11,00	86,80	139,40	65,00	73,60	59,60	104,20	65,80	52,00	302,80	109,00	1139,60
1971	118,00	33,60	150,00	67,00	221,00	190,00	132,60	76,80	47,00	19,40	191,60	50,00	1297,00
1972	67,20	138,20	137,60	190,40	130,20	208,30	147,60	105,00	61,40	89,00	31,60	103,20	1409,70
1973	65,20	20,20	12,00	126,60	47,80	188,40	277,80	160,60	118,40	148,80	44,20	56,40	1266,40
1974	26,80	90,80	84,20	131,20	99,60	231,60	70,00	126,40	142,20	108,20	102,20	6,20	1219,40
1975	164,80	59,80	161,80	128,60	209,00	135,80	115,80	219,60	183,60	97,00	112,00	65,20	1653,00
1976	1,00	34,60	17,40	174,60	34,60	56,40	258,80	201,80	409,40	361,20	158,40	62,00	1770,20
1977	191,40	172,20	195,60	94,80	297,60	136,80	197,00	341,40	96,60	226,00	46,20	62,00	2057,60
1978	0,00	57,60	127,40	212,00	125,80	152,60	45,40	10,80	103,20	25,00	140,20	100,00	1000,00
1979	198,40	72,00	237,00	169,20	49,60	2,40	2,60	195,80	214,80	322,00	110,60	135,40	1709,80
1980	20,60	9,80	117,40	22,60	174,20	152,40	81,40	26,60	29,40	312,60	21,20	1,80	970,00
1981	1,00	2,20	130,20	78,00	249,80	59,80	234,20	99,80	185,60	99,20	1,80	58,80	1200,40
1982		10,80	73,00	41,60	183,60		158,60	181,20	85,40	196,80	214,80	126,00	1271,80
1983	0,00	12,60	97,60	183,60		92,60	39,60	95,20	109,20	57,40	7,40	148,80	844,00
1984	20,00	27,00	127,00	74,60	351,80	104,00	45,60	143,20	138,00	156,80	109,80	103,80	1401,60
1985	120,00	4,60	199,40	91,20	164,80	118,40	121,80	136,40	38,80	33,20	101,60	68,00	1198,20
1986	60,60	55,60	13,60	184,80	111,40	17,20	67,00	135,60	72,80	10,20	53,00	4,80	786,60
1988	90,60	20,00	29,60	91,80	85,00	110,00	30,60	63,60	22,80	173,00	5,40	62,20	784,60
1989	3,40	152,20	69,20	370,20	126,60	187,80	161,00	64,40	56,20	19,60	64,00	83,40	1358,00
1990	65,40	1,40	18,80	204,00	144,00	160,20	84,80	125,00	43,60	192,20	224,80	78,60	1342,80
1991	46,60		109,40	61,00		124,60	151,20	26,20		148,20	146,00	2,60	815,80
1993	0,00	1,60	85,60	101,20	27,00	47,00	51,80	35,80	252,40	121,20	70,40	0,00	794,00
1996	119,40	37,80	1,80	48,80	54,40	36,00	39,80	62,20	66,60	146,00	107,80	141,00	861,60
Medie	61,46	52,33	92,75	128,03	129,90	128,03	133,94	131,93	110,86	151,52	123,97	79,33	1324,06

Tabella 1: Piovosità mensili alla stazione di Clusone nel periodo 1951 – 1996.

Il Grafico 1 evidenzia l'andamento dei dati di piovosità media mensile della stazione nel periodo di riferimento.

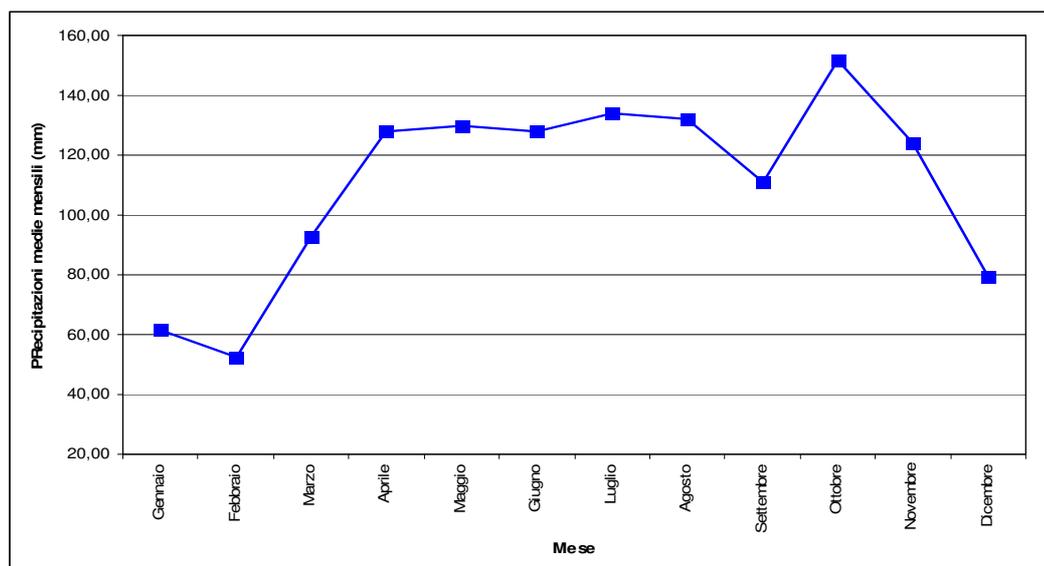


Grafico 1: Grafico dei dati di piovosità media mensile relativi alla stazione di Clusone (1951 – 1996).

Dati più recenti, ma con un periodo di registrazione più limitato, sono disponibili sul sito di Arpa Lombardia per alcune stazioni meteo, tra cui quella di Castione

della Presolana che è in funzione dal 2004 e che misura i dati di precipitazione, temperatura, altezza neve ed umidità relativa.

I dati di precipitazione della stazione, riportati in Tabella 2, evidenziano valori medi mensili ed annuali più elevati (fatto presumibilmente connessi alle diverse modalità di misura (da manuale ad automatizzata).

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giù	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Annua
2004	13.00	93.80	71.40	119.40	160.20	14.20	143.70	33.20	49.70	264.40	110.00	92.90	1 165.90
2005	9.10	5.20	50.30	144.50	112.30	70.40	105.10	114.90	196.30	98.80	66.30	71.50	1 044.70
2006	26.80	64.40	94.20	120.80	95.90	38.50	240.30	266.70	109.80	127.90	43.70	138.60	1 367.60
2007	63.80	28.90	49.70	56.10	104.40	32.60	0.00	0.00	0.00	27.10	171.40	11.10	545.10
2008	140.20	37.40	82.80	290.60	239.30	232.30	191.40	116.90	197.60	155.30	249.90	159.70	2 093.40
2009	114.10	125.20	148.50	195.60	66.20	261.00	290.30	140.60	106.50	77.10	235.50	340.50	2 101.10
2010	38.80	132.50	79.40	142.00	267.30	185.30	66.90	203.30	276.80	191.20	412.20	188.20	2 183.90
2011	79.60												
2012										143.00	76.00		
2013	40.60	54.80	146.00	264.40	282.80	158.80	151.80	145.60	98.00	329.00	137.60	188.80	1 998.20
2014	270.00	238.40	111.80	115.80	91.60	234.40	300.20	367.20	180.40	134.80	437.80	100.60	2 583.00
2015	78.40	55.60	10.40	52.40	154.60	118.80	84.80	160.60	154.60	222.80	0.60	0.00	1 093.60
2016	103.80	179.20	109.00	98.20	239.80	262.20	172.60	144.80	41.80	133.40	203.20	0.00	1 688.00
2017	11.40	146.60	118.60	114.40	178.00	289.00	61.00	93.80	217.60	17.00	88.00	147.40	1 482.80
2018	38.20	41.60	179.40	170.40	280.60	83.40	153.00	172.40	121.40	270.00	160.80		1 671.20
Medie	85.65	100.30	104.29	157.05	189.42	165.08	163.43	163.33	145.88	170.73	205.00	126.28	1 776.43

Tabella 2: Piovosità mensili alla stazione di Castione della Presolana nel periodo 2004 – 2018.

2.2.2 Temperature

Relativamente alle temperature, non esiste alcuna stazione meteo ubicata nelle vicinanze del territorio comunale che abbia una serie di dati di lungo periodo. Pur essendo ubicata in una valle differente, si riportano i dati della stazione meteo di Breno che presenta una serie completa tra il 1951 ed il 1986 (Tabella 3).

Anno	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1951	0,00	2,70	3,00	7,90	10,40	17,10	20,50	12,80	19,00	13,30	6,80	-1,10
1952	-5,30	-1,10	4,60	8,90	14,40	20,00	22,10	17,60	13,10	8,30	2,80	-1,00
1953	-3,70	-1,20	2,70	9,40	14,00	15,70	21,20	20,20	18,10	14,80	6,80	4,50
1954	-3,80	-1,30	5,40	5,80	10,60	14,10	16,00	15,90	12,80	5,30	3,20	-0,40
1955	-2,30	-1,80	-2,10	5,40	6,80	11,50	16,40	17,20	16,90	9,10	4,30	1,70
1956	2,90	-6,00	1,80	5,60	12,70	14,70	17,90	20,50	16,20	7,80	2,60	-1,30
1957	-0,70	2,50	5,60	8,40	10,20	16,00	18,10	16,90	14,00	9,50	5,00	-0,80
1958	-0,80	2,90	2,40	6,60	15,50	16,10	20,10	18,60	13,60	5,50	3,30	0,90
1959	-3,10	1,80	7,20	5,40	11,90	17,50	22,80	19,60	15,10	7,10	4,30	-0,30
1962	3,60	4,20	5,80	11,70	14,80	18,50	20,40	23,00	18,20	13,10	6,30	0,50
1963	-3,30	0,50	6,90	10,90	15,40	18,30	21,80	20,20	17,20	12,40	8,50	1,30
1964	1,10	4,10	6,30	12,10	17,40	21,10	22,60	20,00	17,70	11,50	7,10	2,80
1965	2,70	1,90	7,60	10,90	14,90	19,40	20,80	20,10	15,30	11,80	6,00	2,20
1966	-0,20	6,60	7,80	12,20	16,70	21,00	20,20	19,80	18,80	14,90	5,30	2,50
1967	1,80	4,10	9,80	11,30	17,80	19,30	23,50	21,20	17,30	13,90	8,20	1,80
1968	1,80	5,10	8,90	12,00	15,30	19,00	21,70	19,10	17,10	13,30	7,90	1,80
1969	1,90	1,40	6,30	10,40	16,50	17,20	21,00	18,90	16,50	12,70	6,40	-2,70
1970	1,30	2,60	5,70	6,70	10,30	17,00	19,10	17,80	15,10	7,80	4,60	-2,10
1971	-1,10	1,90	5,40	6,80	6,10	5,90	16,30	22,80	17,00	12,00	6,30	3,30
1972	3,10	6,90	10,60	12,10	16,00	18,70	20,60	20,30	15,10	11,90	6,90	2,70
1973	2,40	3,70	6,80	9,40	15,60	19,60	20,10	21,60	17,70	11,00	6,50	1,50
1974	4,20	6,10	8,20	10,80	14,60	17,00	20,70	21,50	17,30	7,60	6,90	4,60
1975	4,30	5,30	7,10	11,50	15,30	17,20	20,60	19,90	18,30	11,70	6,90	3,50
1976	2,70	4,70	6,30	11,40	15,70	19,90	21,10	17,90	14,60	12,70	7,20	2,60
1977	1,70	5,20	9,30	10,20	13,90	17,80	19,70	18,50	16,10	13,30	7,80	3,20
1984	2,40	3,00	6,20	10,90	11,90	17,80	21,40	20,20	16,00	12,40	7,80	3,70
1985	-1,70	2,60	6,70	11,10	15,00	18,00	22,80	21,50	19,20	13,90	5,40	4,60
1986	2,50	1,50	6,60	10,00	17,90	18,30	20,80	21,30	17,80	13,90	7,70	2,90
Media	0,51	2,50	6,03	9,49	13,84	17,27	20,37	19,46	16,47	11,16	6,03	1,53

Tabella 3: Temperature medie alla stazione di Breno nel periodo 1951 – 1986.

Dall'analisi dei dati si ricava che i mesi più caldi sono luglio e agosto, con temperature medie sul periodo in esame superiori ai 19°C, mentre quello più freddo è gennaio con una temperatura media inferiore ad 1°C.

Dati più recenti, ma con un periodo di registrazione più limitato, sono disponibili sul sito di Arpa Lombardia per la stazione meteo di Castione della Presolana; in Tabella 4 si riportano le registrazioni di tale stazione nel periodo 2005 – 2017.

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Annua
2004	-0.88	1.60	2.29	6.39	9.19	14.85	16.33	16.81	13.47	9.75	5.03	2.12	8.08
2005	0.21	-2.22	2.76	6.17	12.30	15.35	16.78	15.17	13.11	8.47	3.38	-1.12	7.53
2006	-1.54	-0.15	1.56	7.28	11.11	15.45	18.90	14.04	14.62	10.72	6.47	3.14	8.47
2007	3.70	3.41	4.93	10.60	12.27	14.58				7.28	4.09	1.81	6.96
2008	2.80	2.92	4.05	6.61	11.75	15.31	17.08	17.44	12.08	10.10	4.45	1.60	8.85
2009	0.37	0.57	4.22	8.48	14.00	14.78	17.07	18.42	14.18	8.90	5.45	0.39	8.90
2010	-1.57	-0.18	2.78	7.16	10.51	15.25	18.66	15.99	12.24	7.58	4.39	-1.00	7.65
2011	0.77	3.07	4.52	10.78	12.88	15.10	16.03	18.46	16.84				
2012											5.07	0.36	
2013	1.21	-0.90	1.79	7.40	9.30	14.16	17.66	17.07	13.66	9.43	4.64	3.30	8.23
2014	1.70	2.08	6.04	8.80	10.60	14.54	15.25	14.96	13.33	10.69	7.01	2.82	8.99
2015	1.63	0.84	4.54	8.27	12.13	15.50	20.38	17.60	12.42	8.39	7.54	4.76	9.50
2016	0.83	2.57	3.79	8.55	10.15	14.19	17.92	16.69	14.87	8.43	4.35	3.97	8.86
2017	-1.53	2.53	6.81	8.17	11.95	17.34	18.12	19.13	11.98	10.67	3.90	0.44	9.13
2018	2.48	-1.71	1.81	9.90	12.04	16.03	18.09	18.27	15.17	10.66	5.39		9.83
Medie	0.85	1.20	4.32	9.55	13.35	17.70	19.02	18.34	14.83	10.09	5.93	1.88	9.83

Tabella 4: Temperature medie alla stazione di Castione della Presolana nel periodo 2005 – 2018.

Le medie calcolate per i mesi estivi (senza considerare l'anno 2012 che risulta essere quasi del tutto non completo) sono leggermente inferiori rispetto a quando emerso per la stazione di Breno.

L'andamento delle temperature medie è evidenziato nel Grafico 2.

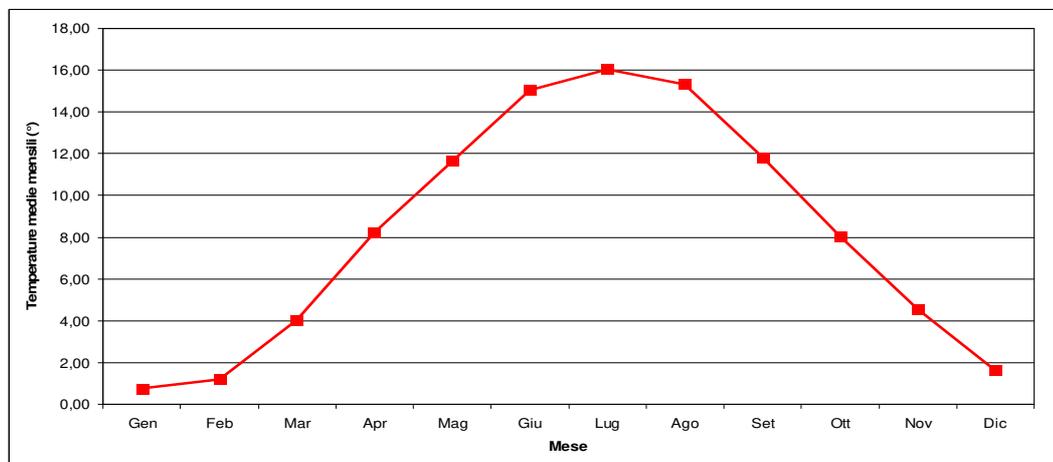


Grafico 2: Andamento delle temperature medie presso la stazione di Castione della Presolana nel periodo 2005 – 2017

2.2.3 Anemometria

Per quanto riguarda i dati anemometrici, nella Provincia di Bergamo l'orografia delle valli principali determina l'orientazione del vento nella direzione delle stesse, mentre i bacini lacustri influenzano la circolazione del vento nelle zone più limittrofe ad essi; nella pianura, invece, la variazione del campo di vento prevalente risulta quella da nord verso sud.

Le osservazioni relative alla stazione di Bergamo (1962 – 1981) hanno evidenziato che la prevalente direzione di provenienza dei venti è quella N – E seguita da quella S – O; più precisamente nel periodo invernale predominano i venti che soffiano da N – E, mentre in primavera – estate prevale la provenienza da S – O. Quotidianamente, prevalgono i movimenti da N – E al mattino, mentre nel pomeriggio, in armonia con il fenomeno delle brezze, prevalgono i venti di direzione S – O.

La frequenza della direzione per la stazione di Bergamo (1962 – 1981) è rappresentata nel Grafico 3.

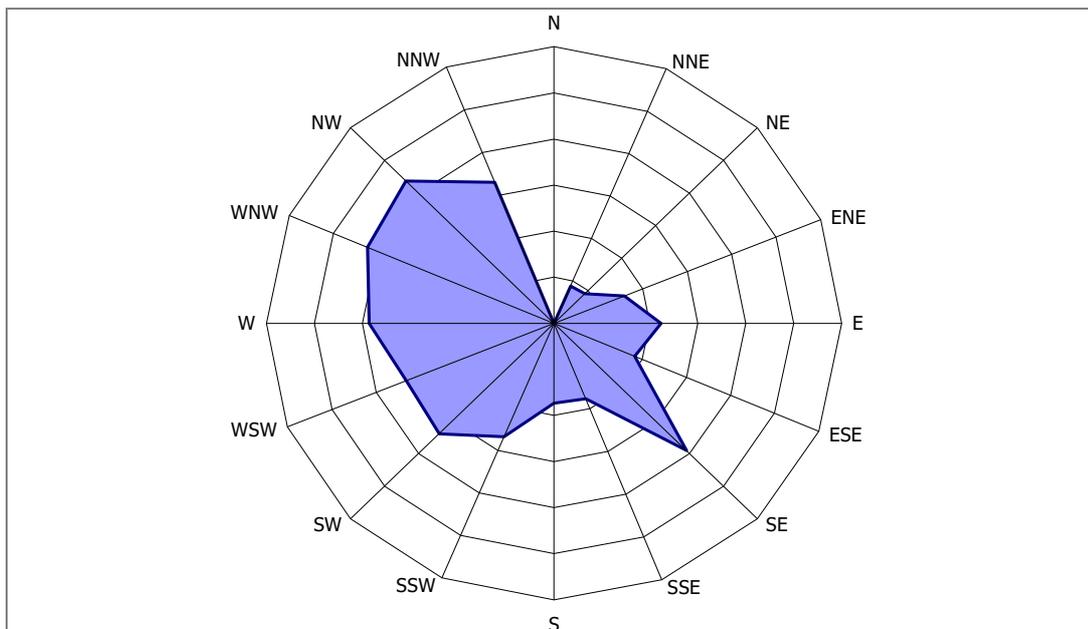


Grafico 3: Frequenza della direzione di provenienza dei venti alla stazione di Bergamo (1962 – 1981).

In merito alla velocità del vento si osserva come nella provincia di Bergamo predominano i venti di origine termica, cioè le brezze. Talora la regione è interessata da venti moderati a componente E, quando si scatena la bora nell'alto Adriatico, mentre venti con velocità elevate non sono frequenti. Le raffiche massime registrate ad Orio al Serio nel periodo 1951 – 1956 sono comprese fra 48 km/h da N e 91 km/h da SO. Lo studio della frequenza di velocità in giorni dell'anno ha mostrato come in questa stazione il vento di 15 km/h si verifica in media 95 giorni all'anno e quello di 30 km/h 20 giorni all'anno.

Per quanto si riferisce alla stazione di Bergamo, relativamente al periodo 1962 – 1981, il vento ha superato 11 volte la velocità di 80 km/h con la maggior frequenza durante i mesi di agosto e di settembre, raggiungendo i 120 km/h il 3 marzo 1967 con tempo asciutto, i 115 km/h il 2 agosto 1968 con pioggia e i 110 km/h l'8 agosto 1980 con pioggia e grandine.

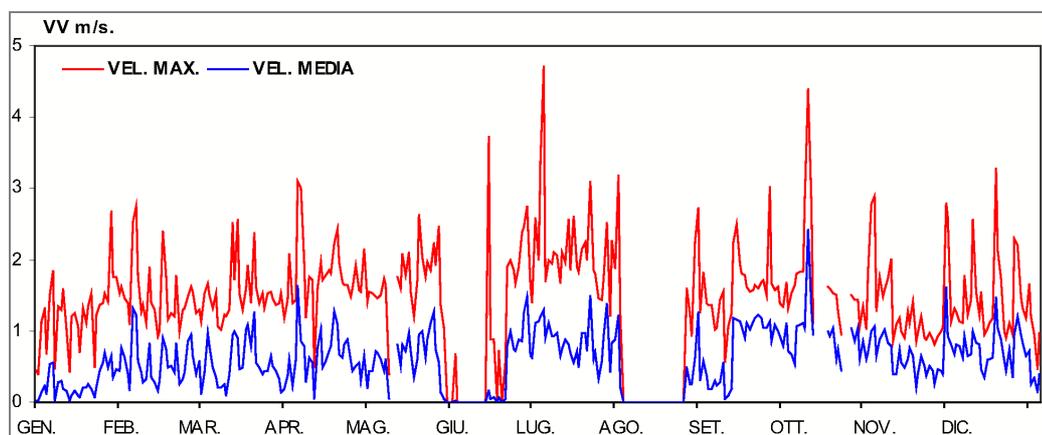
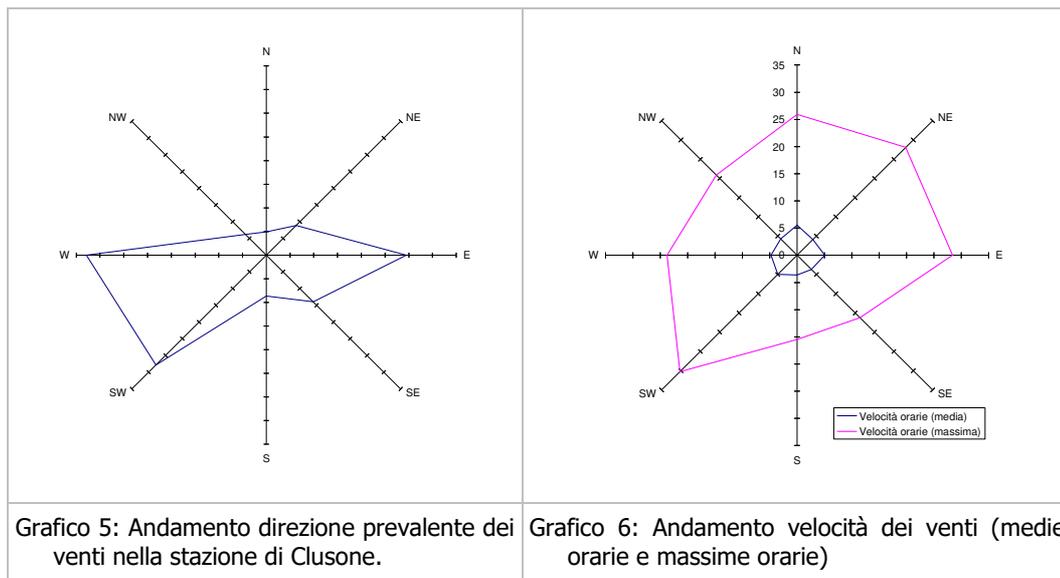


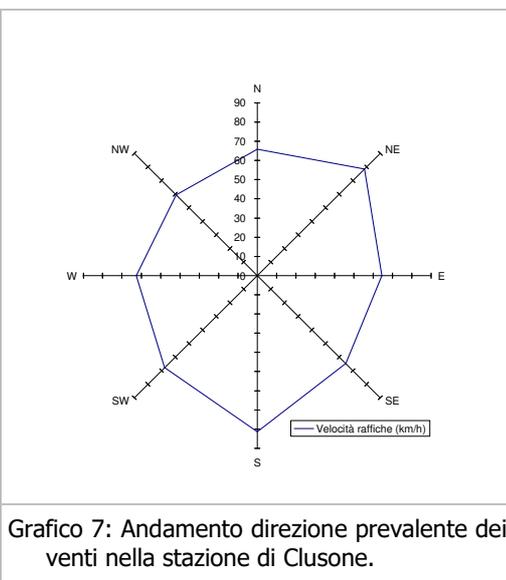
Grafico 4: Andamento velocità dei venti (2004) nella stazione di Bergamo (fonte ARPA).

In prossimità del territorio comunale vi è la stazione anemometrica di Clusone,

collocata lungo la SP 671, per la quale vi sono i dati orari dal 2012 (anno in gran parte incompleto).



Tale stazione presenta velocità medie orarie del vento di 4,65 km/h, con picchi orari di 30,24 km/h. La velocità massima delle raffiche è stata di 81,36 km/h.



La direzione prevalente del venti è da ovest – sudovest con subordinate direzioni da est. Le velocità medie orarie più elevate si registrano con venti di direzione da nord (5,42 km/h) e da est (5,06 km/h) con i picchi orari che si registrano da est (28,44 km/s) – nordest (28,08 km/s) e sudovest (30,24 km/s).

Il valore massimo delle raffiche varia da un minimo di 59,40 km/s (quadrante nordovest) ad un massimo di 81,36 km/s (quadrante sud).

2.2.4 Precipitazione di breve durata e forte intensità

La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto è effettuata attraverso la determinazione della curva di probabilità pluviometrica, ovvero la determinazione del rapporto che lega l’altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

L’altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, è l’altezza d’acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale ed impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) ed in assenza di perdite.

Per la caratterizzazione degli eventi di breve durata e di forte intensità nell’area comunale, si sono utilizzati i parametri **a** ed **n** pubblicati dall’Autorità di bacino

del fiume Po⁽¹⁾ e da questa determinati interpolando i parametri **a** ed **n** ricavati dalle serie storiche più rappresentative del bacino padano e per eventi estremi annuali con durata di 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore.

Si ricorda che la relazione statistica che lega l'altezza delle precipitazioni **h** [mm] alla durata **d** [ore] ed al tempo di ritorno **T** [anni], nota come curva di possibilità pluviometrica, è data dalla seguente espressione:

$$h_T = a_T \cdot d^{n_T}$$

nella quale i parametri **a** ed **n**, funzione di **T**, sono stimati sulla base delle serie storiche di dati disponibili.

Dall'analisi spaziale si sono quindi ricavati i valori dei parametri **a** ed **n** per i diversi tempi di ritorno, ritenuti validi per l'intero territorio comunale. Tali valori, sono riportati della seguente tabella:

Tr(anni) →	20	100	200	500
a	48,0	61,0	66,5	73,5
n	0,398	0,395	0,390	0,387

Per eventuali studi idrologici che coinvolgono aree significative collocate esternamente al territorio comunale si dovranno impiegare dati idonei ricavati dalla "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" o da studi specifici; in quest'ultimo caso dovranno essere evidenziate le differenze esistenti rispetto ai dati prodotti dall'Autorità di Bacino.

Nel caso che le valutazioni riguardino bacini idrografici o superfici scolanti di ridotta dimensione, non devono essere applicate procedure di ragguaglio della pioggia all'area (tipo Wallingford et Alii, DWEC, ecc.)

Recentemente, per quanto riguarda gli eventi meteorici critici, ARPA con altri soggetti ha messo a punto una diversa metodica, basata anche su un database di dati di precipitazione superiore. La relazione statistica proposta che lega l'altezza delle precipitazioni **h** (in mm) alla durata **d** (in ore) ed al tempo di ritorno **T** (in anni), nota come curva di possibilità pluviometrica, come implementata nel progetto STRADA (strategie di adattamento ai cambiamenti climatici), è data dalla seguente espressione:

$$h_T = a_T \cdot w_T \cdot d^{n_T}$$

nella quale i parametri **a** ed **n**, funzione di **T**, sono stimati sulla base delle serie storiche di dati disponibili. Attraverso il valore w_T sono implementati i valori dei parametri e dei quantili della distribuzione GEV (α , k ed ϵ), che permettono la determinazione dell'altezza di pioggia per i vari tempi di ritorno.

¹ Si veda l'allegato alle norme d'attuazione nella sezione "Interventi sulla rete idrografica e sui versanti", dove è presente la "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" che riporta sia i valori di probabilità pluviometrica puntuali per le stazioni di riferimento, sia la "Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense – Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni".

La sintesi dei valori di **a**, **n** e GEV (**a**, **k** ed **ε**) anni è riportata in Tabella 5 e si riferiscono specificatamente all'area.

$a = 23,64$ $n = 0,3929$ $GEV(a) = 0,3185$ $GEV(k) = -0,0404$ $GEV(\epsilon) = 0,8008$

Tabella 5: Parametri climatici dell'area ricavati dal progetto STRADA.

A parità di durata della precipitazione e tempo di ritorno, i valori riportati in Tabella 5 forniscono altezze di piogge inferiori rispetto a quelle determinabili con i dati resi disponibili dal PAI (riguardo alle brevi durate che sono normalmente implementate nell'attività edilizia) e superiori per le lunghe durate (si veda il confronto nel Grafico 8).

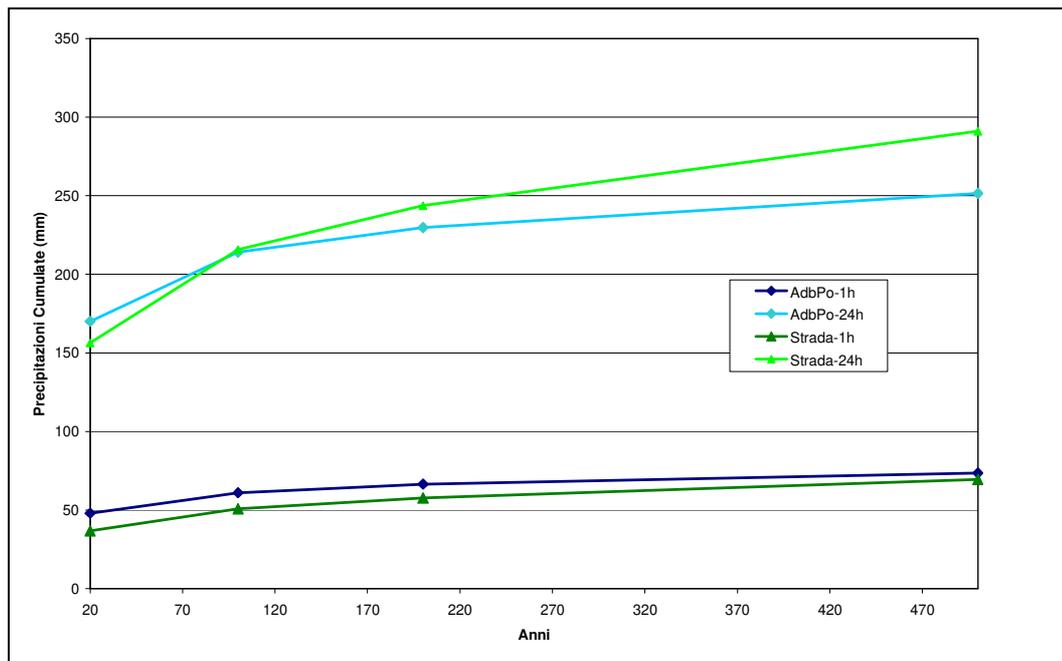


Grafico 8: Confronto tra elaborazione dei dati AdbPo e STRADA.

3. FASE DI ANALISI

3.1 ELEMENTI STRUTTURALI E GEOLOGICI

3.1.1 Assetto strutturale

Le Alpi Orobic sono caratterizzate da uno stile deformativo definito "*thin skin tectonics*", tipico delle zone marginali delle catene prossime agli avampaese, in cui manca un'impronta metamorfica simile a quelle delle Alpi Centrali. Le strutture, di tipo fragile, sono rappresentate da faglie e sovrascorrimenti talora accompagnate da fasce di cataclasi, mentre la presenza di miloniti in alcune zone del basamento cristallino testimonia una deformazione più duttile delle porzioni più profonde dello stesso.

L'assetto strutturale principale della catena è dato da *thrust* prevalentemente sud – vergenti, che dividono la catena in fasce disposte E – W. Procedendo da N verso S, le unità strutturali che costituiscono tali fasce sono le seguenti:

- 1) Thrust orobici: compresi tra la Linea Insubrica e la Linea Orobica, sono costituiti dal basamento metamorfico ercinico, scagliato al suo interno ed accavallato sulle successioni di copertura permio – triassiche.
- 2) Anticlinali orobiche: strutture anticlinaliche, con disposizione *en échelon* destra, comprese tra la Linea Orobica e la Linea Valtorta – Valcanale; sono costituite dalle coperture permio – scitiche e dal sottostante basamento cristallino.
- 3) Unità carbonatiche alloctone: cintura di *thrust* variamente accavallati ed embricati tra loro, estesa per pochi km in senso N – S e formata da successioni carbonatiche e terrigene di età triassica media e superiore, provenienti da aree ubicate in origine alcuni chilometri a settentrione;
- 4) Parautoctono bergamasco: zona caratterizzata da una complicazione strutturale minore rispetto alla precedente, espressa dal diradarsi delle superfici maggiori di scorrimento e da una minor frammentazione stratigrafica nell'ambito dei vari tasselli.
- 5) Settore frontale: fascio di pieghe probabilmente associate a *thrust* sepolti ("*fault propagation folding*"), dislocate da strutture trascorrenti NE – SW; sono costituite prevalentemente dalle coperture giurassico – cretache.

Il territorio in esame ricade tra le "*Unità carbonatiche alloctone*" ed il "*Parautoctono bergamasco*", separati tra loro da un importante lineamento tettonico: la *faglia di Clusone* (Figura 3). Tale struttura, che decorre sul versante meridionale della Presolana, tra i monti Cornetto e Pizzo di Corzene, nei lavori più recenti è interpretata come faglia di incuneamento delle unità alloctone sotto il parautoctono, sviluppatasi lungo i livelli incompetenti della parte sommitale della formazione di San Giovanni Bianco.

Per quanto riguarda le "*Unità carbonatiche alloctone*", caratterizzate nel loro complesso da un'architettura ad embrici inclinati verso Est, nel territorio comuna-

le sono presenti unicamente quelle "superiori", denominate Unità Timogno ed Unità Presolana, con relativi *klippe* satelliti (es. Presolana, Pizzo Olone e Pizzo Corzene). La successione è deformata da pieghe e pieghe – faglie vergenti a Sud in corrispondenza degli intervalli stratigrafici più duttili. L'immersione regionale viene riferita al basculamento delle unità superiori prodotta dalla susseguente deformazione delle unità sottostanti.

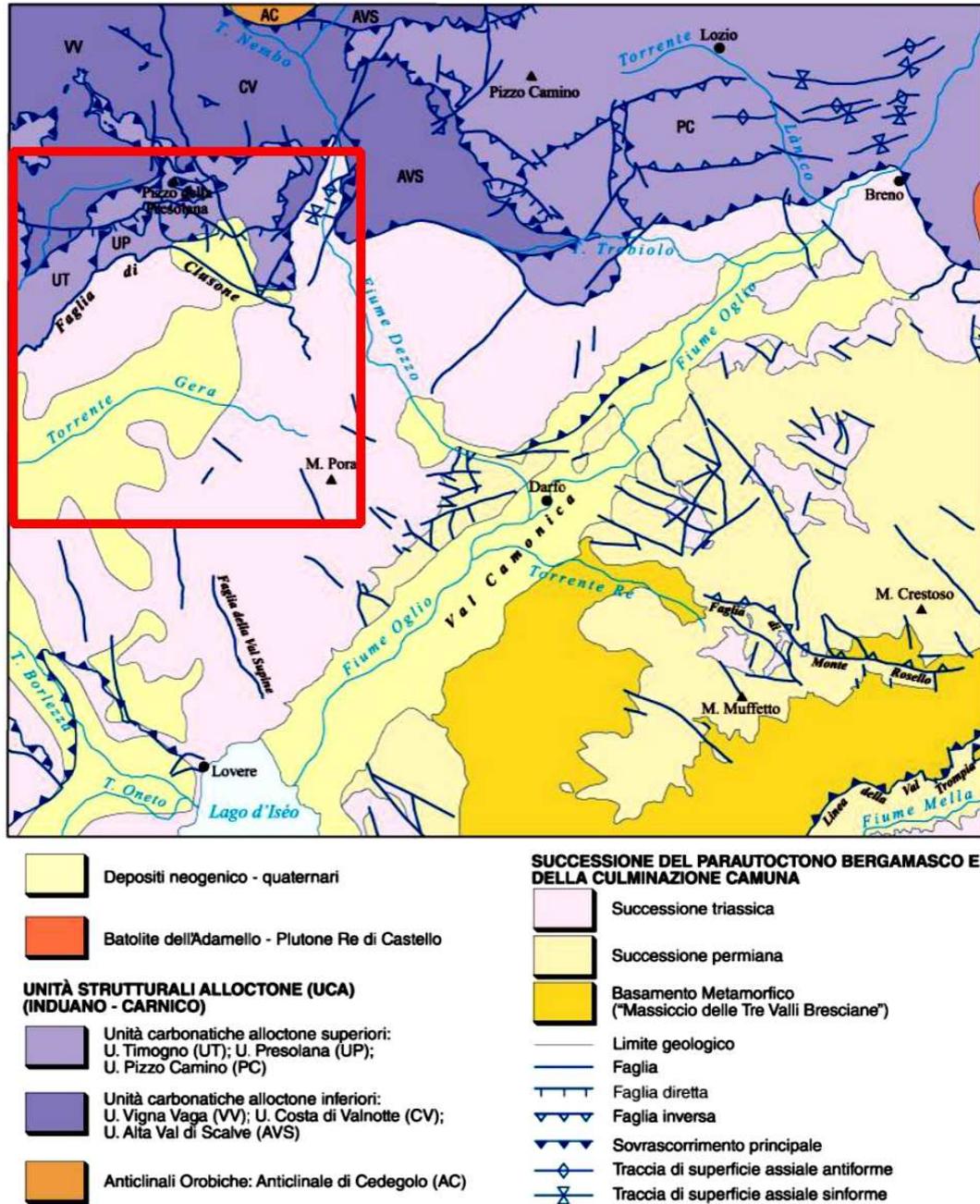


Figura 3: Schema tettonico del Foglio 078 "Breno" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Forcella et al., 2012) con evidenziata l'area dove ricade il territorio comunale di Castione della Presolana (rettangolo rosso).

L'affioramento del fronte meridionale di questo gruppo di unità è osservabile solo in alcuni tratti, mentre in altri è cieco sotto la faglia di Clusone al cui tetto sono poste le unità del Parautoctono bergamasco. Il fronte meridionale dell'Unità Ti-

mogno rimane cieco fino a che non emerge per erosione a Nord della faglia di Clusone nel settore di Malga Campo. Le superfici tettoniche che delimitano i *klippe* a quota più elevata (Presolana) e i margini meridionali di quelli di Pizzo Olone e Pizzo Corzene affiorano a quota superiore all'attuale livello di erosione della faglia di Clusone, non è quindi possibile accertare se ciò sia dovuto alla rimozione del tetto della faglia citata o a cause primarie.

Il margine orientale dell'Unità Presolana affiora invece nei pressi del Giogo della Presolana. Quest'ultima superficie di *thrust* è ritenuta la prosecuzione di quella che delimita il margine meridionale del Pizzo Corzene, dislocata da faglie (alcuni Autori ritengono che il ruolo principale di tale dislocazione sia da riferire alla Faglia Polzone – Vareno, ad andamento NNW – SSE). I *klippe* di Pizzo Olone e Pizzo Corzene dunque rappresenterebbero parti dell'Unità Presolana (o degli *splay* sommitali di essa), ribassate verso Sud dalla Faglia della Valle dell'Ombra. Tali *klippe* sono tettonicamente sovrapposti a formazioni del Carnico superiore – Norico inferiore (formazioni di San Giovanni Bianco e Castro – Sebino) che, in alcuni studi precedenti, venivano attribuiti ad un'ulteriore unità alloctona (Unità di Cresta di Valzurio).

Per quanto riguarda il "Parautoctono bergamasco" la giacitura delle formazioni che sovrastano la Formazione di San Giovanni Bianco si immerge verso Sud a causa del basculamento causato dall'incuneamento dei *thrust* settentrionali. Facendo riferimento alle suddivisioni operate più ad Ovest (Foglio 077 "Clusone" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000), le litofacies presenti nel territorio comunale rappresentano la prosecuzione di quelle riferite ad un'unità tettonica intermedia, denominata M. Alben – Pizzo Formico – San Pellegrino.

3.1.2 Inquadramento geologico

Le unità del substrato roccioso ed i depositi superficiali che le ricoprono sono riportate nella Tavola GEO_01 in scala 1:10.000. Tale tavola è stata realizzata utilizzando i dati originali del progetto CARG (shapefile a scala 1:10.000), relativi al Foglio 078 "Breno" con alcune modifiche legate all'esatto assetto locale riscontrato durante sopralluoghi in sito. Sull'elaborato sono evidenziati anche gli elementi tettonici principali e le giaciture della stratificazione.

Le caratteristiche delle unità del substrato roccioso, a partire dalla più antica fino alla più recente e, successivamente, dei depositi della copertura neogenico – quaternaria sono state tratte dalle note illustrative del Foglio 078 "Breno".

3.1.2.1 Substrato roccioso

CALCARE DI ESINO (LADINICO SUPERIORE)

Le rocce di tale unità affiorano nella porzione settentrionale del territorio comunale (a Nord della faglia di Clusone), dove costituiscono la dorsale spartiacque M. Campo – Cima di Bares – Pizzo Olone, il massiccio della Presolana con il M. Visolo, l'antistante conca della Valle dell'Ombra ed il suo articolato crinale meridionale, che scende sino al Pizzo di Corzene, ed infine anche il Pizzo Plagna, che sovrasta il Giogo della Presolana. L'unità è stata cartografata distinguendo le litofacies di margine biocostruito con pendio da quelle di piattaforma. Il limite strati-

grafico superiore con la sovrastante Formazione di Breno è graduale in quanto nell'area in esame non sono presenti le classiche facies del Calcare Rosso che, generalmente, si interpongono tra le due unità.

Le litologie del Calcare di Esino rappresentano:

LITOFACIES DI MARGINE E PENDIO MARINO

Sono rappresentate da calcari massivi biocostruiti di colore grigio chiaro (*facies di margine*) e da brecce calcaree (*facies di pendio*).

LITOFACIES DI PIATTAFORMA INTERNA

Sono rappresentate da calcari grigio chiari in strati e banchi.

ARGILLITE DI LOZIO (CARNICO INFERIORE)

Affioramenti molto limitati di tale formazione si riscontrano lungo i pendii meridionali della cresta di Valzurio. Tali affioramenti si collocano a tetto della Formazione di Breno, mentre generalmente la sottostanno, ed in precedenza venivano attribuiti alla Formazione di Gorno. Studi recenti li interpretano come la testimonianza della chiusura del suo bacino deposizionale verso ovest.

È costituita da argilliti, argilliti – marnose e siltiti fini di colore nero alla frattura e da grigio – scuro a giallastro in alterazione.

FORMAZIONE DI BRENO (CARNICO INFERIORE – MEDIO)

Ad ovest costituisce il M. Valsacco ed il versante meridionale del M. Campo, a nord la Cresta di Valzurio, mentre ad est il versante meridionale del M. Visolo e la dorsale che da questo degrada sino al Pizzo Plagna. A sud della faglia di Clusone affiora nella porzione sommitale del M. Lantana e lungo il suo versante meridionale fino alla Valle Sola di Vareno. L'unità è suddivisa in tre membri, dei quali solo due presenti nel territorio comunale: il Membro dell'Annunciata ed il Membro di Campolungo.

MEMBRO DELL'ANNUNCIATA

Nell'area rappresenta la litofacies inferiore a diretto contatto con il Calcare di Esino. È costituito da calcari e calcari dolomitici da grigio a grigio – chiaro, in strati pluridecimetrici fino a metrici, con frequenti laminazioni algali e fossili di Bivalvi, Gasteropodi e alghe.

MEMBRO DI CAMPOLUNGO

Rappresenta la litofacies superiore a diretto contatto con la Formazione di S. Giovanni Bianco ed eteropica con la stessa. È costituito da dolomie microcristalline da grigio – chiaro a biancastre, in strati da decimetrici a pluridecimetrici, con sottili interstrati marnosi o di argilliti verde – giallastro. Presenta frequenti laminazioni algali, strutture a "teped", *fenestrae*, livelli a breccioline e fossili di Bivalvi, Gasteropodi e alghe. Al M. Lantana il passaggio alla Formazione di San Giovanni Bianco è caratterizzato da un livello metrico di argilliti nere.

FORMAZIONE DI GORNO (CARNICO INFERIORE – MEDIO)

A nord della faglia di Clusone affiora unicamente lungo le pendici meridionali del M. Valsacco, mentre a sud della stessa affiora tra il M. Lantana ed il Colle Vareno e forma un'ampia porzione del versante settentrionale del M. Pora.

È costituita da calcari, calcari – marnosi e marne di colore grigio – nerastro alla frattura e grigio – giallastro in alterazione, in strati da centimetrici a pluridecimetri, alternati a livelli di marne e argilliti nere.

FORMAZIONE DI SAN GIOVANNI BIANCO (CARNICO MEDIO – SUPERIORE)

A nord della faglia di Clusone affiora in maniera discontinua alla testata della Valle Olone, al passo omonimo, lungo i versanti meridionali del Pizzo di Corzene e del Pizzo Olone, al Giogo della Presolana e lungo il piede del versante settentrionale del M. Scanapà. L'irregolarità degli affioramenti è dovuta sia alla presenza di ampie coperture quaternarie ma soprattutto all'elisione tettonica subita da tale formazione che, a causa delle sue caratteristiche reologiche, ha costituito quasi ovunque il preferenziale orizzonte di scollamento dei sovrascorrimenti. A sud della faglia di Clusone affiora lungo un'ampia fascia che dal M. Lantana scende nella Valle Sola di Vareno e risale l'intero versante occidentale del M. Pora sino al Pian del Termen.

La formazione è caratterizzata da una estrema variabilità di facies, quali evaporiti, facies dolomitico – pelitiche e facies arenacee, le quali rappresentano ambienti diversi.

LITOFACIES ARENACEA

È costituita da alternanze di arenarie e siltiti da grigie a verdi. Le arenarie sono da fini a grossolane, in strati centimetrico – decimetrici, solo localmente laminate. Nella parte inferiore della formazione, che affiora lungo il piede del versante settentrionale del M. Scanapà, le arenarie sono quasi del tutto assenti, rappresentate da pochi livelli centimetrici sottilmente laminati, e prevalgono le peliti. Sul crinale tra la Malga Valzelli e il Pian del Termen affiorano marne grigio verdastre a patina di alterazione beige, sottilmente stratificate e laminate con laminazione piano – parallela e plaghette di sabbie ferruginose che a volte riempiono impronte tubiformi simili a biturbazioni.

LITOFACIES DOLOMITICO – PELITICA

È costituita da dolomie da grigie a nocciola, in strati decimetrici, farinose, con caratteristiche cavità vacuolari rivestite da cristalli di calcite. Presentano interstrati pelitico – marnosi da marroni a verdini. Sul versante occidentale del M. Pora la litofacies dolomitico pelitica si trova sia al tetto della litofacies arenacea, sia intercalata e/o alla base della stessa.

EVAPORITI

Comprendono gessi e carniole. Nel vallone di Terre Rosse, in corrispondenza del locale decorso della faglia di Clusone, sono presenti gessi ed anidriti a laminazione intensamente ripiegata per cause tettoniche. Nelle restanti zone (Valle Olone, versante meridionale di Pizzo Olone e Pizzo di Corzene) preval-

gono carnirole giallastre inglobanti clasti siltitici marroncini, verdi e grigi, di aspetto massivo, senza stratificazione alcuna o rozzamente delineata. Laddove le carnirole fanno passaggio alla soprastante Formazione di Castro Sebino (M. Lantana, Valle di Pora e Malga Alta Valzelli) si ha un progressivo arricchimento in clasti calcarei e ad una diluizione di quelli siltitici.

FORMAZIONE DI CASTRO SEBINO (CARNICO SUPERIORE – NORICO INFERIORE)

Affiora estesamente sia nella porzione centro – settentrionale del territorio comunale, dove forma i rilievi del Pizzo Unel, Cima Carnet, La Pisterla ed Il Pisterlino, Pizzo Cremisano, M. Cornetto, la Corna Rossa, M. Sarradone, sia lungo un'ampia fascia ad andamento N – S che dal M. Scanapa' scende in Val Pora e risale tra la Cima di Campo e Malga Alta Valzelli. Affiora, inoltre, lungo le pendici meridionali del M. Valsacco e lungo il versante sud del Pizzo di Corzene.

La facies tipica che compare nel territorio comunale è prevalentemente quella superiore, rappresentata da due diversi tipi di brecce. Il primo tipo, preponderante, è costituito da brecce calcaree massicce intraformazionali. Si tratta di brecce carbonatiche sinsedimentarie, eterometriche e caotiche, ricristallizzate, di colore da grigio a nocciola con caratteristiche screziature marroncine. L'altro tipo è costituito da brecce dolomitiche intraformazionali in banchi massicci, ben rappresentate nella fascia di raccordo tra il Monte Cornetto e l'altipiano di Castione, ove paiono fare transizione alle dolomie zonate della Dolomia Principale basale. Brecce dolomitiche con locali intercalazioni od olistoliti di dolomie scure laminate costituiscono il versante orientale dei monti Cornetto e Sarradone ed affiorano anche sporadicamente tra le coperture recenti a sud del Pizzo di Corzene.

In corrispondenza di faglie orientate N – S sul versante ovest del M. Scanapà, vi è un livello a brecce dolomitiche che presenta tasche di cementi calcarenitici laminati. Lo stesso livello a clasti dolomitici scuri e subordinatamente calcarei disegna un semianello sul versante sud del rilievo. Nella Valle Gler le brecce sono a clasti dolomitici centimetrico – decimetrici, da grigio a grigio scuro, con rari clasti calcarei ricristallizzati, che spesso spiccano dalla matrice calcarea grigio nocciola, ed alcuni clasti biancastri e sfaticci ad abito prismatico (probabilmente gessosi).

Alla facies inferiore, costituita da dolomie terrose evaporitiche con intercalazioni di brecce, sono attribuite delle dolomie affioranti tra il M. Cornetto e la Valle Gler. Il limite di letto con la Formazione di San Giovanni Bianco è raramente esposto ed è caratterizzato da un arricchimento delle brecce in clasti siltitici, dolomitici e di carnirole della formazione sottostante. Il limite di tetto è visibile all'imbocco della Valle dei Molini, presso la chiesa di San Pietro, dove affiorano calcari micritici grigio scuri, con stratificazione da decimetrica a indistinta, che fanno passaggio verso l'alto a dolomie scure zonate tipiche della Dolomia Principale basale.

DOLOMIA PRINCIPALE (NORICO INFERIORE – MEDIO)

Affiora lungo un'ampia fascia che dalle pendici meridionali del M. Valsacco scende fino a Castione, attraversa la Val di Tede, insinuandosi in essa fino all'inizio della Valle di Pora, e prosegue sul lato opposto dove forma i versanti settentrionali e le sommità del M. Varro e della Cima di Campo.

L'unità è stata cartografata distinguendo un Membro Inferiore o basale, la litofacies di piattaforma marginale e la facies tipica costituita da dolomie peritidali stratificate.

MEMBRO INFERIORE O BASALE

È caratterizzato da prevalenti dolomie marnose e dolomicriti in strati dello spessore variabile da 10 – 15 cm fino ad un metro ed oltre. Affiora a monte di Castione, dove sono presenti calcari grigio scuro stratificati al passaggio con la sottostante Formazione di Castro Sebino.

DOLOMIE PERITIDALI STRATIFICATE

Si tratta di dolomie e dolomie calcaree grigie e nocciola, con tessitura da microcristallina a saccaroide, in grossi strati e banchi organizzati localmente in cicli metrici peritidali *shallowing – upward* (facies meno profonde verso l'alto), dello spessore medio di 1.5÷2.0 m. Tali cicli sono costituiti, dal basso verso l'alto, da un livello, dello spessore di pochi cm, di breccioline a clasti di dimensioni variabili dal millimetro ad un centimetro, cui seguono dolomie massive, di colore variabile dal grigio chiaro a grigio scuro, ed infine facies peritidali caratterizzate dalla presenza di livelli decimetrici di lamine algali planari e crenulate.

FACIES DI PIATTAFORMA MARGINALE

È costituita da biocostruzioni dolomitizzate di dimensioni metriche che possono assumere geometria variabile da planare a cupoliforme.

GRUPPO DELL'ARALALTA – DOLOMIE ZONATE (NORICO INFERIORE – MEDIO)

Il Gruppo dell'Aralalta è stato introdotto per inglobare tutte le facies bacinali, di età norica, eteropiche della Dolomia Principale. Nel territorio comunale di Castione è rappresentato unicamente dall'unità delle Dolomie Zonate, che comprende le facies più grossolane e prossimali del bacino (l'altra è il Calcere di Zorzino). Affiora nella valle di Romentarek e sul crinale ad est della cima del M. Varro.

Le Dolomie Zonate sono organizzate in cicli, di spessore decametrico, costituiti a letto da dolomicriti scure (e/o nere) in strati di 5 – 10 cm, cui fanno seguito dolomicriti a laminazione algale e, quindi, doloareniti fini grigio scuro in strati di 30 – 50 cm con lamine trattive piano – parallele e doloruditi fossilifere. Il tetto di ogni ciclo è costituito da corpi di breccie e megabreccie formate da elementi di dimensioni variabili dal centimetro al metro.

FILONI INTERMEDI E BASACI (TERZIARIO)

Si riscontrano sul M. Visolo, nella Valle dell'Ombra e sul M. Lantana.

Si tratta di filoni discordanti precursori o direttamente collegabili con il magmatismo dell'Adamello. Petrograficamente sono costituiti da andesiti anfibolico – plagioclasiche ("porfiriti" *Auct.*) di colore verdastrò. Nella massa di fondo grigio – verdastra sovente spiccano fenocristalli di orneblenda, feldspati e più raramente cristalli di quarzo tondeggiante.

3.1.2.2 *Depositi neogenico – quaternari*

CONGLOMERATO DI SAN BERNARDO (PLIOCENE?)

Affiora a San Bernardo, attorno al M. San Leonardo, a monte di Rusio e Rucola e nei pressi di Grotta Ramel.

Comprende sia depositi alluvionali che di versante. I primi sono costituiti da conglomerati in banchi metrici a supporto clastico o di matrice arenacea, con ciottoli ben selezionati ed arrotondati, localmente a stratificazione obliqua a basso angolo ed arenarie da fini a grossolane, a laminazione parallela od obliqua. I secondi sono costituiti da conglomerati in corpi stratoidi a supporto di matrice arenacea e clasti spigolosi e da diamictiti a supporto di matrice fine litificata. In entrambi la cementazione è ottima, sino alla completa litificazione. L'unità non presenta morfologie conservate, si presenta attualmente smembrata in singoli piastroni svincolati dalla topografia odierna e sospesi sino a 200 m sul fondovalle attuale.

TILLITE DI S. ANTONIO (GELASIANO BASALE)

Una piccola placca di tale unità affiora lungo la cresta di M. San Leonardo.

È costituita da diamictiti massive a supporto di matrice limosa nocciola, con sparsi clasti arrotondati sia carbonatici che silicei, estranei al bacino locale. La cementazione è ottima, sino a completa litificazione. La sua deposizione è nettamente anteriore all'impostazione delle valli attuali ed è rappresentativa della prima avanzata glaciale documentata nell'area.

SINTEMA DI CORNO CERESA (GELASIANO)

A tale unità è attribuita una placca che, all'inizio della valle di Romentarek, poggia sul Conglomerato di San Bernardo.

Si tratta di depositi glaciali cementati, pedogenizzati ed alterati costituiti da diamicton massivo a supporto di matrice argilloso – limosa, con clasti da centimetrici sino a 60 cm, silicatici residuali. Non presenta morfologie conservate, le placche di depositi glaciali di tale unità si riscontano in posizione e sono nettamente troncate dai versanti attuali. Esse testimoniano una o più avanzate antiche di un ghiacciaio alimentato dai quadranti settentrionali. Si ipotizza che tale ghiacciaio potesse diffuire in corrispondenza dell'attuale spartiacque Presolana – Scanapa' – Pora, in una fase anteriore all'apertura della Val Borlezza ed al modellamento della fisiografia attuale.

CONGLOMERATO DI MALGA CORZENE (GELASIANO – CALABRIANO)

Ricoprono il versante che dalla dorsale Cima Bares – Passo Olone scende sino a Malga Bares, i versanti che dalle pendici del Pizzo di Corzene e del M. Visolo scendono sino alla zona compresa tra il Ponte dei Gler e Stalle di Donico, il piede del versante meridionale del Pizzo Plagna, di quello occidentale del M. Scanapa' e di quello meridionale tra la Corna Rossa ed il M. Sarradone.

L'unità è costituita da depositi di versante e da trasporto in massa fittamente intercalati, spesso con livelli rielaborati da correnti trattive lungo pendio.

I depositi di versante e da trasporto in massa sono rappresentati da:

- ◆ conglomerati clinostratificati in banchi sino a 2 m di spessore, a supporto clastico e clasti angolosi, in livelli con matrice scarsa o assente e clasti ben selezionati (da 4 a 10 cm), alternati a livelli con matrice fine rosata abbondante e clasti mal selezionati (da inferiori al centimetro a 30 cm, con locali orizzonti ad elementi sino a 60 cm);
- ◆ diamictiti massive a supporto di matrice fine rosata con abbondanti clasti da centimetrici a decimetrici subarrotondati.

I depositi da correnti trattive sono invece rappresentati da conglomerati clinostratificati in banchi metrici, a supporto clastico, matrice scarsa o assente, clasti a selezione da discreta a buona (da 1 a 6 cm), da subarrotondati ad arrotondati.

I clasti sono prevalentemente costituiti da calcare di Esino, con rare marne ocra e calcari marnosi scuri alterati. La cementazione è ottima, sino a completa litificazione. I depositi sono carsificati, con forme superficiali, cavità concrezionate e condotte. L'unità riveste i versanti con placche isolate che mantengono in gran parte l'originaria morfologia. La sua deposizione è avvenuta successivamente alle glaciazioni del Gelasiano, e anteriormente a quelle del Pleistocene medio.

CONGLOMERATO DI LANTANA (CALABRIANO?)

Costituisce l'ossatura della superficie su cui sorge l'abitato di Lantana, affiora inoltre in diversi lembi terrazzati a Bratto, in Valle del Papa e presso Rusio.

L'unità è costituita da depositi alluvionali e di versante.

I depositi alluvionali sono rappresentati da:

- ◆ conglomerati in strati sino a metrici suborizzontali, a supporto clastico e matrice arenacea abbondante, clasti da subarrotondati a arrotondati, ben selezionati, da centimetrici sino a decimetrici;
- ◆ conglomerati a supporto clastico in corpi lenticolari con laminazione obliqua, matrice scarsa, clasti ben selezionati e arrotondati;
- ◆ arenarie e siltiti stratificate, con frequenti laminazioni parallele, oblique e strutture gradate.

I depositi di versante sono invece rappresentati conglomerati talora grossolanamente clinostratificati, a supporto clastico o di matrice, con clasti a selezione nulla, da centimetrici a pluridecimetrici angolosi.

I clasti nei depositi alluvionali sono carbonatici e provengono dalle unità ladinico – noriche presenti nel bacino a monte, nei depositi di versante prevalgono quelli della Dolomia Principale. La cementazione è ottima, sino a completa litificazione. con clasti difficilmente separabili dalla matrice. I depositi sono carsificati. L'unità, che ha morfologie parzialmente conservate, forma un piastrone che riempie un solco scavato entro il Conglomerato di Malga Corzene, e scende verso SW con pendenze medie del 3 – 4 %. Tale piastrone è reinciso nella parte centrale da un paleoalveo entro cui si sono depositi i Conglomerati di Bratto (scavi edilizi hanno evidenziato che, localmente, tra i due conglomerati vi è intercalato un paleosuolo e lenti di depositi lacustri). Al margine sinistro, sotto l'abitato di Lantana, le facies alluvionali si indentano con depositi di versante clinostratificati alimentati dai

quadranti meridionali.

Tali depositi appaiono troncati verso monte e sospesi per quasi 200 m sulla sottostante Valle di Tede, costituendo quindi la prima fase di sedimentazione entro una paleovalle svincolata dalla fisiografia attuale e di recapito non determinabile. L'unità è successiva al Conglomerato di Malga Corzene e anteriore alle glaciazioni del Pleistocene medio.

CONGLOMERATO DI BRATTO (CALABRIANO?)

Affiora entro gli abitati di Bratto e di Dorga e, inoltre, forma lembi isolati in corrispondenza della Colonia Dalmine, di Rusio e lungo le pendici meridionali del M. San Leonardo. Nella Tavola GEO_01 è stata mantenuta la suddivisione in quattro membri (di Roncai, di Dorga, della Rucola e di Brugai) operata nei rilievi di dettaglio del Progetto CARG, non riportata nel Foglio 078 Breno della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

L'unità è costituita da depositi alluvionali e di versante.

I depositi alluvionali sono rappresentati da:

- ◆ conglomerati a supporto clastico in strati suborizzontali sino a metrici, clasti ben arrotondati, a selezione buona, con alternanze di orizzonti con elementi da centimetrici a decimetrici, con matrice arenacea abbondante, e subordinati orizzonti a selezione migliore, con clasti da 1 a 3 cm e matrice scarsa o assente.
- ◆ conglomerati a supporto clastico in strati sino a metrici, con abbondante matrice arenacea fine, clasti ben arrotondati, selezione discreta, clasti da centimetrici sino a 20 cm;
- ◆ arenarie medio – grossolane in strati decimetrici.

I depositi di versante sono invece rappresentati da:

- ◆ conglomerati clinostratificati a supporto clastico e abbondante matrice arenacea, clasti mal selezionati, da centimetrici a pluridecimetrici, angolosi;
- ◆ diamictiti a supporto di matrice fine rosata, con sparsi clasti sino a decimetrici angolosi.

I clasti sono costituiti prevalentemente da calcari chiari della successione ladinico – carnica, con sparsi elementi provenienti dalle dolomie noriche. La cementazione è da discreta in seno all'ammasso, a ottima nella porzione superficiale. I depositi sono carsificati, con grandi cavità pluridecametriche concrezionate. L'unità ha morfologie ben conservate, con più ordini di terrazzi minori ben riconoscibili entro l'abitato (membri di Dorga e di Rucola), e incassati entro i Conglomerati di Lantana. A tali superfici si raccordano conoidi di frana e di *debris flow* alimentate dal versante settentrionale, che annegano in parte le morfologie dei conglomerati più antichi. Il litosoma è troncato verso meridione dalla scarpata della valle di Tede, rispetto alla quale appare sospeso di quasi 200 m, mentre nella parte distale è troncato dall'incisione in cui è sedimentato il Conglomerato di Castione. Tale brusca elisione verso ovest impedisce di determinare se il bacino di recapito originario fosse quello dell'Oglio o del Serio.

CONGLOMERATO DI CASTIONE DELLA PRESOLANA (CALABRIANO?)

Affiora lungo il terrazzo che, in destra idrografica del Gera, si estende dalla valle di Romentarek fino a Castione, oltre la Valle dei Mulini.

L'unità è costituita da depositi alluvionali e da depositi da trasporto in massa a essi eteropici.

I depositi alluvionali sono rappresentati da conglomerati in banchi suborizzontali a supporto clastico, con matrice arenacea scarsa o assente, clasti ben arrotondati, debolmente appiattiti, a selezione discreta con elementi da centimetrici a decimetrici; sono presenti intercalazioni di livelli a selezione maggiore, con elementi da 1 a 3 cm.

I depositi da trasporto in massa sono invece rappresentati da diamictiti massive in corpi lenticolari, con clasti angolosi eterometrici, e con intercalazioni di banchi di conglomerati a supporto di matrice arenacea e abbondanti clasti subangolosi.

I clasti sono costituiti prevalentemente da calcare di Esino e di Breno, con sparsi elementi riferibili alla Formazione di Castro Sebino e alla Dolomia Principale, e rare marne ocre alterate. La cementazione è ottima ed i depositi sono localmente carsificati. L'unità ha morfologie ben conservate, con più ordini di terrazzi minori complessivamente incassati entro i Conglomerati di Bratto. Sul versante destro a essi si raccordano coni da *debris – flow* successivamente reinciati, mentre verso meridione i depositi alluvionali sono troncati dalla scarpata della valle del Gera, e sospesi su di essa per quasi 150 m. Verso ovest, all'altezza di Poerza, il litosoma non è più conservato, rendendo così impossibile determinarne il bacino di recapito.

CONGLOMERATO DI FINO DEL MONTE (CALABRIANO?)

Forma il terrazzo che, in destra idrografica del Gera, si estende dalla valle di Romentarek verso Castione, tra 710 e circa 820 m slm.

L'unità è costituita da depositi alluvionali e di conoide, depositi di versante e di trasporto in massa.

I depositi alluvionali e di conoide sono rappresentati da:

- ◆ conglomerati grossolanamente stratificati in banchi metrici a giacitura suborizzontale, supporto clastico, matrice arenacea grossolana;
- ◆ conglomerati in corpi lenticolari plurimetrici a supporto clastico con scarsa matrice molto grossolana e cemento in sottili croste che rivestono parzialmente i clasti;
- ◆ conglomerati a stratificazione obliqua decimetrica, con clasti ben selezionati, da 4 – 5 cm a 1 dm, ben arrotondati, spesso embricati;
 - conglomerati in corpi lenticolari plurimetrici a supporto di matrice arenacea grossolana con ciottoli da centimetrici a decimetrici, a selezione scarsa, da subangolosi a subarrotondati;
- ◆ sabbie e arenarie da medie a grossolane in strati e lenti di spessore decimetrico, con struttura gradata.

I depositi di versante e di trasporto in massa sono rappresentati da:

- ♦ diamictiti in corpi stratoidi clinostratificati, a supporto di matrice fine ocracea – rosata e abbondanti ciottoli di diametro da centimetrico a decimetrico, angolosi o subangolosi di forma irregolare,

I clasti sono prevalentemente calcarei e dolomitici, tranne che nelle facies alluvionali dove compaiono anche siltiti, arenarie e marne siltose. La cementazione è buona nei litotipi a granulometria più grossolana, talora scarsa in quelli più fini. I depositi sono carsificati, con ampi scavamenti lungo le scarpate, e sono ricoperti da *loess* pedogenizzato che seppellisce l'originario paleosuolo. L'originaria morfologia dei depositi, che formano un evidente terrazzo delimitato da una scarpata alta sino a 90 m rispetto all'alveo attuale del Gera, a cui si raccordano i depositi da trasporto in massa delle valli laterali, è ben conservata. Il Conglomerato di Fino del Monte è più antico rispetto ai più antichi depositi glaciali sedimentati entro la topografia attuale, ed è l'unità più recente fra i litosomi conglomeratici presenti entro la paleovalle del Gera da Fino sino a Bratto.

SINTEMA DI STALLE DI ONITO (PLEISTOCENE MEDIO)

I depositi di tale unità sono presenti nei valloni che scendono dal M. Varro e dalla Cima di Campo e lungo la valle del Gera.

Si tratta di depositi alluvionali e di *debris – flow* costituiti da diamicton massivi e ghiaie con clasti carbonatici da subangolosi a subarrotondati, con profilo d'alterazione plurimetrico. Presenta morfologie parzialmente conservate, con ampie superfici reincise e sospese sino a 30 m rispetto al fondovalle attuale, raccordate a lembi di terrazzi entro l'asse della valle principale. La loro deposizione è riferita all'avanzata di una lingua diffluente del ghiacciaio camuno entro la Val Borlezza sino a Songavazzo – Rovetta, che sbarrava la valle del Gera e causava l'aggradazione dei depositi di alimentazione locale.

SINTEMA DI PRATI DI STA (PLEISTOCENE MEDIO)

Come i precedenti, anche i depositi di tale unità sono presenti sia nei valloni che scendono dal M. Varro e dalla Cima di Campo che lungo la valle del Gera.

Si tratta sempre di depositi alluvionali e di *debris – flow* costituiti da ghiaie a supporto di matrice sabbiosa e diamicton, con clasti spigolosi carbonatici di alimentazione locale. Hanno morfologie parzialmente conservate e formano ampi conoidi di *debris – flow* che riempiono i valloni laterali e si raccordano con i depositi alluvionali terrazzati della valle del Gera, sospesi sino a 15 m rispetto all'alveo attuale. La loro deposizione è sempre riferita allo sbarramento della valle del Gera ad opera della lingua del ghiacciaio camuno che diffuiva entro la Val Borlezza, ma in questo caso solo fino ai dossi di Maninetti.

GRUPPO DEL CULMINE (PLEISTOCENE)

Si tratta di una nuova unità istituita nell'ambito del Progetto CARG, che raggruppa depositi di versante e frana (a blocchi prevalenti) cementati, formanti corpi (piastroni o accumuli) in continuità morfologica col versante di alimentazione, ma con netta troncatura erosionale verso valle (non in equilibrio con la topografia at-

tuale). A tale unità sono attribuiti i depositi formanti singole placche isolate dall'erosione poste sui versanti meridionali del Pizzo Olone, del M. San Leonardo e della Corna Rossa.

È costituita da:

- ◆ conglomerati clinostratificati in banchi sino a metrici, a supporto clastico con matrice arenacea più o meno abbondante, e clasti angolosi, ben selezionati, sino a pluricentimetrici nei banchi con scarsa matrice, scarsamente selezionati sino a decimetrici in quelli con matrice;
- ◆ diamictiti massive a supporto di matrice arenacea fine e clasti angolosi eterometrici, sino a pluridecimetrici con sparsi elementi anche metrici.

La cementazione di tali depositi è da ottima sino a completa litificazione. Le singole placche hanno morfologia parzialmente conservata: generalmente sono parallele al versante e in continuità con esso a monte, ma marcatamente troncate al piede, tanto da risultare sospese rispetto ai fondivalle attuali.

GRUPPO DI PRATO GRANDE (PLEISTOCENE)

Anche questa è una nuova unità istituita nell'ambito del Progetto CARG, che raggruppa depositi non cementati messi in posto per gravità, in gran parte anteriormente all'ultima avanzata glaciale, ma con profili di alterazione di difficile correlazione, risultando dalla somma della pedogenesi *in situ* e di quella subita dai materiali prima della rimobilizzazione lungo il versante. A tale unità sono attribuiti i depositi di colata e/o frana presenti lungo la Valle di Romentarek, sul versante che dal Colle della Presolana degrada verso est, sul versante occidentale del M. Lantana, in Val di Pora e sul versante nordoccidentale del M. Pora.

È costituita da diamicton massivi pedogenizzati a supporto clastico o di matrice con clasti angolosi eterometrici, da centimetrici sino a blocchi metrici, alimentati dai versanti soprastanti.

SUPERSINTEMA DI COLMA DEL PIANO (PLEISTOCENE)

Raggruppa i depositi glacigenici precedenti all'ultima grande espansione glaciale (*Last Glacial Maximum*) presenti in tutte le valli glacializzate. È suddivisa in unità informali a limiti inconformi o litostratigrafiche per singoli lembi di depositi, sufficientemente ampi da essere cartografati e significativi per la ricostruzione della storia geologica locale. Tali unità testimoniano alcune fasi degli eventi sedimentari avvenuti all'interno dell'arco temporale abbracciato dal supersintema, ma allo stato attuale delle conoscenze e delle metodiche di studio la mancanza di continuità geometrica fra questi corpi non ne consente la correlazione. Nel territorio comunale è rappresentata da depositi glaciali presenti:

- ◆ lungo il versante meridionale del Pizzo della Presolana (unità di Malga Cassinelli ed unità di Malga della Presolana);
- ◆ sulla cresta nord del Pizzo Plagna e sul M. Scanapà.

I primi sono costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice sabbiosa con clasti da centimetrici a metrici, mal selezionati, da subangolosi a ben arrotondati,

alimentati dal bacino locale. Hanno morfologie generalmente ben conservate, con netti cordoni morenici laterali e/o laterofrontali, riferibili alle lingue di due apparati locali che scendevano sino a 1300 m slm (unità Malga Cassinelli) e 1400 m slm (unità Malga Presolana).

I secondi sono costituiti da diamicton pedogenizzati a supporto di matrice argillosa ricca in ossidi di Fe – Mn, con clasti residuali esclusivamente di litotipi quarzosi, con coperture discontinue di ciottoli silicatici residuali, pressoché privi di matrice, e massi erratici isolati o in gruppi. Formano placche di esiguo spessore, coperture discontinue, pellicolari, conservate su superfici a bassa inclinazione o in posizione di cresta. La presenza in tali depositi di silicoclasti esotici rispetto al bacino locale testimonia un'alimentazione dalla testata delle valli principali, probabilmente connessa ad una diffluenza del ghiacciaio camuno entro la valle del Dezzo (attraverso l'attuale valico della Croce di Salven) che giungeva ad affacciarsi oltre lo spartiacque sinistro entro l'attuale bacino del Gera – Valeggia – Borlezza.

SUPERSINTEMA DEI LAGHI (PLEISTOCENE SUPERIORE)

Raggruppa tutti i depositi legati all'ultima avanzata glaciale (LGM) entro il bacino dell'Oglio: oltre ai depositi del ghiacciaio vallivo camuno, comprende quindi anche quelli delle lingue che in tale fase occupavano le valli affluenti senza confluire nel ghiacciaio principale (singole unità locali non distinte cartograficamente). Nel territorio comunale è rappresentata da depositi glaciali formanti esigui lembi annidati alle quote maggiori nella Valle dell'Ombra, alla testata della Valle Olone, nel vallone ad ovest del Pizzo Olone ed in quello ad est del Pizzo di Corzene.

Sono costituiti da diamicton a supporto di matrice sabbiosa con clasti da centimetrici sino a blocchi metrici da subangolosi a subarrotondati (*till* d'ablazione) e da diamicton massivi a supporto di matrice limosa con sparsi clasti sagomati e striati (*till* d'alloggiamento). Hanno morfologie ben conservate.

SINTEMA DEL PO (PLEISTOCENE SUPERIORE – OLOCENE)

È un'unità di recente istituzione che raggruppa tutti i depositi, indipendentemente dall'agente deposizionale, formatisi posteriormente all'ultimo evento glaciale pleistocenico. È stata suddivisa in:

- ◆ Depositi di frana: sono presenti in varie zone del territorio comunale con volumi e estensioni areali variabili. Sono costituiti sia da diamicton a ciottoli e blocchi spigolosi a supporto di matrice argilloso – sabbiosa, che da diamicton a ciottoli e blocchi (anche ciclopici) spigolosi, a supporto clastico.
- ◆ Depositi di versante: sono diffusi su tutto il territorio comunale, ma costituiscono falde detritiche estese solo lungo i versanti sottostanti le pareti rocciose dei rilievi posti a settentrione (M. Campo, Cresta di Valzurio, Pizzo Olone, Presolana e M. Visolo). Sono costituiti da ciottoli e blocchi spigolosi a supporto sia clastico che di matrice, localmente organizzati in corpi clinostratificati. La matrice, ove presente, è prevalentemente sabbiosa – siltosa.
- ◆ Depositi da trasporto in massa: sono presenti in diverse zone del territorio

comunale ma assumono estensione e spessori considerevoli in valle di Tede, con fenomeni di aggradazione a carattere catastrofico anche in tempi recenti (Comune di Tede, nucleo abitato autonomo citato nei documenti del XV secolo e sepolto da una frana nel XVI secolo). Sono costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice limoso – sabbiosa, con clasti angolosi eterometrici alimentati dai valloni soprastanti, o a matrice limoso – argillosa con clasti da arrotondati a subangolosi provenienti dal rimaneggiamento di precedenti depositi glaciali. Sono presenti in diverse zone del territorio comunale ma assumono estensione e spessori considerevoli in valle di Tede, con fenomeni di aggradazione a carattere catastrofico anche in tempi recenti (Comune di Tede, nucleo abitato autonomo citato nei documenti del XV secolo e sepolto da una frana nel XVI secolo).

- ◆ *Depositi colluviali*: sono diffusi su tutto il territorio comunale ma hanno spessore ed estensione cartografabile solo in alcune zone. Sono costituiti da diamicton a clasti da arrotondati a subangolosi, a supporto di matrice limosa o limosa argillosa.
- ◆ *Depositi alluvionali*: sono i depositi dell'alveo di piena del Torrente Gera, costituiti da ghiaie massive a supporto clastico, con matrice sabbiosa da assente ad abbondante, clasti da subangolosi ad arrotondati, a selezione variabile da scarsa a buona.

Nella Tavola GEO_01 sono riportati anche i principali riporti/depositi di origine antropica.

3.2 ELEMENTI GEOMORFOLOGICI E DI DINAMICA GEOMORFOLOGICA

L'attuale configurazione morfologica del territorio in esame è il risultato della combinazione di fattori strutturali, dell'azione modellatrice di diversi agenti morfogenetici e delle condizioni climatiche. Il particolare assetto strutturale delle unità che costituiscono il substrato roccioso e le sue caratteristiche litologiche hanno notevolmente influenzato l'azione degli agenti geomorfici, vista la presenza di litotipi aventi caratteristiche geomeccaniche alquanto differenti e quindi più o meno erodibili.

Gli eventi che hanno modellato il territorio fanno parte integrante dei complessi cicli di deposizione delle unità continentali neogenico – quaternarie, molte delle quali non in equilibrio con la topografia attuale. In particolare, si riscontra la presenza di corpi sedimentari che, seppur inseriti entro una fisiografia confrontabile con quella attuale, sono legati a corsi d'acqua di cui non è più possibile determinare il bacino di recapito. Essi, pertanto, suggeriscono assetti del territorio completamente diversi da quello odierno, di difficile ricostruzione vista la frammentarietà delle testimonianze conservate.

Il territorio di Castione della Presolana ricade per la quasi totalità nel bacino del del Fiume Oglio (soltanto l'estremità nordoccidentale, costituita dalla testata della Valle Olone, è di pertinenza del bacino del Fiume Serio) in quanto comprende gran parte del bacino secondario del Torrente Gera. Tale bacino è modellato nella successione carbonatica ladinico – norica ed è caratterizzato da una marcata

asimmetria dei versanti, diretta conseguenza sia del particolare assetto strutturale, sia delle diverse caratteristiche litotecniche delle rocce presenti. I versanti della destra idrografica (settentrionali) sono più elevati, acclivi e dirupati di quelli meridionali e, inoltre, hanno conservato alcune evidenti morfologie glaciali. Va comunque evidenziato che il territorio in esame, nell'assetto fisiografico che attualmente si osserva, non è mai stato occupato da lingue glaciali importanti. I piccoli apparati del versante meridionale della Presolana nel Pleistocene medio non sono scesi al di sotto dei 1000 m di quota, mentre durante l'LGM erano ridotti ad esigui lembi annidati alle quote maggiori nei valloni meno esposti.

Nel settore settentrionale è ben evidente il controllo strutturale sulla morfologia. L'andamento della faglia di Clusone è evidenziato da un allineamento di cime e culminazioni separate da nette contropendenze dalla cresta principale che dal Pizzo della Presolana scende verso il M. Valsacco. Più ad est, invece, l'andamento del lineamento tettonico è ben evidenziato morfologicamente dalla valle che da Stalle di Donico sale al Giogo della Presolana. Anche l'andamento NE – SW che assume il Torrente Gera ad ovest della Val di Tede è condizionato dall'assetto strutturale determinato dalla direttrice tettonica.

La gravità è uno degli agenti morfogenetici che ha contribuito alla modellazione del settore settentrionale, e che tuttora riveste un ruolo significativo nella sua evoluzione morfologica locale. Le falde detritiche, sia quelle molto antiche e cementate, che formano piastroni clinostratificati, sia quelle formatesi più recentemente (periodo post – glaciale) sciolte, sia inattive e pedogenizzate che attive, sono una delle forme più evidenti di tale modellazione. Lungo i versanti in diverse zone si riscontrano anche trincee di rilascio gravitativo che, tuttavia, sembrano coinvolgere porzioni relativamente limitate del substrato roccioso, tranne che sul versante meridionale del M. Lantana.

I fenomeni di rilascio gravitativo hanno interessato anche i corpi conglomeratici neogenico – quaternari presso Malga Cassinelli e sul dosso tra Poerza e San Bernardo. Le forme più tipiche connesse all'azione della gravità sono le frane, e nel settore settentrionale sono presenti testimonianze di dissesti in roccia di grandi dimensioni avvenuti in epoca remota (es. versanti occidentali dei monti Scanapa' e Lantana). Attualmente i fenomeni gravitativi che interessano il substrato roccioso sono dati dai crolli e dall'erosione accelerata. I crolli interessano diffusamente gran parte delle pareti rocciose e delle porzioni di versante molto acclivi e, in minor misura, le scarpate che delimitano il sistema di terrazzi conglomeratici su cui sorgono i centri abitati.

I fenomeni di erosione accelerata invece sono concentrati lungo fasce rocciose tettonizzate (lungo la faglia di Clusone tra il Pizzo Cremisano ed il M. Cornetto) o molto fratturate (Valle di Romentarek, Valle del Bigliardo, tratto iniziale della Valle dei Mulini e vallone che scende poco ad ovest di Bratto), dove si sono sviluppate aree solcate da un fitto reticolo di canali separati da ripide creste (pseudo – calanchi).

Per quanto riguarda i depositi di copertura, le frane sono localizzate sui pendii più acclivi. Prevalentemente si tratta di fenomeni di tipo *soil – slip*, di piccole dimen-

sioni, in cui svolge un ruolo fondamentale la presenza di acqua. Essi si innescano o riattivano in concomitanza sia di forti piogge, sia di precipitazioni non particolarmente intense ma perduranti, sia nel periodo del disgelo.

Le estese placche di depositi di versante litificati e cementati sospese a quote superiori ai 1000 m slm (Malga Ramel, Malga Pozzetto, Malga di Bares e fra Monte Cornetto e Malga Cassinelli) sono geometricamente correlabili con le placche di conglomerati alluvionali conservati in posizione di cresta presso Monte San Leonardo e fra San Bernardo e Poerza. Tutti questi lembi conglomeratici (riuniti cartograficamente nel Conglomerato di San Bernardo) non hanno corrispettivi in sinistra idrografica e la distribuzione delle facies fra le singole placche fa ipotizzare l'esistenza di un bacino complesso, con un corso d'acqua a decorso NE – SW, tagliato trasversalmente dai valloni attuali e delimitato verso meridione da una spalla in roccia (M. San Leonardo – Cornetto) che lo separava rispetto all'area a meridione del Pizzo di Corzene.

Sempre nel settore settentrionale, parallelamente all'andamento della faglia di Clusone, si sviluppa una fascia caratterizzata dalla presenza di corpi conglomeratici che formano il gradino morfologico su cui sorgono i centri abitati di Bratto – Dorga e Castione della Presolana. Si tratta di più cicli di conglomerati alluvionali di alimentazione locale, da fortemente cementati sino a litificati, nonché carsificati in falda. I singoli litosomi appaiono smembrati dal modellamento successivo, tanto da risultare di incerta pertinenza paleogeografica, e sospesi sul fondovalle attuale.

A monte di Castione, le nette scarpate erosionali che delimitano le singole superfici delineano un paleoalveo a decorso NE – SW, che scende da Stalle di Donico attraverso Bratto – Dorga. La superficie topografica risale a gradini verso meridione, dove poi è troncata dalla scarpata della Valle di Tede, con un dislivello che raggiunge i 200 m. Lungo tale scarpata anche il substrato mesozoico risale, delineando un paleoversante sinistro che contiene i depositi. Lungo la scarpata ed entro l'abitato in prossimità di essa, i conglomerati presentano facies di versante alimentate dalla successione norica affiorante nel settore meridionale e clinostratificati verso NW. Ciò fa presumere che la valle attuale del Gera (Valle di Tede) si sia impostata successivamente non solo alla formazione di tali depositi, ma anche alla loro cementazione e carsificazione, e abbia preso il posto degli originari rilievi del fianco meridionale della paleovalle principale, che da Castione proseguiva verso il Giogo della Presolana. Quest'ultima, a sua volta, si era impostata a meridione rispetto alle paleovalli dei Conglomerati di San Bernardo, pertanto nel corso del tempo deve essere avvenuto uno spostamento dell'asse del drenaggio da NW verso SE, sviluppato per fasi successive, probabilmente a partire dal Neogene.

Tali evidenze hanno indotto ad ipotizzare movimenti neotettonici di una certa importanza, con un sollevamento differenziale del comparto settentrionale (FERLIGA, 2007).

I principali torrenti provenienti dai versanti settentrionali superano il gradino morfologico costituito dalle unità conglomeratiche più antiche, entro strette e profonde forre. Le stesse, tuttavia, solo saltuariamente sono interessate da deflusso

idrico, poiché questo, in condizioni precipitative normali, avviene principalmente attraverso il fitto reticolo carsico sviluppato nei conglomerati e nel sottostante substrato roccioso.

Il fondovalle dell'attuale Gera, posto attorno agli 800 m di quota presso Tede, scende molto gradatamente sino a circa 700 m slm in corrispondenza dell'estremità occidentale del territorio comunale. Il corso d'acqua riceve principalmente gli apporti detritici del versante sinistro (settore meridionale del territorio comunale), la cui dinamica è nettamente condizionata dalla pervasiva fratturazione delle dolomie noriche presenti nell'area dei monti Varro e Cima di Campo.

Lungo tutti i versanti di tali rilievi sono diffusi i fenomeni di erosione accelerata: la cospicua massa di detriti prodotta nei settori più interni si accumula nei profondi canali (spesso a controllo strutturale) che solcano la compagine rocciosa, per poi essere mobilizzati durante eventi a carattere catastrofico. La Valle di Tede, così come i valloni suoi tributari che scendono dal M. Varro e dalla Cima di Campo si presentano riempiti da grandi colate da trasporto in massa, formanti ampie superfici piate, a tratti terrazzate alimentate dai detriti che si accumulano nei canali interni. Tale dinamica, che appare tutt'oggi attiva, si potrae probabilmente dal Pleistocene medio, e le varie fasi di deposizione sono ben evidenziate dalla presenza nel fondovalle di più ordini di terrazzi costituiti da ghiaie non cementate. L'aggradazione dei due ordini di terrazzi più antichi del ciclo è legata alla presenza al margine dell'area della fronte di una diffluenza del ghiacciaio camuno, ai cui depositi fluvioglaciali essi si raccordano verso occidente.

Sempre nel settore meridionale, ma più ad est, l'intero versante compreso tra il M. Pora e la Valle Sola di Vareno è interessato da una deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV), che coinvolge la successione rocciosa carnica (formazioni di San Giovanni Bianco e Gorno). Tale fenomeno, oltre che da vistose trincee di rilascio, è evidenziato da numerose fratture e nicchie di distacco/dislocazione, e dalla presenza di ampie plaghe di antichi depositi di frana (depositi attribuiti al gruppo di Prato Grande).

Per quanto riguarda la morfogenesi carsica, nel territorio comunale sono presenti alcune piccole doline entro le evaporiti della Fm. di San Giovanni Bianco (zone della Malga Presolana e Malga Olone), nel Calcare di Esino e nella Fm. di Castro Sebino. In quest'ultima unità è modellata la dolina de la Foppa, sconsideratamente riempita artificialmente con inerti alla fine del secolo scorso.

Relativamente alle forme ipogee, nel catasto on – line (Catasto Speleologico Lombardo – Progetto Tu.Pa.Ca) attualmente sono censite 23 grotte di limitata estensione e profondità, delle quali ben 10 nei conglomerati alluvionali su cui sorgono i centri abitati principali.

3.2.1 Ricerca storica su eventi franosi ed alluvionali

Al fine di definire compiutamente il quadro del dissesto presente in ambito comunale, è stata realizzata una ricerca storica sui fenomeni franosi e sugli eventi alluvionali verificatisi nel passato consultando essenzialmente:

- ◆ un database contenente le segnalazioni ricavate dagli articoli riportati sui quo-

tidiani della provincia, con dati a partire dal 1880 circa;

- ◆ Studio dei dissesti del territorio della Comunità Montana Valle Seriana Superiore redatto da GeoTer nel 1998;
- ◆ “*Componente geologica nella pianificazione comunale a supporto del Piano Regolatore Generale*” redatto da GeoTer nel 1995;
- ◆ “*Componente geologica nella pianificazione comunale a supporto del Piano Regolatore Generale*” redatto da Ecogeo nel 2002;
- ◆ “*Centri abitati instabili della Provincia di Bergamo*” Pubblicazione CNR – GND- CI 2906 a cura di SCIESA E. & al. (2006);
- ◆ “*Eventi di piena e frana in Italia settentrionale nel periodo 2002 – 2004*” Pubblicazione GND CI 2911 a cura di TROPEANO D. & al. (2006);
- ◆ “*Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio – Aggiornamento/integrazione (ai sensi della LR 12/2005) allo studio geologico comunale*” di MARELLA M. & CARRARO M. (2013);
- ◆ Varie relazioni, segnalazioni e note varie fornite dall’Amministrazione comunale (anno di messa a disposizione 2018).

Di seguito si riportano le segnalazioni che hanno attinenza con il territorio in esame.

Data	Località	Evento
XVI secolo	Tede	Nucleo abitato autonomo sepolto da una frana.
16/10/1907	Castione	Evento alluvionale causa frana sulla strada principale.
Anni '30	Castione	Frana a valle di via Romentarek
02/08/1938	Castione	Evento alluvionale con danni alle abitazioni e coltivazioni, forte piena dei torrenti della zona.
Anni '50	Castione	Danni alla cascina in via Monte Campo a seguito di una colata di fango che si è staccata dal pendio intorno a quota 900 m slm
1955	Lantana	La piena del torrente Lantana causa gravi danni alla via Predusolo, all'epoca sterrata e priva di tombinature.
Agosto 1977	Bratto – Dorga	A seguito di piogge eccezionali, tutto il collettore fognario lungo la valle che attraversa le frazioni di Bratto e Dorga è stato distrutto da un'alluvione che ha attivato violentemente la stessa valle di Dorga.
	Castione	Straripamento della valle di Varval intubata a monte della via Regalia con gravi danni al centro di Castione.
Agosto 1978	Bratto	Straripamento della Valle Cungia in corrispondenza della tombinatura sotto la ex – SS 671 con gravi danni all'abitato di Bratto ed allagamento della strada.
1978	Bratto	Esondazione del torrente Gler causa gravi danni alle strutture del campeggio situato in adiacenza.
Luglio 1981	Bratto	Straripamento della Valle Cungia in corrispondenza della tombinatura sotto la ex – SS 671 con gravi danni all'abitato di Bratto ed allagamento della strada.
	Castione	Straripamento di una valletta intubata a monte della via Glaiola con gravi danni alla strada. Il Genio Civile di Ber-

Data	Località	Evento
		gamo è intervenuto creando un canale di gronda che devia parte delle acque della valletta verso via S. Rocco e la valle dei Mulini. Straripamento della valle di Varval intubata a monte della via Regalia con gravi danni al centro di Castione.
Luglio 1987	Bratto	Frana di crollo dalle pareti della Corna Rossa, a circa 1300 m di quota. Alcuni blocchi si sono arrestati a 1080 m, poco a monte di alcune abitazioni. Alla fine degli anni '90 è stato realizzato un vallo paramassi.
2003	Castione	Frana che coinvolge la coltre superficiale di copertura lungo via Denzil.
Inverno 2008 – 2009	Castione	Riattivazione della frana lungo via Denzil.
16/11/2010	Strada M. Pora	Frana. <i>"Si aggrava il bilancio dei danni provocati dal maltempo in provincia di Bergamo. Una frana di oltre duemila metri cubi di roccia e terra è caduta nel pomeriggio in alta Valle Seriana, lungo la strada che collega Castione della Presolana con il Monte Pora. Il tratto interessato e' stato chiuso al traffico e alcune centinaia di persone, residenti in due frazioni del paese, sono rimaste isolate. La frana si e' staccata dalla parete montuosa intorno alle 14, senza causare danni alle persone."</i> (ANSA).

3.2.2 Lineamenti geomorfologici e di dinamica geomorfologica

Nella Tavola GEO_02 sono riportati gli elementi che permettono di identificare le principali forme presenti sul territorio ed i processi che tuttora agiscono, determinandone l'evoluzione.

Come previsto dalla normativa vigente, in carta sono state evidenziate le porzioni di versante con pendenze superiori a 20° nel caso siano ricoperti da depositi sciolti o poco cementati di spessore significativo e quelle con pendenze superiori a 35° se con substrato affiorante/subaffiorante, o con copertura di modesto spessore o ben cementata.

Di seguito si riporta una breve descrizione degli elementi identificati.

FORME E PROCESSI GRAVITATIVI

- ◆ *Orlo di scarpata di degradazione/frana:* con tale simbologia lineare sono state cartografate le nicchie di frana vere e proprie e gli orli delle aree interessate da erosione diffusa; distinguendole in base allo stato di attività in tre classi (attiva, quiescente e stabilizzata).
- ◆ *Accumulo di frana:* i corpi di frana sono stati delimitati arealmente e distinti, in base allo stato di attività, nelle tre classi riportate per le nicchie (va precisato che, in alcuni casi, a valle della nicchia l'accumulo non è più morfologicamente o tessitualmente discriminabile da altri depositi o è stato eroso o rimaneggiato da ulteriori fenomeni gravitativi).
- ◆ *Area in erosione/degradazione diffusa:* con un simbolo areale sono state cartografate le zone costituite da roccia tettonizzata o molto fratturata che, a causa dei fenomeni erosivi, presentano una morfologia di aspetto calanchivo.

In tali zone, oltre alla gravità, assume o ha avuto un ruolo significativo anche l'azione erosiva delle acque superficiali. Per tale simbologia sono stati utilizzati due diversi stati di attività (attivo e quiescente).

- ◆ *Falda di detrito attivo o non stabilizzata*: con un simbolo areale sono state cartografate sia le porzioni di falda detritica ancora attualmente alimentate dalle pareti sovrastanti, sia quelle non o parzialmente vegetate, prive di una copertura pedologica che ne protegga il dilavamento.
- ◆ *Trincea di rilascio gravitativo*: con simbolo lineare sono state riportate le trincee di rilascio gravitativo individuate, che si sviluppano sia nel substrato roccioso, sia in alcuni litosomi conglomeratici neogenico – quaternari.
- ◆ *Area interessata da DGPV*: con simbologia areale è stata delimitata la porzione del versante settentrionale del M. Pora interessata da tale fenomeno gravitativo.

FORME E PROCESSI LEGATI ALLO SCORRIMENTO DELLE ACQUE SUPERFICIALI

- ◆ *Alveo a fondo inciso*: tale simbologia è stata utilizzata per evidenziare l'andamento di tutti i tratti di corsi d'acqua, a carattere sia permanente, sia temporaneo o stagionale, con alveo ben definito e con una generale tendenza all'approfondimento.
- ◆ *Solco di ruscellamento concentrato, alveo poco definito*: tale simbologia è stata utilizzata per evidenziare tutte le incisioni minori create dall'azione erosiva delle acque di scorrimento superficiale temporaneo in occasione di forti precipitazioni.
- ◆ *Tratto di alveo con elevato trasporto solido*: indica le porzioni di alvei occupati da detrito o sovralluvionati, dove il materiale presente può essere preso in carico e trasportato dall'acqua in occasione di eventi meteorici rilevanti.
- ◆ *Orlo di scarpata di erosione torrentizia*: il simbolo è stato utilizzato per evidenziare sia le scarpate d'erosione attuali o recenti, sia quelle che delimitano i terrazzi delle ampie superfici che si estendono in destra idrografica del T. Gera, alle pendici dei M. Varro e della Cima di Campo, che quelle che delimitano i paleo – terrazzi che modellano i litosomi conglomeratici su cui sorgono i centri abitati principali. Sono stati suddivisi in tre classi in base allo stato di attività (attiva, quiescente e stabilizzata).
- ◆ *Traccia di paleoalveo*: il simbolo è stato utilizzato per evidenziare varie incisioni di corsi d'acqua che, in passato, solcavano i depositi detritico – alluvionali alle pendici dei M. Varro e della Cima di Campo (alcuni molto probabilmente sono solchi di *debris – torrent*), ed un paleoalveo inciso nei Conglomerati di Fino del Monte nella zona di Rucola.
- ◆ *Conoide*: con tale simbologia sono stati indicati gli accumuli di materiali detritico – alluvionale dalla tipica forma a ventaglio, anche se in sinistra idrografica al T. Gera presentano forme morfologie più articolate a causa della coalescenza di diversi apparati. Si tratta di conoidi di origine prevalentemente mista, con apporti derivati prevalentemente da fenomeni di trasporto in massa

(*debris – torrent*). Tali forme sono state suddivise in base allo stato di attività in tre classi (attiva, quiescente e stabilizzata).

- ◆ *Accumulo di debris – flow*: con tale simbologia sono stati indicati alcuni accumuli da trasporto in massa recenti presenti a monte di Malga Cassinelli e Malga Corzene.

FORME E PROCESSI LEGATI AL CARSISMO

- ◆ *Dolina*: con una simbologia areale sono state cartografate le più tipiche macroforme carsiche superficiali, che si presentano come depressioni chiuse, di forma generalmente circolare od ellittica.

FORME DI ORIGINE GLACIALE E PERIGLACIALE

- ◆ *Cresta di cordone morenico*: con una simbologia lineare è stato evidenziato l'andamento dei cordoni morenici che modellano i depositi precedenti l'ultima grande espansione glaciale (Supersistema della Colma del Piano) che quelli, di minore sviluppo, formati dai depositi del LGM (Sistema dei Laghi).
- ◆ *Protalus rampart*: con una simbologia lineare sono stati evidenziati i cordoni detritici che delimitano le parti basse di nevai perenni o semiperenni, esistenti o sciolti (tali forme periglaciali sono conosciute anche come nivomorene o argini detritici di nevato).

ELEMENTI ANTROPICI

La maggior parte degli elementi antropici è già riportata sulla base topografica utilizzata, pertanto in carta sono stati riportati soltanto alcuni elementi non evidenti o che hanno attinenza alle dinamiche geomorfologiche tratte dal database regionale ODS.

3.3 ELEMENTI IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

In questa sezione sono raccolte le conoscenze relative all'idrografia superficiale ed alla circolazione idrica sotterranea disponibili per il territorio di Castione della Presolana. Tali conoscenze potranno essere utilizzate per la caratterizzazione quantitativa e qualitativa e la difesa delle risorse idriche.

3.3.1 Acque superficiali

Per quanto riguarda gli aspetti idrologici, il territorio di Castione della Presolana appartiene al bacino del torrente Borlezza a sua volta ricadente entro il bacino del fiume Oglio. Quest'ultimo ha origine dal Corno dei Tre Signori (3360 m), nel gruppo dell'Ortles, al confine fra la Lombardia ed il Trentino Alto Adige, scorre interamente in territorio lombardo per circa 280 km e sfocia nel Po a monte dell'abitato di Borgoforte (MN). Il suo bacino idrografico interessa un'area totale di circa 6.650 km². Gli affluenti principali sono il Fiume Mella e il Fiume Chiese, entrambi dalla sponda orografica sinistra. Soltanto l'estremità nordoccidentale del territorio comunale, costituita dalla testata della Valle Olone, è di pertinenza del bacino del Fiume Serio, in quanto afferisce al T. Ogha, suo tributario sinistro che scende lungo la Valzurio.

Il torrente Borlezza nasce dalle pendici settentrionali del Monte Pora e sfocia, dopo 20 km circa, nel Lago d'Iseo. Esso raccoglie sulla destra idrografica le acque del rio Oneto, emissario del Lago di Gaiano. Il territorio della Val Borlezza si estende in senso Nord – Sud per circa 136,4 km² ed è delimitato da uno spartiacque che nella porzione centro – settentrionale si mantiene quasi sempre sopra i 1000 m di quota, mentre in quella meridionale scende sino ai 187 m del lago. Nel primo tratto il corso d'acqua ha andamento NE – SW ed occupa una ampia conca nella quale si trova l'abitato di Castione della Presolana.

All'altezza di Songavazzo – Rovetta con una ampia e netta curva cambia decisamente direzione e assume andamento NW – SE. Il bacino lacustre di Pianico – Sèllere occupa il settore inferiore della Val Borlezza tra Sovere, Pianico e Lovere; nell'ultimo tratto il torrente percorre una profonda forra nota come orrido o gola del Tinazzo.

In questo suo percorso, tutto sommato abbastanza breve, il torrente viene chiamato con ben sei nomi differenti: nel tratto iniziale assume il nome di "Valle Pora", poi "Valle di Tede", "Torrente Gera" sino a Fino del Monte e subito dopo "Torrente di Valeggia" all'altezza di Onore, "Torrente Borlezza" nel tratto tra Cereete Basso e Pianico e per ultimo "Tinazzo" quando arriva a Poltragno (circa l'ultimo km).

Questa molteplicità di denominazioni si riflette anche in quanto indicato nell'elenco del Reticolo Principale così come definito dalla recente DGR X/7581/2017 (si veda Tabella 6).

N	Denominazione	Foce/sbocco	Tratto classificato principale	N iscrizione elenco acque pubbliche
156	Torrente Borlezza o Torrente Gera o Torrente Tinazzo o Torrente Val di Tede o Torrente Valeggia o Torrente Valle di Pora	Lago d'Iseo	dallo sbocco alla confluenza della Valle di Vareno	306
161	Torrente Valle dei Mulini o Torrente Borzo o Torrente Mersi	Borlezza	dallo sbocco alla confluenza a quota 1300 m	316 e 803
162	Torrente Campello o Torrente Gera	Borlezza	dallo sbocco alla confluenza della Valle di Salaer	315 e 798

Tabella 6: Estratto della Tabella Allegato A Individuazione del reticolo idrico principale relativa al comune di Castione della Presolana.

Gli apporti idrici maggiori il T. Gera li riceve dai corsi d'acqua della sua destra idrografica, caratterizzati da un regime spiccatamente torrentizio, alcuni dei quali mostrano chiare evidenze di trasporto solido elevato. Questo, tuttavia, non alimenta in maniera significativa il T. Gera, in quanto il piastrone conglomeratico su cui sorgono gli abitati di Castione, Bratto, Dorga e Lantana funge da ostacolo morfologico. La pericolosità di tali aste minori è quindi dovuta al fatto che alcune di esse sono tombinate al di sotto delle aree urbanizzate che sorgono sul piastrone e, quindi, in occasione di eventi di piena di particolare entità, il materiale che trasportano può occludere l'ingresso delle tombinate.

Nel suo percorso, il Borlezza attraversa una notevole varietà di paesaggi, da quelli più prettamente alpini sino a quelli tipicamente lacustri; l'immissione delle acque del torrente Borlezza nel Lago d'Iseo rappresenta il miglior esempio di delta lacustre del Sebino. In generale se si esclude l'area più antropizzata, sono ben conservati i caratteri morfologici naturali originari.

Sulla base delle osservazioni di lungo periodo, risulta che la valle del torrente Borlezza usufruisce di un apporto meteorico medio annuo compreso fra i 1100 - 1400 mm, distribuito con un minimo assoluto nel periodo invernale, un massimo assoluto nella tarda primavera e due relativi nel periodo estivo ed autunnale. Si tratta di una regime assimilabile a quello di tipo sublitoraneo padano, anche se le cospicue precipitazioni che di norma caratterizzano i mesi estivi, fanno ritenere la zona in esame in una situazione transizionale verso il tipo continentale.

Gli apporti solidi principali il T. Gera li riceve dalla sua destra idrografica, trasportati dai corsi d'acqua (anch'essi a carattere marcatamente torrentizio), che solcano le aree in erosione accelerata dei versanti settentrionali dei monti Varro e Cima di Campo.

3.3.2 Acque sotterranee

L'assetto idrogeologico del territorio di Castione della Presolana è strettamente collegato ai caratteri geostrutturali e geomorfologici; i bacini di alimentazione delle acque sotterranee ed i loro punti di recapito sono infatti condizionati dalla natura dei terreni e dalla disposizione delle principali discontinuità tettoniche. Dal punto di vista idrogeologico l'area è caratterizzata dalla presenza di litologie a differente permeabilità, descritte nello studio geologico del 2002 a firma dott. Marsetti come segue:

- ♦ terreni e rocce con permeabilità da elevata a buona: $K > 10^{-2}$ cm/s. I terreni comprendono sia le alluvioni ghiaiose presenti nel letto dei torrenti Gera, Sola e Pora e degli altri corsi d'acqua, sia i detriti di falda sciolti privi di suolo o con vegetazione pioniera, presenti soprattutto alla base delle pareti rocciose del Pizzo della Presolana, delle Cime di Bares e della Cresta Valzurio. Rientrano in questa classe anche le rocce dolomitiche appartenenti alla Dolomia Principale, laddove intensamente fratturate (zona del Cluren, Coma Rossa, valle di Gler) e nelle stesse condizioni le rocce del Calcere di Esino fratturate e carsificate (zona del Pizzo Plagna, Valle dell'Ombra, Pizzo Olone). In particolare, le rocce del Calcere di Esino, intensamente fratturate ed interessate da diffusi e profondi fenomeni carsici, rappresentano il più cospicuo bacino acquifero della zona. La loro grande massa sovrascorsa infatti permette l'accumulo di notevoli quantità di acque sotterranee che in parte emergono nella zona delle Terre Rosse della valle Mesclusa e della valle di Bares.
- ♦ terreni e rocce con permeabilità da buona a media: $10^{-2} \geq K \geq 10^{-4}$ cm/s. I terreni sono costituiti da detriti di falda, morene ed alluvioni ricoperte da suolo e con maggiore frazione fine (sabbiosa) rispetto ai terreni compresi nella classe precedente. Essi comprendono anche i depositi fluvioglaciali; i detriti di falda cementati; i sedimenti di conoide a prevalente componente ghiaioso sabbiosa; i riporti artificiali, i terrapieni e le discariche. Questi terreni sono dif-

fusi su gran parte del versante meridionale dell'arco della Presolana, nella valle di Tede, nei versanti settentrionali di monte Varro e Cima di Campo e a Malga Alta Vanzelli. A questa classe appartengono le rocce non carsificate del Calcare di Esino, che costituiscono il Pizzo della Presolana, la Cima di Bares, monte Campo e monte Valsacco. Rientra a far parte di questa classe anche una fascia di roccia dolomitica, con fratturazione pervasiva, appartenente alla Dolomia Principale, che caratterizza l'area compresa tra Pizzo Cremisano e la zona di Ponciai.

- ◆ terreni e rocce con permeabilità da media a scarsa (S): $10^{-4} \geq K \geq 10^{-6}$ cm/s. Appartengono a questa classe di permeabilità le rocce non fratturate della Dolomia Principale (Priona, Pizzo Unel, Cima Carnet, Pizzo Cremisano, La Pisterla, Corna Rossa, monte Sarradone, monte Scanapà, Cima di Campo, monte Varro), le rocce calcaree della Formazione di Breno (monte Valsacco, Pizzo Plagna, pendici meridionali della Cresta di Valzurio) ed i calcari ad interstrati marnosi fratturati della Formazione di Gorno (monte Pora).
- ◆ terreni e rocce impermeabili (W): $K < 10^{-6}$ cm/s. I terreni sono costituiti dalle morene argillose che si osservano sopra il terrazzo fluvioglaciale nella zona dell'Agro di Castione. Le rocce comprendono invece la formazione dolomitico – mamosa di San Giovanni Bianco (valle Pora, valle Sola e zona compresa tra Cresta di Valzurio e Cima di Bares – Pizzo Olone), la Formazione di Gorno, dove essa non si presenta fratturata (zona tra monte Pora e Colle Vareno) e le porfiriti. In particolare le rocce delle formazioni di San Giovanni Bianco e di Gorno hanno un ruolo idrogeologico molto importante, poiché esse, collocandosi alla base delle superfici di sovrascorrimento della Presolana, costituiscono i livelli impermeabili che ne sostengono gli acquiferi.

Data la particolare conformazione litologica e geomorfologica del territorio di Castione, è possibile considerare che la falda principale si attesti ad una profondità di circa 60 – 70 m dal p.c., ad eccezione di piccole falde sospese che possono essere presenti.

Le acque che alimentano gli acquedotti di Castione della Presolana sono per la quasi totalità derivate da sorgenti e per una piccola parte ottenute mediante pompaggio da un pozzo ubicato in territorio di Onore. Complessivamente le opere di captazione che servono l'acquedotto comunale sono 20 e sono elencate in Tabella 7.

Tali sorgenti possono essere suddivise in tre diversi raggruppamenti:

- ◆ Nella zona Bares – Mesclusa – Mers si identificano 14 sorgenti prevalentemente "con soglia di permeabilità sottoposta", in quanto il tamponamento della circolazione idrica avviene da parte degli strati impermeabili e plastici della Formazione di San Giovanni Bianco, coinvolti in una sinclinale fagliata a formare una "conca" sulla quale sono sovrascorse le rocce "serbatoio" del Calcare di Esino. Per quattro di queste sorgenti (Mesclusa Bassa, Terre Rosse, Mers A e Mers B) si può anche ipotizzare che la circolazione idrica sotterranea sia legata non solo ai livelli impermeabili che si trovano sotto all'acquifero ("soglia di permeabilità sottoposta"), ma anche alla "faglia di Clusone", che

per il suo carattere compressivo costituisce un setto impermeabile subverticale ("soglia di permeabilità sovrainposta"). Si è osservato che mentre le dislocazioni SO – NE (faglia di Clusone) hanno carattere compressivo, le linee tettoniche dirette NordOvest – SudEst hanno carattere distensivo ed agiscono come dreni sotterranei, infatti, alla loro intersezione con il sistema citato in precedenza si riscontrano le maggiori venute d'acqua.

N.	ID	East	North	Quota	P. concessa (l/s)	P. disponibile (l/s)
1	Bares_1	580.489	5.087.655	1.475	0,18	3,00
2	Bares_2	580.452	5.087.644	1.420	0,30	5,00
3	Bares_3	580.456	5.087.536	1.370	0,71	12,30
4	Bares_4	580.434	5.087.541	1.367	0,62	9,60
5	Bares_5	580.443	5.087.493	1.350	0,25	4,00
6	Bares_6	580.458	5.087.493	1.345	0,51	8,00
7	Cisternello_Mesclusa	580.806	5.087.480	1.395	0,07	1,18
8	Fontanino_Freddo	584.272	5.083.414	1.075	1,00	1,00
9	Mers_A	580.498	5.087.210	1.265	0,09	1,45
10	Mers_B	580.495	5.087.215	1.270	0,15	2,30
11	Mesclusa_alta	581.005	5.087.966	1.550	0,11	1,67
12	Mesclusa_bassa	580.871	5.087.533	1.480	0,16	2,67
13	Mesclusa_di_mezzo	580.990	5.087.923	1.530	0,53	8,00
14	Pora_1	584.379	5.082.872	1.220	1,00	1,00
15	Pora_2	584.375	5.082.906	1.175	1,10	1,10
16	Pozzo_Benedicta_(chiuso)	584.906	5.086.762	1.297	-	-
17	Presolana	581.115	5.088.067	1.680	0,01	0,10
18	Sola	584.538	5.083.535	1.120	1,10	1,15
19	Solfer	580.115	5.086.089	1.045	0,27	4,52
20	Terre_Rosse	581.162	5.087.849	1.650	0,08	1,23
TOTALE PORTATE					8,24	69,27

Tabella 7: Ubicazione e portate delle captazioni ad uso potabile. Le portate disponibili, superiori a quelle effettivamente concesse, sono state determinate in sito mediante specifici sopralluoghi da parte del geol. Diego Marsetti nel 2001/2002.

- ◆ Le quattro sorgenti delle valli di Pora e Sola si classificano "a limite di permeabilità definito", in quanto sono legate alla giacitura a franapoggio) del contatto fra il terreno detritico ed alluvionale di copertura ed i sottostanti calcari marnosi impermeabili (Formazioni di Gorno e San Giovanni Bianco).
- ◆ La profonda incisione della valle dei Mulini permette lo scaturire di una sorgente "per affioramento della piezometrica della falda libera" (sorgente Solfer).

3.3.3 Lineamenti idrogeologici ed idrografici

Nell'allegata Tavola GEO_03, redatta in scala 1:10.000, sono riportati gli elementi relativi alla rete idrografica, le principali sorgenti ed indicazioni di massima sulla permeabilità dei terreni di copertura e del substrato roccioso.

Nella legenda utilizzata sono riportati gli elementi di seguito brevemente descritti.

- ◆ Reticolo idrografico principale;
- ◆ Reticolo idrografico minore;
- ◆ Limite di bacino: il dato è stato ricavato dalla banca dati della Regione Lombardia e ridisegnato sulla base dell'aerofotogrammetrico comunale.
- ◆ Ubicazione delle sorgenti captate ad uso idropotabile connesse all'acquedotto comunale;

- ◆ Ubicazione delle sorgenti captate per utilizzi diversi dal potabile;
- ◆ Ubicazione delle sorgenti non captate;
- ◆ Faglie/sovrascorrimenti/scivolamenti gravitativi: sono stati riportati i principali lineamenti tettonici in quanto possono rappresentare sia vie preferenziali di circolazione idrica sotterranea sia, più in generale, elementi di variazione della permeabilità del substrato in grado di influenzare i flussi di circolazione idrica sotterranea.
- ◆ Classi di permeabilità delle coperture e del substrato roccioso: per un esame di dettaglio delle classi impiegate, si veda il paragrafo 3.3.3.1.

3.3.3.1 Classi di permeabilità delle unità cartografate

I depositi superficiali riconosciuti sul territorio comunale sono stati suddivisi nelle quattro classi di permeabilità riportate nella Tabella 8.

Classe di permeabilità depositi superficiali	Valori di permeabilità (k=m/s)
Bassa	$k < 10^{-7}$
Media	$10^{-5} < k < 10^{-7}$
Elevata	$10^{-3} < k < 10^{-5}$
Molto elevata	$k > 10^{-3}$

Tabella 8: Classi di permeabilità utilizzate per i depositi di copertura con relativo range di valori.

Le formazioni rocciose costituenti il substrato roccioso dell'area studiata invece, sono state suddivisi in classi di permeabilità, sulla base della Tabella 9.

Classe di permeabilità substrato roccioso	Valori di permeabilità (k=m/s)
Bassa	$10^{-8} < k < 10^{-11}$
Media	$10^{-7} < k < 10^{-9}$
Elevata	$10^{-4} < k < 10^{-9}$

Tabella 9: Classi di permeabilità utilizzate per il substrato roccioso con relativo range di valori.

Per quanto riguarda gli ammassi rocciosi va precisato che, in mancanza di prove dirette, le classi di permeabilità utilizzate derivano da dati di letteratura, ricavati anche da indagini in sito su ammassi rocciosi, costituiti dalle stesse litofacies, presenti in territori limitrofi. Poiché la permeabilità del substrato roccioso dipende essenzialmente dal grado di fratturazione, che nelle facies carbonatiche condiziona lo sviluppo dei reticoli carsici, è inevitabile che la stessa vari sensibilmente anche all'interno della stessa formazione litologica. In particolare, nelle porzioni più corticali, rilasciate, e in prossimità dei contatti tettonici, può essere decisamente più elevata.

Il range di valori fornito è indicativo della variazione di permeabilità tra le porzioni d'ammasso roccioso più fratturate e quelle meno. Va da sè, comunque, che por-

zioni d'ammasso poco fratturate spesso siano interessate da un limitato numero di discontinuità molto persistenti, sulle quali si sono impostate condotte carsiche di notevole dimensione e sviluppo e che, se attive, possono essere sede di una cospicua circolazione idrica.

Relativamente ai depositi superficiali, le classi di permeabilità adottate sono evidenziate in Tabella 10 mentre la suddivisione adottata per le formazioni rocciose che costituiscono il substrato è riportata in Tabella 11.

Classe di permeabilità	Valori di permeabilità (k=m/s)	Tipologia dei depositi neogenico – quaternari
Bassa	$k < 10^{-7}$	Sintema del Po: depositi colluviali
Media	$10^{-5} < k < 10^{-7}$	Tillite di S. Antonio: depositi glaciali cementati/alterati Sintema di Corno Ceresa: depositi glaciali cementati/alterati Supersintema dei Laghi: depositi glaciali (in parte)
Elevata	$10^{-3} < k < 10^{-5}$	Conglomerato di San Bernardo: depositi alluvionali e di versante Conglomerato di Malga Corzene: depositi di versante Conglomerato di Lantana: depositi alluvionali e di versante Conglomerato di Bratto: depositi alluvionali e di versante Conglomerato di Castione della Presolana: depositi alluvionali e da trasporto in massa Conglomerato di Fino del Monte: depositi alluvionali, di conoide, di versante e da trasporto in massa Sintema di Stalle d'Onito: depositi di alluvionali e di <i>debris – flow</i> Sintema dei Prati di Sta: depositi di alluvionali e di <i>debris – flow</i> Gruppo del Culmine: depositi di versante/frana cementati Gruppo di Prato Grande: depositi frana Supersintema della Colma del Piano: depositi glaciali Supersintema dei Laghi: depositi glaciali (in parte) Riporti
Molto elevata	$k > 10^{-3}$	Sintema del Po: <ul style="list-style-type: none"> ▪ depositi di versante ▪ depositi di frana ▪ depositi alluvionali ▪ depositi da trasporto in massa

Tabella 10: Classi di permeabilità attribuite ai depositi di copertura presenti nel territorio comunale.

Classi di permeabilità	Valori di permeabilità (k=m/s)	Formazioni
Bassa	$10^{-8} < k < 10^{-11}$	Argillite di Lozio Fm. di San Giovanni Bianco: litofacies facies areanacea e dolomitico – pelitica Filoni intermedi e basici
Media	$10^{-7} < k < 10^{-9}$	Fm. di Breno: entrambi i membri Fm. di Gorno Dolomie zonate

Elevata	$10^{-4} < k < 10^{-9}$	Calcare di Esino: tutte le facies Fm. di San Giovanni Bianco: evaporiti Dolomia Principale: tutte le facies Fm. di Castro Sebino: tutte le facies
----------------	-------------------------	--

Tabella 11: Classi di permeabilità del substrato roccioso con relativo range di valori.

3.4 PERICOLOSITÀ SISMICA

In questo capitolo sono illustrati i risultati e le metodologie impiegate per definire le caratteristiche sismiche di base del territorio comunale e la conseguente zonazione sismica locale. Le metodologie applicate, per quanto possibile, sono conformi ai contenuti della DGR IX/2616/2011; in particolare si sono applicati il I e II livello riguardanti la fase di pianificazione come definiti dalla DGR citata in quanto il Comune ricade in Zona Sismica ai sensi della DGR X/2129/2014.

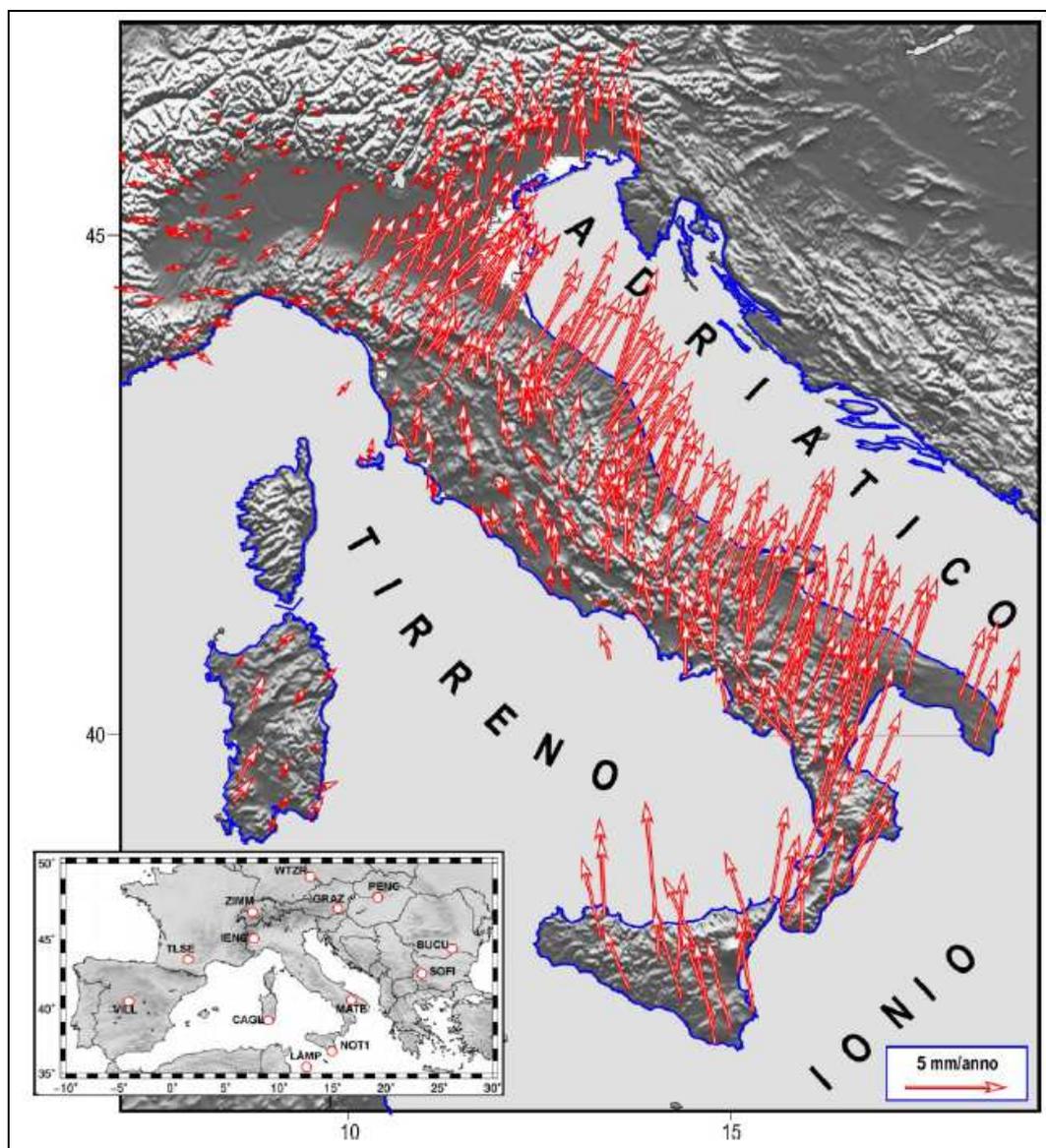


Figura 4: Velocità orizzontali (vettori rossi) delle stazioni GPS rispetto al sistema di riferimento eu-asiatico ETRF2008 (polo euleriano di rotazione assoluta dell'Eurasia con latitudine 54.23°N, longitudine 98.83°W e velocità angolare $\omega=0.257^\circ/\text{Ma}$; ALTAMIMI *et al.*, 2012).

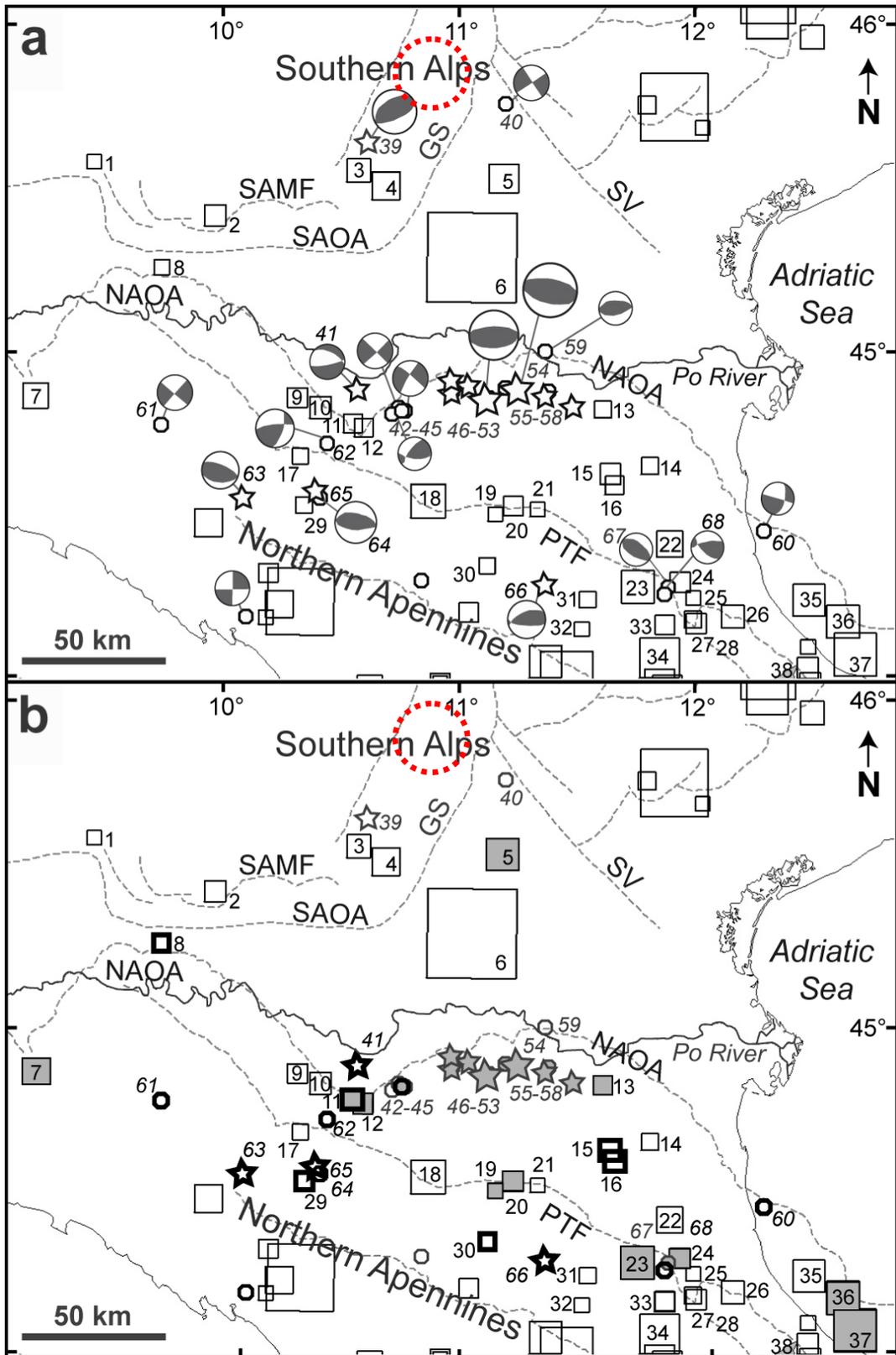


Figura 5: Terremoti storici e strumentali (CPTI11, Bollettino Sismico Italiano e ISIDe). I terremoti storici con $M \geq 5.3$ sono rappresentati con quadrati. I terremoti strumentali con $M \geq 5.0$ sono rappresentati con stelle; quelli con $4.5 \leq M \leq 4.9$ sono rappresentati con pallini. a) Sismicità e meccanismi focali disponibili. b) Terremoti multipli e terremoti profondi (i terremoti multipli sono rappresentati con pattern grigio; i terremoti profondi in grassetto).

I risultati dell'analisi di I livello sono stati sintetizzati in Tavola GEO_04 che defini-

sce gli scenari di Pericolosità Sismica Locale (PSL); in tale tavola sono delimitati i contesti geologico – morfologici, desunti dall'analisi geologica e geomorfologica illustrata rispettivamente nel capitolo 3.1 e nel capitolo 3.2 e che, in caso di sisma, possono potenzialmente sviluppare condizioni per un incremento del risentimento sismico.

3.4.1 Inquadramento sismotettonico e sismogenetico

La convergenza tra le Placche Africana ed Europea, iniziata nel Cretaceo superiore è tuttora in atto, come mostrano i dati geodetici satellitari (Figura 4).

In profondità questo raccorciamento si trasforma in uno sforzo di caricamento di faglie di tipo compressivo localizzate sia al piede delle Alpi Meridionali, sia al piede dell'Appennino Settentrionale.

Le principali strutture tettoniche attive e capaci di generare terremoti sono sepolte inferiormente ai sedimenti della Pianura Padana, come testimoniato sia dalla sismicità strumentale dell'area, sia dal verificarsi di importanti terremoti storici (Figura 5). Altre strutture attive, ma con diverso comportamento cinematico, fanno parte del Sistema delle Giudicarie (GS in Figura 5), che dal Trentino scende fino al bordo occidentale della Pianura veneta.

Secondo l'ultima zonazione sismogenetica pubblicata, la ZS9 (MELETTI & VALENSISE, 2004) (Figura 6), nella quale vengono individuate per tutto il territorio italiano 42 zone – sorgente identificate con un numero da 901 a 936, il territorio di Castione della Presolana non ricade all'interno di nessuna zona, ma si colloca poco a nord dalla zona 907, denominata "Bergamasco" (Figura 7).

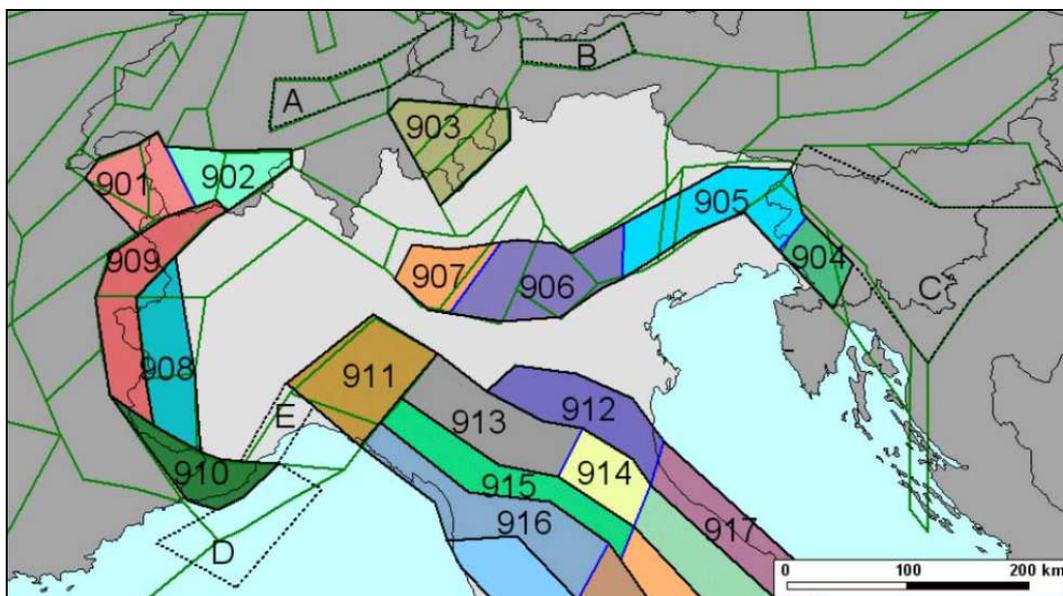


Figura 6: Zonazione sismogenetica ZS9 per il Nord Italia (bordi nero e blu, i bordi verdi rappresentano la precedente zonazione adottata dal progetto SESAME (MELETTI & VALENSISE, 2004).

Tale zona, che include la parte più bassa delle provincie di Bergamo e Brescia, è caratterizzata da un regime tettonico debolmente compressivo, con strutture tipo *thrust*, meccanismi di fagliazione prevalente inversa e sismicità di energia normalmente medio – bassa con la sola eccezione del terremoto di Soncino del

1802, a cui viene assegnata una magnitudo Mw intorno a 5,9.

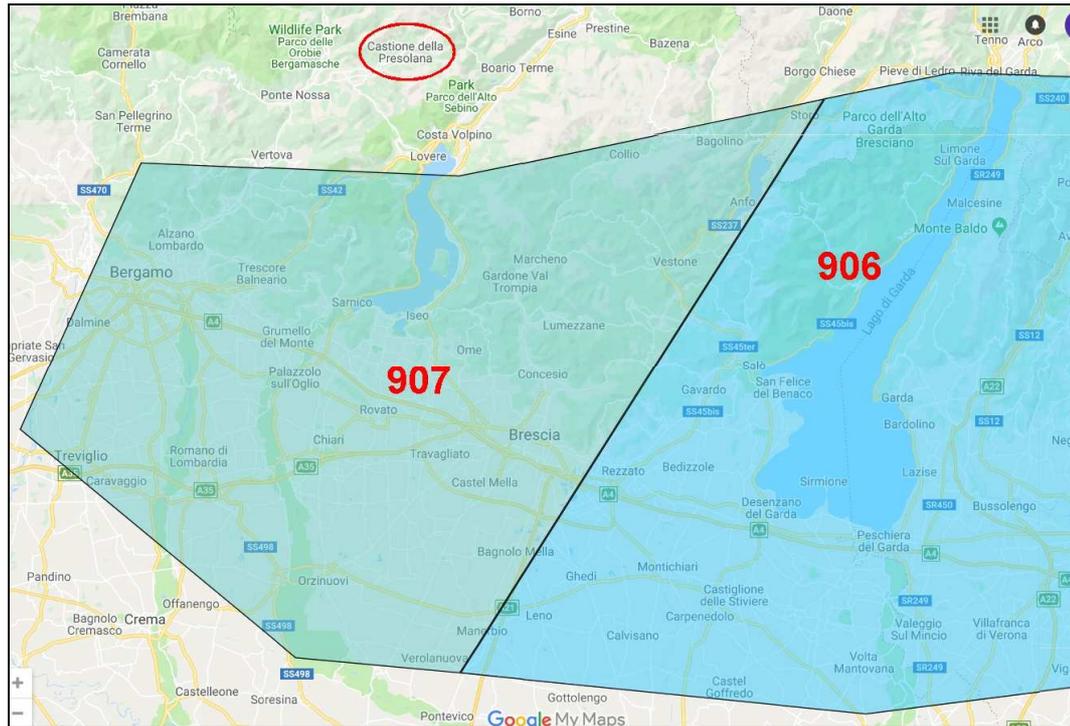


Figura 7: Dettaglio della posizione del territorio comunale di Castione della Presolana (ellisse rossa) rispetto alla zona sismogenetica 907 "Bergamasco".

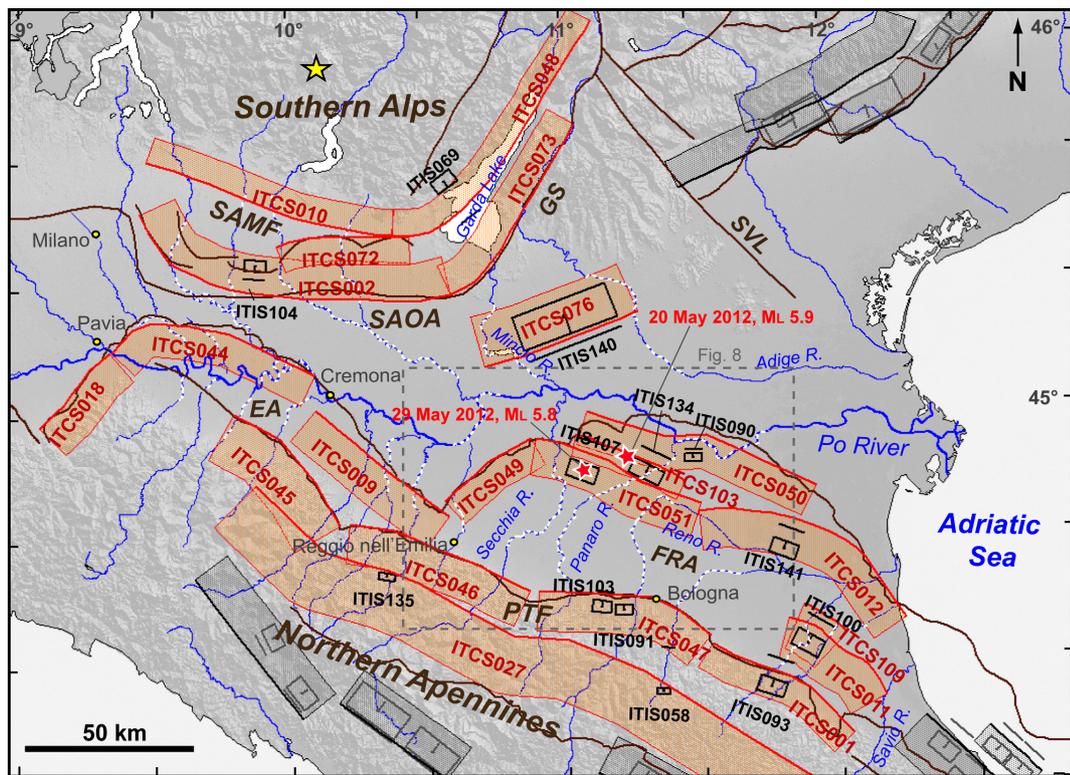


Figura 8: Sorgenti sismogenetiche composite (fasce rosse) ed individuali (riquadri neri) in pianura padana (VANNOLI *et al.*, 2014). Sono anche rappresentate in bianco le anomalie del reticolo idrografico (BURRATO *et al.*, 2003) e con delle stelle rosse gli epicentri dei due eventi principali del terremoto dell'Emilia del maggio 2012. La stella gialla indica la posizione del territorio di Castione della Presolana.

Dal database DISS 3.2.0 (Figura 8), che rappresenta la banca dati parametrica delle potenziali sorgenti sismogenetiche di terremoti di magnitudo maggiore di 5,5, in Italia e nelle aree circostanti, risulta che la struttura più vicina al territorio di Castione della Presolana è rappresentata dal fronte interno delle Alpi Meridionali (ITCS010 in Figura 8), costituito da uno sciame di thrusts e pieghe di propagazione sepolti, orientato WNW – ESE. Più ad est la struttura trova la sua continuazione nel Sistema delle Giudicarie (ITCS048 in Figura 8), formata da thrusts e strutture transpressive ad andamento NNE – SSW ed a minor componente obliqua.

I cataloghi storici e strumentali mostrano esclusivamente una distribuzione sparsa di sismicità parallela alla direzione del thrust frontale. In particolare quelli storici mostrano eventi con magnitudo compresa tra Mw 4,6 e 5,0, che possono essere generati da sorgenti sismogenetiche appartenenti a questa sorgente composta. Nel database DISS 3.2.0 a tale sorgente è assegnata una magnitudo massima Mw di 5,5, prudenzialmente dedotta da considerazioni sulla sismicità regionale. Maggiore è la sismicità potenziale della strutture appartenenti al Sistema delle Giudicarie, ed in particolare a quella di Salò (sorgente individuale ITIS069 in Figura 8) lungo la quale ebbe luogo il terremoto di Salò del 30 ottobre 1901 (Mw 5,7), seguito, circa un secolo dopo e praticamente nella stessa area, dal terremoto del 24 novembre 2004 (Mw 5,2).

3.4.2 Sismicità storica e strumentale

Per la definizione delle caratteristiche sismiche generali del Comune ci si è avvalsi innanzitutto del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 e dell'associato Database Macrosismico Italiano DBMI15. Il primo riporta i terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o uguale a 5, insieme a quelli con magnitudo strumentale equivalente a Mw 4,0 o superiore, avvenuti tra l'anno 1000 ed il 2014. Il secondo fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo a tali terremoti.

In tali banche dati per la località di Castione della Presolana sono riportati 8 eventi (Figura 9), dei quali soltanto per il terremoto del 1882 della Valle Seriana vengono forniti effetti significativi sul territorio, di intensità 6 – 7, mentre gli altri risulterebbero di intensità 4 o inferiore. Un ulteriore evento con effetti di intensità 5 è riportato per Bratto – Dorga, ed è riferito al terremoto del 1979 del Lago d'Iseo. Ciò, molto probabilmente, è imputabile ad una carenza di segnalazioni, in quanto, se si analizzano i dati relativi ai comuni limitrofi, ed in particolare a quello di Clusone (Figura 10) si evince che anche altri eventi abbiano avuto effetti sul territorio comunale. In particolare il terremoto del 1901 del Garda Occidentale, percepito con intensità 5 – 6 a Clusone.

Castione della Presolana

PlaceID IT_14598
 Coordinate (lat, lon) 45.908, 10.036
 Comune (ISTAT 2015) Castione della Presolana
 Provincia Bergamo
 Regione Lombardia
 Numero di eventi riportati 8

Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
6-7	1882	02	27	06	30		Valle Seriana	37	6-7	4.81	
NF	1898	11	16				Garda occidentale	43	6	4.63	
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04	
4	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85	
4	1995	10	29	13	00	2	Lago d'Iseo	408	5-6	4.35	
2-3	2001	07	17	15	06	1	Val Venosta	657	5-6	4.78	
4	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21	
3	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36	

Bratto Dorga

PlaceID IT_14597
 Coordinate (lat, lon) 45.917, 10.063
 Comune (ISTAT 2015) Castione della Presolana
 Provincia Bergamo
 Regione Lombardia
 Numero di eventi riportati 1

Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
5	1979	11	17	20	53		Lago d'Iseo	17	5-6	4.37	

Figura 9: Terremoti e intensità macrosismiche riportati nei database CPTI15 – DBMI15 per Castione della Presolana e Bratto – Dorga.

Clusone

PlaceID IT_14672
 Coordinate (lat, lon) 45.888, 9.950
 Comune (ISTAT 2015) Clusone
 Provincia Bergamo
 Regione Lombardia
 Numero di eventi riportati 29

Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
F	1882	02	27	06	30		Valle Seriana	37	6-7	4.81	
F	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27	
4-5	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87	
NF	1894	02	09	12	48	0	Valle d'Illasi	116	6	4.74	
4-5	1894	11	27	05	07		Bresciano	183	6	4.89	
2	1895	08	07	19	49	3	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67	
3	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37	
5-6	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44	
F	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36	
NF	1913	11	25	20	55		Appennino parmense	73	4-5	4.65	
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63	
4	1917	12	09	21	40		Alta Engadina	39	6	4.60	
5	1918	04	24	14	21		Lecchese	34	6	4.95	
4	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53	
2	1926	01	01	18	04	0	Carniola interna	63	7-8	5.72	
3	1927	08	13	01	00	5	Alta Engadina	19	5	4.40	
4	1931	04	14	22	13		Valli Giudicarie	160	6	4.77	
5	1934	03	23	01	46	5	Lago d'Iseo	16	5	4.31	
2	1936	07	31	14	46	0	Garda orientale	15	5	4.21	
4	1936	10	18	03	10		Alpago Cansiglio	269	9	6.06	
4	1961	11	23	01	12	0	Prealpi bergamasche	119	6-7	4.86	
2	1976	12	13	05	24		Garda settentrionale	128	7	4.90	
4	1979	02	09	14	44		Bergamasco	73	6	4.78	
4-5	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04	
NF	1991	11	20	01	54	1	Grigionì, Vaz	468	6	4.70	
3-4	1993	12	09	18	16	5	Lago d'Iseo	175	5	4.11	
5	1995	10	29	13	00	2	Lago d'Iseo	408	5-6	4.35	
2-3	2001	07	17	15	06	1	Val Venosta	657	5-6	4.78	
F	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36	

Figura 10: Terremoti e intensità macrosismiche riportati nei database CPTI15 – DBMI15 per Clusone.

I dati della sismicità strumentale contenuta nel catalogo CSI (Catalogo Strumentale della Sismicità Italiana; CASTELLO *et al.*, 2006) evidenziano una moderata attività sismica nel periodo 1981 – 2002 all'imbocco della Val Borlezza (Figura 11). La profondità degli ipocentri è confinata ai primi 15 Km, l'energia degli eventi re-

gistrati è bassa e la disposizione degli epicentri segue, apparentemente, un *trend* disposto in direzione NW – SE.

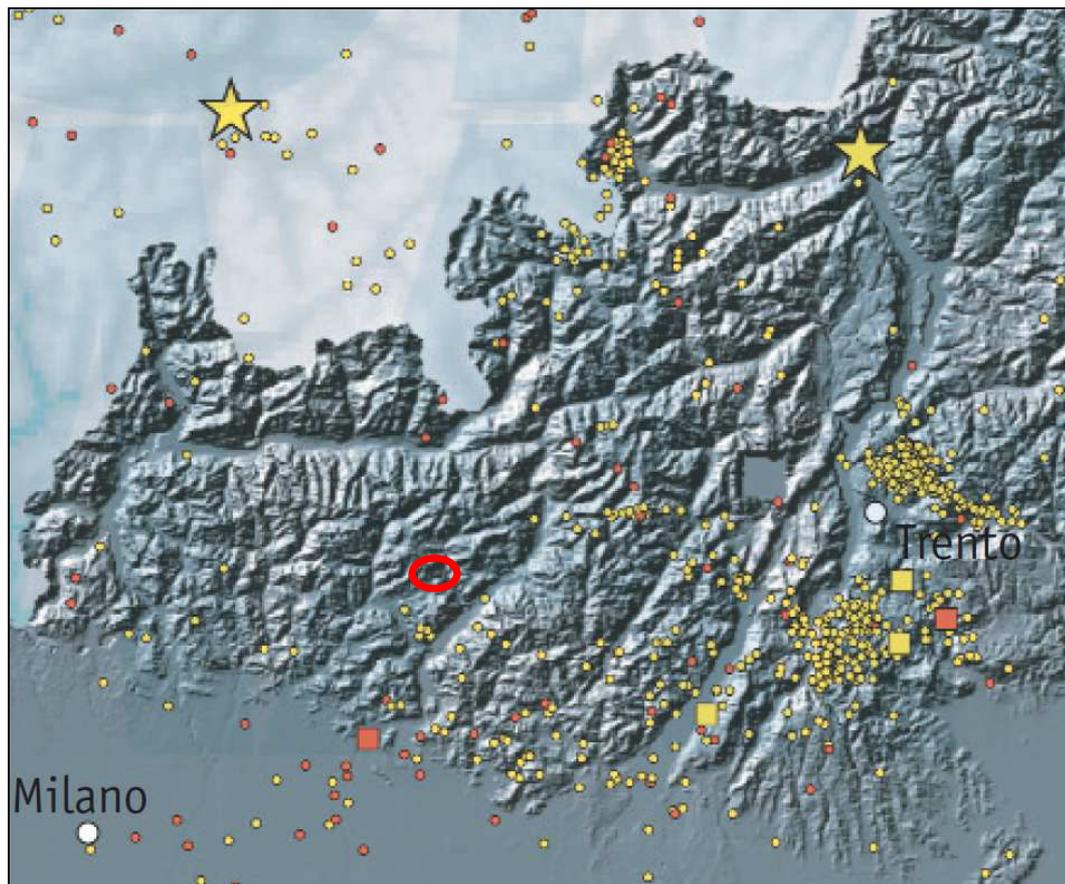


Figura 11: Sismicità strumentale dell'area (in rosso evidenziata l'area del comune)

3.4.3 Macrozonazione sismica

Regione Lombardia, con la DGR X/2129/2014 che sostituisce la previgente DGR VII/14964/2003, ha predisposto una nuova classificazione sismica del territorio regionale; in tale classificazione il Comune di Castione della Presolana è inserito in Zona sismica 3, con un valore di accelerazione orizzontale massima (a_{gMax}) su suolo di categoria A pari a 0,08932.

3.4.4 Analisi e valutazione degli effetti sismici locali: aspetti metodologici

3.4.4.1 Generalità

Quando una struttura sismogenetica ha accumulato una quantità di energia tale da superare la tensione critica di rottura, si verifica uno spostamento di materia con liberazione di energia e la conseguente formazione e propagazione delle onde sismiche; queste ultime, attraversano il mezzo con modalità diverse, arrivano al sito (il "territorio comunale") con intensità decrescente, funzione della distanza dall'epicentro, valutata dalle note leggi di attenuazione.

Le onde sismiche però, attraversando gli strati superficiali eterogenei, spesso cambiano caratteristiche (velocità, ampiezza, periodo) e provocano effetti diversi

anche tra aree molto vicine dello stesso Comune. Pertanto la conoscenza delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei terreni e le loro proprietà fisiche e meccaniche permettono di definire le modifiche che un segnale sismico subisce rispetto a quello di riferimento. Il campo di scuotimento prodotto da un sisma può quindi subire significative variazioni a livello locale in relazione all'assetto geologico e morfologico presente (Kramer, 1996; Bard, 1999).

L'evento sismico è un evento complesso capace di generare diverse tipologie fenomeni, e quindi di pericolosità; le condizioni geologiche locali sono in grado sia di modificare, anche in modo considerevole, le caratteristiche del moto sismico, sia di sviluppare dei fenomeni collaterali allo scuotimento sismico (es. innesco dinamico di frane, fenomeni di liquefazione dei terreni, ecc.) caratterizzati da un elevato tasso di pericolosità. I principali fenomeni connessi con l'accadimento di un terremoto sono (Kramer, 1996):

- ◆ Scuotimento: il fenomeno più comune
- ◆ Liquefazione
- ◆ Frane
- ◆ Tsunami e seiche
- ◆ Danneggiamento o collasso di edifici
- ◆ Danneggiamento o collasso di strutture di contenimento
- ◆ Danneggiamento o collasso di lifelines e infrastrutture in genere (es. metanodotti, oleodotti, linee ad alta tensione).

Studiare le condizioni geologiche locali nell'ottica sismica significa quindi costruire un quadro di conoscenze utile a prevenire gli effetti di un possibile sisma.

L'obiettivo della microzonazione sismica è quindi l'individuazione delle aree caratterizzate dallo stesso scenario sismico e la verifica della risposta sismica locale con indagini e metodologie affidabili, al fine di prevedere il comportamento dei terreni superficiali interessati dalle costruzioni attuali e future, quando sono sottoposti ad un evento sismico.

Regione Lombardia ha approvato, con DGR IX/2616/2011, una metodologia per la valutazione della risposta sismica locale che deve essere applicata da ciascun comune in fase di realizzazione o aggiornamento dello studio geologico. La stessa DGR, oltre alle indicazioni per la fase pianificatoria, prevede indicazioni per la fase progettuale delle costruzioni nelle diverse zone sismiche, in sintonia con le NTC18 che disciplinano la progettazione e la verifica delle opere e dei sistemi geotecnici soggetti ad azioni sismiche.

Gli effetti derivanti dalle condizioni locali sono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area (categorie di sottosuolo).

In funzione della categoria del terreno e dell'assetto geomorfologico locale, si di-

stinguono due grandi gruppi di effetti locali: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli di instabilità.

3.4.4.1.1 *Effetti di amplificazione sismica locale*

Interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche di ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico coinvolgente una formazione rocciosa di base (bedrock) subisce durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti per via dell'interazione delle onde sismiche con le condizioni locali.

Gli effetti di amplificazione sono di due tipi, che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito:

- ◆ effetti di amplificazione topografica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale. Tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto: se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (bedrock) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione (difficilmente separabile) tra l'effetto topografico e quello litologico;
- ◆ effetti di amplificazione litologica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc...) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare sia una amplificazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, sia fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno sia, infine, fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

3.4.4.1.2 *Effetti di instabilità*

Interessano tutti gli areali che mostrano un comportamento instabile, o potenzialmente instabile, rispetto alle sollecitazioni sismiche attese e sono rappresentati, in generale, da fenomeni di instabilità che generano veri e propri collassi o movimenti di grandi masse di terreno, incompatibili con la stabilità delle strutture. Le instabilità sono rappresentate da fenomeni diversi a seconda delle condizioni presenti nel sito.

3.4.4.2 *Analisi e valutazione degli effetti sismici secondo la normativa regionale*

Nell'allegato 5 della DGR IX/2616/2011 è riportato il "*Diagramma di flusso dei dati necessari e dei percorsi da seguire nei tre livelli di indagine*", la metodologia e lo schema operativo per la valutazione dell'amplificazione sismica locale riprodotta

to in Diagramma 1.

L'analisi degli effetti sismici di sito, finalizzata alla definizione della componente sismica nei PGT in Regione Lombardia, si articola quindi su tre distinti livelli di indagine.

Il primo e il secondo livello hanno il compito di fornire orientamenti utili alla pianificazione del territorio mentre il terzo livello di indagine è quello di supporto progettazione.

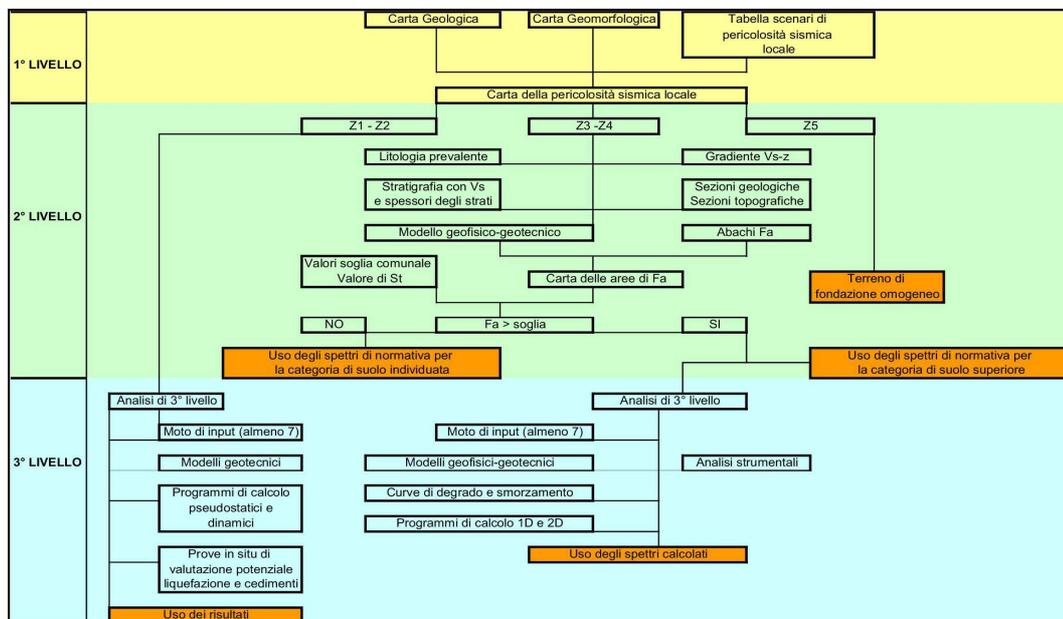


Diagramma 1: Diagramma di flusso dei dati necessari e dei percorsi da seguire nei tre livelli di indagine.

3.4.4.2.1 Primo livello

Il primo livello di approfondimento è obbligatorio per tutti i Comuni. Consiste in un approccio di tipo qualitativo (empirico) e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento.

Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono prevedibili, con buona attendibilità, sulla base di: osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati cartografici di base (geologia e dissesti), risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte (che devono essere oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali come spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali), posizione e regime della falda, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.

Dalle cartografie di base, oltre che da un'analisi morfometrica del territorio, si ricava la *Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)* che contiene aree delimitate alla luce (1) dei criteri riportati in Tabella 12 e (2) dell'assetto geologico e geomorfologico descritto nella cartografia geologica e geomorfologica.

Zona	Scenario di pericolosità locale	Effetti attesi
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità

Zona	Scenario di pericolosità locale	Effetti attesi
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana	
Z2c	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite – arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio – lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri löessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio – colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Tabella 12: Scenari di pericolosità sismica locale contenuti nel DGR IX/2616/2011, allegato 5.

In particolare la Tabella 12 contiene cinque principali tipologie di scenario, cioè cinque contesti nei quali è presumibile attendersi una definita tipologia di fenomeno in caso di scuotimento sismico (es. fenomeni di amplificazione del moto, oppure fenomeni di amplificazione abbinati ad effetti indotti come liquefazione o instabilità dinamica dei versanti). L'occorrenza di un fenomeno in un'area, ovviamente, non preclude il contemporaneo accadere di altri fenomeni.

3.4.4.2.2 Secondo livello

Il secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, entro gli areali suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (scenari Z3 e Z4) individuati nell'analisi di primo livello e interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica. Gli approfondimenti di secondo livello non sono necessari per quegli areali che, per situazioni geologiche, geomorfologiche e ambientali, o perché sottoposte a vincolo da particolari normative, siano considerate inedificabili, fermo comunque gli obblighi derivanti dall'applicazione di altra normativa specifica.

Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4, l'analisi di secondo livello deve essere applicata solo negli scenari PSL Z3 e Z4 nei quali è prevista la costruzione di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al DDUO 19904/2003, *ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre porzioni di territorio comunale / categorie di edifici.*

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

Il valore di F_a è prefissato dalla normativa regionale e si riferisce agli intervalli di periodo tra $0,1 \div 0,5$ s e $0,5 \div 1,5$ s. I due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di F_a sono scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie frequentemente presenti nel territorio regionale: l'intervallo tra $0,1 \div 0,5$ s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra $0,5 \div 1,5$ s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di secondo livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di F_a per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti morfologici solo per l'intervallo $0,1 \div 0,5$ s: questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo $0,5 \div 1,5$ s.

3.4.4.2.2.1 Amplificazione litologica

La procedura semplificata per verificare la presenza di un'amplificazione litologica richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- ◆ litologia dei materiali presenti nel sito;
- ◆ stratigrafia del sito;
- ◆ andamento delle V_s con la profondità, fino a valori pari o superiori a 800 m/s (velocità del substrato sismico o bedrock sismico). La conoscenza degli spessori e delle V_s può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine, diretto ed indiretto, che sia in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale per una corretta individuazione dello strato superficiale. In mancanza del raggiungimento del bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di V_s con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;
- ◆ spessore e velocità di ciascun strato;
- ◆ sezioni geologiche, conseguente modello geofisico – geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

In funzione della litologia prevalente presente nel sito, del gradiente di velocità V_s e del gradiente del peso di volume naturale con la profondità si sceglie l'abaco di riferimento. In funzione dello spessore e della velocità $V_s^{(2)}$ dello strato superficiale si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del valore di F_a

² Nel caso il valore di V_s dello strato superficiale risulta pari o superiore ad 800 m/s non si applica la procedura semplificata per la valutazione del F_a in quanto l'amplificazione litologica attesa è nulla ($F_a = 1,0$).

nell'intervallo 0,1 ÷ 0,5 s.

Il periodo proprio del sito necessario per l'utilizzo dell'abaco di correlazione deve essere calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^n h_i}{\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}}$$

Dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i – esimo. Il valore di F_a determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

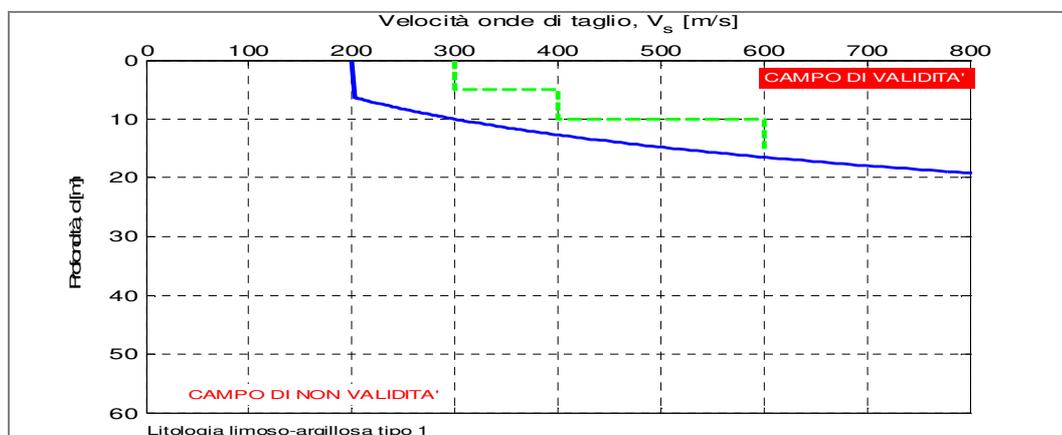


Figura 12: Esempio di scheda di valutazione. La linea blu separa il campo di validità dal campo di non – validità. La linea tratteggiata verde mostra un ipotetico profilo di Vs che rientra completamente nel campo di validità. In questo esempio è possibile quindi applicare le successive fasi di valutazione al fine di stimare il fattore di amplificazione.

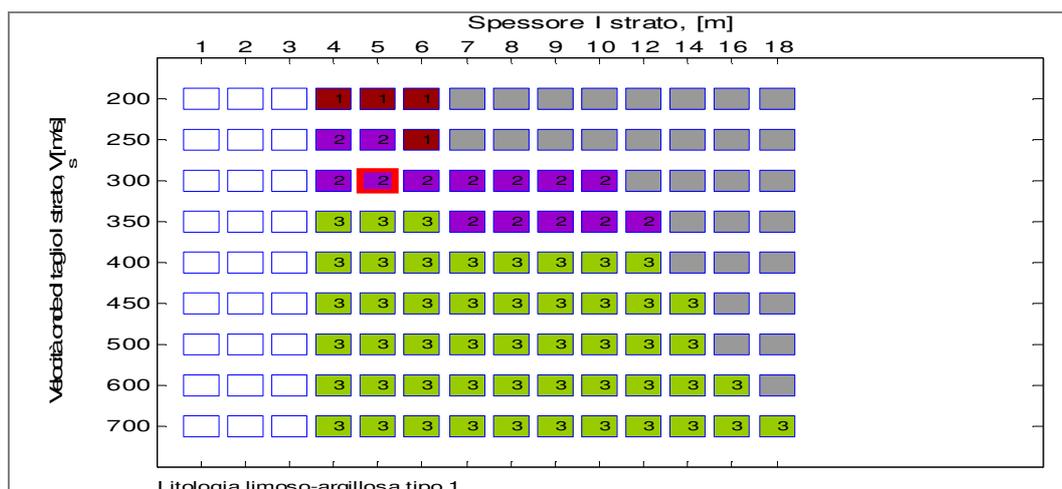


Figura 13: Esempio di scheda per la selezione della tipologia di curva da utilizzare per la determinazione di F_a (intervallo di periodi 0,1 ÷ 0,5 s). In questo caso la cella selezionata ha indice 2, quindi la curva che mette in relazione il periodo proprio del terreno con il Fattore di Amplificazione $F_{a,0,1 \div 0,5}$ da impiegare è la numero 2.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo (da NTC) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo $0,1 \div 0,5$ e $0,5 \div 1,5$ s.

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia, è riportato in una banca dati regionale (soglie_lomb.xls) e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando un valore di + 0,1 che tiene conto della variabilità del valore di F_a ottenuto.

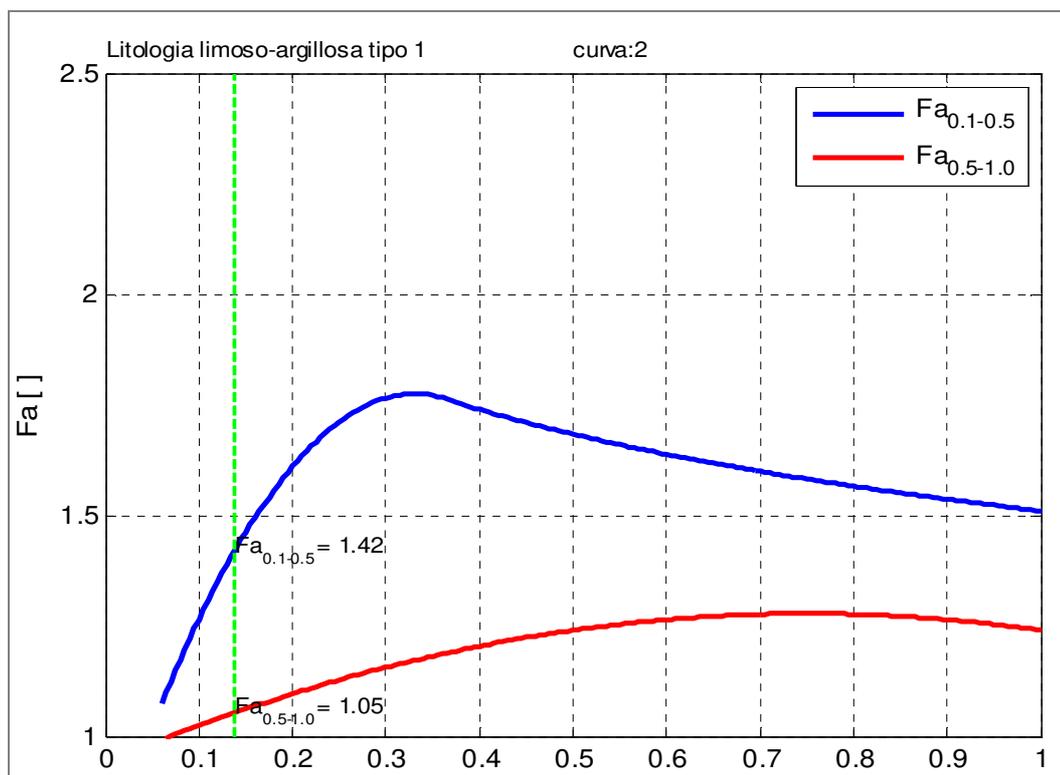


Figura 14: Esempio di un grafico per il calcolo del valore di F_a (negli intervalli di periodi $0,1 \div 0,5$ s – curva blu – e $0,5 \div 1,0$ s – curva rossa –).

L'applicazione di questa metodologia richiede quindi l'esecuzione delle seguenti fasi:

- 1) Scelta della litologia prevalente lungo la verticale indagata, tra le classi litologiche messe a disposizione dalla Regione Lombardia (nella DGR IX/2616/2011) e, quindi, verifica della congruità del profilo di propagazione delle onde di taglio con il campo di validità messo a disposizione: se il profilo rientra nel campo di validità si passa al punto 2.

Nel caso in cui non fosse verificata la validità si passerà all'utilizzo della scheda in ordine successivo rispetto a quelle riportate in allegato 5 della DGR IX/2616/2011. In presenza di una litologia non contemplata dalle schede di

valutazione allegate sono previsti quattro casi:

- (1)** la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine;
 - (2)** nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata ma l'andamento delle Vs con la profondità non ricade nel campo di validità della scheda potrà essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine;
 - (3)** nel caso di presenza di alternanze litologiche, che non presentano inversioni di velocità con la profondità, si potranno utilizzare le schede a disposizione solo se l'andamento dei valori di Vs con la profondità, nel caso da esaminare, risulta compatibile con le schede proposte;
 - (4)** in presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine e si accetteranno anche i casi in cui i valori di Vs escano dal campo di validità solo a causa dell'inversione.
- 2) Selezione della curva da utilizzare per il calcolo del Fa nell'intervallo 0,1 ÷ 0,5 s, sulla base di:
- a) velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) del primo strato sulla base degli intervalli di velocità V_s individuati;
 - b) profondità del bedrock sismico.
- 3) Calcolo del Fa (nei periodi 0,1 ÷ 0,5 s e 0,5 ÷ 1,5 s) dipendente dal periodo fondamentale del terreno connesso alla categoria di suolo definita nelle NTC18 (si veda Tabella 13).

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del

	substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato sismico non superiore a 30 m.

Tabella 13: Categorie di sottosuolo di fondazione dell'Eurocodice 8 come trasposta nelle NTC18 (Tabella 3.2.II delle NTC18). Rispetto alle NTC08, per la categoria di suolo D è stata introdotta una soglia minima sulla velocità media, pari a 100 m/s, mentre tutte le altre soglie numeriche sono state conservate inalterate.

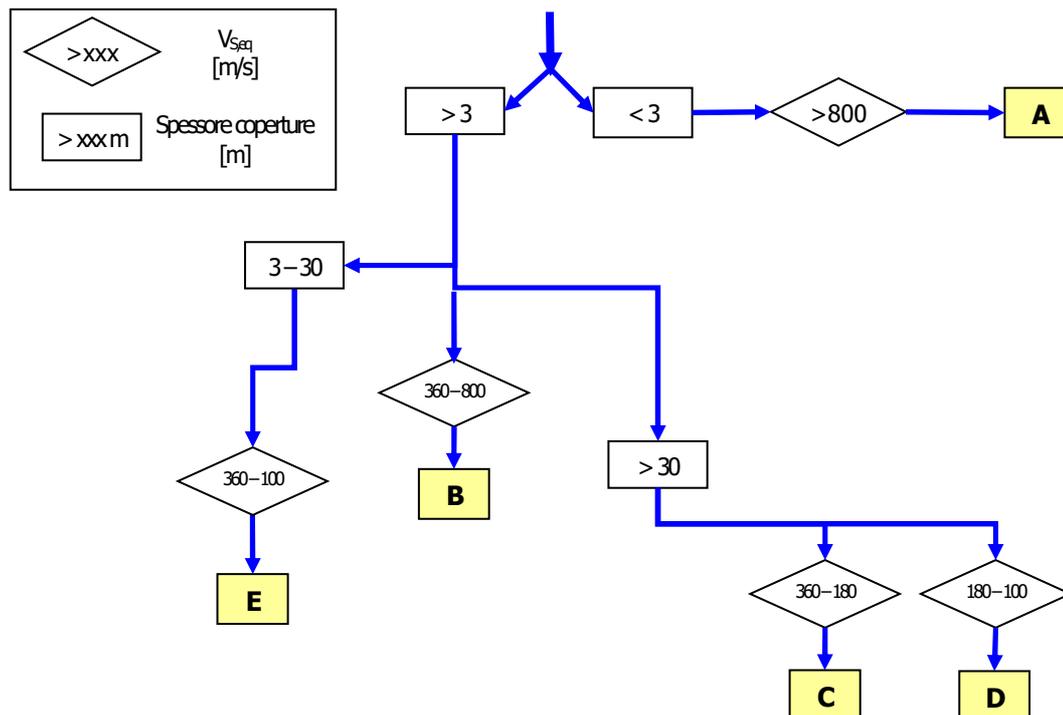


Figura 15: Diagramma di flusso per l'individuazione delle categorie di sottosuolo.

Diversamente dalle NTC08, con particolare riferimento al suolo di categoria B, le NTC18 contemplano l'abbandono del parametro V_{s30} a favore di un simile parametro denominato "Velocità equivalente". Questa è calcolata in modo perfettamente analogo alla V_{s30} ma, invece, di estendere la media pesata fino ai rigorosi 30 m di profondità è portata sino ad una profondità H (che può essere pari a 30 m, ma anche ad un valore minore).

Il valore della profondità H è il raggiungimento del "substrato sismico", caratterizzato da velocità superiori agli 800 m/s. Per le diverse categorie di suolo (con esclusione della categoria residuale E) si ha quindi (rif. Punto 3.2.2 della Circolare 7/2019):

- ◆ Suoli di categoria A ove non è prevista la verifica della velocità equivalente con la soglia di 800 m/s, ma viene previsto l'utilizzo diretto delle V_s . Questo perché per tale categoria di suoli è facile avere una profondità H pari a 0 m, per cui sarebbe impossibile calcolare la "Velocità equivalente";
- ◆ Suoli di categoria B, ove non è prevista una verifica della stratigrafia per

l'assegnazione della categoria di suolo, ma vale esclusivamente il valore di $V_{s,eq}$ misurato sino al raggiungimento del substrato sismico (H variabile);

- ◆ Suoli di categoria C e D, ove il substrato sismico è superiore a 30 m, la $V_{s,eq}$ coincide con la $V_{s,30}$.

Secondo la Circolare 7/2019 per i terreni nei quali la profondità del substrato sismico è maggiore di 30 m ($H \geq 30$ m), la $V_{s,eq}$ coincide di fatto con la $V_{s,30}$ delle NTC08. L'introduzione della $V_{s,eq}$, unita alla modifica nella definizione delle categorie di sottosuolo, si è resa necessaria al fine di includere le configurazioni stratigrafiche che rimanevano escluse nelle NTC08 (ad esempio profili di tipo B con profondità del substrato inferiore a 30 m).

Una volta calcolati i F_a , l'ultimo passo da compiere prevede il loro confronto con dei valori predeterminati dalla Regione Lombardia per ogni Comune.

Si possono presentare quindi due situazioni:

1. il valore di F_a è inferiore al valore di soglia le previsioni delle NTC18 sono sufficienti e comprendono quindi i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
2. il valore di F_a è superiore al valore di soglia: le previsioni delle NTC18 sono insufficienti e non comprendono quindi i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione dell'opera o intervento: (1) effettuare analisi più approfondite (terzo livello) o (2) utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:
 - ◆ anziché lo spettro della categoria B di suolo si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
 - ◆ anziché lo spettro della categoria C di suolo si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
 - ◆ anziché lo spettro della categoria D di suolo si utilizzerà quello della categoria di suolo E.

Nel caso di presenza contemporanea di effetti litologici (Z4) e morfologici (Z3) si analizzeranno entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole (la norma non contempla un effetto cumulato delle due condizioni). La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di V_s utilizzati nella procedura di secondo livello deve essere opportunamente motivata e a ciascun parametro utilizzato deve essere assegnato un grado di attendibilità, secondo la Tabella 14.

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe

	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Tabella 14: Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi.

In bibliografia sono disponibili indicazioni sulle velocità caratteristiche delle onde Vs (si veda Tabella 15). Tali indicazioni, secondo la metodologia impiegata nel presente studio, sono utilizzate sia per estendere i dati puntuali delle prove geofisiche disponibili mediante confronto di tali risultati, sia per avere dati di riferimento per integrare la possibile analisi dei vari scenari all'intero territorio comunale.

LITOLOGIA	Vs min [m/s]	Vs med [m/s]	Vs max [m/s]	Origine del dato	Attendibilità
Sabbie	176	220	264	Bibliografia	Bassa
Sabbie sature	286	310	335	Bibliografia	Bassa
Argille	280	307	333	Bibliografia	Bassa
Limi ed argille	241	309	376	Bibliografia	Bassa
Limi e sabbie	212	248	283	Bibliografia	Bassa
Argille consolidate	557	622	687	Bibliografia	Bassa
Calcari molto fratturati – Formazioni argillitiche	330	484	638	Bibliografia	Bassa
Calcari	616	1.058	1.500	Bibliografia	Bassa
Arenarie fratturate	363	659	954	Bibliografia	Bassa
Arenarie	935	1.243	1.550	Bibliografia	Bassa
Dolomie	1.200	1.681	2.162	Bibliografia	Bassa
Basalto fratturato	489	592	695	Bibliografia	Bassa
Basalto	995	1.326	1.656	Bibliografia	Bassa
Granitoidi fratturati	514	707	900	Bibliografia	Bassa
Granitoidi	884	1.215	1.546	Bibliografia	Bassa
Metamorfiti fratturate	772	901	1.029	Bibliografia	Bassa
Metamorfiti	1.400	1.800	2.200	Bibliografia	Bassa

Tabella 15: Velocità caratteristiche delle onde Vs nei vari tipi di suolo da bibliografia [Estimates of Site Dependent Response Spectra for Design – Borcherdt, 1994 / Geofisica applicata AAVV, 2009].

3.4.4.2.2 Amplificazione topografica

Zona di scarpata (Scenario Z3a)

Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere le caratteristiche di un suolo di categoria A (V_{s30} maggiore o uguale ad 800 m/s). Le analisi di secondo livello in corrispondenza dello scenario di pericolosità sismica Z3a si ritengono inoltre valide, come indicato dalle indicazioni della Regione Lombardia, quando le onde sismiche sono incidenti verticalmente al sito (condizioni di far – field).

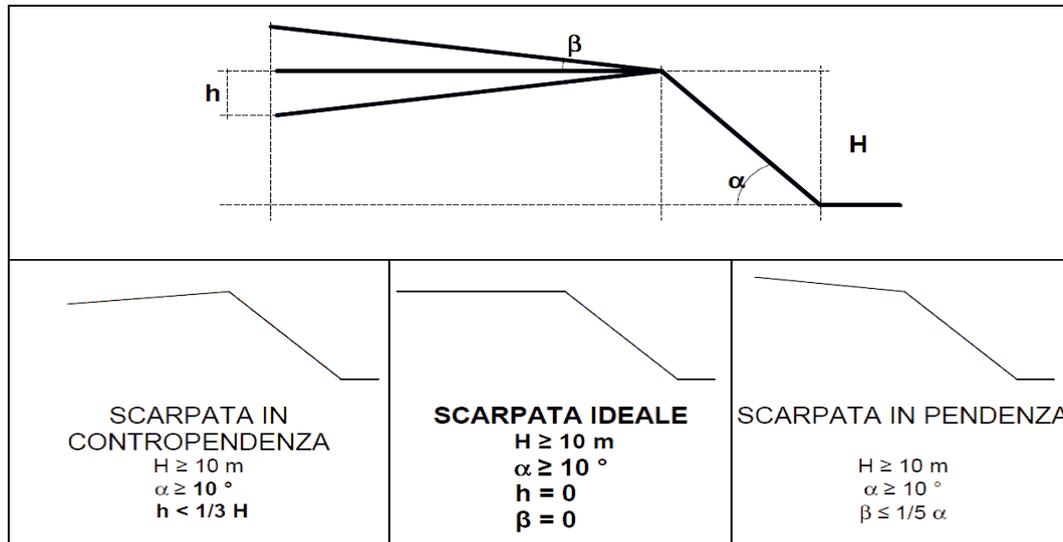


Figura 16: Schemi delle scarpate relative allo scenario Z3a.

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

In funzione della tipologia del fronte superiore (Figura 16) si distinguono:

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

La misura dell'altezza H è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è da definire come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

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

massimo (H), nel caso di scarpate in contropendenza (per $h \geq 1/3 \cdot H$ la situazione è da considerarsi una cresta appuntita).

All'interno della Tabella 16 si sceglie, in funzione dell'acclività α , il valore di Fa nell'intervallo $0,1 \div 0,5$ s.

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $Fa_{0,1 \div 0,5}$	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1,1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1,2	$A_i = 3/4 \cdot H$
H > 40 m	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1,1	$A_i = 2/3 \cdot H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1,2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1,3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1,2	
	$\alpha > 70^\circ$	1,1	

Tabella 16: Determinazione di Fa e dell'area di influenza in caso di scarpate.

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

Confrontando i valori di Fa ottenuti con il valore di St delle Norme Tecniche per le Costruzioni. Il valore St rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalle NTC18 è insufficiente rispetto alla reale amplificazione presente nel sito.

Zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo (Scenario Z3b)

La procedura semplificata è valida per lo scenario di zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo (Z3b), caratterizzata da pendii con inclinazione maggiore o uguale ai 10° ; le caratteristiche del pendio debbono essere identificate 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). *Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere anche in questo caso le caratteristiche di un suolo di categoria A (Vs_{30} 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).

Per l'utilizzo della scheda di valutazione si richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- ◆ larghezza alla base del rilievo L;
- ◆ larghezza in cresta del rilievo l;
- ◆ dislivello altimetrico massimo H e dislivello altimetrico minimo h dei versanti;
- ◆ coefficiente di forma H/L.

In Figura 17, in funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0,1 ÷ 0,5 s, in base al valore del coefficiente di forma H/L.

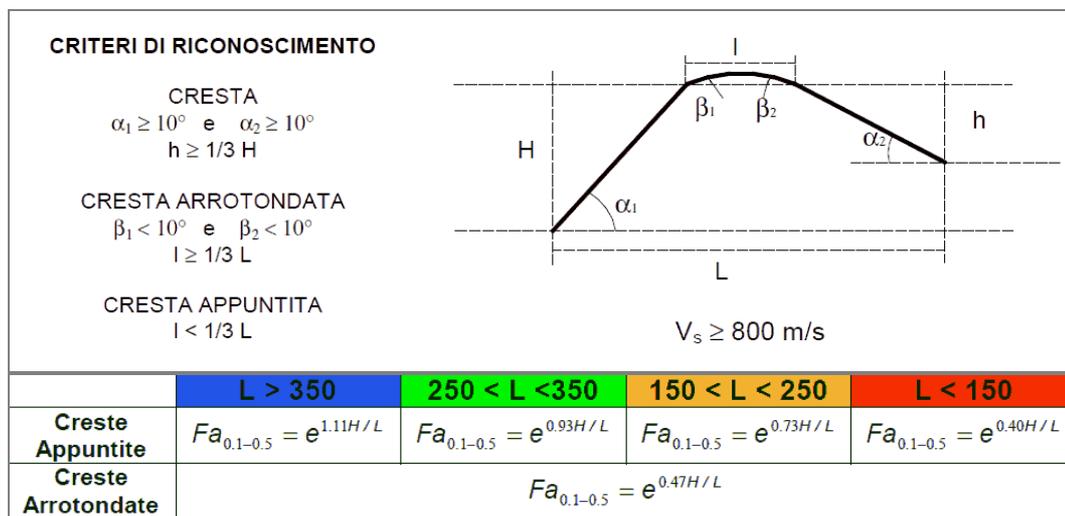


Figura 17: Schemi delle creste relative allo scenario Z3b e modalità di determinazione di Fa.

Il valore di Fa determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta l, mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante. I valori di Fa così ottenuti dovranno essere utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica.

La valutazione del grado di protezione, per ambedue gli scenari (zona di scarpata e zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo), è effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di Fa ottenuti con il valore di St delle Norme Tecniche per le Costruzioni. Il valore St rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalle NTC18 è insufficiente rispetto alla 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: le previsioni delle NTC18 sono sufficienti e comprendono quindi i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e si applica quindi lo spettro previsto dalla normativa;
- ♦ il valore di Fa è superiore al valore di soglia: le previsioni delle NTC18 sono insufficienti e non comprendono quindi i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione dell'opera od intervento, effettuare analisi di terzo livello in fase di progettazione.

Nel caso di rilievi morfologici asimmetrici che possono essere rappresentati sia dallo scenario Z3a sia dallo scenario Z3b, a seconda dell'orientazione della sezione, si analizzeranno entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole.

Nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, in presenza di scenari Z3a e Z3b, è necessario effettuare analisi di terzo livello in fase di progettazione.

3.4.4.2.3 Terzo livello (fase di progettazione)

In fase di progettazione, come attuazione delle previsioni del secondo livello, la normativa regionale prevede il III livello; i risultati delle analisi di III livello sono poi utilizzati in fase di progettazione al fine di ottimizzare l'opera e gli eventuali interventi di mitigazione della pericolosità sismica.

L'analisi di III livello si applica agli scenari qualitativi suscettibili di instabilità (Z1b e Z1c), cedimenti e/o liquefazioni (Z2), per le aree suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4) che sono caratterizzate da un valore di Fa superiore al valore di soglia e per le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse (Z5).

Il terzo livello si applica secondo la casistica riportata in Tabella 17.

Zona sismica	I livello (fase pianificatoria)	II livello (fase pianificatoria)	III livello (fase progettuale)
2 – 3	Obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con l'urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili.	Nelle zone Z3 e Z4 quando Fa calcolato > valore soglia comunale. Nelle zone Z1 e Z2.
4	Obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo in areali destinati ad edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al DDUO 19904/2003 e dal Decreto del Dipartimento della Protezione Civile 3685/2003 (ferma re-	Nelle zone Z3 e Z4 quando Fa calcolato > valore soglia comunale. Nelle zone Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti (ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche al-

		stando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici).	le altre categorie di edifici).
--	--	--	---------------------------------

Tabella 17: Livelli di approfondimento e fasi di applicazione. Per gli scenari Z5 è necessario prevedere una omogeneizzazione artificiale del terreno di fondazione; nell'impossibilità di ottenere tale condizione, si dovranno prevedere opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

Nel seguito si forniscono alcuni suggerimenti per l'effettuazione delle analisi di III livello in fase di progettazione.

3.4.4.2.3.1 Effetti di instabilità

L'analisi prevede, a seguito della caratterizzazione ed identificazione dei movimenti franosi, la quantificazione della loro instabilità intesa come la valutazione degli indici di stabilità in condizioni statiche, pseudostatiche e dinamiche e prevede un approccio di tipo puntuale, finalizzato cioè alla quantificazione della instabilità di singoli movimenti franosi.

Le fasi, i dati e le metodologie necessarie per l'effettuazione di queste analisi e valutazioni sono diverse per le varie tipologie di movimenti franosi; per i movimenti franosi tipo scivolamenti (rotazionali e traslazionali) – che sono i più comuni – possono essere così schematizzate:

- ◆ individuazione delle sezioni geologiche e geomorfologiche che caratterizzano il corpo franoso, le sue geometrie, gli andamenti delle superfici di scivolamento, dei livelli di falda, finalizzati alla ricostruzione di un modello geologico interpretativo del movimento franoso;
- ◆ individuazione dei parametri geotecnici necessari all'analisi: il peso di volume (γ), l'angolo di attrito (Φ) nei suoi valori di picco e residuo e la coesione (c) nei suoi valori di picco e residuo (nel caso si adotti il criterio di rottura di Mohr – Coulomb);
- ◆ individuazione degli accelerogrammi di input nel caso di analisi dinamiche;
- ◆ analisi numeriche: diversi sono i modelli numerici che possono essere utilizzati per il calcolo della stabilità; tali codici, più o meno semplificati (es. metodo dei conci, metodo ad elementi finiti, ecc.), forniscono la risposta in termini di valori del fattore di sicurezza (F_s) in condizioni statiche, in termini di valori del coefficiente di accelerazione orizzontale critica (K_c) in condizioni pseudostatiche ed in termini di spostamento atteso in condizioni dinamiche. L'applicazione dei diversi modelli dipenderà chiaramente dalle condizioni geologiche del sito in analisi e dal tipo di analisi che si intende effettuare.

I risultati, ottenuti per ogni movimento franoso o per ogni area potenzialmente franosa in cui si prevede di intervenire (o nell'area di influenza di questa), forniranno i livelli di pericolosità a cui è sottoposta l'area in esame: in particolare i valori del fattore di sicurezza forniscono indicazioni sulla stabilità dell'area considerando un ben preciso stato del sito di analisi non tenendo conto, però, la contemporanea variazione di alcuni parametri quali contenuto d'acqua e carichi

agenti (pioggia, terremoto, azioni antropiche, ecc); il coefficiente di accelerazione orizzontale critica fornisce invece la soglia di accelerazione al suolo superata la quale l'area stabile diviene instabile in occasione di un terremoto; infine lo spostamento atteso fornisce indicazioni e sull'area di influenza del movimento franoso e una misura di quanto l'accadimento di un evento sismico può modificare la situazione esistente.

Per quanto riguarda i movimenti tipo crolli e ribaltamenti le analisi che possono essere effettuate sono di tipo statico e pseudostatico. Le fasi, i dati e le metodologie necessarie per l'effettuazione di queste analisi e valutazioni possono essere così schematizzate:

- ◆ inquadramento geologico di un intorno significativo in scala 1:10.000 e esecuzione di sezioni geologiche e topografiche in scala 1:10.000;
- ◆ individuazione dei parametri dell'input sismico (quali valore del picco di accelerazione, valore del picco di velocità);
- ◆ rilievi geomeccanici per la classificazione degli ammassi rocciosi sorgenti dei distacchi (determinazione delle principali famiglie di discontinuità, prove in situ sugli affioramenti quali martello di Smidth tipo L, pettine di Barton, spessimetro per apertura giunti ecc., prelievo di campioni per esecuzione di Point Load Test e di prove di scivolamento Tilt Test);
- ◆ identificazione dei principali cinematismi di rottura degli ammassi rocciosi su sezioni tipo e, per situazioni particolarmente significative, analisi di stabilità in condizioni statiche e pseudostatiche di singoli blocchi;
- ◆ descrizione e rilievo della traiettoria di discesa e della zona di arrivo, rilievo geologico e, ove possibile, statistica dei massi al piede (dimensioni e distribuzione);
- ◆ costruzione del modello numerico della/e traiettoria/e di discesa e verifiche di caduta massi con vari metodi e statistiche arrivi.

I risultati, ottenuti per ogni movimento franoso o per ogni area potenzialmente franosa in cui sono previsti gli interventi, forniranno livelli di pericolosità a cui è sottoposta l'area in esame con individuazione delle possibili traiettorie di movimento, le relative aree di influenza e la statistica degli arrivi.

3.4.4.2.3.2 *Effetti di cedimenti e/o liquefazioni*

L'analisi prevede la valutazione quantitativa delle aree soggette a fenomeni di cedimenti e liquefazioni. Con il termine liquefazione si indica la situazione nella quale in un terreno saturo, non coesivo, si possono avere deformazioni permanenti significative o l'annullamento degli sforzi efficaci a causa dell'aumento della pressione interstiziale. Per il calcolo del potenziale di liquefazione si fa riferimento ai risultati di prove in situ ed utilizzando procedure note in letteratura⁽³⁾. Anche per il calcolo di possibili cedimenti che possono verificarsi sia in presenza di sab-

³ Crespellani T., 1991. La liquefazione del terreno in condizioni sismiche. Zanichelli, Bologna, pp 185 ed altre più recenti

bie sature sia in presenza di sabbie asciutte, si fa riferimento ai risultati di prove in situ, utilizzando procedure note in letteratura.

3.4.4.2.3.3 *Effetti di amplificazione morfologica e litologica*

L'analisi prevede un approccio di tipo quantitativo e costituisce lo studio di maggior dettaglio, in cui la valutazione della pericolosità sismica locale è effettuata ricorrendo a metodologie che possono essere classificate come strumentali o numeriche.

La metodologia strumentale richiede l'acquisizione di dati strumentali attraverso campagne di registrazione eseguite in sito con l'utilizzo di strumentazioni specifiche, variabili a seconda del parametro di acquisizione scelto (velocimetri ed accelerometri). Le caratteristiche strumentali, il tipo di acquisizione e la disposizione logistica variano in funzione dell'opera, della complessità geologica dell'area di studio e del metodo di elaborazione scelto. Le registrazioni possono riguardare il rumore di fondo (microtremore di origine naturale o artificiale) o eventi sismici di magnitudo variabile; i dati acquisiti devono essere opportunamente selezionati (ripuliti da tutti i disturbi presenti), qualificati tramite informazioni sismologiche dell'area in esame al fine di definire la direzionalità del segnale sismico e la geometria della zona sismogenetica – sorgente. Le tracce dei segnali di registrazione devono essere processate tenendo conto delle diverse condizioni di installazione degli strumenti e delle diverse condizioni di acquisizione dei dati. In caso di utilizzo di stazioni equipaggiate con strumentazioni con frequenza propria diversa (caso più frequente), occorre rendere omogenei tra loro i vari segnali attraverso una deconvoluzione per le rispettive risposte spettrali.

La metodologia numerica consiste nella modellazione di situazioni reali mediante un'appropriata e dettagliata caratterizzazione geometrica e meccanica del sito, nella valutazione della risposta sismica locale tramite codici di calcolo matematico più o meno sofisticati (modelli monodimensionali 1D, bidimensionali 2D e tridimensionali 3D), basati su opportune semplificazioni e riduzioni del problema, necessarie ma comunque di influenza abbastanza trascurabile sul risultato finale. I concetti fondamentali su cui si basano i codici di calcolo numerico riguardano la teoria della propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo e la teoria del comportamento non lineare e dissipativo dei terreni in condizioni dinamiche. La valutazione della risposta sismica deve tener conto non solo delle variazioni di ampiezza massima del moto sismico di riferimento, ma anche dell'effetto di filtraggio esercitato su di esso dal terreno, cioè delle modifiche nel contenuto in frequenza.

L'applicazione della metodologia numerica richiede una caratterizzazione geometrica di dettaglio del sottosuolo tramite rilievi specifici, una caratterizzazione geofisica e una caratterizzazione meccanica tramite accurate indagini geologiche e geotecniche in grado di determinare i parametri geotecnici statici e dinamici specifici su campioni indisturbati o comunque di alta qualità. È richiesto un programma di indagini geotecniche specifico, i cui risultati saranno da aggiungere a quelli esistenti (primo e secondo livello); è inoltre necessaria l'individuazione di uno o più input sismici sotto forma di spettri di risposta e/o di accelerogrammi.

Le analisi strumentali e numeriche rappresentano due approcci diversi per la va-

lutazione quantitativa dell'amplificazione locale; sono tra loro coerenti ma presentano le seguenti differenze:

- ♦ l'analisi numerica ha il vantaggio di essere facilmente applicabile, con tempi veloci, ma ha lo svantaggio di richiedere alti costi di realizzazione, di considerare modelli semplificati della situazione reale (soprattutto per i codici di calcolo 1D e 2D) e di trascurare l'effetto delle onde superficiali, sottostimando gli effetti ad alti periodi;
- ♦ l'analisi strumentale ha il vantaggio di considerare l'effetto della sollecitazione sismica nelle tre dimensioni spaziali ma ha lo svantaggio di considerare eventi di bassa magnitudo (valutando il comportamento dei materiali solo per basse deformazioni in campo elastico), di richiedere analisi geotecniche dinamiche integrative atte a rilevare il comportamento del bedrock sotto sollecitazione e necessità di effettuare registrazioni per periodi di tempo che dipendono dalla sismicità dell'area e che possono variare da un minimo di 1 mese ad un massimo di 2 anni.

È da valutare la possibilità di integrazione delle due metodologie: in questo modo è possibile effettuare un'analisi quantitativa completa che considera sia l'effetto della tridimensionalità del sito sia il comportamento non lineare dei materiali soggetti a sollecitazioni sismiche.

Per lo sviluppo del III Livello di cui alla DGR IX/2616/2011 (analisi effetto sismico in fase di progettazione) la Regione ha suddiviso il territorio regionale in fasce caratterizzate da severità sismica omogenea. In particolare sono state individuate 8 fasce nelle quali i comuni presentavano valori di accelerazione massima attesa al suolo e valori dell'ordinata spettrale massima (NTC18) compresi in un range del $\pm 10\%$ dal valore medio.

Il Comune ricade in **Fascia 5** (un valore crescente indica una accelerazione maggiore). Per ogni fascia sono stati messi a disposizione 5 accelerogrammi registrati (diagramma in funzione del tempo che rappresenta le accelerazioni indotte al suolo in un dato sito, durante un evento sismico); tali accelerogrammi, come previsto dalle NTC18 e dalla Circolare 2019, sono da utilizzarsi nelle analisi dinamiche dei sistemi geotecnici nella fascia corrispondente (FASCIA1 – FASCIA8).

Nelle Norme e nella Circolare, infatti, è esplicitamente richiesto nelle analisi dinamiche dei sistemi geotecnici (amplificazioni, frane, ecc.) l'uso di 5 accelerogrammi registrati rappresentativi della sismicità del sito, compatibili con le caratteristiche sismogenetiche della sorgente, con la coppia magnitudo – distanza dalla sorgente e con la massima accelerazione orizzontale attesa e registrate su bedrock sismico, provenienti dai database nazionali ed internazionali più accreditati.

Gli accelerogrammi vengono utilizzati, per l'analisi dinamica non lineare delle strutture, poiché consentono di ottenere una stima accurata e statisticamente corretta della domanda sismica.

3.4.5 Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito: valutazione del contesto comunale

Gli elaborati di caratterizzazione geologica e geomorfologica non individuano delle zone omogenee in ambito comunale, ma denotano una significativa articolazione di aspetti geomorfologici e caratteristiche geologiche.

Si possono comunque individuare tre settori relativamente omogenei: 1) un settore centrale, con andamento nord – sud e rappresentato dal fondovalle, ove sono presenti ampi terrazzi fluviali / fluvioglaciali e lungo il quale si sviluppa principalmente l'edificato; 2) settori orientali ed occidentali caratterizzati da versanti scoscesi e substrato lapideo (coincidente con quello sismico) affiorante o, comunque, caratterizzato da coperture molto modeste; 3) porzioni variamente distribuite in ambito comunale e caratterizzate dalla presenza di ambienti a morfologia moderatamente acclive e substrato sismico relativamente superficiale.

3.4.5.1 Primo livello

Il primo livello d'indagine ha portato a mappare la pericolosità sismica locale sulla base delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio. Analizzando in dettaglio gli scenari di pericolosità contenuti in Tabella 12 si sono individuati in ambito comunale:

- ◆ Zone caratterizzate da fenomeni di instabilità dei versanti o potenzialmente instabili (**Z1**): suddivise in zone caratterizzate da movimenti franosi attivi (Z1a) e quiescenti (Z1b);
- ◆ Zone caratterizzate dalla presenza di terreni di fondazione particolarmente scadenti (**Z2**): in questo scenario di pericolosità è poco rappresentato (Z2a) in aree di modeste dimensioni;
- ◆ Zone esposte a fenomeni di amplificazione topografica (**Z3**): aree caratterizzate da questo scenario sono presenti in tutto il territorio comunale con esclusione del fondovalle (ove è assente il substrato sismico affiorante);
- ◆ Zone interessate da fenomeni di amplificazione litologica o geometrica del moto sismico (**Z4**): ricadono in questo scenario i depositi fluviali e di conoide ubicati lungo i principali assi vallivi (Z4a e Z4b);

Tra gli scenari geologico – morfologici descritti nella Tabella 12, il territorio di Castione della Presolana è dominato quindi dagli scenari appartenenti alla categoria Z1, Z3 e Z4. In maggior dettaglio, lo scenario di pericolosità sismica locale principale è lo scenario Z4a definito come "Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi", di poco subordinato a questo, sono ben rappresentati gli scenari Z1b "Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio – lacustre".

L'allegata Tavola GEO_05 mostra la Pericolosità Sismica Locale ottenuta per il Comune.

3.4.5.2 Secondo livello

L'indagine di secondo livello si è sviluppata impiegando le indicazioni emerse

dall'indagine di I livello e le informazioni contenute nell'allegata cartografia geologico – geomorfologica; non si sono valutati quegli scenari che non rispondano ai requisiti per le necessarie verifiche di II o III livello (esempio scenari morfologici Z3a o Z3b che si sviluppano in ambiti con Vs inferiore a 800 m/s) o, come previsto dalla DGR IX/2616/2011, non sono stati valutati nel secondo livello quegli scenari la cui disamina è relegata direttamente al III livello (scenari Z1 e Z5).

Diversamente dalle indicazioni normative, l'indagine di secondo livello implementata nel presente studio la si è estesa anche a quegli scenari di pericolosità sismica identificati nella fase di primo livello e che risultano sostanzialmente inedificabili (per caratteristiche geologiche, geomorfologiche e ambientali, o perché sottoposte a vincolo da particolari normative).

3.4.5.2.1 Approfondimenti negli scenari Z3

Come descritto in precedenza, nella pericolosità sismica locale si sono identificati scenari di tipo Z3, con particolare riferimento a elementi Z3a "Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)" e Z3b "Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite – arrotondate".

Per tali scenari si applica la procedura descritta nel capitolo 3.4.4.2.2.2: in primo luogo, sulla base delle caratteristiche geometriche si è determinato il valore di Fa relativamente al solo intervallo 0,1 ÷ 0,5 s in quanto unico ritenuto significativo per tale amplificazione) e, successivamente, si è confrontato tale valore con il valore del parametro di adeguamento della forma spettrale in relazione alla topografia (S_T) riportato nelle NTC18 e dipendente dall'assetto morfologico (si veda la Tabella 18).

Cat.	Caratteristiche della superficie topografica	S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con acclività media $i \leq 15^\circ$	1,0
T2	Pendii con acclività media $i > 15^\circ$	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e acclività media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e acclività media $i > 30^\circ$	1,4

Tabella 18: Parametri di adeguamento forma spettrale in relazione alla topografia.

Propedeuticamente all'analisi di secondo livello dei subscenari di Z3, associata all'analisi di primo livello, si è analizzata la morfologia comunale con tecniche GIS (indici di asperità, ecc...) per identificare situazioni omogenee in scala nominale di lavoro 1:10.000.

Successivamente all'analisi di primo livello, nella quale l'individuazione degli scenari Z3 la si è effettuata esclusivamente dal punto di vista morfologico, si sono associati gli elementi riconosciuti con le litologie presenti in ambito comunale per verificare che gli scenari Z3 individuati rispondessero ai criteri regionali: scenari

che si sviluppano su substrato sismico ($V_s > 800$ ms); per le caratteristiche di risposta sismica delle litologie presenti in ambito comunale si è fatto riferimento alla sintesi riportata in Tabella 19.

Scenari Z3a: questo scenario si sviluppa solamente in presenza di substrato roccioso assimilabile a substrato sismico o in zone ove sono presenti modestissimi spessori di coperture (inferiore a 3 metri); pertanto si ritiene che gli elementi di questo scenario si sviluppino solamente su substrato sismico ($V_s > 800$ m/s).

Essendo costituite da materiali lapidei, le scarpate individuate in ambito comunale presentano una acclività della scarpata (α) superiore a 50° ed una acclività del ripiano superiore (β) intorno a $10^\circ - 15^\circ$. Questa morfologia media, derivante da analisi computerizzate, è classificata come "scarpata in pendenza" in Figura 16 e, con riferimento al parametro S_T di Tabella 18, si è in presenza di un assetto topografico T2 a cui corrisponde un valore di S_T pari a 1,2 (corrispondente al valore soglia comunale).

L'altezza delle scarpate identificate è generalmente compresa nella classe 20 ÷ 40 metri, subordinatamente (es. zona Pisterla, Costa Salaer) sono presenti scarpate con altezza superiore a 40 metri. Considerando la condizione più cautelativa tra le due (scarpate con altezza compresa tra 20 e 40 metri), il valore di $Fa_{0,1 \div 0,5}$ vale 1,2 a cui bisogna sommare + 0,1 per tener conto della variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata (come stabilito dalla DGR IX/2616/2011); conseguentemente il valore finale di Fa caratteristico per tali scarpate vale 1,3 che risulta superiore al valore soglia comunale.

Gli scenari Z3a sono da evidenziarsi quindi nell'ambito della cartografia di fattibilità in quanto significativi per l'amplificazione locale dell'effetto sismico.

Scenari Z3b: anche questo scenario si sviluppa solamente in presenza di substrato roccioso assimilabile a substrato sismico o in zone ove sono presenti modestissimi spessori di coperture (inferiore a 3 metri); pertanto si ritiene che gli elementi di questo scenario si sviluppino solamente su substrato sismico ($V_s > 800$ m/s).

Essendo costituite da materiali lapidei, le zone di cresta individuate in ambito comunale presentano una acclività della scarpata (α) superiore a 10° (valori compresi tra 25° e 70°). La larghezza porzione sommitale (I) si presenta molto acuminata rispetto alla larghezza della base (L); questa morfologia media, derivante da analisi computerizzate, è classificata come "cresta appuntita" in Figura 17 e, con riferimento al parametro S_T di Tabella 18, si è in presenza di un assetto topografico T4 a cui corrisponde un valore di S_T pari a 1,4 (corrispondente al valore soglia comunale).

La larghezza della base varia tra 300 – 400 m e 50 – 80 m, con altezza variabile tra 50 – 100 m e 20 – 30 m; considerando queste due situazioni estreme ed impiegando i dati più cautelativi nell'ambito della variabilità dei valori citati, si hanno i seguenti valori di $Fa_{0,1 \div 0,5}$:

$L < 350$ $Fa = 1,34 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow Fa \cong 1,4$

$L < 150$ $Fa = 1,27 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow Fa \cong 1,4$

Al valore di Fa calcolato è stato sommato + 0,1 per tener conto della variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata (come stabilito dalla DGR IX/2616/2011); conseguentemente il valore finale di Fa caratteristico per le creste è pari o superiore a 1,4 e, quindi, pari o superiore al valore soglia comunale 1,4.

Gli scenari Z3b sono da evidenziarsi quindi nell'ambito della cartografia di fattibilità in quanto significativi per l'amplificazione locale dell'effetto sismico.

3.4.5.2.2 Approfondimenti negli scenari Z4

Ai fini della definizione del secondo livello nell'ambito degli scenari Z4, considerando l'estensione delle aree, si sono utilizzati essenzialmente dati litologici e stratigrafici, nonché correlazioni tra litologia e Vs presenti in bibliografia; tali elementi sono poi stati associati a risultanze di prove in sito (geotecniche e/o geofisiche) già disponibili presso l'archivio comunale o precedenti versioni dello studio geologico.

Sulla base delle litologie presenti, dei dati disponibili di prove in sito effettuate in ambito comunale e dei valori noti in letteratura (si veda Tabella 15) si sono adottate le correlazioni con le Vs riportate in Tabella 19 in assenza di puntuali indagini in sito.

TIPO DI SUOLO / LITOLOGIA	Vs min [m/s]	Vs med [m/s]	Vs max [m/s]	Origine del dato	Attendibilità
Unità alteritiche o a supporto di matrice fine (depositi colluviali ed eluviali)	340	395	450	Bibliografia	Bassa
Depositi alluvionali e di conoide	235	265	300	Prove sismiche in sito in ambito comunale	Alta
Depositi glaciali e regoliti compatte	460	500	540	Prove sismiche in sito in ambito comunale	Alta
Depositi di versante, di frana grossolani	180	220	265	Bibliografia	Bassa
Depositi superficiali cementati (conglomerati, puddinghe)	365	660	955	Bibliografia	Bassa
Formazioni prevalentemente dolomitiche	1080	1515	1950	Bibliografia	Bassa
Formazioni argillitiche o con frazione calcarea molto contenuta	425	1070	1400	Bibliografia	Bassa
Formazioni calcaree con presenza di porzioni argillitiche	590	840	1095	Bibliografia	Bassa
Formazioni calcaree	620	1060	1500	Bibliografia	Bassa

Tabella 19: Velocità caratteristiche delle onde Vs nei principali tipi di suolo identificati in ambito comunale (sintesi da bibliografia e da indagini disponibili in ambito comunale e limitrofi).

I valori soglia comunale, come previsto dalla DGR IX/2616/2011, sono legati alle categorie di suolo previste dalle NTC18 come evidenziato in Tabella 20.

Comune	Intervallo di periodi	B	C	D	E
Castione della Presolana	0,1 ÷ 0,5	1,4	1,8	2,2	2,0
Castione della Presolana	0,5 ÷ 1,5	1,7	2,4	4,2	3,1

Tabella 20. Valori di soglia di Fa (periodi 0,1 ÷ 0,5 e 0,5 ÷ 1,5) per il comune secondo quanto indicato nel file soglie_lomb.xls (disponibile presso il portale della Regione Lombardia).

Per ognuno degli scenari di pericolosità Z4 identificati in ambito comunale, stante la loro diffusione areale e dislocazione eterogenea, si è identificata una situazione tipo (cautelativa) e le risultanze delle verifiche, effettuate secondo gli schemi riportati nell'allegato 5 della DGR IX/2616/2011 in corrispondenza della situazione tipo, le si sono estese a tutto l'areale dello scenario corrispondente. *Da evidenziare che propedeuticamente a ciò si sono stralciati quegli ambiti Z4 individuati sulla carta di PSL che non possono generare effetti significativi (coperture sedimentarie sciolte con spessore modesto, mediamente inferiore a 3 metri, o il cui spessore è arealmente estremamente irregolare e, quindi, non rappresentabile negli scenari di pericolosità sismica alla scala nominale indicata dalla regione per la definizione di tale tematismo).*

Scenario Z4a: questo scenario si sviluppa sui fondivalle ed è rappresentato alluvioni e depositi glaciali terrazzati con vario grado di cementazione.

Per tale scenario sono presenti sia indagini geofisiche in sito per la definizione della risposta sismica riguardo alla pianificazione (Studio geologico a supporto del PGT a firma del gol. M. Marella) riprese anche da valutazioni di risposta sismica locale inerenti la realizzazione di progetti in ambito comunale, sia indagini specificamente realizzate da ERA per definire compiutamente lo scenario Z4a.

La consistenza delle prove disponibili per la caratterizzazione dello scenario Z4a è: 4 prove MASW e 12 prove HVSr (per l'ubicazione si veda l'allegata Tavola GEO_04).

L'analisi sismica con la tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) permette, attraverso la registrazione della modalità di propagazione delle onde di superficie nel sottosuolo, di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio Sh. Dal sismogramma acquisito si ottiene, note le caratteristiche geometriche dello stendimento, lo spettro della velocità di fase in base alla frequenza sul quale si individua la curva di dispersione; tale curva viene sottoposta a processo matematico di inversione basato su algoritmi genetici che porta all'elaborazione di un modello geofisico del sottosuolo caratterizzato da sismostrati a diverse velocità delle onde Sh.

L'analisi sismica con la tecnica HVSr o H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) sono indagini geofisiche a stazione singola finalizzate alla caratterizzazione sismica di sito tramite la stima delle frequenze fondamentali di risonanza. Le misure a stazione singola del tremore sismico portano, attraverso i rapporti spettrali, alla misura immediata della frequenza di risonanza del sottosuolo e con l'inversione

delle misure H/V, permettono di stimare sia la stratigrafia superficiale, sia la stratigrafia delle V_s . Il metodo HVSR è una tecnica a stazione singola, si effettua cioè per mezzo di un singolo sismometro tricomponente a larga banda e alta sensibilità che viene posto sul terreno e campiona il rumore sismico per alcuni minuti.

I risultati delle prove sono sintetizzati in seguito (si ricorda che a seguito dell'entrata in vigore delle NTC18, in luogo delle $V_{s,30}$ si deve operare con le $V_{s,eq}$ e pertanto per le prove contenute nello studio geologico firma del gol. M. Marella si è proceduto ad una loro rielaborazione).

MASW A (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 579336,5083331)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Pianeggiante (aree agricole)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{s,eq}$	471,1 m/s
Categoria di suolo equivalente	E (substrato sismico < 30 m)
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per litologia limoso – argillosa 1 (incoerente con la litologia effettivamente presente in sito) ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato reale in quanto l'indagine ha raggiunto il substrato sismico) pari a 0,1190 s, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla NUMERO 3.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 1,2 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,3$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 1,0 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,1$

Considerando che si è in presenza di suoli in Classe E, i valori di amplificazione sono rispettivamente INFERIORI al valore di soglia 2,0 nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e INFERIORI al valore di soglia 3,1 per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

MASW B (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 579237,5083546)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a
----------------------	--

	granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Pianeggiante (aree urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}$	186,0 m/s
Categoria di suolo equivalente	E (substrato sismico < 30 m)
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per litologia limoso – argillosa 1 (incoerente con la litologia effettivamente presente in sito) ed il periodo proprio del sito T , calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato reale in quanto l'indagine ha raggiunto il substrato sismico) pari a 0,0800 s, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla NUMERO 1.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 1,2 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,3$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 1,0 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,1$

Considerando che si è in presenza di suoli in Classe E, i valori di amplificazione sono rispettivamente INFERIORI al valore di soglia 2,0 nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e INFERIORI al valore di soglia 3,1 per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

MASW C (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 580033,5084207)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree parzialmente urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}$	387,6 m/s
Categoria di suolo equivalente	E (substrato sismico < 30 m)
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per **ghiaiosa** ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato reale in quanto l'indagine ha raggiunto il substrato sismico) pari a **0,1664 s**, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla **NUMERO 1**.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 1,6 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,7$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 1,1 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,2$

Considerando che si è in presenza di suoli in **Classe E**, i valori di amplificazione sono rispettivamente **INFERIORI** al valore di soglia **2,0** nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **INFERIORI** al valore di soglia **3,1** per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

MASW D (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 580434,5084597)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{s,eq}$	480,75 m/s
Categoria di suolo equivalente	E (substrato sismico < 30 m)
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per **limoso – argillosa 2** (incoerente con la litologia effettivamente presente in sito) ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato reale in quanto l'indagine ha raggiunto il substrato sismico) pari a **0,1645 s**, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla **NUMERO 1**.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 1,6 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,7$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 1,1 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,2$

Considerando che si è in presenza di suoli in **Classe E**, i valori di amplificazione sono rispettivamente **INFERIORI** al valore di soglia **2,0** nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **INFERIORI** al valore di soglia **3,1** per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

S.

HVSR E (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 580970,5084804)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}$	535 m/s
Categoria di suolo equivalente	E (substrato sismico < 30 m)
Raggiungimento bedrock sismico	No

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per limoso – argillosa 2 (incoerente con la litologia effettivamente presente in sito) ed il periodo proprio del sito T , calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato ipotizzato in quanto l'indagine non ha raggiunto il substrato sismico) pari a 0,1736 s, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla NUMERO 3.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 1,3 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,4$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 1,1 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,2$

Considerando che si è in presenza di suoli in Classe E, i valori di amplificazione sono rispettivamente INFERIORI al valore di soglia 2,0 nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e INFERIORI al valore di soglia 3,1 per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 1 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 580436,5085246)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree agricole)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche)

	e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}=V_{s30}$	349,1 m/s
Categoria di suolo equivalente	C
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per sabbiosa (incoerente con la litologia effettivamente presente in sito) ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è pari o superiore a 800 m/s (dato reale in quanto l'indagine ha raggiunto il substrato sismico) pari a 0,4188 s, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla NUMERO 2.

I valori di Fa che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s Fa = 1,6 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 1,7

Intervallo 0,5 – 1,5 s Fa = 1,7 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 1,8

Considerando che si è in presenza di suoli in Classe C, i valori di amplificazione sono rispettivamente INFERIORI al valore di soglia 1,8 nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e INFERIORI al valore di soglia 2,4 per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 2 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 581558,5084881)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree semi urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}=V_{s30}$	500,95 m/s
Categoria di suolo equivalente	B
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per sabbiosa (seppure in presenza di un'inversione) ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è pari o superiore a 800 m/s (dato reale in quanto l'indagine ha raggiunto il substrato sismico) pari a 0,4221 s, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla NUMERO 3.

I valori di Fa che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s Fa = 1,2 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 1,3

Intervallo 0,5 – 1,5 s Fa = 1,7 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 1,8

Considerando che si è in presenza di suoli in **Classe B**, i valori di amplificazione sono rispettivamente **INFERIORI** al valore di soglia **1,4** nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **SUPERIORI** al valore di soglia **1,7** per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 3 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 582370,5085067)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
V _{S,eq} =V _{s30}	596,7 m/s
Categoria di suolo equivalente	B
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per **limoso – sabbiosa 2** (incoerente con la litologia effettivamente presente in sito) ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è pari o superiore a 800 m/s (dato ipotizzato reale in quanto l'indagine non ha raggiunto il substrato sismico) pari a **0,3281 s**, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla **NUMERO 3**.

I valori di Fa che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s Fa = 1,8 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 1,9

Intervallo 0,5 – 1,5 s Fa = 1,3 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 1,4

Considerando che si è in presenza di suoli in **Classe B**, i valori di amplificazione sono rispettivamente **SUPERIORI** al valore di soglia **1,4** nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **INFERIORI** al valore di soglia **1,7** per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 4 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 581858,5085310)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a
----------------------	--

	granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}=V_{s30}$	369,74 m/s
Categoria di suolo equivalente	B
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per **sabbiosa** ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato reale in quanto l'indagine ha raggiunto il substrato sismico) pari a **0,8295 s**, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla **NUMERO 3**.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 1,0 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,1$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 1,8 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,9$

Considerando che si è in presenza di suoli in **Classe B**, i valori di amplificazione sono rispettivamente **INFERIORI** al valore di soglia **1,8** nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **INFERIORI** al valore di soglia **2,4** per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 5 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 581584,5085907)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree semi urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}=V_{s30}$	544,7 m/s
Categoria di suolo equivalente	B
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per **sabbiosa** ed il periodo pro-

prio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato reale in quanto l'indagine ha raggiunto il substrato sismico) pari a $0,5815$ s, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla **NUMERO 3**.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 1,0 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,1$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 1,9 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 2,0$

Considerando che si è in presenza di suoli in **Classe B**, i valori di amplificazione sono rispettivamente **INFERIORI** al valore di soglia **1,4** nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **INFERIORI** al valore di soglia **1,7** per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 6 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 582585,5084632)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree semi urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{s,eq}$	606,4 m/s (substrato sismico < 30 m)
Categoria di suolo equivalente	E
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per **limoso – argillosa 2** (incoerente con la litologia effettivamente presente in sito) ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato ipotizzato reale in quanto l'indagine non ha raggiunto il substrato sismico) pari a $0,1698$ s, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla **NUMERO 3**.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 1,4 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,5$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 1,2 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,3$

Considerando che si è in presenza di suoli in **Classe E**, i valori di amplificazione sono rispettivamente **INFERIORI** al valore di soglia **2,0** nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **INFERIORI** al valore di soglia **3,1** per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 7 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 583043,5084928)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}=V_{s30}$	370,05 m/s
Categoria di suolo equivalente	B
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per sabbiosa ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato ipotizzato reale in quanto l'indagine non ha raggiunto il substrato sismico) pari a 0,6627 s, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla NUMERO 2.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 1,2 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,3$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 2,0 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 2,1$

Considerando che si è in presenza di suoli in Classe B, i valori di amplificazione sono rispettivamente INFERIORI al valore di soglia 1,4 nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e SUPERIORI al valore di soglia 1,7 per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 8 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 582812,5085311)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}=V_{s30}$	380,45 m/s

Categoria di suolo equivalente	B
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per sabbiosa ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è pari o superiore a 800 m/s (dato ipotizzato reale in quanto l'indagine non ha raggiunto il substrato sismico) pari a 0,5216 s, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla NUMERO 2.

I valori di Fa che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s Fa = 1,4 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 1,6

Intervallo 0,5 – 1,5 s Fa = 1,9 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 1,3

Considerando che si è in presenza di suoli in Classe B, i valori di amplificazione sono rispettivamente SUPERIORI al valore di soglia 1,4 nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e INFERIORI al valore di soglia 1,7 per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 9 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 582632,5085979)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{s,eq}=V_{s30}$	478,01 m/s
Categoria di suolo equivalente	B
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per limoso – sabbiosa 2 (incoerente con la litologia effettivamente presente in sito) ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è pari o superiore a 800 m/s (dato ipotizzato reale in quanto l'indagine non ha raggiunto il substrato sismico) pari a 0,4497 s, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla NUMERO 3.

I valori di Fa che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s Fa = 1,8 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 1,9

Intervallo 0,5 – 1,5 s Fa = 1,4 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 1,5

Considerando che si è in presenza di suoli in **Classe B**, i valori di amplificazione sono rispettivamente **SUPERIORI** al valore di soglia **1,4** nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **INFERIORI** al valore di soglia **1,7** per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 10 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 583315,5086412)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree semi urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}=V_{s30}$	628,0 m/s
Categoria di suolo equivalente	B
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per **limoso – argillosa 2** (incoerente con la litologia effettivamente presente in sito) ed il periodo proprio del sito T , calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato reale in quanto l'indagine ha raggiunto il substrato sismico – non si considera il livello con $V_s > 800$ più superficiale in quanto di limitato spessore), che risulta **0,1230 s**, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla **NUMERO 3**.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 1,2 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,3$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 1,1 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,2$

Considerando che si è in presenza di suoli in **Classe B**, i valori di amplificazione sono rispettivamente **INFERIORI** al valore di soglia **1,4** nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **INFERIORI** al valore di soglia **1,7** per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 11 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 583741,5086981)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)

Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{s,eq}=V_{s30}$	472,17 m/s
Categoria di suolo equivalente	E (substrato sismico < 30 m)
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per limoso – sabbiosa 2 (incoerente con la litologia effettivamente presente in sito) ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è pari o superiore a 800 m/s (dato ipotizzato reale in quanto l'indagine non ha raggiunto il substrato sismico) pari a 0,2310 s, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di Fa nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla NUMERO 1.

I valori di Fa che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s Fa = 2,1 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 2,2

Intervallo 0,5 – 1,5 s Fa = 1,2 → +0,1 (da DGR IX/2616/2011) → Fa ≅ 1,3

Considerando che si è in presenza di suoli in Classe B, i valori di amplificazione sono rispettivamente SUPERIORI al valore di soglia 1,4 nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e INFERIORI al valore di soglia 1,7 per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

Considerazioni finali riguardo lo scenario Z4a

In relazione alle indagini disponibili / effettuate (si veda Tabella 21), lo scenario Z4a presenta comportamenti eterogenei, fatto correlato all'irregolare cementazione che caratterizza i depositi che lo compongono; questo sia in relazione al periodo 0,1 – 0,5 s, sia in relazione al periodo 0,5 – 1,5 s.

ID	$V_{s,eq}$ (m/s)	Classe Suolo	Prof. Substr. Sismico (m)	FAC 0,1 – 0,5s	FAC 0,5 – 1,5s
MASW A	471	E	21,0	Inferiore	Inferiore
MASW B	186	E	4,1	Inferiore	Inferiore
MASW C	388	E	26,0	Inferiore	Inferiore
MASW D	481	E	21,1	Inferiore	Inferiore
HVSR E	535	E	28,0	Inferiore	Inferiore
HVSR 1	349	C	36,4	Inferiore	Inferiore
HVSR 2	501	B	56,8	Inferiore	Superiore
HVSR 3	597	B	60,4	Superiore	Inferiore
HVSR 4	370	B	111,0	Inferiore	Inferiore

HVSR 5	545	B	78,3	Inferiore	Inferiore
HVSR 6	648	E	26,9	Inferiore	Inferiore
HVSR 7	370	B	81,3	Inferiore	Superiore
HVSR 8	380	B	51,4	Superiore	Inferiore
HVSR 9	478	B	65,9	Superiore	Inferiore
HVSR 10	628	B	30,1	Inferiore	Inferiore
HVSR 11	472	B	31,9	Superiore	Inferiore

Tabella 21: Sintesi dei risultati delle indagini disponibili / realizzate con comparazione finale del Fattore di Amplificazione Calcolato (FAC) con il Fattore di Amplificazione Soglia (FAS) secondo la procedura regionale.

Gli scenari Z4a sono da evidenziarsi quindi nell'ambito della cartografia di fattibilità in quanto significativi per l'amplificazione locale dell'effetto sismico.

Scenario Z4b: questo scenario si sviluppa sui versanti poco acclivi sui fondovalle ed è rappresentato da falde di detrito ed accumuli derivanti da fenomeni gravitativi che, talora, possono avere anche significativo spessore.

Per tale scenario si sono specificatamente effettuate indagini geofisiche in sito per la definizione della risposta sismica.

La consistenza delle prove disponibili per la caratterizzazione dello scenario Z4a è: 2 prove HVSR (per l'ubicazione si veda l'allegata Tavola GEO_04) effettuate in corrispondenza di un significativo agglomerato urbano ubicato su tale scenario.

L'analisi sismica è stata effettuata con la tecnica HVSR o H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) sono indagini geofisiche a stazione singola finalizzate alla caratterizzazione sismica di sito tramite la stima delle frequenze fondamentali di risonanza. Le misure a stazione singola del tremore sismico portano, attraverso i rapporti spettrali, alla misura immediata della frequenza di risonanza del sottosuolo e con l'inversione delle misure H/V, permettono di stimare sia la stratigrafia superficiale, sia la stratigrafia delle V_s . Il metodo HVSR è una tecnica a stazione singola, si effettua cioè per mezzo di un singolo sismometro tricomponente a larga banda e alta sensibilità che viene posto sul terreno e campiona il rumore sismico per alcuni minuti.

I risultati delle prove sono sintetizzati in seguito (si ricorda che a seguito dell'entrata in vigore delle NTC18, in luogo delle $V_{s,30}$ si deve operare con le $V_{s,eq}$).

HVSR 12 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 584854,5082313)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree semi urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)

Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}=V_{s30}$	242,85 m/s
Categoria di suolo equivalente	C
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per **sabbiosa** ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato ipotizzato reale in quanto l'indagine non ha raggiunto il substrato sismico) pari a **2,5012 s**, la curva da impiegare per il calcolo dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla **NUMERO 2**.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 0,1 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 0,2$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 1,2 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,3$

Considerando che si è in presenza di suoli in **Classe C**, i valori di amplificazione sono rispettivamente **INFERIORI** al valore di soglia **1,8** nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **INFERIORI** al valore di soglia **2,4** per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

HVSR 13 (Coordinate WGS84 – EPSG32632: 584729,5081989)

Litologia prevalente	Profilo litologico principalmente composto di ghiaie e sabbie (spesso cementate), con alcune sottili intercalazioni di materiali a granulometria più fine.
Assetto geomorfologico	Subpianeggiante (aree semi urbanizzate)
Attendibilità dei dati geofisici	ALTA (dati derivanti indagini)
Attendibilità dei dati stratigrafici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
Attendibilità dei dati litologici	MEDIA (dati ottenuti da fonti bibliografiche e specifico rilevamento di superficie)
$V_{S,eq}$	584,91 m/s
Categoria di suolo equivalente	E (substrato sismico < 30 m)
Raggiungimento bedrock sismico	Si

La scheda di valutazione ritenuta idonea è quella per **ghiaiosa** ed il periodo proprio del sito T, calcolato da una profondità minima di 4 metri da p.c. e considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (dato ipotizzato reale in quanto l'indagine non ha raggiunto il substrato sismico) pari a **0,1030 s**, la curva da impiegare per il calcolo

dei valori di F_a nell'intervallo 0,1 – 0,5 s corrisponde alla **NUMERO 2**.

I valori di F_a che si ottengono sono quindi:

Intervallo 0,1 – 0,5 s $F_a = 1,3 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,4$

Intervallo 0,5 – 1,5 s $F_a = 1,0 \rightarrow +0,1$ (da DGR IX/2616/2011) $\rightarrow F_a \cong 1,1$

Considerando che si è in presenza di suoli in **Classe E**, i valori di amplificazione sono rispettivamente **INFERIORI** al valore di soglia **2,0** nell'intervallo di periodi 0,1 – 0,5 s e **INFERIORI** al valore di soglia **3,1** per l'intervallo di periodi 0,5 – 1,5 s.

Considerazioni finali riguardo lo scenario Z4b

In relazione alle indagini disponibili / effettuate (si veda Tabella 22), lo scenario Z4b presenta comportamenti omogenei, fatto correlato all'assenza di livelli cementati che alterano localmente il comportamento dell'intero corpo dei depositi di riferimento. Proprio in virtù dell'assenza di cementazione e dello spessore irregolare, tale scenario è caratterizzato dalla sostanziale assenza di suoli in classe B.

ID	$V_{s,eq}$ (m/s)	Classe Suolo	Prof. Substr. Sismico (m)	FAC 0,1 – 0,5s	FAC 0,5 – 1,5s
HVSR 12	243	C	152,0	Inferiore	Inferiore
HVSR 13	585	E	12,9	Inferiore	Inferiore

Tabella 22: Sintesi dei risultati delle indagini disponibili / realizzate con comparazione finale del Fattore di Amplificazione Calcolato (FAC) con il Fattore di Amplificazione Soglia (FAS) secondo la procedura regionale.

Gli scenari Z4b non sono da evidenziarsi nell'ambito della cartografia di fattibilità in quanto poco significativi per l'amplificazione locale dell'effetto sismico.

3.4.5.2.3 Sintesi degli aspetti di amplificazione sismica locale

I valori del fattore di amplificazione F_a calcolati per il territorio del Comune di Castione della Presolana, quando significativi per la pianificazione, sono riportati sulla cartografia di fattibilità.

Secondo le indicazioni contenute nella DGR IX/2616/2011, nelle aree in cui i fattori di amplificazione calcolati sono inferiori ai valori di soglia, le norme sismiche nazionali forniscono valori di scuotimento "sufficienti a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito ...". Al contrario, nelle aree in cui i valori di F_a calcolati sono superiori ai valori di soglia regionali, le possibilità sono di svolgere in fase di progettazione edilizia analisi di III livello oppure di utilizzare uno spettro di normativa con azioni sismiche maggiori (procedura semplificata prevista dalle NTC18).

Per gli scenari riportati nella cartografia di fattibilità è necessario assoggettare tutti gli interventi ad una progettazione che consideri gli stati limiti e l'effetto sismico (come peraltro previsto dalle NTC18 per i comuni in classe sismica 3).

4. FASE DI SINTESI / VALUTAZIONE

Gli elaborati di questa fase sono ricompresi nel Piano delle Regole e comprendono la sintesi dei vincoli a carattere prettamente geologico, nonché la sintesi degli elementi di pericolosità presenti in ambito comunale.

4.1 SINTESI DEI VINCOLI A CARATTERE GEOLOGICO

La sintesi dei vincoli a carattere prettamente geologico è riportata sulla cartografia dedicata (Carta dei vincoli – Tavola GEO_05), che riguarda tutto il territorio comunale ed è stata realizzata in scala 1:10.000.

Le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore e di contenuto prettamente geologico previste dalla DGR IX/2616/2011 ed i conseguenti vincoli a carattere prettamente geologico sono di seguito descritti.

4.1.1 Vincoli di polizia idraulica di cui al c. 114, Art. 3 della LR 1/2000 e smi – DGR X/7581/2017 e smi

La normativa definisce che debbano essere riportati i corpi d'acqua appartenenti al reticolo idrico principale, di bonifica e minore a cui sono associati relativi vincoli di Polizia Idraulica.

È riportato l'assetto del reticolo idrico vigente e si rimanda al documento di Polizia Idraulica per i vincoli associati ai vari corpi d'acqua. Lo studio sul reticolo idrico minore comunale è stato valutato positivamente dall'UTR di Bergamo. Si sottolinea tuttavia come l'andamento di alcuni tratti dei corsi d'acqua cartografati e della relativa fascia di rispetto non siano coincidenti con l'andamento reale riscontrato durante le verifiche effettuate nel corso del presente aggiornamento.

Si ritiene utile precisare che l'effettivo andamento dei corsi d'acqua e l'individuazione delle fasce di rispetto deve essere quindi verificata in sito (nelle istanze deve essere rappresentata con un'adeguata scala di dettaglio poiché l'individuazione è stata effettuata sulla carta tecnica regionale in scala nominale 1:10.000).

4.1.2 Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile

La normativa definisce che debbano essere riportate le aree di tutela assoluta e di rispetto (comprese le porzioni di aree di salvaguardia relative a pozzi e sorgenti dei comuni limitrofi, qualora ricadano all'interno del territorio del comune), ai sensi del d.lgs 152/2006, articolo 94, commi 3 e 4. In tali ambiti si applicano le disposizioni contenute nella DGR VII/12693/2003. Le aree di rispetto individuate con il criterio idrogeologico e temporale ai sensi della DGR VI/15137/1996 diventano efficaci solo a seguito del rilascio del relativo atto autorizzativo dell'Autorità competente; in assenza di tale atto, i relativi vincoli devono essere applicati sull'ambito individuato con criterio geometrico.

Per quanto riguarda il territorio comunale, sono riportate le sorgenti captate ed asservite a sistemi acquedottistici pubblici, per i quali si sono definite: fascia di tutela assoluta con raggio di 10 metri e fascia di rispetto, a carattere geometrico,

con raggio di 200 metri.

Non risultano agli atti pronunce da parte dell'Autorità Competente riguardo ripermetrazioni della fascia di rispetto.

4.1.3 Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/1989

La normativa definisce che in cartografia debbano essere riportati i vincoli derivanti da:

- a) Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, approvato con DPCM 24 maggio 2001 (Elaborato 8 – Tavole di delimitazione delle Fasce Fluviali);
- b) Piano Stralcio delle Fasce Fluviali approvato con DPCM 24 luglio 1998 (in particolare per quanto riguarda la perimetrazione delle fasce fluviali del fiume Po);

c1) Quadro del dissesto vigente derivante:

- ▶ dall'aggiornamento effettuato ai sensi dell'art. 18 delle NdA del PAI per i comuni che hanno concluso positivamente la verifica di compatibilità;
- ▶ dall'Elaborato 2 del PAI «Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici» (quadro del dissesto originario) per i comuni che non hanno proposto aggiornamenti e non li propongono mediante lo studio geologico;
- ▶ dalle proposte di aggiornamento trasmesse all'Autorità di Bacino, per i comuni compresi nell'Allegato A alla VII/7365/2001 tramite carta del dissesto elaborata d'ufficio dalla Regione Lombardia sulla base dei contenuti degli studi geologici ritenuti già compatibili con le condizioni di dissesto presente o potenziale, ai sensi dell'art. 18, comma 1, delle NdA del PAI;

c2) in alternativa al quadro del dissesto vigente, la proposta di un quadro del dissesto aggiornato redatto secondo i criteri ai sensi della DGR IX/2616/2011.

Il quadro del dissesto deve essere comprensivo anche delle aree perimetrate negli Allegati 4.1 e 4.2 all'Elaborato 2 del PAI («aree rosse» e «aree verdi»), nonché delle aree a rischio idrogeologico molto elevato introdotte con i successivi aggiornamenti al PS 267.

Le zone di inedificabilità assoluta e temporanea, introdotte ai sensi della L. 102/1990 con DGR VI/35038/1998, come definite ed individuate nel piano approvato con DCR V/376/1991 e DPR 9 ottobre 1997, sono confluite nell'Elaborato 2 del PAI approvato con DPCM 24 maggio 2001; con Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino 3 del 13 marzo 2002 esse sono state assoggettate alle norme dell'art. 9 delle NdA del PAI.

- d) Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, Titolo V ed inerente il "Piano di Gestione del Rischio delle Alluvioni nel Distretto del Po (PGRA)". Tale riferimento, non presente nella DGR IX/2616/2011, è stato comunque riportato nella cartografia dei vincoli per via della sua adozione avvenuta con Deliberazione 2/2016 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del Fiume Po.

Si sono individuate le aree soggette ai vincoli di cui al Titolo I delle NdA del PAI, talora modificate come descritto nel capitolo 5.2, e le aree disciplinate dal Titolo V delle NdA del PAI (di nuova introduzione in quanto non presenti nel vigente studio geologico).

4.1.4 Vincoli derivanti dal PTR

La normativa definisce che debbano essere identificati i perimetri delle infrastrutture strategiche di interesse regionale (vasche di laminazione) contenute nella Tabella "Progetti di riferimento per le previsioni di infrastrutture per la difesa del suolo" dell'elaborato SO1 "Obiettivi prioritari di interesse regionale e sovra regionale – Obiettivi prioritari per la difesa del suolo" del Piano Territoriale Regionale.

Non vi sono previsioni in ambito comunale del PTR anche sulla base dell'ultimo aggiornamento disponibile del PTR avvenuto con DCR XI/64/2018.

4.1.5 Geositi

La normativa definisce che debbano essere individuati i beni geologici già soggetti a forme di tutela (Allegato 14 della DGR IX/2616/2011).

Non sono individuati geositi in ambito comunale.

4.2 SINTESI DEGLI ELEMENTI TECNICI

La sintesi degli elementi di tecnici è stata redatta per tutto il territorio comunale ad una scala utile per poter rappresentare gli specifici contenuti che lo caratterizzano (Tavole GEO_06a, GEO_06b, GEO_06c e GEO_06d alla scala 1:5.000). Essa rappresenta le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità / vulnerabilità mediante individuazione di poligoni che definiscono omogenee porzioni di territorio caratterizzate da pericolosità geologico – geotecnica e vulnerabilità idraulica ed idrogeologica.

La sovrapposizione di più elementi di pericolosità / vulnerabilità determina la formazione di poligoni omogenei caratterizzati da più fattori limitanti. La delimitazione dei poligoni è stata effettuata con valutazioni sulla pericolosità e sulle aree di influenza dei fenomeni ricavate da osservazioni ed analisi qualitative o, nei casi previsti dal punto 1.3 della DGR IX/2616/2011, mediante le procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità (Allegati 2, 3 e 4 della medesima DGR); nel caso specifico non sono stati effettuati specifici studi di dettaglio.

La sintesi degli elementi di pregiudizio riguardo l'attuazione degli interventi edilizi / trasformazione d'uso del suolo considerati sono relative a:

- a) Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità
- b) Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico;
- c) Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico;
- d) Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche.

Con riferimento alla casistica riportata nella sezione 2.2 della DGR IX/2616/2011, come rideclinata in Tabella 23 in relazione agli elementi caratterizzanti il territorio

comunale, si sono evidenziati nella cartografia di sintesi gli elementi di pregiudizio per l'attuazione degli interventi edilizi / trasformazione d'uso del suolo.

A	Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti
AA	Aree soggette a crolli di massi (distacco e accumulo). Da definire in base all'estensione della falda di detrito e alla distanza raggiunta dai massi secondo dati storici (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli)
AB	Aree interessate da distacco e rotolamento di blocchi provenienti da depositi superficiali (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli)
AC	Aree di frana attiva (scivolamenti, colate ed espansioni laterali)
AD	Aree di frana quiescente (scivolamenti, colate ed espansioni laterali)
AE	Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti, soliflusso)
AF	Aree a pericolosità potenziale per grandi frane complesse (comprehensive di aree di distacco e di accumulo)
AG	Aree in erosione accelerata (calanchi, ruscellamento in depositi superficiali o rocce deboli)
AH	Aree interessate da trasporto in massa e flussi di detrito su conoide
AI	Aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata e stimata o calcolata area di influenza
AJ	Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza
AK	Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche geotecniche dei terreni e relativo percorso
AL	Aree di percorsi potenziali di colate in detrito e terreno
AM	Aree a pericolosità potenziale legata alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprehensive delle aree di possibile accumulo (aree d'influenza)
AN	Aree interessate da valanghe già avvenute
AO	Aree a probabile localizzazione di valanghe potenziali
AP	Aree protette da interventi di difesa efficaci ed efficienti
AQ	Aree estrattive attive o dismesse non ancora recuperate, comprendendo una fascia di rispetto da valutare in base alle condizioni di stabilità dell'area
B	Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico

B	Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico
BA	Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile e/o del primo acquifero.
BB	Aree con emergenze idriche (fontanili, sorgenti, aree precedentemente scavate, aree con emergenze della falda)
BC	Aree a bassa soggiacenza della falda o con presenza di falde sospese
BD	Aree interessate da carsismo profondo con presenza di inghiottitoi e doline

C	Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico
CA	Aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabili (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20 – 50 anni), con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido
CB	Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche
CC	Aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici tenendo conto delle criticità derivanti da punti di debolezza delle strutture di contenimento quali tratti di sponde in erosione, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti, sezioni di deflusso insufficienti anche a causa della presenza di depositi di materiale vario in alveo o in sua prossimità ecc.: aree lungo corsi d'acqua che, per i citati fenomeni, non presentano elementi significativi di pericolosità.
CD	Aree già allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali desunte dalla ricerca storica – bibliografica
CE	Aree soggette ad esondazioni lacuali
CF	Aree protette da interventi di difesa dalle esondazioni efficaci ed efficienti, dei quali sia stato verificato il corretto dimensionamento secondo l'allegato 3 (con portate solido – liquide aventi tempo di ritorno almeno centennale)
CG	Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette da interventi di difesa: aree lungo corsi d'acqua i cui fenomeni citati presentano moderata pericolosità
CH	Aree potenzialmente interessate da flussi di detrito in corrispondenza dei conoidi pedemontani di raccordo collina – pianura

D	Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche
DA	Aree di possibile ristagno, torbose e paludose

D	Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche
DB	Aree prevalentemente limo – argillose con limitata capacità portante
DC	Aree con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali: aree nelle quali sono presenti coperture, talora di spessore significativo, con caratteristiche geotecniche eterogenee.
DD	Aree con riporti di materiale, aree colmate

Tabella 23: Elementi rappresentati nella cartografia di sintesi (sono evidenziati i fattori effettivamente riportati nella sintesi realizzata).

Data l'articolazione del territorio in esame e al fine di evitare una eccessiva frammentazione dei poligoni, è stato deciso di discretizzare aree omogenee con superficie non inferiore a 50 m², in relazione alla tipologia dei fenomeni, alla loro collocazione ed alla leggibilità degli elaborati; oltre a ciò in taluni casi si è attribuito un peso maggiore ad alcune limitazioni (scegliendo la condizione più cautelativa).

5. FASE DI PROPOSTA

La fase di proposta è definita attraverso l'individuazione della **Fattibilità geologica delle azioni di piano** e delle conseguenti **Norme geologiche di piano (NGdP)** mediante modalità standardizzate di assegnazione della classe di fattibilità agli ambiti omogenei per pericolosità geologica e geotecnica, nonché per vulnerabilità idraulica ed idrogeologica individuati nella fase di sintesi.

5.1 FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO

La Fattibilità geologica delle azioni di piano, facente parte del Piano delle Regole, riporta una zonizzazione del territorio secondo aree omogenee per grado di pericolosità geologica, geomorfologica, geotecnica e vulnerabilità idraulica – idrogeologica.

La Fattibilità geologica delle azioni di piano è stata redatta sull'intero territorio comunale alla scala 1:5.000 (Tavole GEO_07a, GEO_07b, GEO_07c e GEO_07d). Come previsto dal punto 3.1 della DGR IX/2616/2011, la cartografia di fattibilità è stata inoltre prodotta per l'intero territorio comunale utilizzando la Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 al fine di consentire l'aggiornamento del mosaico della fattibilità contenuto nel SIT regionale (Tavola GEO_08).

La classificazione della fattibilità è prevista su quattro livelli (classi) di pericolosità / vulnerabilità:

Classe 1 (nessun colore) – Fattibilità senza particolari limitazioni (assente in ambito comunale): la classe comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le costruzioni di cui alla normativa nazionale.

Classe 2 (gialla) – Fattibilità con modeste limitazioni: la classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso del suolo a scopo edificatorio. Tali limitazioni possono essere superate mediante approfondimenti di indagine ed accorgimenti tecnico – costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa extracomparto. Per gli ambiti assegnati a questa classe sono indicati, nelle norme geologiche di piano, gli approfondimenti da effettuare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori;

Classe 3 (arancione) – Fattibilità con consistenti limitazioni: la classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso del suolo a scopo edificatorio conseguenti agli elementi di pericolosità/vulnerabilità individuati, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa anche extracomparto.

Classe 4 (rossa) – Fattibilità con gravi limitazioni: l'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso a scopo edificatorio del suolo. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, ivi comprese quelle interrato, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della LR 12/2005, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica ed igienico – sanitaria.

In base ai contenuti del presente studio, possono essere desunte indicazioni per l'attuazione delle opere di sistemazione idrogeologica e, per i nuclei abitati esistenti, quando non si sono individuate le condizioni per un obbligatorio trasferimento di intere porzioni di nucleo abitato, vi sono indicazioni da impiegarsi per la redazione / integrazione di piani di emergenza; inoltre, se il caso, sono fornite indicazioni per la predisposizione di sistemi di monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

Le indicazioni sulle classi di fattibilità sono state tradotte in specifica normativa al fine di raccordarle con le previsioni dell'art. 3 del DPR 380/2001 (e smi) e/o con l'art. 27 della LR 12/2005 (e smi) che disciplinano l'attività edilizia nelle sue diverse forme. Le Norme geologiche di piano (NGdP) riportate a compendio del presente documento, comprendono prescrizioni per gli interventi urbanistici, studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti richiesti, opere di mitigazione del rischio, necessità di controllo dei fenomeni in atto o potenziali, necessità di predisposizione di sistemi di monitoraggio e piani di emergenza.

Per la realizzazione della fattibilità, la normativa vigente prevede modalità standardizzate di assegnazione della classe ad ambiti omogenei per grado di pericolosità, al fine di garantire omogeneità e obiettività nelle valutazioni di merito tecnico; la fattibilità è desunta dalla sintesi degli elementi tecnici attribuendo un valore di classe a ciascun poligono (derivante dal livello di pericolosità del fenomeno). Al mosaico della fattibilità devono essere sovrapposte, con apposito retino «trasparente», le aree soggette ad amplificazione sismica locale desunte dall'analisi della

risposta sismica locale (si veda il capitolo 3.4).

L'attribuzione della classe di fattibilità avviene attraverso due fasi:

- ♦ prima fase: a ciascun poligono della carta di sintesi, in base al/i fattore/i di pericolosità /vulnerabilità presente/i viene attribuita una classe di fattibilità (valore di ingresso) seguendo le indicazioni della Tabella 24;
- ♦ seconda fase: il professionista può aumentare o diminuire il valore della classe in ingresso in base a valutazioni di merito tecnico per lo specifico ambito. La diminuzione della classe di fattibilità rispetto alla classe di ingresso viene documentata e motivata da ulteriori indagini sulla pericolosità del comparto con piena ed esplicita assunzione di responsabilità da parte del professionista, utilizzando la scheda di cui all'Allegato 6 alla DGR X/6738/2017 (ex. Allegato 15 della DGR IX/2616/2011).

Come specificato dal punto 5.1.2 della DGR, non possono essere variati i valori delle classi di ingresso 4 evidenziate in Tabella 24 con «asterisco» o le classi delimitate in seguito alla zonazione della pericolosità con le procedure di cui agli allegati 2 – Parte II, 3 e 4 della DGR IX/2616/2011.

Nel caso in cui in un'area omogenea per pericolosità/vulnerabilità vi sia la presenza contemporanea di più fenomeni, è attribuito il valore più alto di classe di fattibilità (pericolosità) desunto dalla Tabella 24.

Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti		Classe
AA	Aree soggette a crolli di massi (distacco e accumulo). Da definire in base all'estensione della falda di detrito e alla distanza raggiunta dai massi secondo dati storici (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli)	4
AB	Aree interessate da distacco e rotolamento di blocchi provenienti da depositi superficiali (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli)	4
AC	Aree di frana attiva (scivolamenti, colate ed espansioni laterali)	4
AD	Aree di frana quiescente (scivolamenti, colate ed espansioni laterali)	4
AE	Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti, soliflusso)	4
AF	Aree a pericolosità potenziale per grandi frane complesse (comprensive di aree di distacco e di accumulo)	4
AG	Aree in erosione accelerata (calanchi, ruscigliamento in depositi superficiali o rocce deboli)	4
AH	Aree interessate da trasporto in massa e flussi di detrito su conoide	4*
AI	Aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di	4

Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti		Classe
	pareti in roccia fratturata e stimata o calcolata area di influenza	
AJ	Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza	3
AK	Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche geotecniche dei terreni e relativo percorso	3
AL	Aree di percorsi potenziali di colate in detrito e terreno	4*
AM	Aree a pericolosità potenziale legata alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprensive delle aree di possibile accumulo (aree d'influenza)	3
AN	Aree interessate da valanghe già avvenute	4
AO	Aree a probabile localizzazione di valanghe potenziali	4
AP	Aree protette da interventi di difesa efficaci ed efficienti	3
AQ	Aree estrattive attive o dismesse non ancora recuperate, comprendendo una fascia di rispetto da valutare in base alle condizioni di stabilità dell'area	3

Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico		Classe
BA	Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile e/o del primo acquifero.	3
BB	Aree con emergenze idriche (fontanili, sorgenti, aree precedentemente escavate, aree con emergenze della falda)	4
BC	Aree a bassa soggiacenza della falda o con presenza di falde sospese	3
BD	Aree interessate da carsismo profondo con presenza di inghiottitoi e doline	4

Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico		Classe
CA	Aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabili (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20 – 50 anni), con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido	4
CB	Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la fun-	3

	zionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche	
CC	Aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici tenendo conto delle criticità derivanti da punti di debolezza delle strutture di contenimento quali tratti di sponde in erosione, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti, sezioni di deflusso insufficienti anche a causa della presenza di depositi di materiale vario in alveo o in sua prossimità ecc.: aree lungo corsi d'acqua che, per i citati fenomeni, non presentano elementi significativi di pericolosità.	4
CD	Aree già allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali desunte dalla ricerca storica – bibliografica	4
CE	Aree soggette ad esondazioni lacuali	3
CF	Aree protette da interventi di difesa dalle esondazioni efficaci ed efficienti, dei quali sia stato verificato il corretto dimensionamento secondo l'allegato 3 (con portate solido – liquide aventi tempo di ritorno almeno centennale)	3
CG	Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette da interventi di difesa: aree lungo corsi d'acqua i cui fenomeni citati presentano moderata pericolosità	4
CH	Aree potenzialmente interessate da flussi di detrito in corrispondenza dei conoidi pedemontani di raccordo collina – pianura	3

Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche		Classe
DA	Aree di possibile ristagno, torbose e paludose	3
DB	Aree prevalentemente limo – argillose con limitata capacità portante	3
DC	Aree con consistenti disomogeneità tessiture verticali e laterali: aree nelle quali sono presenti coperture, talora di spessore significativo, con caratteristiche geotecniche eterogenee.	3
DD	Aree con riporti di materiale, aree colmate	3

Tabella 24: Classi di ingresso per l'attribuzione della fattibilità agli ambiti con pericolosità omogenea.

Ogni classe di fattibilità, come auspicato dal punto 3.1 della DGR IX/2616/2011, è stata suddivisa in sottoclassi per ambiti di pericolosità/vulnerabilità omogenei.

La valutazione della possibilità di declassamento di ambiti inseriti in classe 4 per areali di dettaglio può essere attuata secondo quanto previsto dal punto 1.3 della DGR IX/2616/2011; nel caso di una revisione generale dello studio geologico ai sensi della DGR IX/2616/2011 può essere proposta una diversa zonazione complessiva.

Nel caso di ambiti inseriti in classe 4 ed assoggettati anche a specifiche normative (aree in dissesto art. 9 delle NdA del PAI, ZONA 1 e ZONA 2 del PS 267 ed

aree ricadenti all'interno delle Fasce Fluviali o Direttiva Alluvioni), la valutazione della possibilità di declassamento è subordinata anche ad ulteriori elementi evidenziati nel successivo capitolo 5.2.

Per le aree nelle quali siano stati effettuati studi di dettaglio per la valutazione della pericolosità con le metodologie di cui agli Allegati 2 – Parte II, 3 e 4 della DGR IX/2616/2011, le classi di fattibilità devono essere attribuite sulla base di quanto riportato in Tabella 24.

L'efficienza, la funzionalità e la congruità delle opere di difesa idrogeologica presenti contribuiscono alla definizione delle classi di fattibilità. La presenza di opere di difesa ritenute efficaci ed efficienti comporta, infatti, la riduzione del livello di rischio concernente un determinato fenomeno di dissesto. Al contrario, la presenza di opere palesemente non idonee o in cattivo stato di manutenzione può essere influente rispetto al livello di rischio considerato ed in taluni casi può addirittura rappresentare un'aggravante delle condizioni di rischio stesso.

Gli ambiti esterni ai poligoni individuati mediante le procedure precedentemente descritte corrispondono a quelle aree per le quali non sono state individuate limitazioni alla modifica dell'uso dei terreni dal punto di vista geologico (Classe 1); tali aree saranno comunque soggette all'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui alla normativa nazionale.

Non è richiesta l'individuazione nella carta di fattibilità dei perimetri delle aree di tutela assoluta e di rispetto delle captazioni ad uso idropotabile, delle concessioni di acque minerali naturali e termali, delle fasce di rispetto del reticolo idrico principale e minore, nonché dei cimiteri e dei depuratori, in quanto soggette a specifica normativa. L'attribuzione della classe di fattibilità di tali aree deve infatti derivare esclusivamente dalle caratteristiche geologico – idrogeologiche delle stesse.

Ambiti declassati	Classe in ingresso	Classe attribuita	Motivazione del declassamento
DC°	3	2	Si tratta di aree nelle quali è solo sporadica la presenza di consistenti disomogeneità tessiturali verticali e/o laterali e, pertanto, si ritiene necessario procedere a verifiche preventive di modesta entità e non risulta necessario provvedere ad interventi di messa in sicurezza extracomparto.

Tabella 25: Poligoni omogenei di pericolosità / vulnerabilità identificabili in Tavola 08 e per i quali si è operato un declassamento rispetto a quanto riportato in Tabella 24.

In relazione a quanto riportato in Tabella 24 ed alle necessarie valutazioni del grado di pericolosità/vulnerabilità per l'attribuzione delle classi di fattibilità, si sono operate le seguenti declassamenti rispetto alle classi in ingresso ricavate dai poligoni individuati sulla cartografia di sintesi (Tavola GEO_06), il tutto con esclusione di quelle aree ove le previsioni del PAI hanno carattere prevalente rispetto alle norme regionali (per queste ultime aree si è applicato esclusivamente quanto

previsto in Tabella 27 e Tabella 26).

5.2 CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA PAI

La DGR IX/2616/2011, riprendendo le precedenti DGR regionali che ha sostituito, prevede l'obbligo della redazione del quadro del dissesto con legenda uniformata PAI (Titolo I delle NdA del PAI) ed utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000; al fine di rendere facilmente leggibile il quadro dei vincoli derivanti dal PAI, nell'elaborato GEO_08 si sono riportati anche i vincoli di cui al Titolo V delle NdA del PAI.

In Tabella 26 è riportata la correlazione tra classi di pericolosità, classi di fattibilità geologica e voci della legenda PAI da utilizzare in sede di redazione del quadro del dissesto con legenda uniformata PAI.

Classe	Legenda PAI	Pericolosità/rischio
1 o 2	Cn – Area di conoide attivo non recentemente attivatosi o completamente protetta	H1 su conoide
2 o 3	Cn – Area di conoide attivo non recentemente attivatosi o completamente protetta	H2 su conoide
3	Cp – Area di conoide attivo parzialmente protetta ⁽¹⁾ Cn – Area di conoide attivo non recentemente attivatosi o completamente protetta	H3 su conoide
4	Ca – conoide attiva non protetta	H4 – H5 su conoide
2 o 3	Fs – frana stabilizzata	H1 per crolli, crolli in massa e scivolamenti
4 o 3	Fq – frana quiescente ⁽²⁾	H2 per crolli e crolli in massa, H2 – H3 per scivolamenti
4	Fa – frana attiva	H3 – H5 per crolli e crolli in massa, H4 – H5 per scivolamenti
2 o 3	Em – pericolosità media o moderata di esondazione	H1 – H2 per esondazione
3 (con norma più restrittiva art. 9 c. 6 NdA del PAI)	Eb – pericolosità elevata di esondazione	H3 per esondazione
4	Ee – pericolosità molto elevata	H4 per esondazione

Classe	Legenda PAI	Pericolosità/rischio
4	Ve, Vm – pericolosità molto elevata o media per valanga	Zona rossa
3	Nessuna corrispondenza con legenda PAI ma norme di cui all'Allegato 3 della DGR IX/2616/2011	Zona blu
2	Nessuna corrispondenza con legenda PAI ma norme di cui all'Allegato 3 della DGR IX/2616/2011	Zona gialla, Zona bianca

Tabella 26: Correlazione tra classi di pericolosità, classi di fattibilità e voci legenda PAI.

⁽¹⁾ Per le zone ricadenti in H3 – classe 3 di fattibilità, l'inserimento in Cp o Cn è lasciato alla valutazione del professionista. Qualora l'area venga inserita in Cp, la norma dell'art. 9, comma 8, delle NdA del PAI prevale, in quanto più restrittiva, su quella di classe 3.

⁽²⁾ Come previsto dall'art. 9 comma 3 delle NdA del PAI alle aree Fq può essere attribuita la classe 3 di fattibilità con norma stabilita dal professionista solo nel caso sia stata effettuata la verifica di compatibilità mediante uno studio specifico sull'area e gli interventi edificatori di cui all'art. 9, comma 3, stesso siano consentiti dallo strumento urbanistico.

Oltre che dagli aspetti meramente tecnici di cui alla sezione 4.2, in alcuni casi la fattibilità è governata anche dalla pianificazione sovraordinata a carattere prettamente geologico; per tali ambiti il grado di fattibilità è scelto in base a quanto riportato in Tabella 27.

Tipologia di fascia	Classe	Riferimenti PAI
Fascia A all'esterno dei centri edificati	4	Artt. 29, 38, 38 bis, 38 ter, 39 e 41 NdA del PAI.
Fascia B all'esterno dei centri edificati	3	Consentiti solo gli interventi previsti dagli artt. 30, 38, 38bis, 38ter, 39 e 41 delle NdA del PAI.
Fasce A e B all'interno dei centri edificati	Da attribuire in base agli studi idraulici realizzati con il metodo approfondito di cui all'Allegato 4 della DGR IX/2616/2011.	Fino ad avvenuta valutazione delle condizioni di rischio si applicano anche all'interno dei centri edificati le norme riguardanti le fasce A e B.
Territori di fascia C delimitati con segno grafico indicato come "limite e progetto tra la fascia B e la Fascia C"	Da attribuire in base agli studi idraulici realizzati con il metodo approfondito di cui all'Allegato 4 della DGR IX/2616/2011.	Fino ad avvenuta valutazione delle condizioni di rischio si applicano le norme riguardanti la fascia B fino al limite

		esterno della fascia C.
Fascia C	Da attribuire in base alle problematiche riscontrate.	Da definire nell'ambito dello studio, fermo restando quanto stabilito dall'art. 31 delle NdA del PAI.

Tabella 27: Classe di fattibilità per le aree ricadenti all'interno delle fasce fluviali.

Sul territorio comunale sono state identificate le tipologie di dissesto riportate in Tabella 28 e delimitati in Tavola GEO_08).

Titolo I delle NdA del PAI (quadro dissesto con legenda unificata PAI)	
Frane	
Fa	Area di frana attiva
Fq	Area di frana quiescente
Fs	Area di frana stabilizzata
Esondazioni e dissesti morfologici a carattere torrentizio	
Ee	Area a pericolosità molto elevata
Eb	Area a pericolosità elevata
Trasporto in massa su conoidi	
Ca	Area di conoide attivo non protetta
Cp	Area di conoide attivo parzialmente protetta
Cn	Area di conoide attivo non recentemente attivatosi o completamente protetta
Valanghe	
Ve	Area a pericolosità molto elevata o elevat
Vm	Area a pericolosità media o moderata
Titolo V delle NdA del PAI (Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione – PGRA – Reticolo secondario collinare e montano – RSCM)	
P3/H	Aree interessate da alluvioni frequenti
P2/M	Aree interessate da alluvioni poco frequenti
P1/L	Aree interessate da alluvioni rare

Tabella 28: Dissesti con legenda PAI identificati in ambito comunale.

Relativamente alle proposte di modifica in aree oggetto di precedenti studi di dettaglio, si rimanda alla trattazione del paragrafo 5.2.1.1, mentre per quanto riguarda le aree non oggetto di precedenti studi di dettaglio si rimanda a quanto riportato al paragrafo 5.2.1.2.

5.2.1 Analisi del vigente quadro del dissesto con legenda uniformata PAI e modifiche apportate

Nel corso delle indagini condotte per la definizione delle caratteristiche geologico – geomorfologiche del territorio comunale sono emerse notevoli discrepanze tra il quadro del dissesto reale rispetto a quanto riportato nella vigente “Carta dei dissesti con legenda PAI”. Le incongruenze riguardano tutte le tipologie di dissesto, ma in particolare sono risultate particolarmente marcate per quanto riguarda la perimetrazione dei fenomeni d’erosione e dissesti morfologici a carattere torrentizio e quelli di trasporto in massa sui conoidi.

A supporto della nuova perimetrazione sono stati recepiti anche due studi di dettaglio che hanno ottenuto il parere di conformità da regione Lombardia.

Nel seguito si riporta l’analisi effettuata per l’intero contenuto della “Carta dei dissesti con legenda PAI” vigente e la spiegazione delle modifiche proposte.

5.2.1.1 Aree oggetto di studi di dettaglio per la ripermetrazione

Per conto di privati, nel territorio comunale sono stati eseguiti due studi di dettaglio per definire / proporre una ripermetrazione della pericolosità rispetto a quanto riportato nella “Carta dei dissesti con legenda PAI” del 2016. Entrambi gli studi sono stati redatti da ECOSPHERA SRL (Dott. M. Carraro e Ing. F. Bellini).

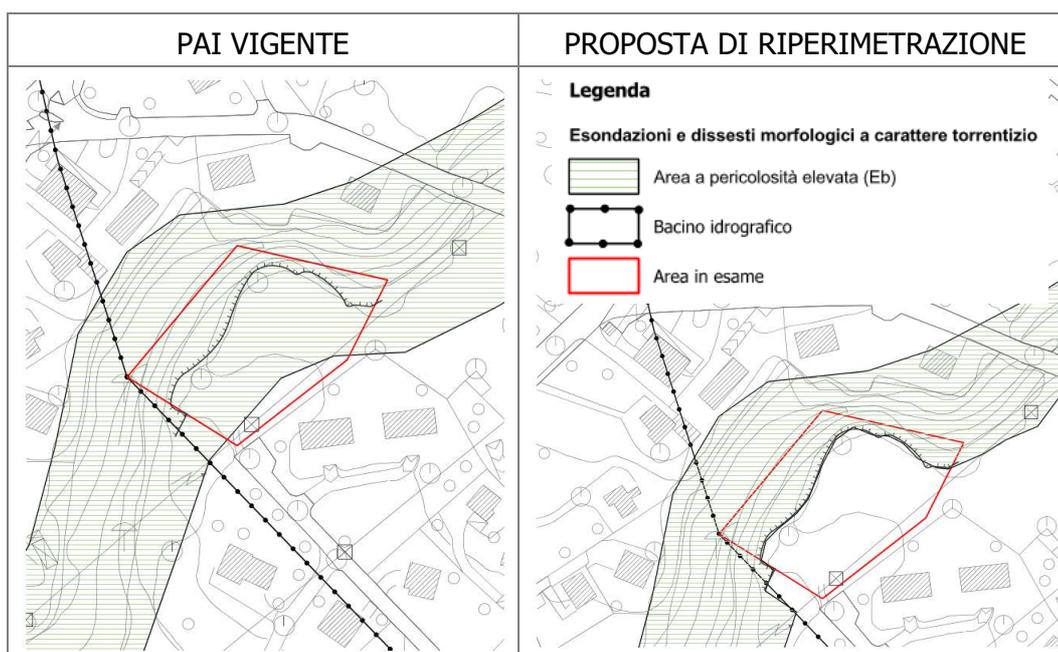


Figura 18: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la sponda sinistra del T. Campello.

Il primo studio, redatto nel luglio 2017 per conto di Edilbani Sas, riguarda un’area Eb (*Aree a pericolosità elevata di erosione*) lungo il Torrente Campello in via Stella Alpina (Figura 18). Per tale ripermetrazione Regione Lombardia ha ritenuto lo studio conforme ai contenuti della verifica di compatibilità di cui all’art.18 delle NdA del PAI (Proposta di ripermetrazione area in dissesto PAI via Stella Alpina. Rif. Nota prot. 11272 del 28 novembre 2017) con la prescrizione di meglio evidenziare il raccordo tra quanto modificato e quanto rimane invariato, soprattutto

nella zona a monte dell'area esaminata.

Le verifiche idrauliche riportate nello studio, condotte su due sezioni trasversali all'alveo, hanno evidenziato che le stesse sono ampiamente in grado di smaltire una portata di 73 m³/s (portata di progetto per Tr= 100 anni) con un franco medio di 7 m. Ciò deriva dal fatto che la base cartografica CTR (basemap per la realizzazione della cartografia di Piano PAI alla scala di bacino) non evidenzia il reale assetto morfologico dell'area, che vede il corso d'acqua scorrere incassato di 9 – 10 m rispetto ai pianori circostanti, come invece ben riportato nell'aerofotogrammetrico comunale. Tale situazione morfologica, che si mantiene per l'intero tratto a valle del corso d'acqua, ed anche per un lungo tratto a monte, è stata utilizzata dallo scrivente per proporre una completa modifica delle fasce d'esondazione lungo il torrente.

Il secondo studio, redatto nel settembre 2017 per conto di Valseriana Sas e della Fraterna Tomasoni, riguarda un'area Cp (*Aree di conoide attivo parzialmente protetta*) allo sbocco del Torrente Cuncia sul ripiano di Bratto – Dorga (Figura 18). Per tale ripерimetrazione Regione Lombardia ha ritenuto lo studio conforme ai contenuti della verifica di compatibilità di cui all'art. 18 delle NdA del PAI (Proposta ripерimetrazione area in dissesto PAI: area di conoide attiva parzialmente protetta del torrente Cuncia – Via Coste, Castione della Presolana – Rif. nota 8933 del 16 ottobre 2018. Seguìto nota prot. Z1.2018.03189 del 8 marzo 2018).

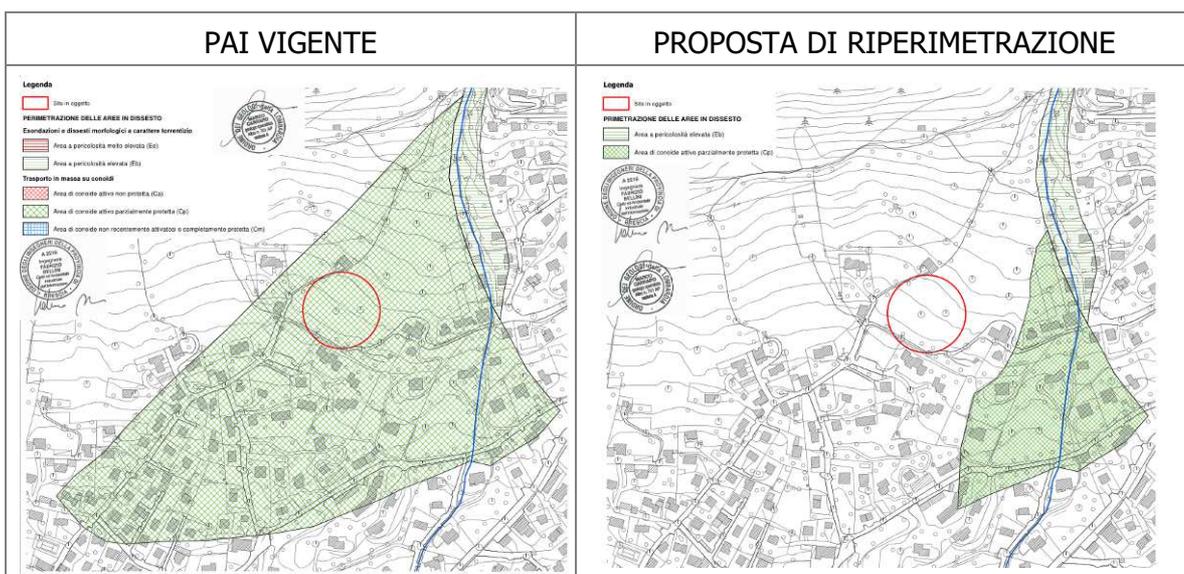


Figura 19: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per il conoide del T. Cuncia.

5.2.1.2 *Modifiche apportate in aree non oggetto di precedenti studi di dettaglio*

Le modifiche principali apportate alla "Carta del dissesto con legenda PAI" 2016 relative alle aree non oggetto di precedenti studi di dettaglio sono di seguito descritte.

5.2.1.2.1 *Frane inserite nello studio 2016*

♦ Frane di Malga Olone: poco a nord di Malga Olone (Rifugio Lino Olmo) sono

cartografate due "Aree di frana attiva" (Fa) (Figura 20), mentre i sopralluoghi in sito hanno evidenziato unicamente la presenza di modesti fenomeni erosivi superficiali che interessano in maniera diffusa il substrato roccioso costituito da evaporiti della Fm. di San Giovanni Bianco, anche al di fuori dell'area inserita nel PAI.

Vista la tipologia del dissesto, che comporta unicamente una discreta produzione di detrito lapideo di piccola pezzatura, che viene preso in carico dalle acque di ruscellamento superficiale e trasportato negli alvei sottostanti, si propone di non inserire tali aree nei dissesti PAI. Invece si propone di estendere le aree Ee costituite dagli alvei sovralluvionati e modificarne l'andamento in funzione dell'effettivo assetto morfologico, ben evidenziato dall'aerofotogrammetrico comunale.

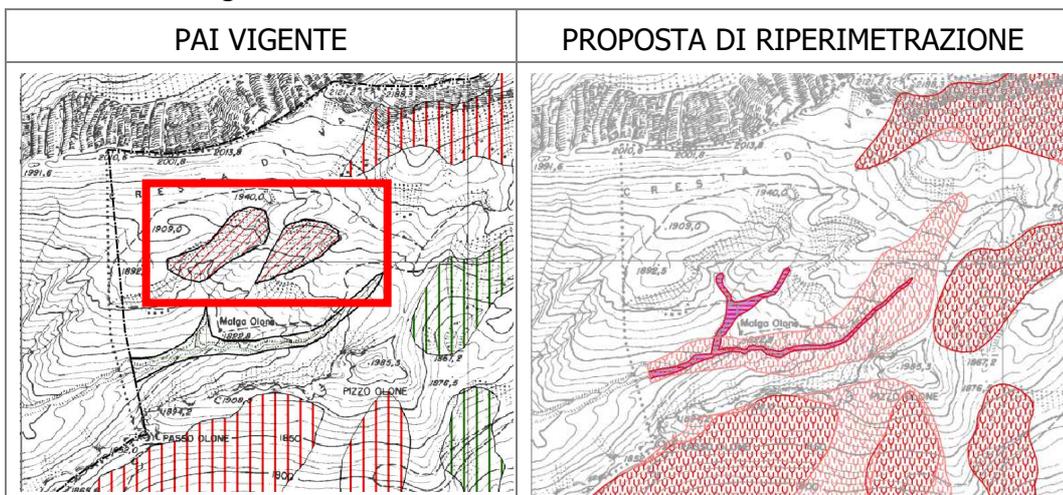


Figura 20: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per le frane della zona di Malga Olone.



Figura 21: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per le frane della zona della Valle del Papa.

- ◆ **Frane della Valle del Papa:** lungo il versante destro della Valle del Papa sono cartografate un'"Area di frana quiescente" (Fq) e 5 "Area di frana stabilizzata" (Fs) (Figura 21). Per quanto riguarda la frana quiescente, i sopralluoghi in sito non ne hanno evidenziato la presenza: l'area perimetrata corrisponde ad

un dosso caratterizzato da roccia da affiorante a subaffiorante (Fm. di Castro Sebino), a tratti ricoperto da plaghe di conglomerato ben cementato. Le 5 aree di frana stabilizzata corrispondono, invece, a piccole falde detritiche (ghiaioni) non vegetati ma in buone condizioni di stabilità.

- ♦ **Frana del versante sud del Pizzo Unel:** lungo il versante di tale rilievo è riportata la presenza di un'"Area di frana attiva" (Fa) di modeste dimensioni (Figura 22) che, invece, corrisponde ad una plaga di detrito di falda, di spessore molto limitato, non vegetata e senza significative evidenze di instabilità.

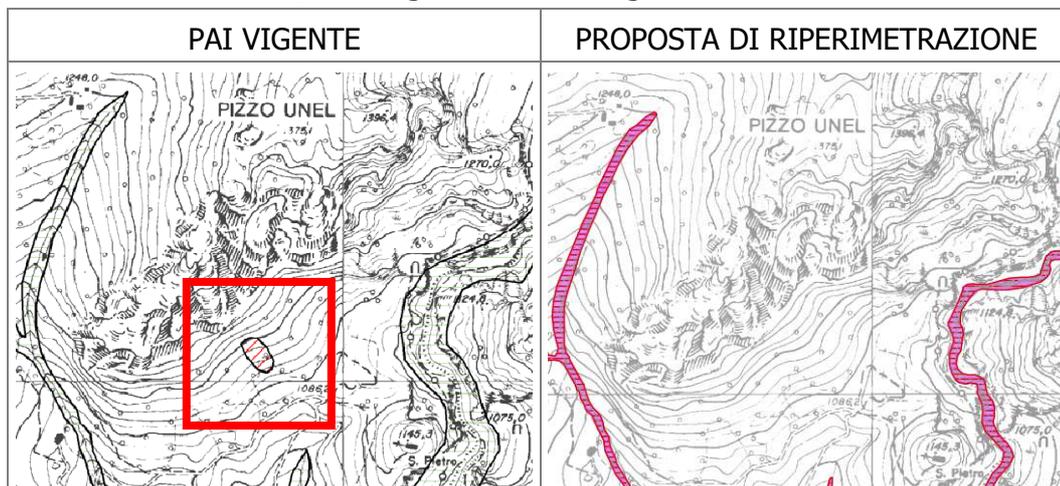


Figura 22: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la frana del versante sud del Pizzo Unel.

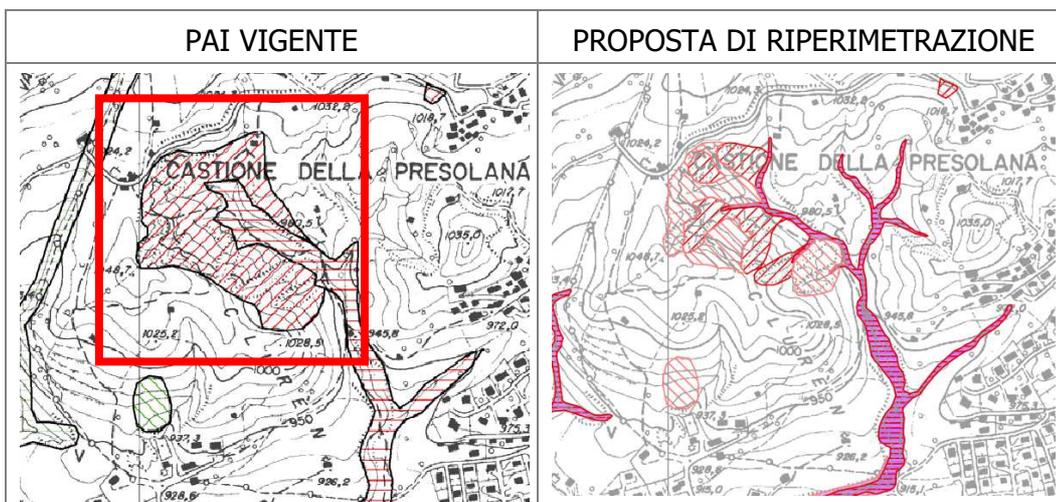


Figura 23: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la frana del vallone ad ovest di Bratto.

- ♦ **Frana del vallone ad ovest di Bratto:** per l'"Area di frana attiva" (Fa) di tale zona sono state apportate modifiche sia areali (più dettagliate in quanto eseguite su aerofotogrammetrico comunale e con l'ausilio delle ortofoto più recenti) che come stato di attività (si veda Figura 23). La classificazione Fa è stata mantenuta per cinque distinte aree interessate da erosione accelerata ancora attiva, mentre alla restante parte, attualmente ben vegetata, si propone l'attribuzione di "Area di frana quiescente" (Fq). Alcune zone senza significative evidenze di instabilità non sono state inserite nella ripermimetrazione.

- Frana del tratto iniziale della Valle dei Mulini:** come per la precedente anche per l'“Area di frana attiva” (Fa) di tale zona sono state apportate modifiche sia areali, più dettagliate, che come stato di attività (Figura 24). La classificazione Fa è stata mantenuta per quattro distinte aree interessate da erosione accelerata ancora attiva. Si propone l'attribuzione di “Area di frana quiescente” (Fq) a due ampie aree più estese della perimetrazione vigente, mentre alcune zone senza alcuna evidenza d'instabilità non sono state inserite nel dissesto.

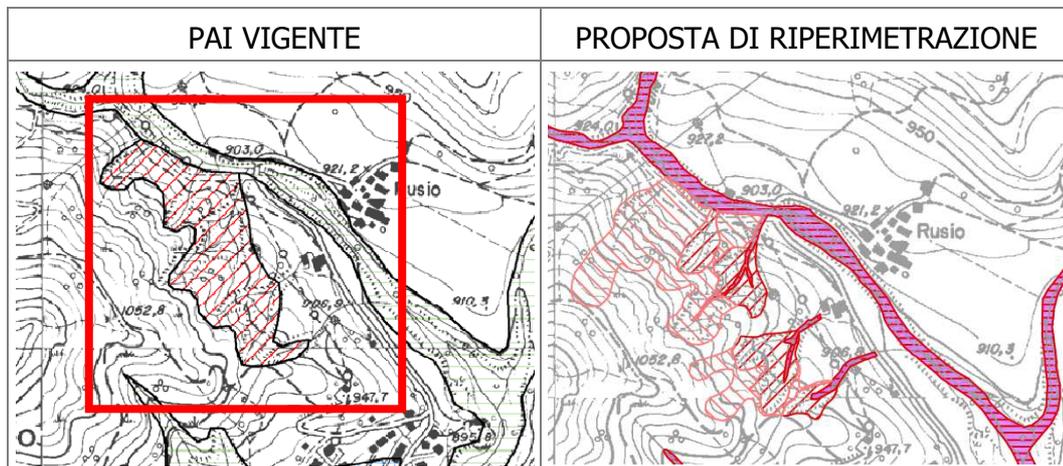


Figura 24: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la frana del tratto iniziale della Valle dei Mulini.

- Frane della Valle del Bigliardo:** anche in questo caso alle “Area di frana attiva” (Fa) di tale valle sono state apportate modifiche sia areali, più dettagliate, che come stato di attività (Figura 25). La classificazione Fa è stata mantenuta per tre distinte aree interessate da erosione accelerata ancora attiva. Per la restante parte, attualmente ben vegetata, si propone l'attribuzione di “Area di frana quiescente” (Fq), mentre alcuni limitati settori, senza alcuna evidenza d'instabilità non sono stati inseriti nella ripermimetrazione.

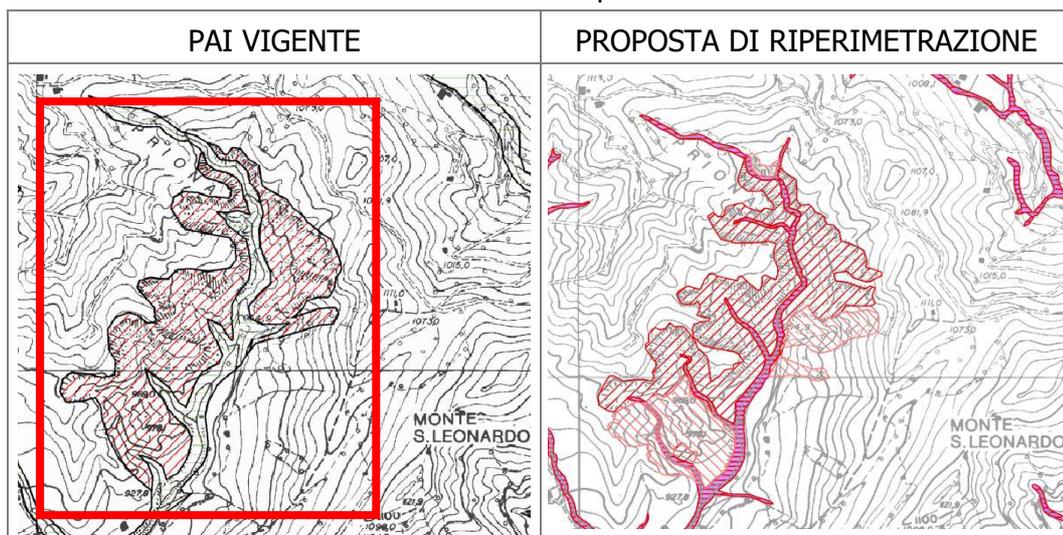


Figura 25: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la frana della Valle del Bigliardo.

- Frana della Valle di Romentarek:** anche in questo caso all'“Area di frana atti-

va" (Fa) del versante destro di tale valle sono state apportate modifiche sia areali, più dettagliate, che come stato di attività (Figura 26). La classificazione Fa è stata mantenuta per la quasi totalità dell'area, con piccoli ampliamenti a monte e sul versante opposto. La restante parte si propone di inserirla in un'ampia "Area di frana quiescente" (Fq), che si estende anche più a sud dell'attuale perimetrazione.

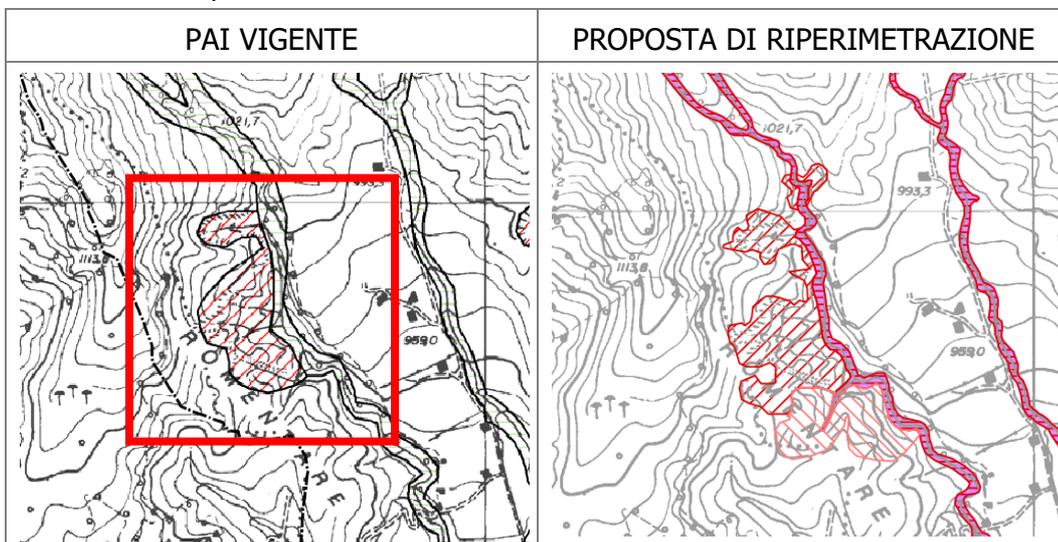


Figura 26: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la frana della Valle di Romentarek.

- ◆ *Frane del versante sinistro della Valle del T. Gera*: alle tre "Area di frana attiva" (Fa) di tale zona sono state apportate modifiche sia areali, più dettagliate, che come stato di attività (Figura 27). La classificazione Fa è stata mantenuta per quattro distinte aree, due delle quali non ricadenti nella perimetrazione vigente. Si propone l'inserimento delle restanti parti in nuove "Area di frana quiescente" (Fq), più ampie dell'attuale perimetrazione, e l'aggiunta di altre tre aree Fq.

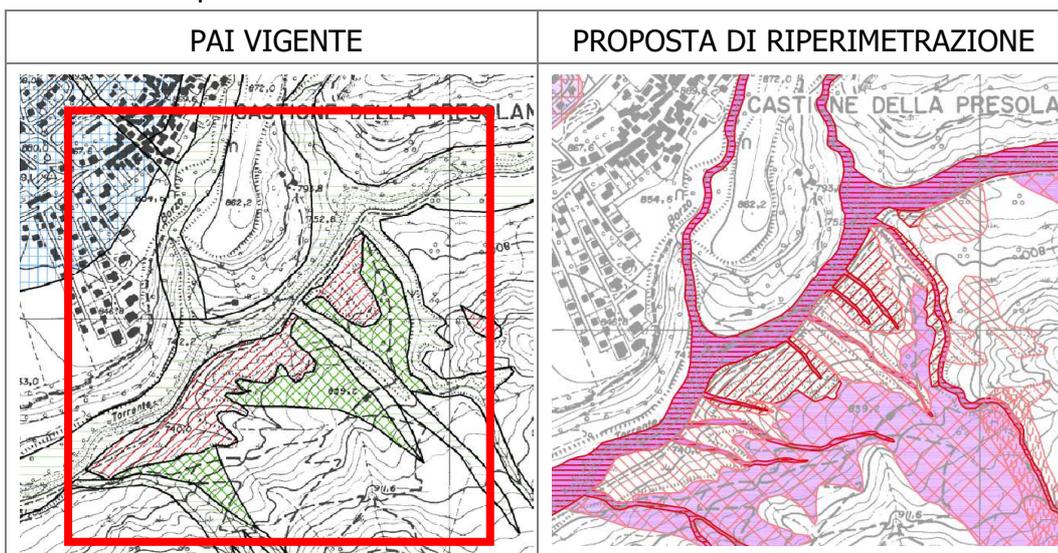


Figura 27: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per le frane del versante sinistro del T. Gera.

- ◆ *Frane del versante sinistro nel tratto iniziale della Val di Tede*: in tale zona

sono cartografate due "Area di frana attiva" (Fa) ed un'"Area di frana stabilizzata" (Fs) (Figura 28). Per l'area Fa posta più ad Ovest si propone l'attribuzione di Fq in quanto ben vegetata e priva di evidenze di dissesto. All'altra più ampia area Fa sono state apportate modifiche sia areali, più dettagliate, che come stato di attività. La classificazione Fa è stata mantenuta per quattro distinte aree, una delle quali non ricadenti nella perimetrazione vigente. Si propone l'inserimento delle restanti parti in nuove "Area di frana quiescente" (Fq), più ampie dell'attuale perimetrazione, e l'aggiunta di altre due aree Fq. Per quanto riguarda l'area Fs posta più ad Est, dato che si tratta di un paleoaccumulo da trasporto in massa, se ne propone il parziale inserimento in un'area di conoide Cp.

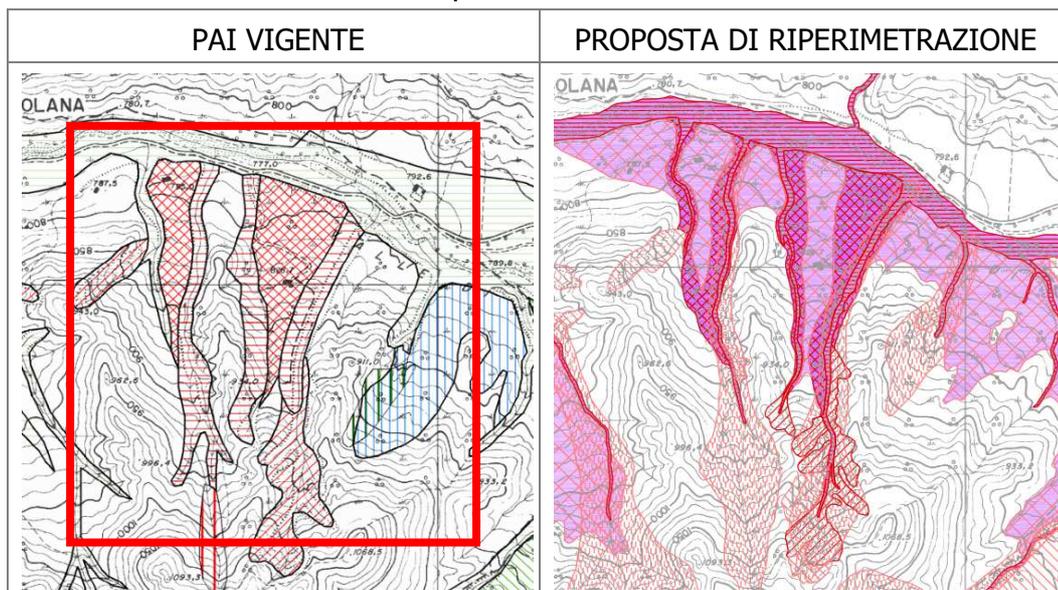


Figura 28: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per le frane del versante sinistro del tratto iniziale della Val di Tede.

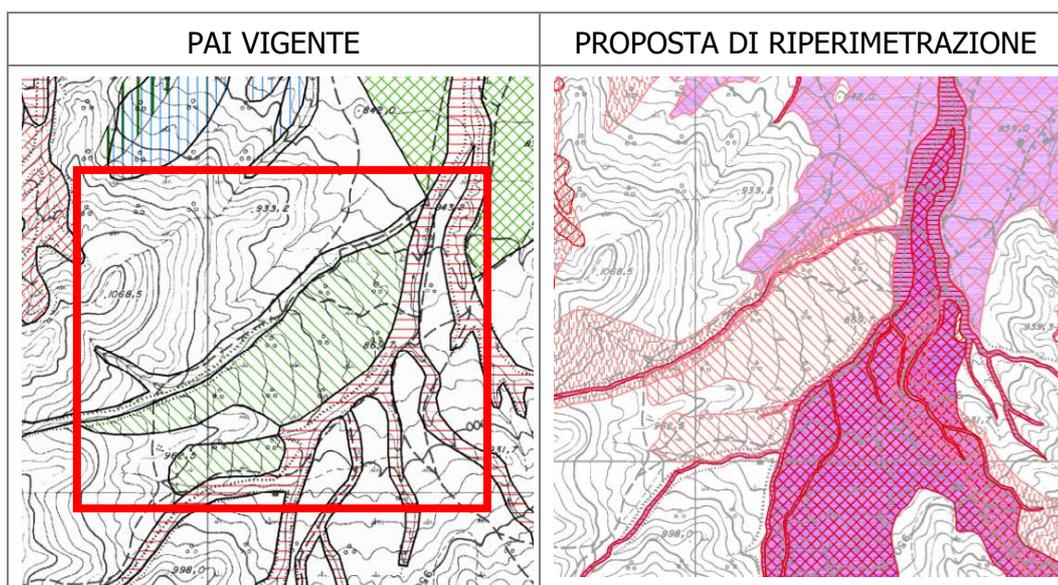


Figura 29: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per le frane del vallone settentrionale della dorsale M. Varro – Cima di Campo.

♦ Frane del vallone settentrionale della dorsale M. Varro – Cima di Campo: in

tale zona sono cartografate due "Area di frana quiescente" (Fq) (Figura 29). Se ne ripropone una ripерimetrazione più di dettaglio.

- Frane dei versanti occidentali e meridionali del M. Lantana:* lungo tali versanti sono cartografate un'"Area di frana attiva" (Fa), un'"Area di frana quiescente" (Fq) e 4 "Area di frana stabilizzata" (Fs) (Figura 30). Se ne propone una ripерimetrazione più di dettaglio, molto limitata per le aree Fa ed Fs, con un sensibile ampliamento per quella Fq.

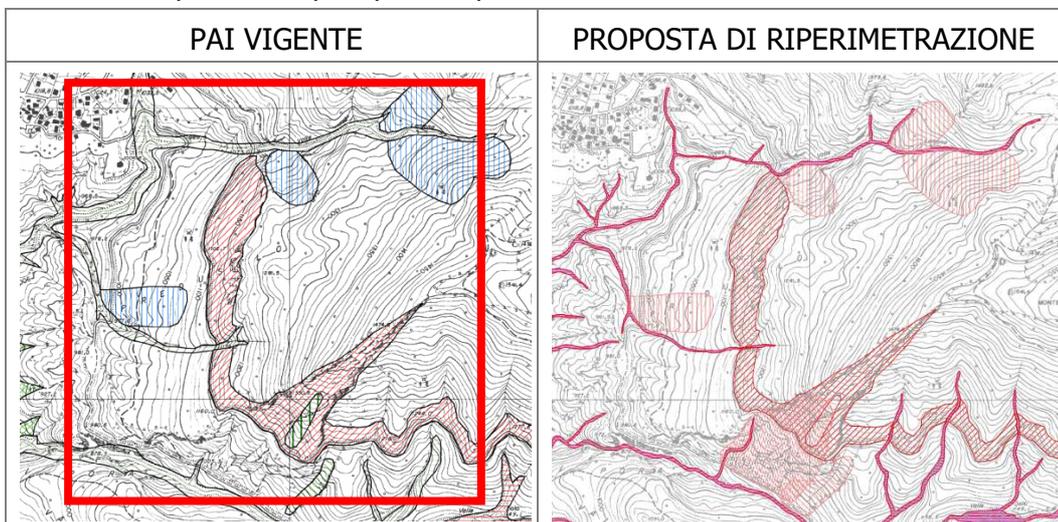


Figura 30: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per le frane dei versanti occidentali e meridionali del M. Lantana.

- Frane del versante settentrionale del M. Pora:* lungo tale versante sono cartografate un'"Area di frana attiva" (Fa), un'"Area di frana quiescente" (Fq) e due "Area di frana stabilizzata" (Fs) (Figura 31). Se ne propone una ripерimetrazione più di dettaglio, peraltro molto limitata.

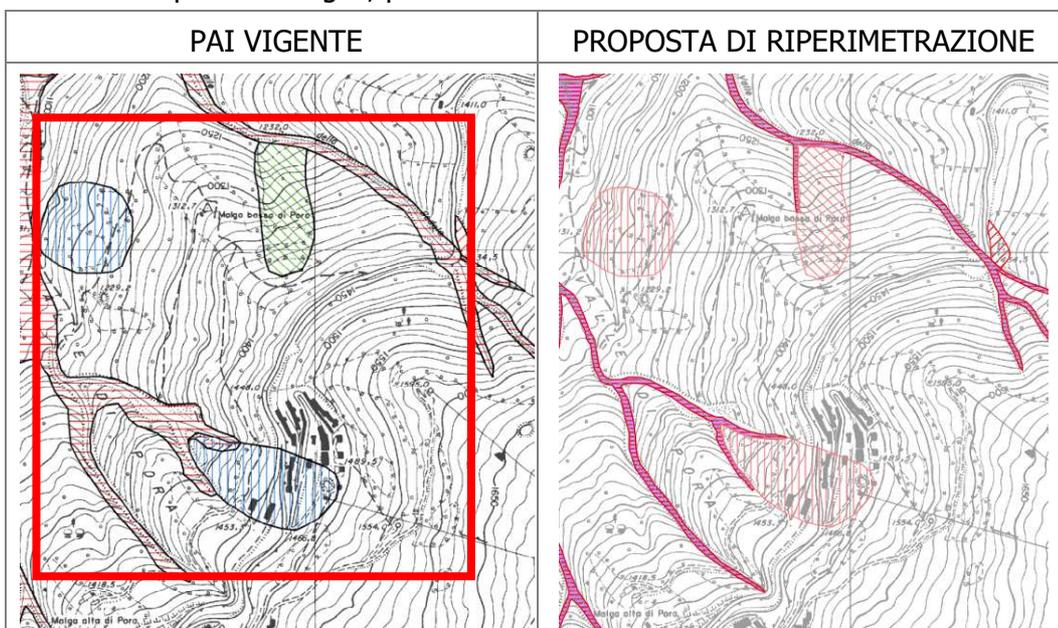


Figura 31: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per le frane del versante settentrionale del M. Pora.

5.2.1.2.2 *Frane non inserite nello studio 2016*

L'analisi del territorio comunale ha portato all'individuazione di nuovi dissesti che si propone di inserire nelle aree di frana del PAI. Alcune sono state già indicate nel capitolo precedente poiché si collocano in prossimità di altre aree già perimetrate dal PAI vigente.

- ♦ **Zona tra il Colle della Presolana ed il Pizzo Cremisano:** in tale zona è cartografata unicamente un'"Area di frana stabilizzata" (Fs) ed ampie aree inserite nei dissesti morfologici di carattere torrentizio (Ee) (Figura 32). Parte di queste ultime sono costituite da vere e proprie frane che interessano l'intera testata ed i versanti di un ampio vallone, e che coinvolgono sia il substrato roccioso, sia i depositi di copertura. Se ne propone perciò la riattribuzione, con l'inserimento in cinque nuove "Area di frana attiva" (Fa).

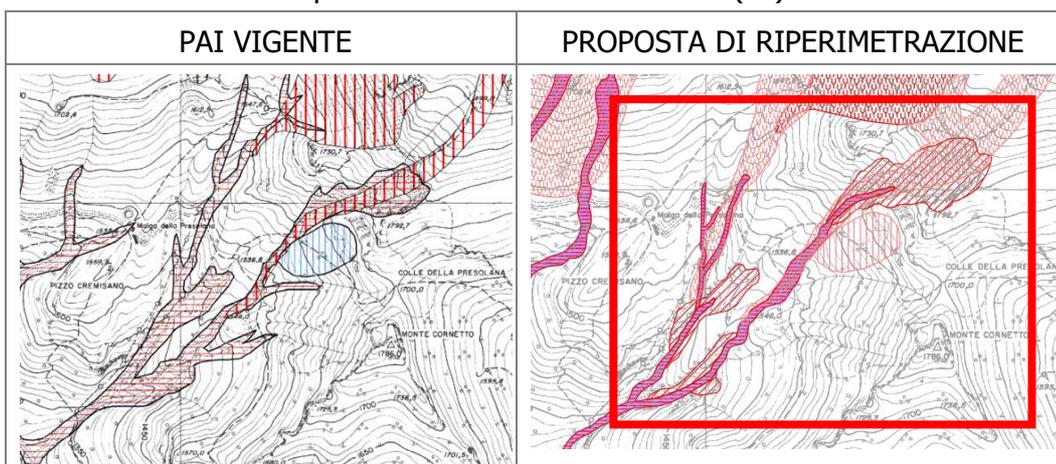


Figura 32: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per le frane tra il Colle della Presolana ed il Pizzo Cremisano.

- ♦ **Vallone ad Est di Monte S. Leonardo:** in tale zona è cartografata unicamente un'ampia fascia inserita nei dissesti morfologici di carattere torrentizio (Eb) (Figura 33). In realtà entrambi i versanti del vallone per un tratto sono stati interessati da fenomeni d'erosione accelerata (attualmente senza evidenze di attività), che hanno coinvolto il substrato roccioso (Membro inferiore della Dolomia Principale). Se ne propone pertanto la riattribuzione, con l'inserimento in due nuove "Area di frana quiescente" (Fq).

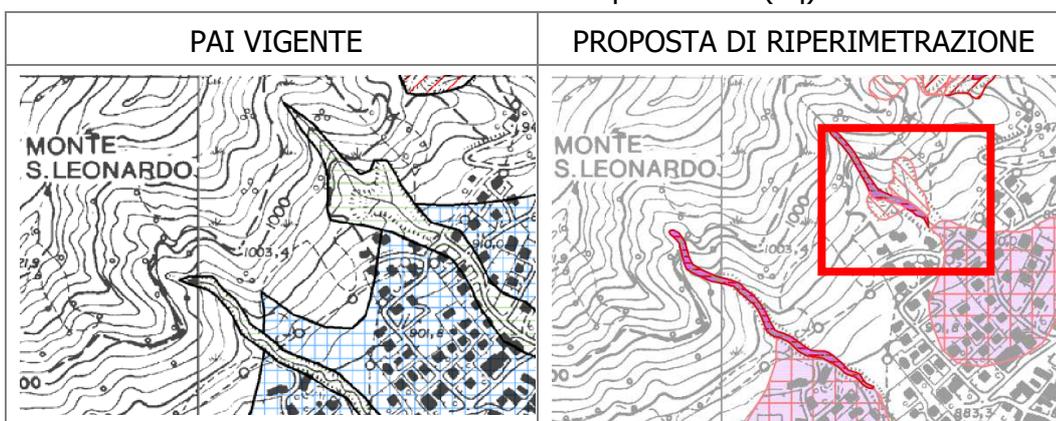


Figura 33: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per un vallone ad Est di Monte S. Leonardo.

- ♦ **Valle tributaria sinistra del T. Gera:** in tale zona non sono riportate aree PAI

(Figura 34) ma è stata individuata una zona interessata da fenomeni d'erosione accelerata (attualmente senza evidenze di attività), che hanno coinvolto il substrato roccioso (facies stratificate della Dolomia Principale). Se ne propone pertanto la riattribuzione, con l'inserimento in una nuova "Area di frana quiescente" (Fq).

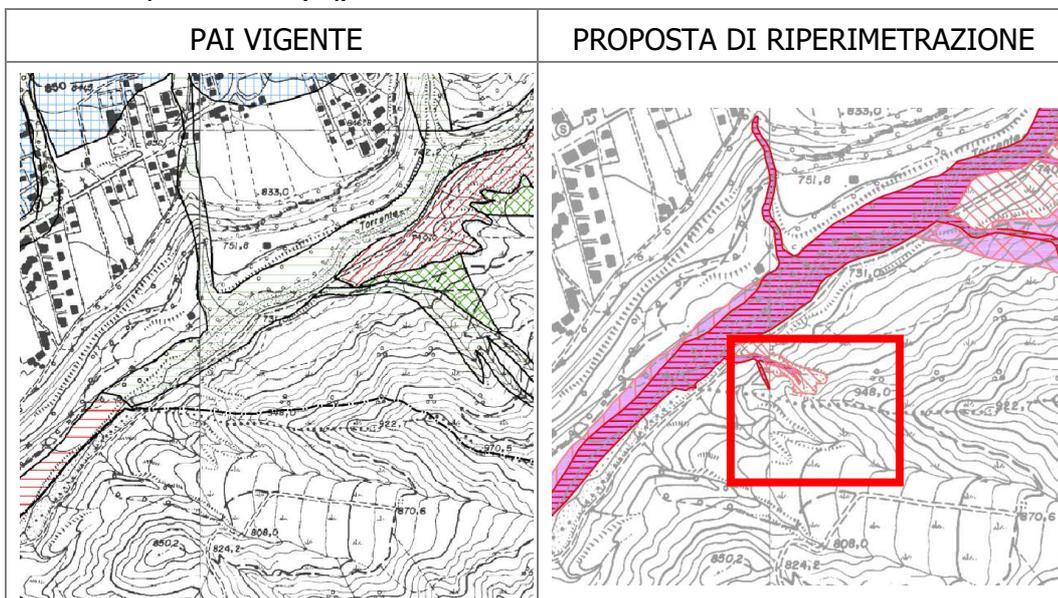


Figura 34: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per una valle tributaria sinistra del T. Gera.

- ♦ Valloni del versante settentrionale della Cima di Campo: in tale zona sono cartografate unicamente ampie fasce inserite nei dissesti morfologici di carattere torrentizio (Ee) (Figura 35), mentre tratti delle sponde e dei versanti che delimitano i valloni sono caratterizzati da fenomeni erosivi sia per scalzamento al piede, sia per erosione accelerata che interessa anche il substrato roccioso (facies stratificate della Dolomia Principale). Se ne propone pertanto la riattribuzione, con l'inserimento in tre nuove "Area di frana attiva" (Fa) e in tre nuove "Area di frana quiescente" (Fq).

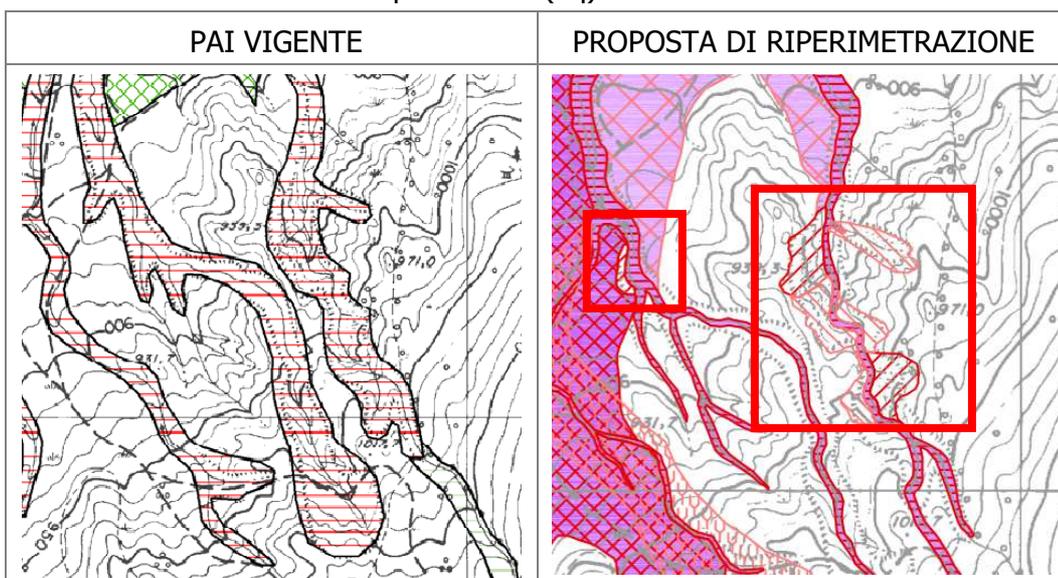


Figura 35: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per i valloni del versante settentrionale della Cima di Campo.

- ▶ Sponda sinistra della Valle di Tede: in tale zona è cartografata unicamente un'ampia fascia inserita nei dissesti morfologici di carattere torrentizio (Eb) (Figura 36), mentre un tratto della scarpata che delimita il fondovalle (circa 10 m di altezza) in passato è stata interessata da fenomeni erosivi per scalzamento al piede, ed è stata oggetto di locali interventi di sistemazione. Se ne propone pertanto l'inserimento in una nuova "Area di frana quiescente" (Fq).

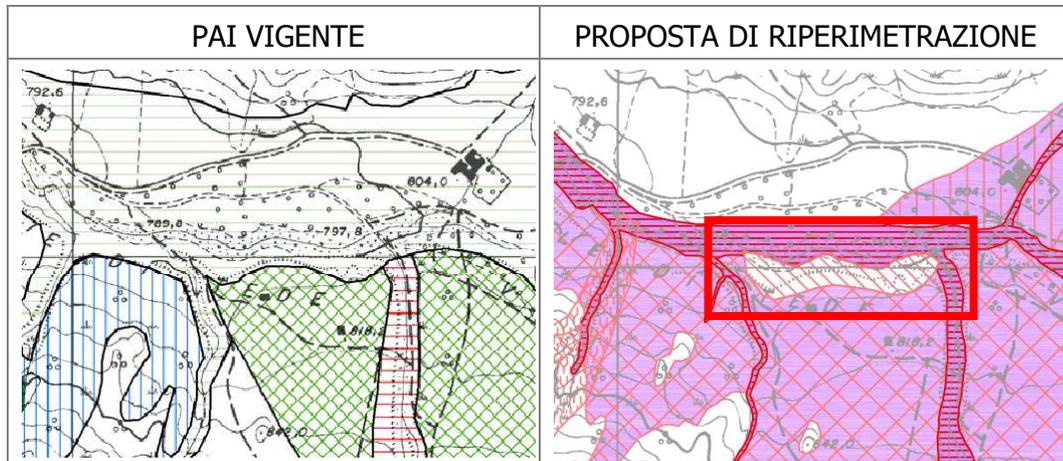


Figura 36: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per un tratto della sponda sinistra della Val di Tede.

5.2.1.2.3 Trasporto in massa su conoidi

Per quanto riguarda tale tipologia di dissesto si propongono le seguenti modifiche.

- ▶ Zona a nord di Malga Cassinelli: in tale zona sono cartografate unicamente aree valanghive e fasce inserite nei dissesti morfologici di carattere torrentizio (Ee) (Figura 37), mentre sono state individuate due aree di conoide interessate da colate detritiche recenti. Se ne propone pertanto l'inserimento in "Area di conoide attivo non protetta" (Ca).

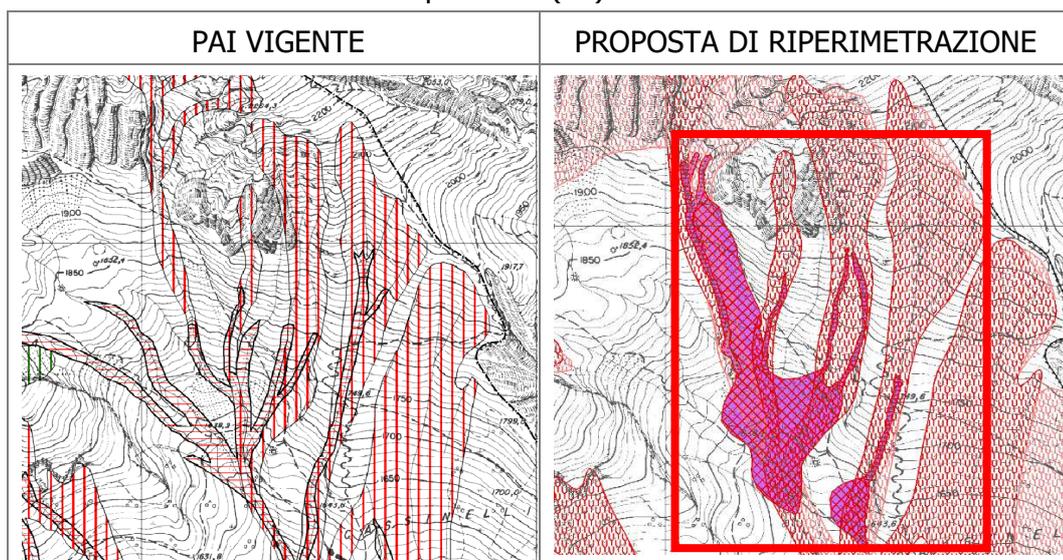


Figura 37: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la zona a nord di Malga Cassinelli.

- Zona di Castione alle pendici del Monte San Leonardo:** in tale zona sono cartografate ampie "Aree di conoide non recentemente riattivatosi o completamente protetta" (Cn) (Figura 38). Solo in parte corrispondono a veri e propri paleoconoidei, ormai da considerare "forme relitte", in quanto costituiti da litosomi conglomeratici smembrati dal modellamento successivo e profondamente reinciisi dai corsi d'acqua attuali (si veda la cartografia d'inquadramento geologico e geomorfologico). Se ne propone la ripermimetrazione mantenendo unicamente due aree Cn laddove le stesse hanno ancora una morfologia relativamente riconoscibile, ed all'apice presentano un corso d'acqua poco inciso.

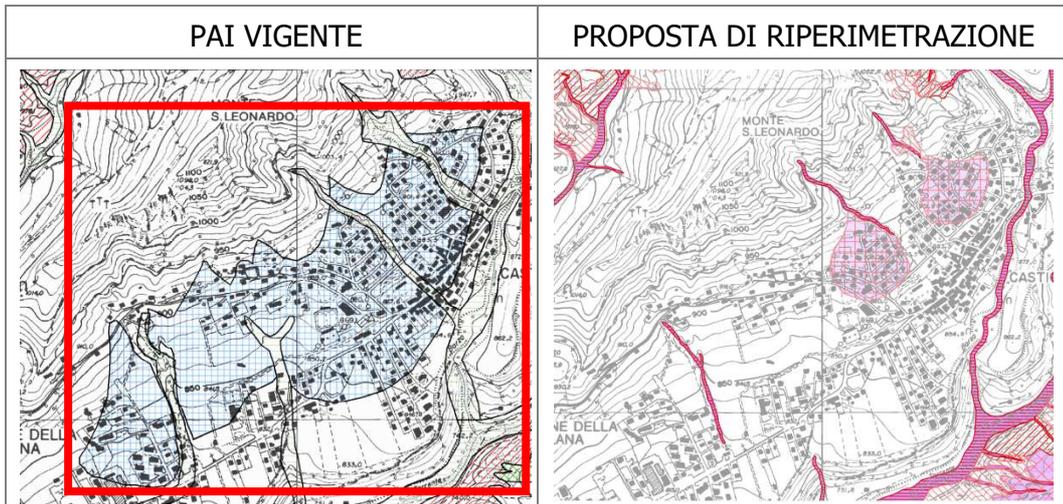


Figura 38: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la zona di Castione alle pendici del Monte San Leonardo.

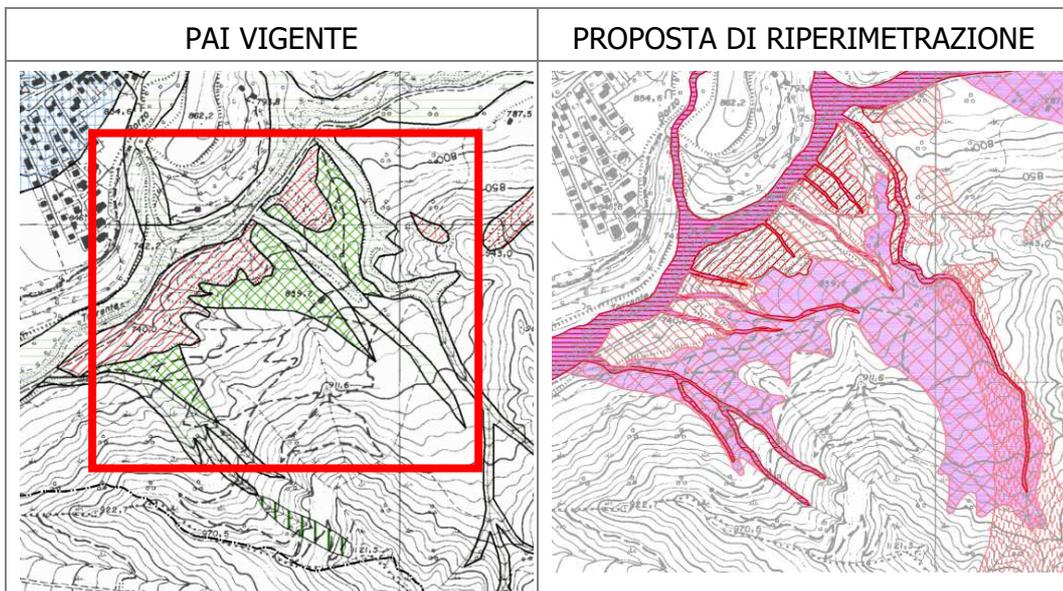


Figura 39: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la zona dei valloni del versante nordoccidentale del M. Varro.

- Valloni del versante nordoccidentale del M. Varro:** in tale zona sono cartografate tre limitate "Aree di conoide attivo parzialmente protetta" (Cp) (Figura 39) ed ampie fasce inserite nei dissesti morfologici di carattere torrentizio (Eb). Sulla base dell'assetto morfologico, ben evidenziato dall'aerofotogrammetrico comunale, e della distribuzione dei depositi da tra-

sporto in massa, risulta che le zone di conoide in realtà sono molto più ampie e coalescenti. Se ne propone pertanto la ripermimetrazione, limitando nel contempo le fasce d'erosione dei corsi d'acqua con alveo inciso e/o meglio definito, alle quali si propone di assegnare Ee.

- ♦ Valloni del versante settentrionale del M. Varro: in tale zona sono cartografate due "Aree di conoide attivo non protetta" (Ca) (Figura 40) ed ampie fasce inserite nei dissesti morfologici di carattere torrentizio (sia Ee che Eb). Analogamente alla situazione descritta precedentemente, le zone di conoide in realtà sono molto più ampie e coalescenti. Se ne propone pertanto una ripermimetrazione più di dettaglio, suddividendo le aree di conoide in Ca e Cp in funzione delle effettive condizioni morfologiche, e restringendo di conseguenza le fasce d'erosione dei corsi d'acqua con alveo inciso, alle quali si propone di classificare unicamente Ee.

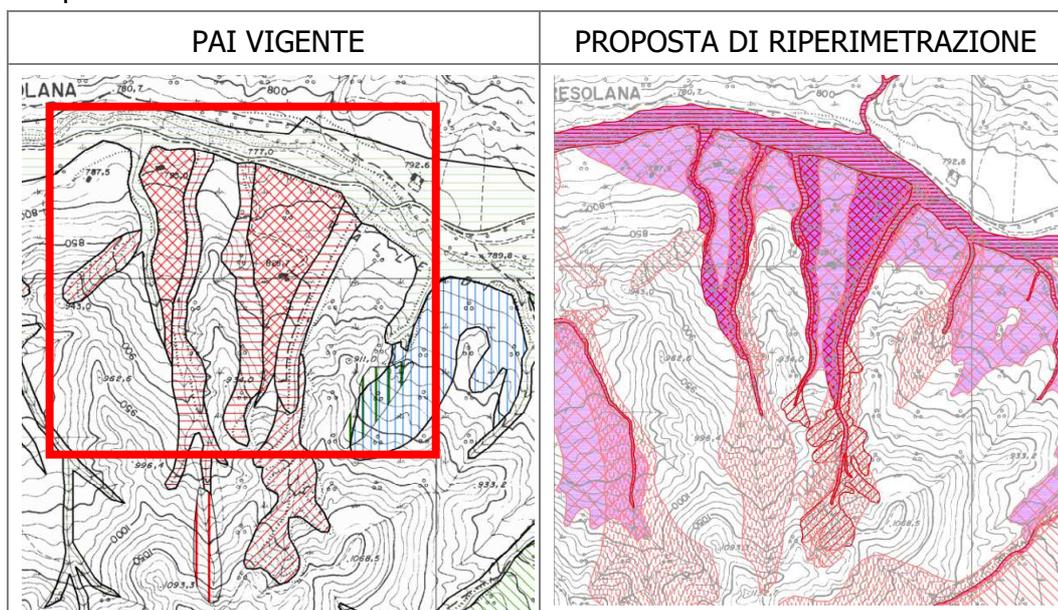


Figura 40: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la zona dei valloni del versante settentrionale del M. Varro.

- ♦ Valloni della dorsale M. Varro – Cima di Campo: in tale zona sono cartografate due "Aree di conoide attivo non protetta" (Ca), due "Aree di conoide attivo parzialmente protetta" (Cp) (Figura 41) ed ampie fasce inserite nei dissesti morfologici di carattere torrentizio (sia Ee che, in minor misura Eb). Per quanto riguarda le aree Ca, si ritiene siano state inserite unicamente sulla base della topografia riportata nella CTR, poiché la morfologia del sito (riportata con maggior dettaglio sull'aerofotogrammetrico comunale) è caratterizzata dalla presenza di una paleoconoide rimodellata e marcatamente reincisa dai corsi d'acqua attuali, che non hanno alcuna possibilità di fuoriuscire dalle sponde anche in condizioni di trasporto in massa elevato. Si propone, pertanto, di eliminare tali aree Ca.

Per le restanti zone, invece, si propone una ripermimetrazione più di dettaglio, sia ampliando le aree di conoide in Cp, sia inserendo una vasta zona in una nuova area Ca, che restringendo le fasce d'erosione dei corsi d'acqua con alveo inciso, alle quali si propone di classificare unicamente Ee.

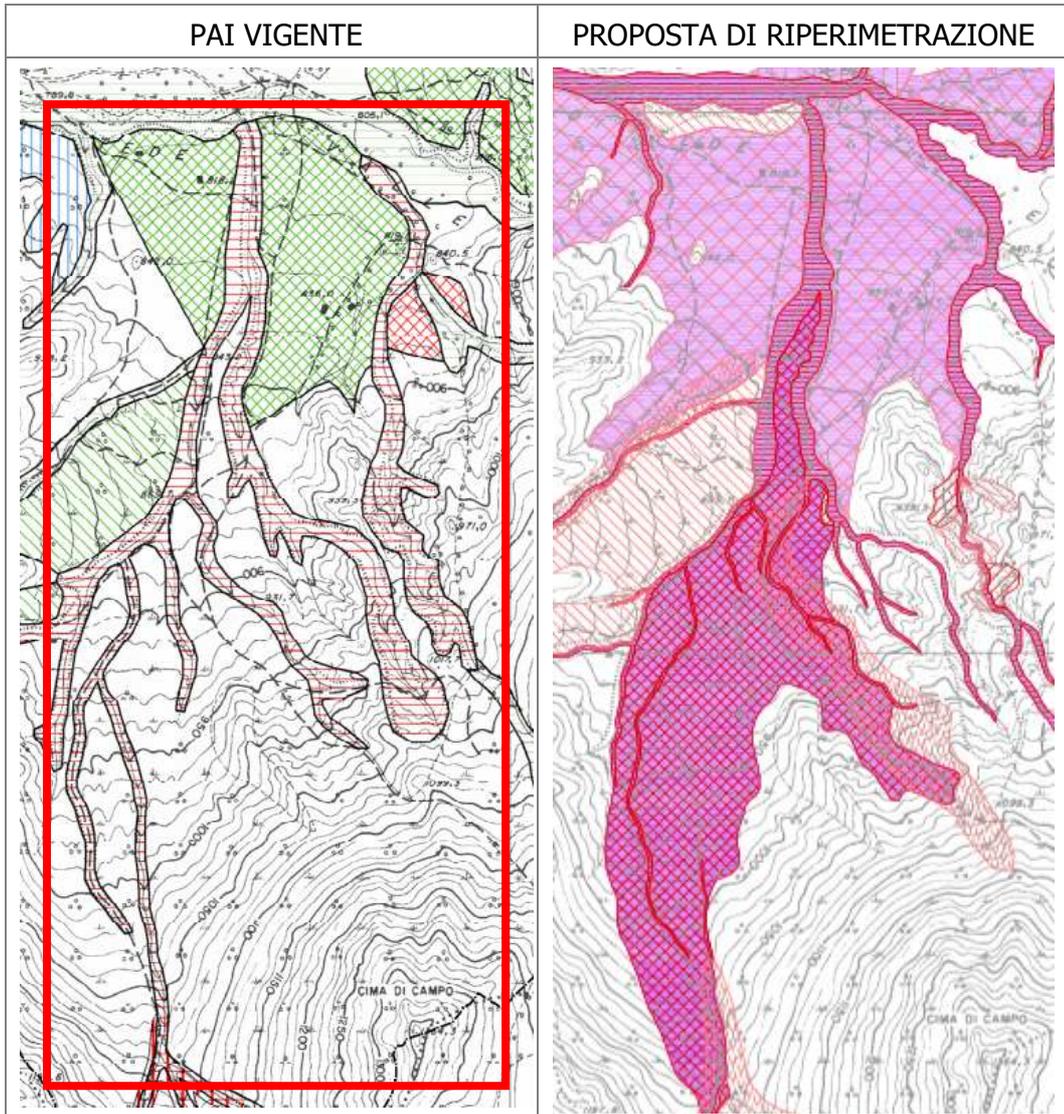


Figura 41: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la zona dei valloni della dorsale M. Varro – Cima di Campo.

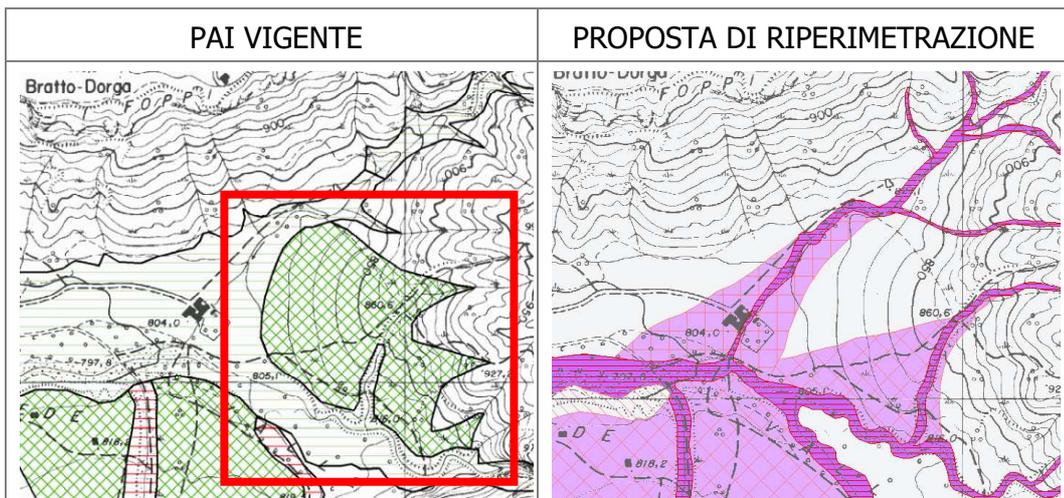


Figura 42: Confronto tra il quadro del dissesto vigente e quello proposto per la zona alla confluenza tra la Val Lantana e la Val di Pora.

♦ *Zona alla confluenza tra la Valle Lantana e la Val di Pora:* in tale zona è car-

tografata un'ampia "Area di conoide attivo parzialmente protetta" (Cp) (Figura 42) apparentemente formata da tre conoidi coalescenti. Tale perimetrazione è approssimativa, in quanto comprende anche ripide zone di versante con roccia affiorante ed un lembo di terrazzo alluvionale che borda il corso d'acqua che scende dalla Val Pora. In realtà si tratta di un'unica grande paleoconoide formata dal corso d'acqua che scende dal versante di Predusolo, il cui regime idrico è stato notevolmente alterato da lavori di regimazione per la realizzazione di una discarica di inerti. Si propone una ripermetrazione più di dettaglio dell'area di conoide Cp, sulla base dell'effettiva morfologia dell'area e dell'andamento reale del corso d'acqua, inserendo anche una fascia d'esonazione Ee lungo il suo alveo.

5.2.1.2.4 *Esonazioni e dissesti morfologici a carattere torrentizio*

Rispetto a tale tipologia di dissesto la perimetrazione vigente, che riporta aree Ee ed Eb, risulta alquanto approssimativa e, in diversi casi, totalmente irrealistica: corsi d'acqua inesistenti o con andamento diverso dall'effettivo (in particolare laddove risultano tombinati), fasce d'esonazione che si estendono per oltre 20 m di dislivello fin oltre i cigli delle forre solcate dai torrenti, aree Ee che confluiscono in alvei classificati Eb, aree che sono interessate da altre tipologie di dissesto (frane, conoidi). Si propone pertanto una nuova ripermetrazione, basata sia sulla topografia più dettagliata dell'aerofotogrammetrico comunale, sia sul confronto tra ortofoto di diversi periodi (per valutare l'evoluzione e le condizioni degli alvei dei corsi d'acqua e/o le modifiche antropiche a loro, che su sopralluoghi in sito per definirne i punti critici (tombinature, restringimenti, tratti di alveo sovralluvionati).

5.2.1.2.5 *Aree valanghive*

Nella "Carta del dissesto con legenda PAI" vigente (2016) sono riportate sia "Aree a pericolosità molto elevata o elevata" (Va), sia "Aree a pericolosità media o modesta" (Vm), per gran parte tratte dal SIRVAL (Sistema Informativo Regionale Valanghe) ma leggermente sfasate rispetto alla loro posizione originaria o con perimetri a tratti non coincidenti. Inoltre, alcune delle aree del database regionale, ricavate tramite fotointerpretazione, non sono state considerate. Rispetto a tale tipologia di dissesto le modifiche proposte riguardano la completa sostituzione delle aree vigenti con quelle riportate nel SIRVAL, assegnando (Va) alle aree valanghive localizzate tramite rilevamento e (Vm) a quelle individuate con fotointerpretazione, apportando locali e modestissime modifiche per tener conto della reale situazione morfologica evidenziata dall'aerofotogrammetrico comunale.

APPENDICE UNO**DOCUMENTAZIONE CONSULTATA**

AMOROSI A., PAVESI M., RICCI LUCCHI M., SARTI G. & PICCIN A. (2008): *Climatic signature of cyclic fluvial architecture from the Quaternary of the central Po Plain, Italy*. Sediment. Geol. 209: pp. 58 – 68, ISSN 0037 – 0738

BASILI R., VALENSISE G., VANNOLI P., BURRATO P., FRACASSI U., MARIANO S., TIBERTI M. M. & BOSCHI E. (2008): *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology*. Tectonophysics 453, pp. 20 – 43. doi: 10.1016/j.tecto.2007.04.014.

BERLUSCONI A., FERRARIO M. F., LIVIO F., MICHETTI A. M., VIOLANTE C., ESPOSITO E., PORFIDO S., FIACCAVENTO P., RIPAMONTI L. & Roncoroni M. (2013): *Quaternary Faults and Seismic Hazard in the Lake Garda Area*. Ingegneria sismica, Anno XXX, N.1 – 2 – gennaio – giugno 2013, pp. 10 – 35.

BURRATO P., CIUCCI F., & VALENSISE G. (2003): *An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting*. Ann. Geophys. 5, pp. 865 – 882, doi:10.4401/ag – 345

CASTELLO B., SELVAGGI G., CHIARABBA C. & AMATO A. (2006): *CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1*. INGV-CNT, Roma. <http://csi.rm.ingv.it/>

CREMASCHI M. (1987): *Paleosols and Vetusols in the Central Po Plain (Northern Italy). A study in Quaternary Geology and Soil development*. Unicopli, Milano, 316 pp.

DENTI E., LAUZI S., SALA P. & SCESI L. (1998): *Studio idrogeologico della pianura bresciana compresa tra i fiumi Oglio e Chiese*. Studi idrogeologici sulla Pianura Padana, vol.4, Milano.

DI GIULIO A., CARRAPA B., FANTONI R., GORLA L. & VALDISTURLO A. (2001): *Middle Eocene – Early Miocene sedimentary evolution of the Western Lombardy South Alpine foredeep (Italy)*. International Journal of Earth Sciences, Stuttgart, 90, pp, 534 – 548

DISSWORKING GROUP (2010): *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS) <http://diss.rm.ingv.it/diss/> Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, DOI 10.6092/INGV.IT – DISS3.1.1

ERSAF (2004): *Suoli e paesaggi della Provincia di Brescia*. ERSAF e Regione Lombardia. 57 pp.

ERSAL (1988): *I suoli della bassa pianura bresciana fra i Fiumi Mella e Chiese. Progetto "Carta Pedologica"*. ERSAL. 122 pp e 2 Tavole.

FANTONI R. & FRANCIOSI R. (2010): *Tectono – sedimentary setting of the Po Plain and Adriatic foreland*. Rend. Fis. Acc. Lincei 21 – 1: pp. 197 – 209, DOI

10.1007/s12210 – 010 – 0102 – 4

GEOmol TEAM (2015): *GeoMol – Assessing subsurface potentials of the Alpine Foreland Basins for sustainable planning and use of natural resources – Project Report*. Pp, Augsburg, LfU, pp.188.

GHIELMI M., MINERVI M., NINI C., ROGLEDI S., ROSSI, M. & VIGNOLO, A. (2010): *Sedi – mentary and tectonic evolution in the eastern Po – Plain and northern Adriatic Sea area from Messinian to Middle Pleistocene (Italy)*. Rend. Lincei 21: pp.131 – 166, DOI 10.1007/s12210 – 010 – 0101 – 5

GHIELMI M., MINERVI M., NINI C., ROGLEDI S. & ROSSI, M. (2013): *Late Miocene – Middle Pleistocene sequences in the Po Plain – Northern Adriatic Sea (Italy): The stratigraphic record of modification phases affecting a complex foreland basin*. J. Mar. Petrol. Geol. 42: pp. 50 – 81, DOI 10.1016/j.marpetgeo.2012.11.007

GIUBBINI P. & DE PASCALIS A. (2011): *Relazione geologica – PGT Componente geologica, idrogeologica e sismica*. Comune di Gottolengo, 34 pp. e 11 Tavole.

IAEA (2015): *The Contribution of Palaeoseismology to Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations*. IAEA – TECDOC – 1767, Vienna, 212 pp.

LIVIO F. A., BERLUSCONI A., MICHETTI A. M., SILEO G., ZERBONI A., TROMBINO L., CREMASCHI M., MUELLER K., VITTORI E., CARCANO C. & RY S. (2009): *Active fault – related folding in the epicentral area of the December 25, 1222 (Io=IX MCS) Brescia earthquake (Northern Italy): Seismotectonic implications*. Tectonophysics 476: pp. 320 – 335, DOI 10.1016/j.tecto.2009.03.019

LOCATI M., CAMASSI R., ROVIDA A., ERCOLANI E., BERNARDINI F., CASTELLI V., CARACIOLO C.H., TERTULLIANI A., ROSSI A., AZZARO R., D'AMICO S., CONTE S. & ROCCHETTI E. (2016): *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

MANTOVANI E., VITI M., BABBUCCI D., CENNI N., TAMBURELLI C., VANNUCCHI A., FALCIANI F., FIANCHISTI G., BAGLIONE M., D'INTINOSANTE V., FABBRONI P., MARTELLI L., BALDI P., BACCHETTI M. (2013): *Assetto tettonico e potenzialità sismo genetica dell'Appennino Tosco – Emiliano – Romagnolo e Val Padana*. Regione Toscana, Centro stampa Regione Toscana, Firenze, 167 pp.

PIERI M. & GROPPI G. (1981): *Subsurface geological structure of the Po plain, Italy*. Pubbl. 414, P.F.G., (Sottoprogetto 'Modello Strutturale').

RAVIGLIA A., SENO, S., TOSCANI G. & FANTORI R. (2006): *Mesozoic extension controlling the Southern Alps thrust geometry under the Po Plain, Italy: insights from sandbox models*. J. Struc. Geol. 28: pp. 2084 – 2096, DOI 10.1016/j.jsg.2006.07.011

REGIONE LOMBARDIA (2001): *Acque sotterranee in Lombardia, gestione sostenibile di una risorsa strategica*. Regione Lombardia, Risorse Idriche e Servizi di Pubblica Utilità, 143 pp.

REGIONE LOMBARDIA – ENI (2002): *Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia*. A cura di C. CARCANO & A. PICCIN, Ed. S. e.l.c.a. (Firenze).

REGIONE LOMBARDIA (2005): *Aggiornamento geologico – stratigrafico, Marzo 2005*. Rapporto nell'ambito dello studio "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia" e del Progetto CARG, 3 pp.

ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B. & GASPERINI P. (eds) (2016): *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>

SCARDIA G., MUTTONI G., & SCIUNNACH D. (2006): *Subsurface magnetostratigraphy of Pleistocene sediments from the Po Plain (Italy): Constraints on rates of sedimentation and rock uplift*. Geol. Soc. Am. Bull. 118: pp. 1299 – 1312, DOI 10.1130/B25869.1

SCESI L. (1985): *Lineamenti geologici e idrogeologici della pianura pedemontana bresciana compresa tra i fiumi Mella e Chiese*. Studi Idrogeol. sulla Pianura Padana, 1, pp. 57 – 82.

SERVIZIO GEOLOGICO D'Italia (1969): *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 61 "Cremona"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.

SERVIZIO GEOLOGICO D'Italia (1970): *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. Foglio 47 "Brescia"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.

VANNOLI P., BURRATO P. & VALENSISE G. (2015): *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain*. Pure Appl. Geophys., 172, pp. 1105 – 1142, 10.1007/s00024 – 014 – 0873 – 0

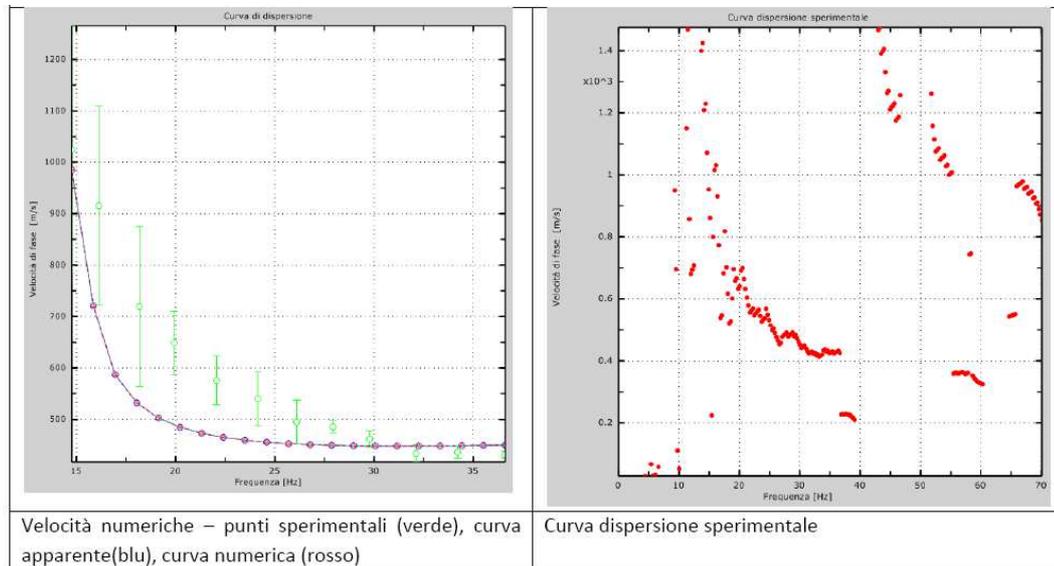
VERCESI P.L. (1993): *Aspetti quali – quantitativi delle risorse idriche sotterranee del Bresciano*. "Natura Bresciana" Ann. Mus. Civ. Sc. Nat., Brescia, 29 (1993) 1994: pp. 21 – 52.

WILSON L.F., PAZZAGLIA F.J. & ANASTASIO D.J. (2009): *A fluvial record record of active fault – propagation folding, Salsomaggiore anticline, northern Apennines, Italy*. J.Geophys.Res., 114 pp, B08403, doi:10.1029/2008JB005984.

APPENDICE DUE

INDAGINI SISMICHE PER LA DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

MASW A.....



Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

Curva dispersione sperimentale

Comune: **CASTIONE**
 Cantiere: **Colombere**
 Elaborazione da: **MASW**

Modello geologico - geofisico

strato	inizio (m)	fine (m)	spessore (m)	profondità (m)	Vs (m/s)
strato1	0	5	5,0	5,0	479
strato2	5	8	3,0	8,0	257
strato3	8	12	4,0	12,0	639
strato4	12	16	4,0	16,0	721
strato5	16	21	5,0	21,0	800
strato6	21	26	5,0	26,0	1017
strato7	26	30	4,0	30,0	1138

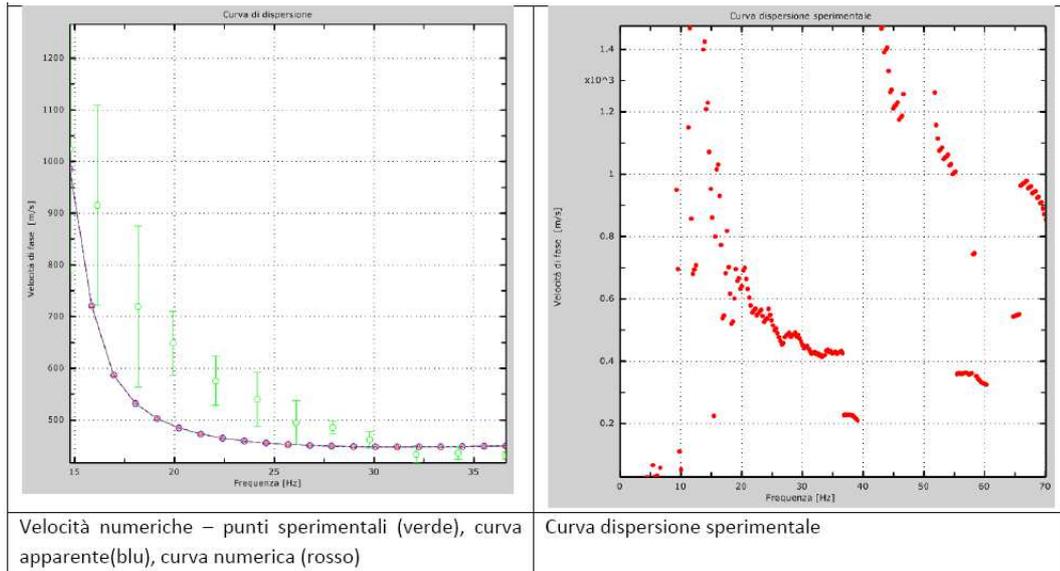
MASW B.....

Comune: **CASTIONE**
 Cantiere: **PIAZZOLA**
 Elaborazione da: **MASW**

Modello geologico - geofisico

strato	inizio (m)	fine (m)	spessore (m)	profondità (m)	Vs (m/s)
strato1	0	4,1	4,1	4,1	186
strato2	4,1	9,4	5,3	9,4	1075
strato3	9,4	30	20,6	30,0	845

MASW C.....



Comune: CASTIONE
 Cantiere: cimitero
 Elaborazione da: MASW

Modello geologico - geofisico

strato	inizio (m)	fine (m)	spessore (m)	profondità (m)	Vs (m/s)	
strato1	0	5	5,0	5,0	210	210
strato2	5	8	3,0	8,0	294	294
strato3	8	12	4,0	12,0	503	503
strato4	12	16	4,0	16,0	686	686
strato5	16	21	5,0	21,0	783	783
strato6	21	26	5,0	26,0	830	830
strato7	26	30	4,0	30,0	853	853

MASW D.....

Comune: CASTIONE
 Cantiere: SCUOLE
 Elaborazione da: MASW

Modello geologico - geofisico

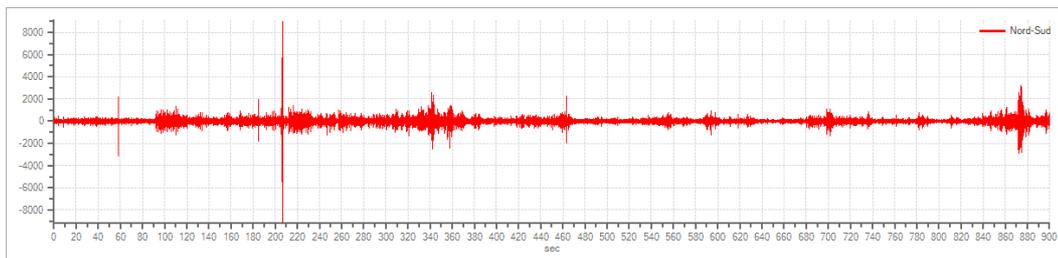
strato	inizio (m)	fine (m)	spessore (m)	profondità (m)	Vs (m/s)	
strato1	0	5,3	5,3	5,3	162	162
strato2	5,3	21,1	15,8	21,1	672	672
strato3	21,1	30	8,9	30,0	1086	1086

HVSR E.....

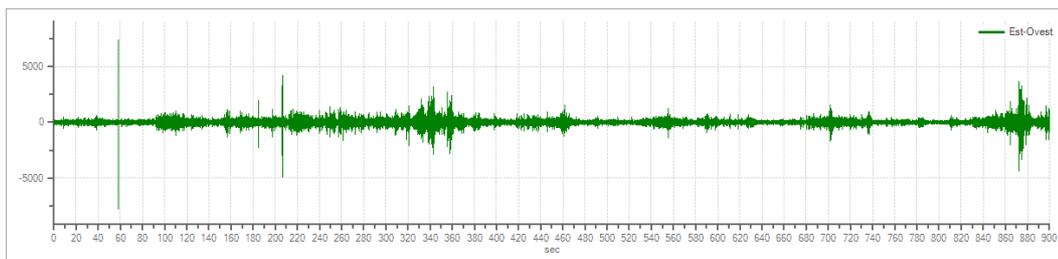
			Comune:	CASTIONE	
			Cantiere:	Parco Alpini	
			Elaborazione da:	TROMINO	
			Modello geologico - geofisico		
strato	inizio (m)	fine (m)	spessore (m)	profondità (m)	Vs (m/s)
strato1	0	2,7	2,7	2,7	270
strato2	2,7	15	12,3	15,0	650
strato3					
strato4					
strato5					
			0,0		

HVSR 1.....

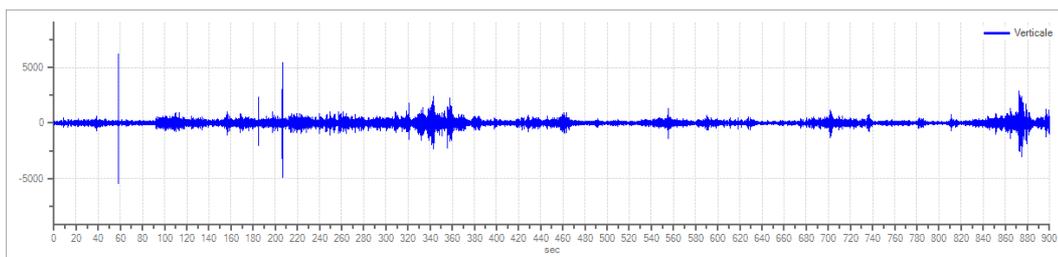
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

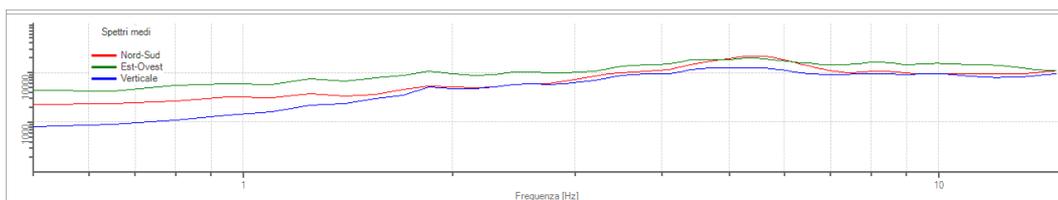


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

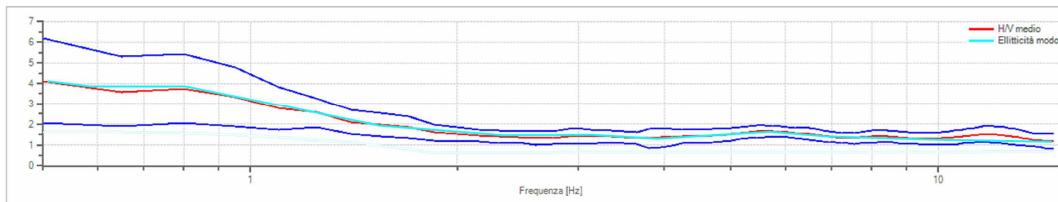
Dati riepilogativi

Frequenza massima:	15,00 Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10,00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0,50 Hz ±0,51 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

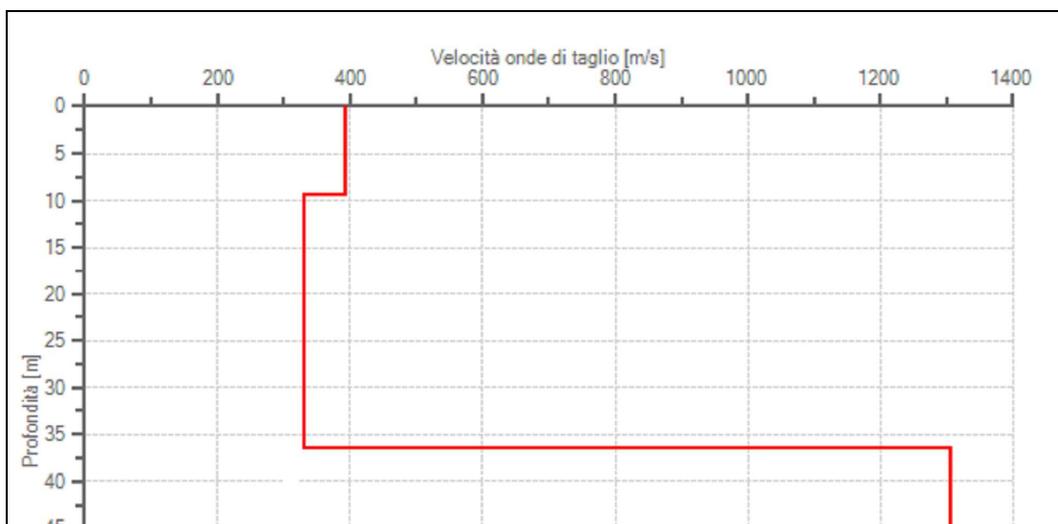
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 3
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 0,50 Hz
 Valore di disadattamento: 0,21

Dati della stratigrafia:

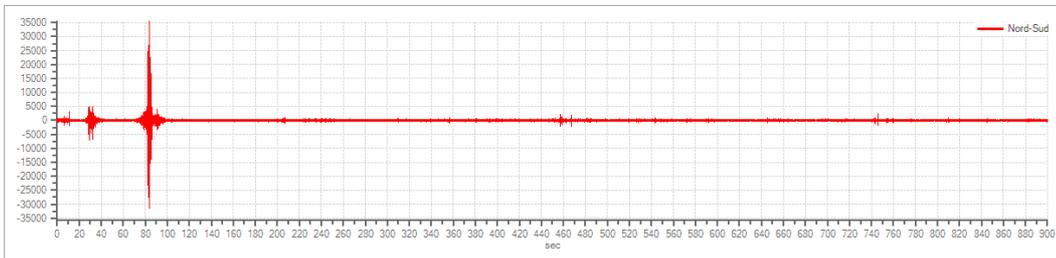
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	9,5	18	0,32	393
2	9,5	26,93	20	0,3	332
3	36,43	9,82	23	0,28	1304



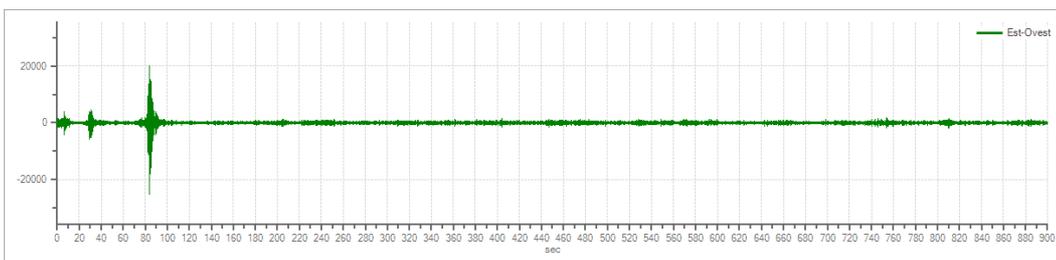
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 2.....

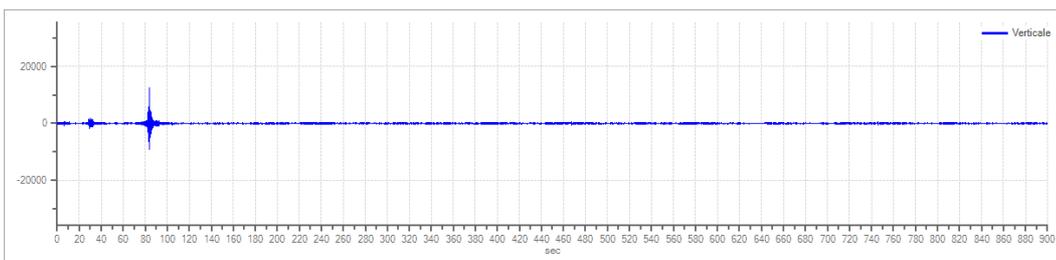
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

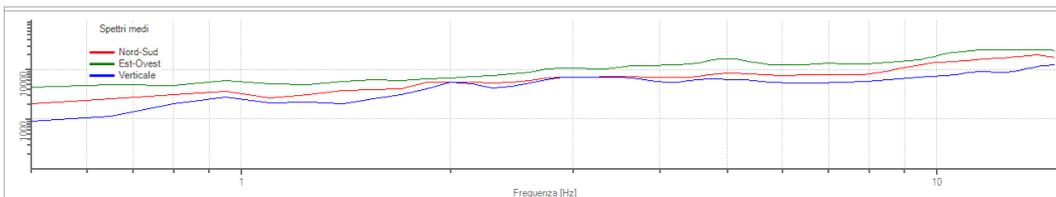


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

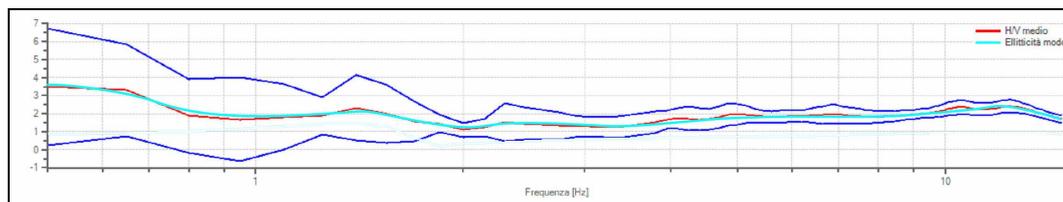
Dati riepilogativi

- Frequenza massima: 15,00Hz
- Frequenza minima: 0,50 Hz
- Passo frequenze: 0,15 Hz
- Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale
- Percentuale di lisciamento: 10,00%
- Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0,50 Hz \pm 0,93 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

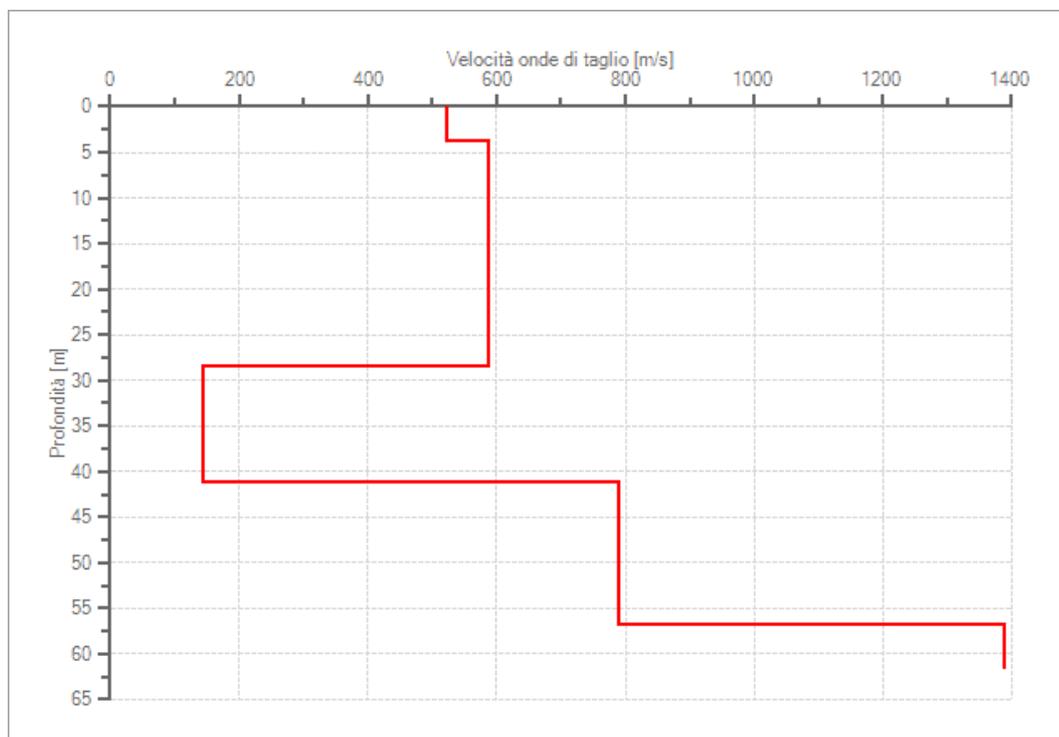
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 5
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 1,40 Hz
 Valore di disadattamento: 0,19

Dati della stratigrafia:

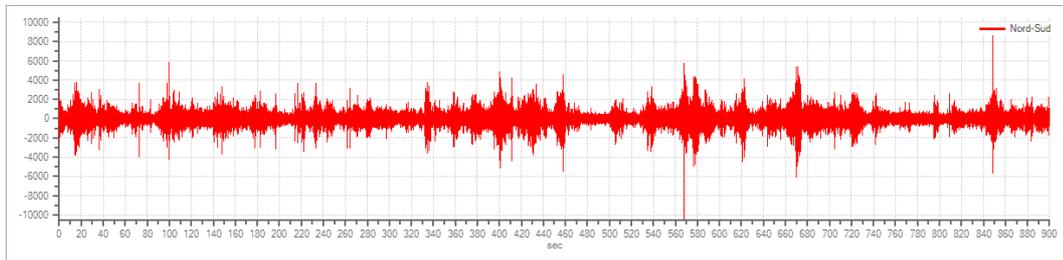
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	3,9	18	0,31	523
2	3,9	24,6	20	0,3	586
3	28,5	12,71	21	0,29	143
4	41,21	15,59	22	0,28	789
5	56,8	5	24	0,28	1389



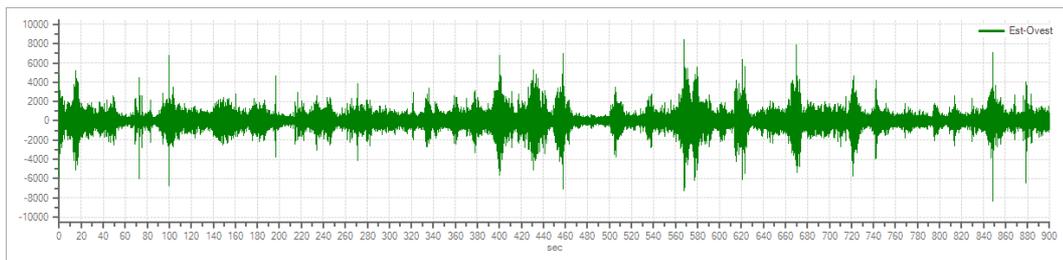
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 3.....

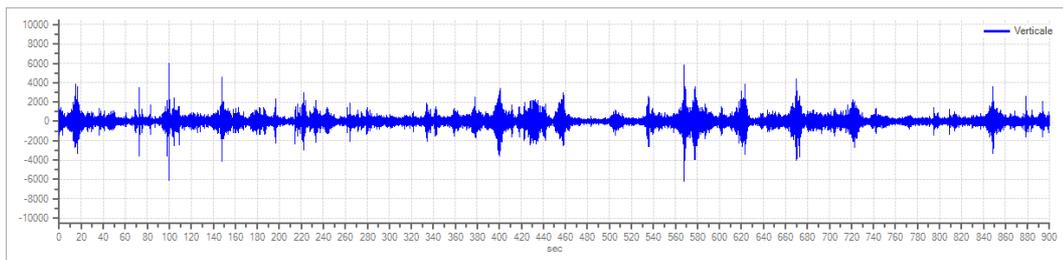
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

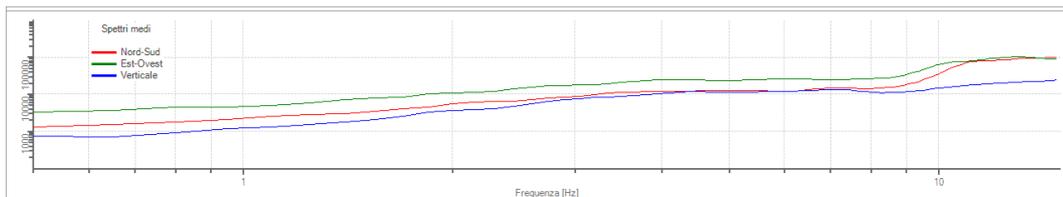


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

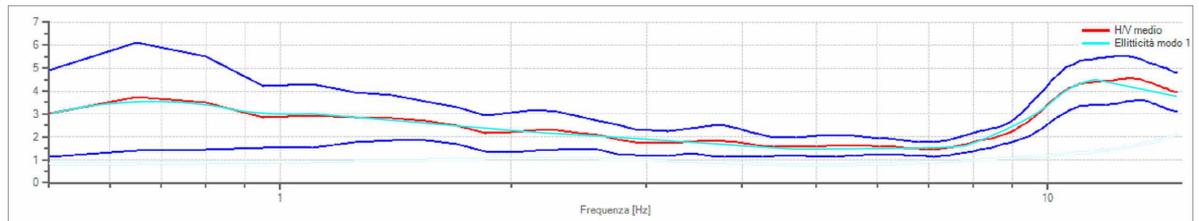
Dati riepilogativi

Frequenza massima:	15,00Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10,00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 12,80 Hz ±0,22 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

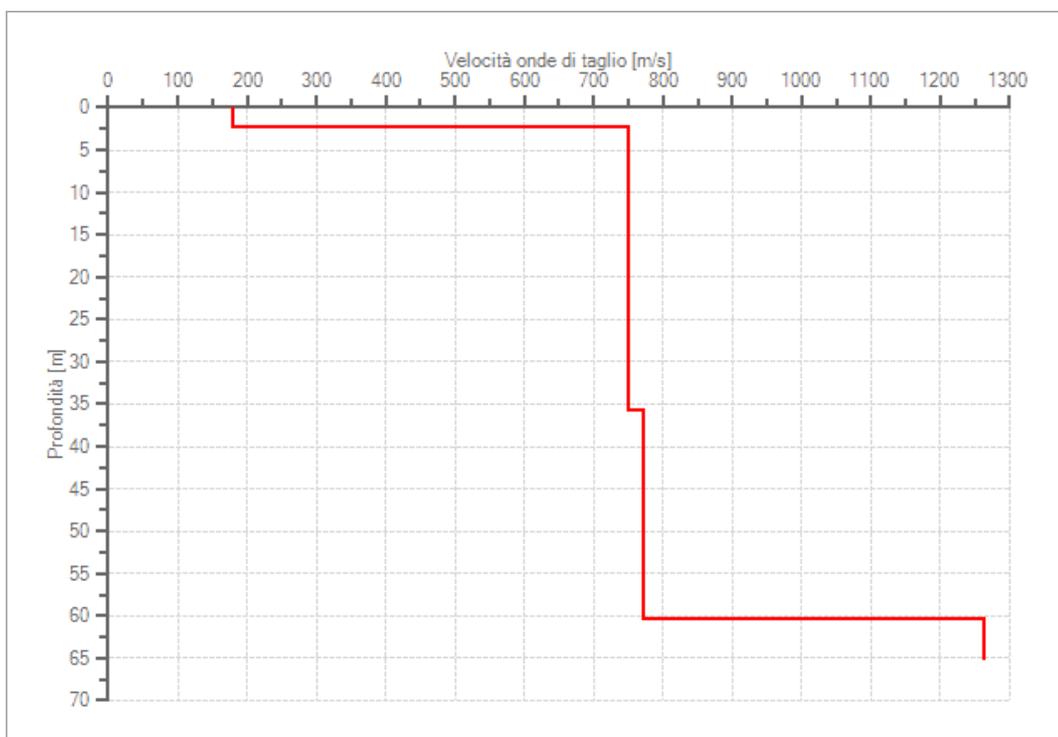
Numero strati: 4

Frequenza del picco dell'ellitticità: 14,75Hz

Valore di disadattamento: 0,22

Dati della stratigrafia:

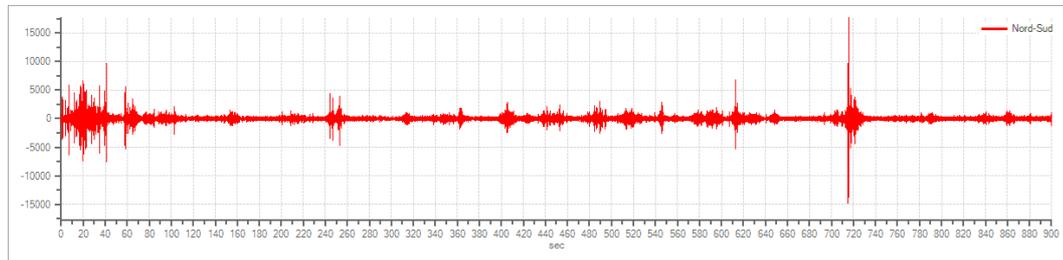
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	2,43	18	0,31	180
2	2,43	33,31	22	0,3	750
3	35,74	24,64	23	0,29	772
4	60,38	5	23	0,28	1263



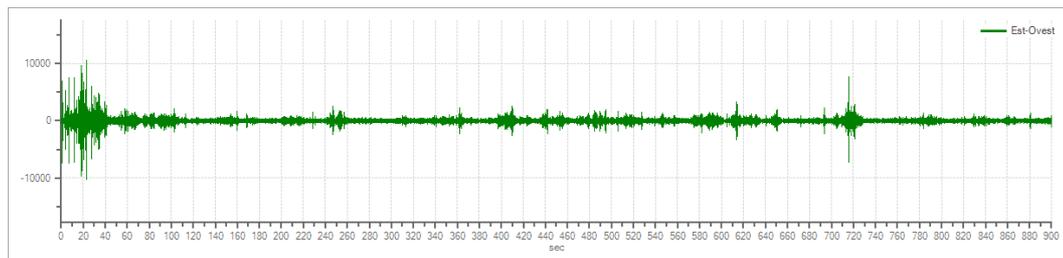
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 4.....

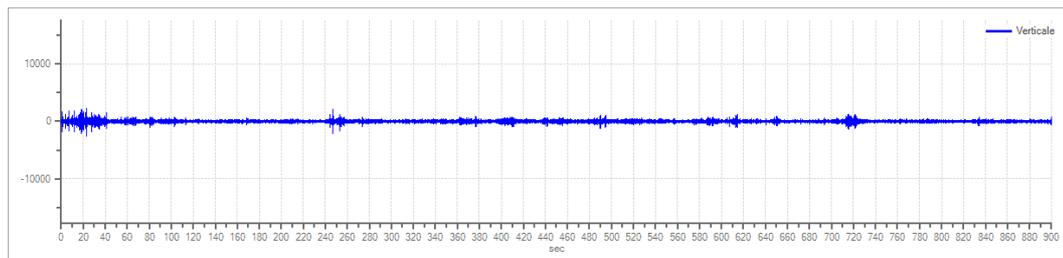
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

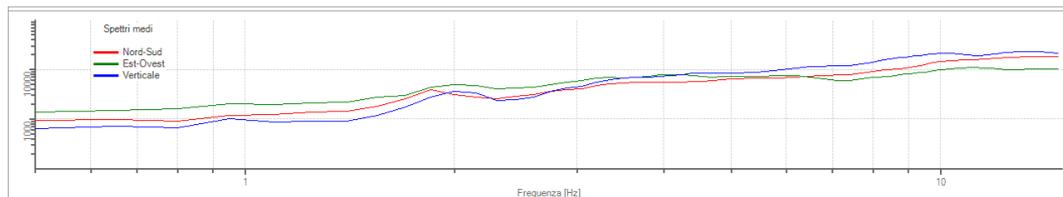


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

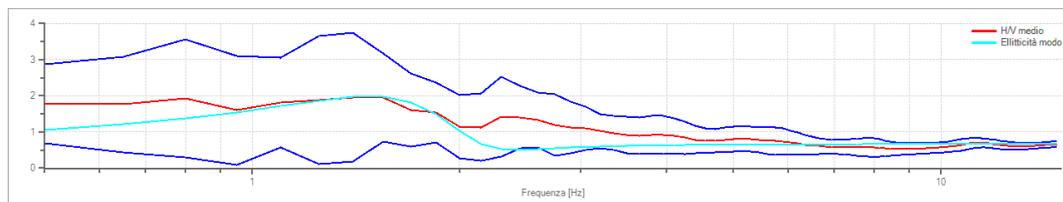
Dati riepilogativi

Frequenza massima:	15,00Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10,00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 1,40 Hz \pm 0,91 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

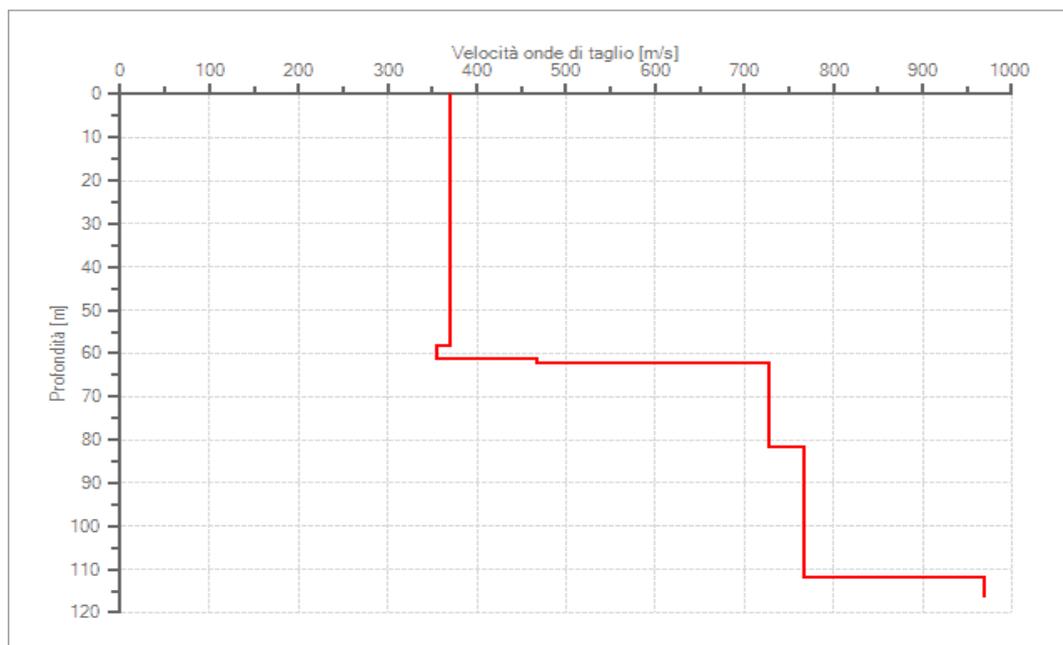
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 6
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 1,40 Hz
 Valore di disadattamento: 0,22

Dati della stratigrafia:

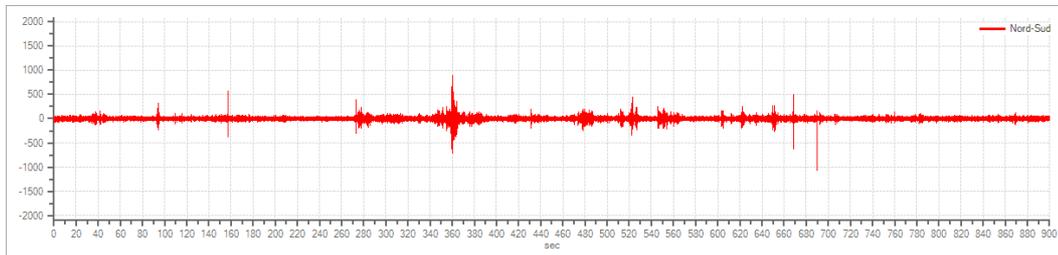
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	58,22	18	0,3	370
2	58,22	3,03	18	0,31	354
3	61,25	1	21	0,31	468
4	62,25	19,56	22	0,3	727
5	81,81	30	22	0,28	766
6	111,81	5	24	0,28	970



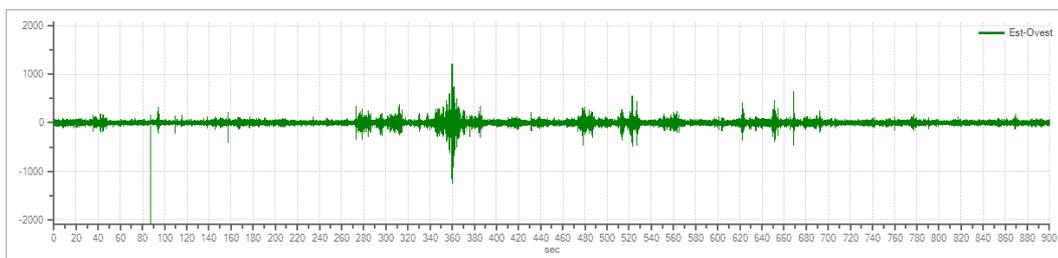
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 5.....

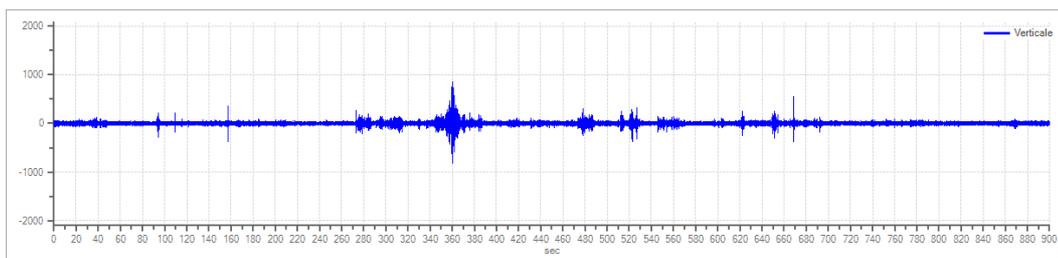
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

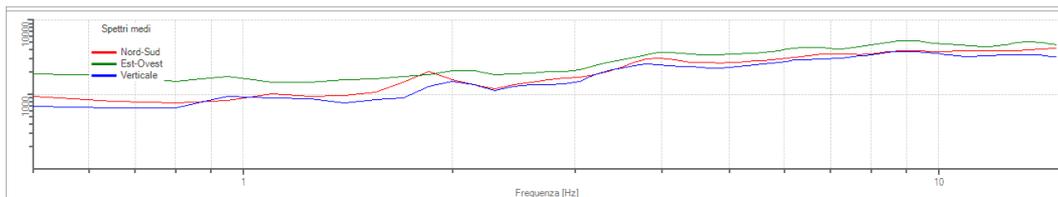


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

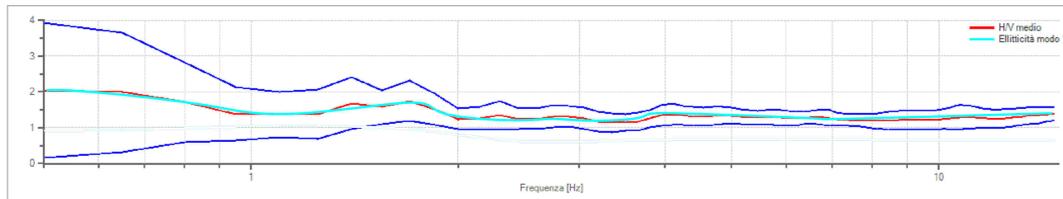
Dati riepilogativi

Frequenza massima:	15,00Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamiento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamiento:	10,00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0,50 Hz ±0,92 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

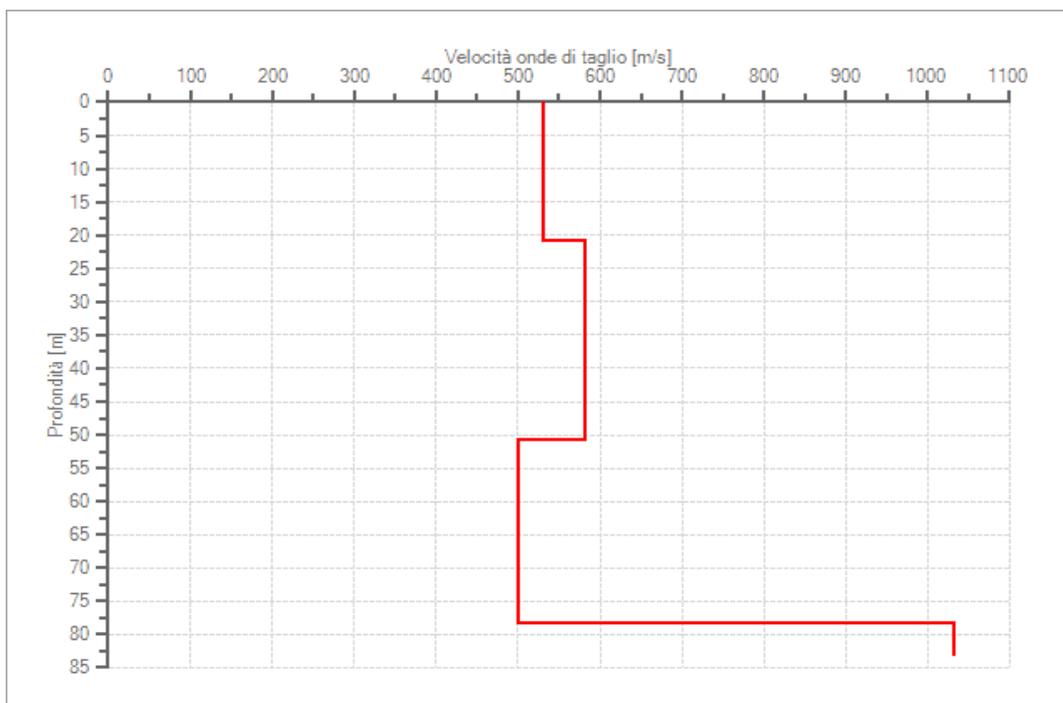
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 5
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 1,25 Hz
 Valore di disadattamento: 0,11

Dati della stratigrafia:

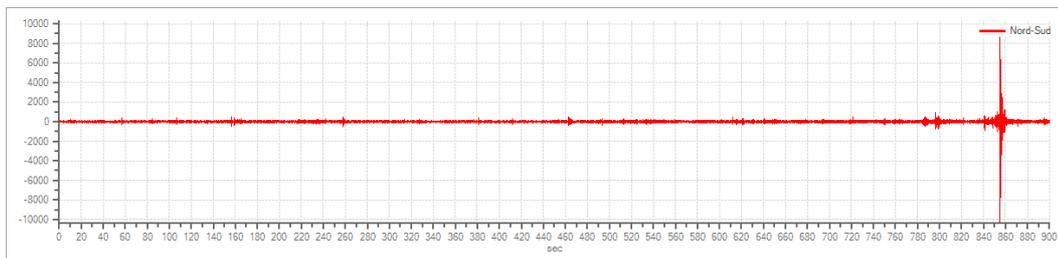
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	20,93	20	0,3	530
2	20,93	29,93	20	0,3	581
3	50,86	12,87	20	0,3	500
4	63,73	14,61	21	0,3	500
5	78,35	5	22	0,3	1032



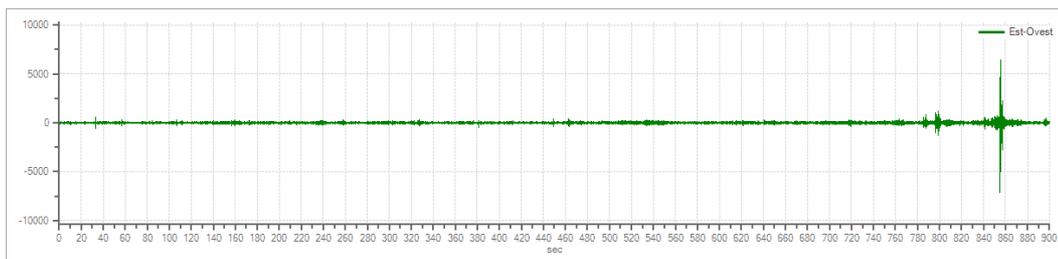
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 6.....

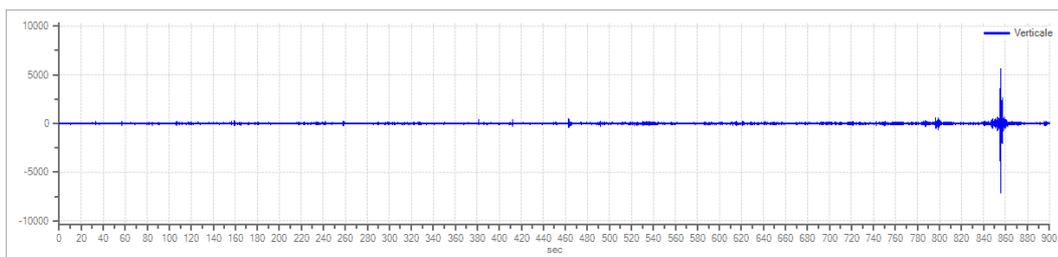
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

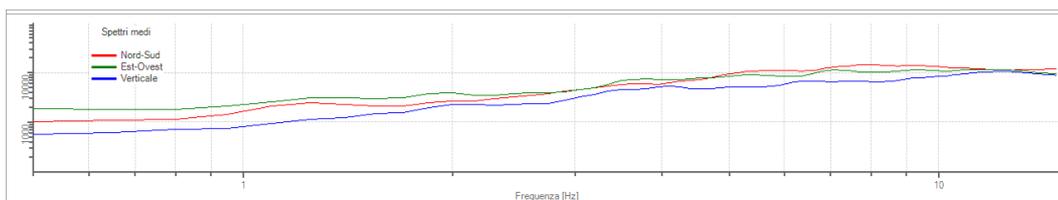


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

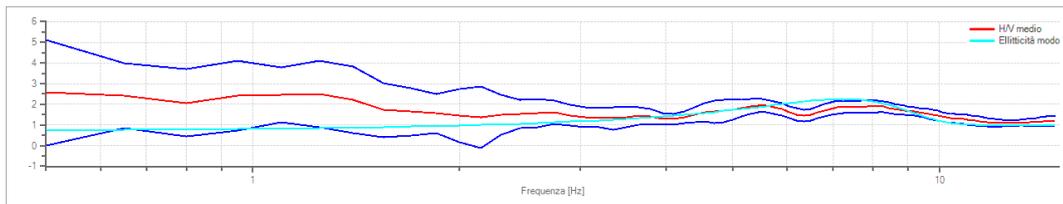
Dati riepilogativi

Frequenza massima:	15,00 Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10,00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0,50 Hz \pm 0,99 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

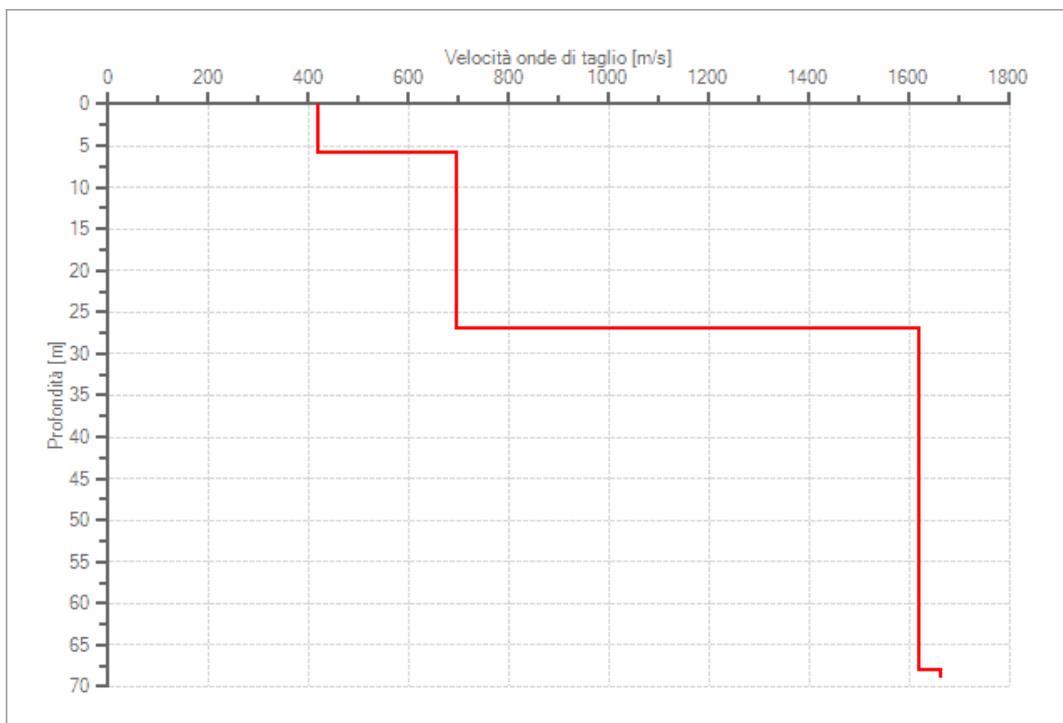
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 4
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 7,25 Hz
 Valore di disadattamento: 0,27

Dati della stratigrafia:

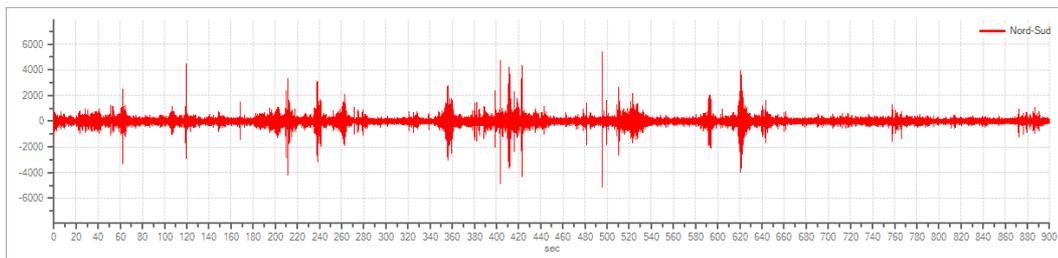
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	5,85	18	0,3	417
2	5,85	21,05	22	0,29	694
3	26,9	41,05	24	0,28	1617
4	67,95	1	24	0,28	1660



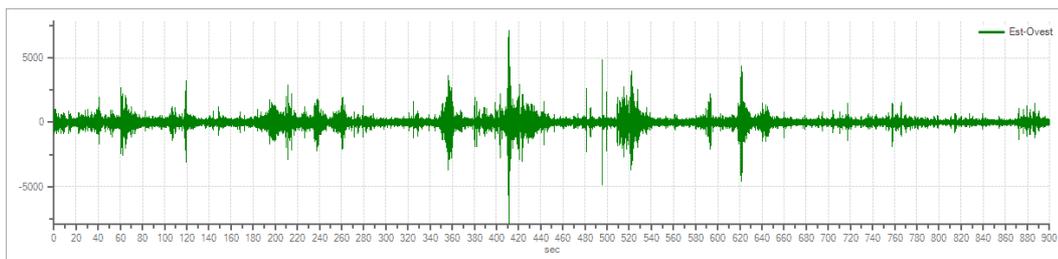
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 7.....

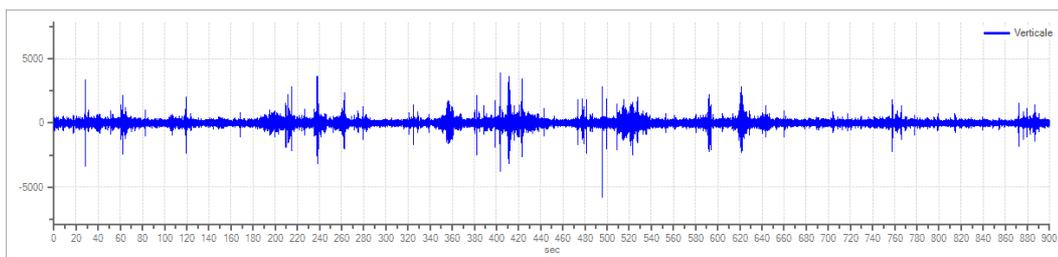
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

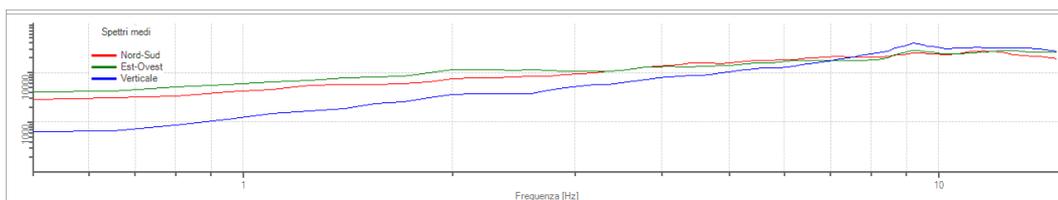


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

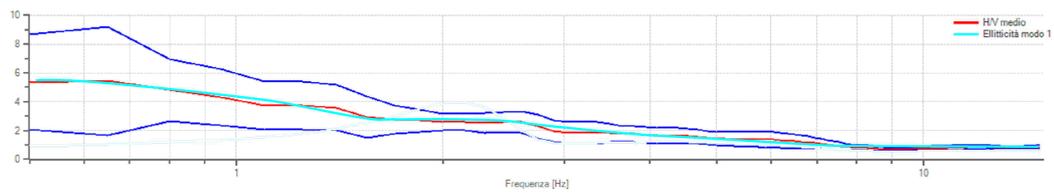
Dati riepilogativi

Frequenza massima:	15,00 Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10,00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0,65 Hz ±0,69 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

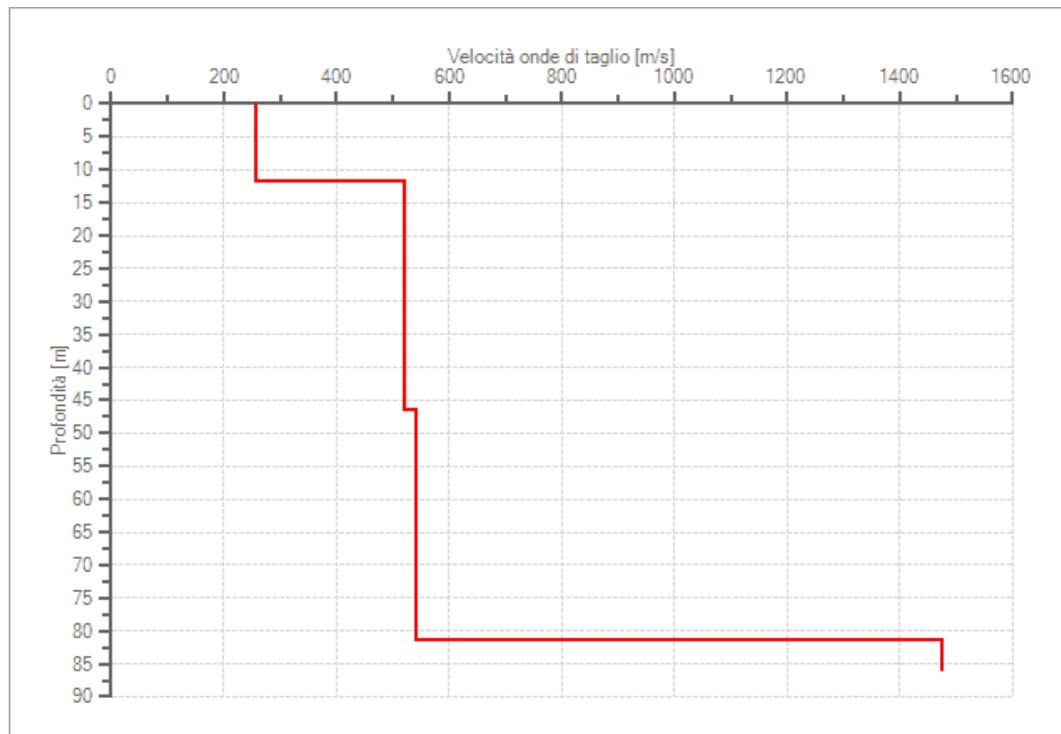
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 4
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 2,15 Hz
 Valore di disadattamento: 0,27

Dati della stratigrafia:

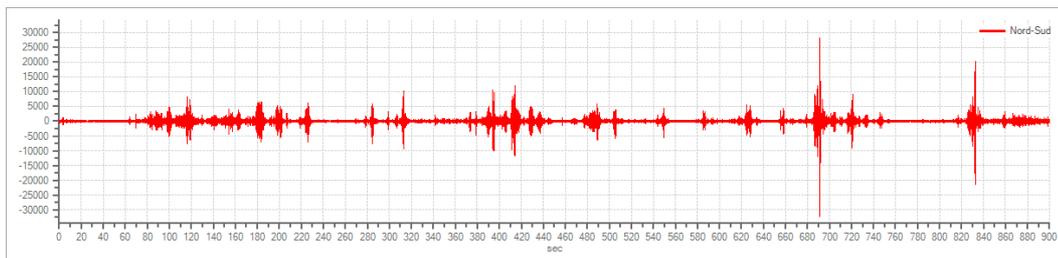
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	11,91	18	0,31	257
2	11,91	34,65	20	0,3	521
3	46,56	34,77	24	0,28	541
4	81,33	5	24	0,28	1474



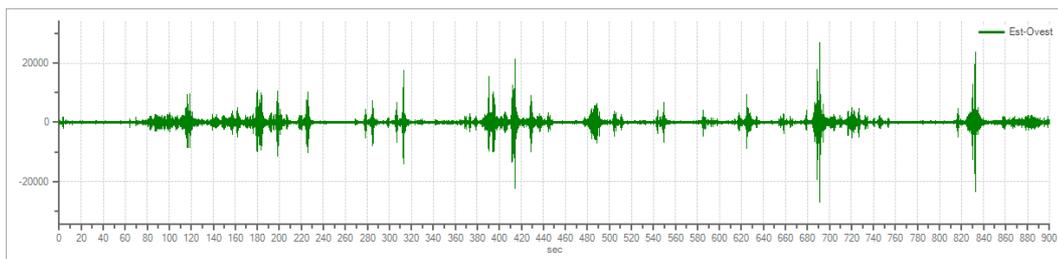
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 8.....

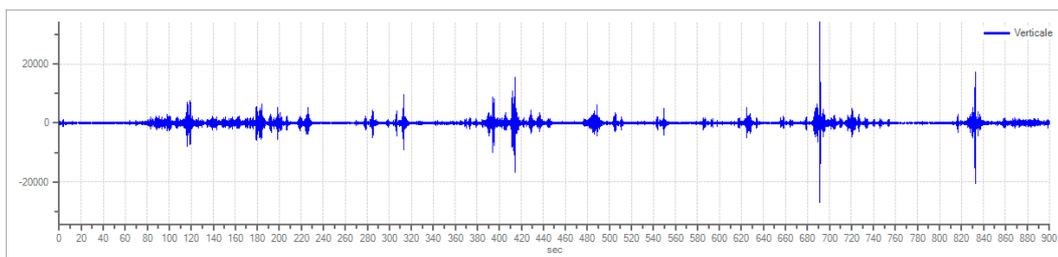
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

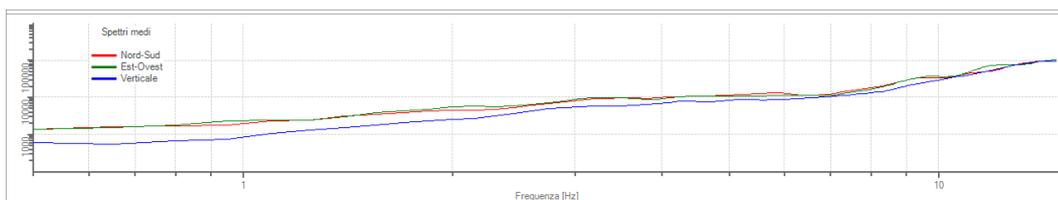


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

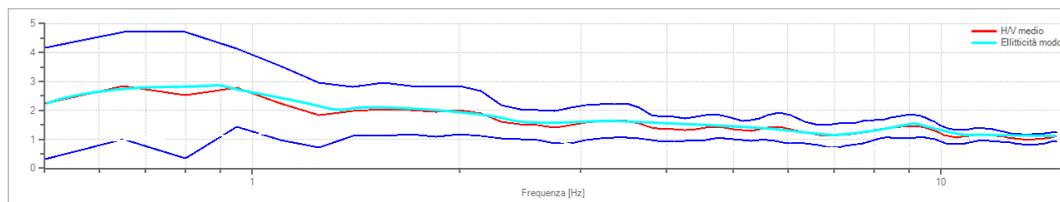
Dati riepilogativi

Frequenza massima:	15,00 Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10,00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0,65 Hz \pm 0,65 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

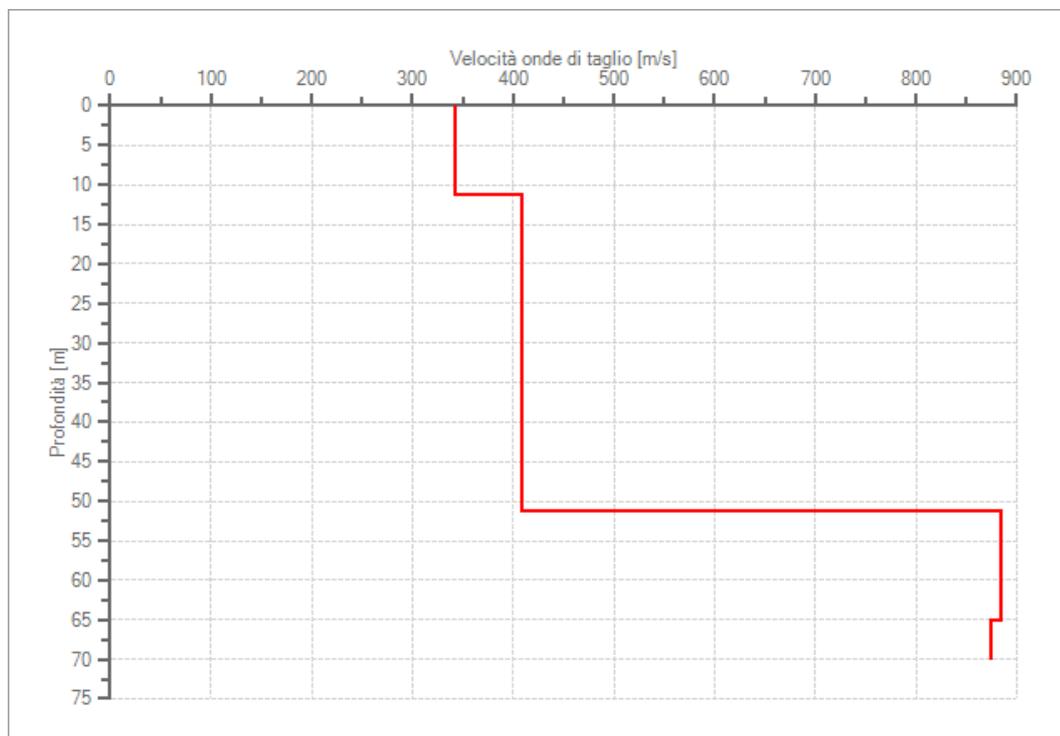
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 4
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 1,85 Hz
 Valore di disadattamento: 0,19

Dati della stratigrafia:

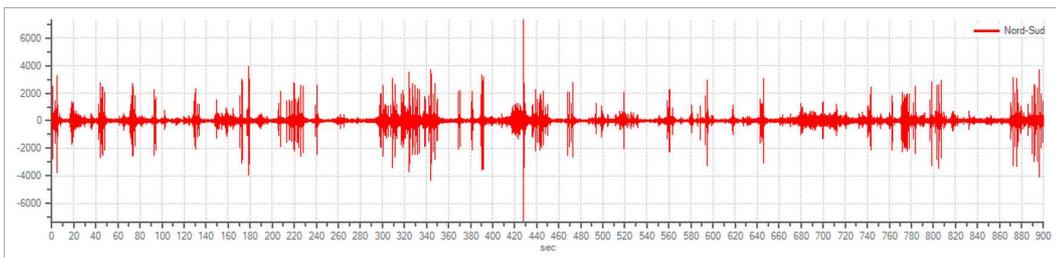
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	11,41	18	0,31	342
2	11,41	39,98	19	0,3	409
3	51,39	13,78	20	0,29	884
4	65,17	5	23	0,28	875



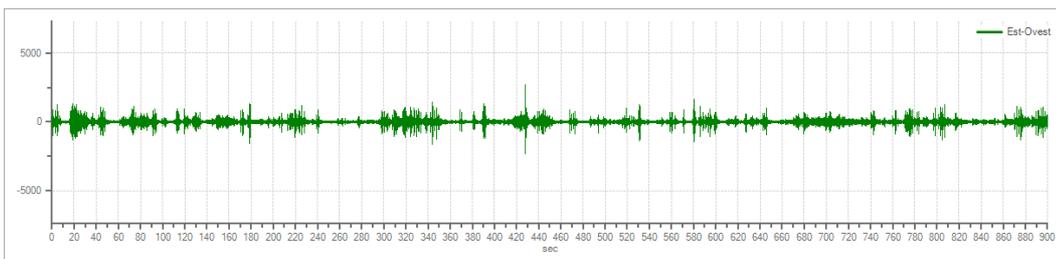
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 9.....

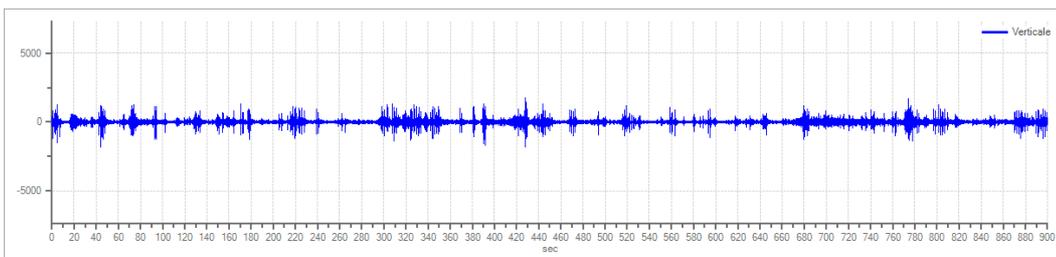
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

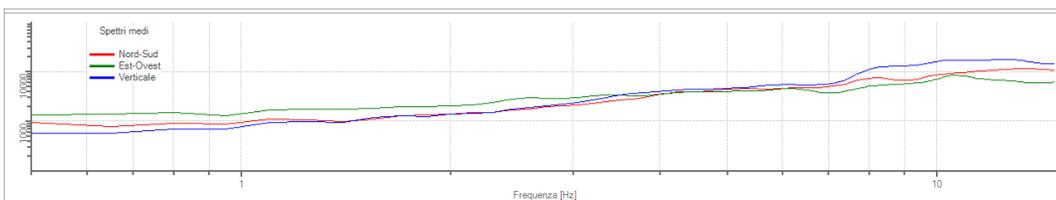


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

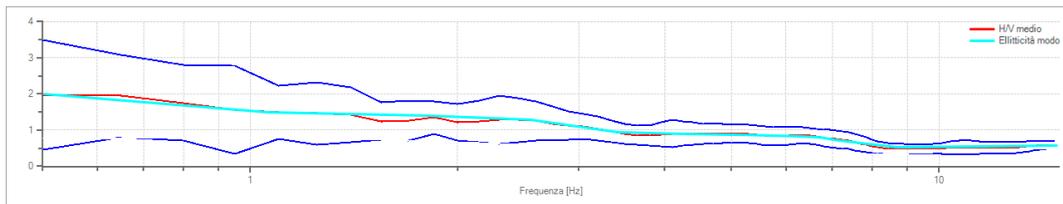
Dati riepilogativi

- Frequenza massima: 15,00 Hz
- Frequenza minima: 0,50 Hz
- Passo frequenze: 0,15 Hz
- Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale
- Percentuale di lisciamento: 10,00%
- Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0,50 Hz ±0,77 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

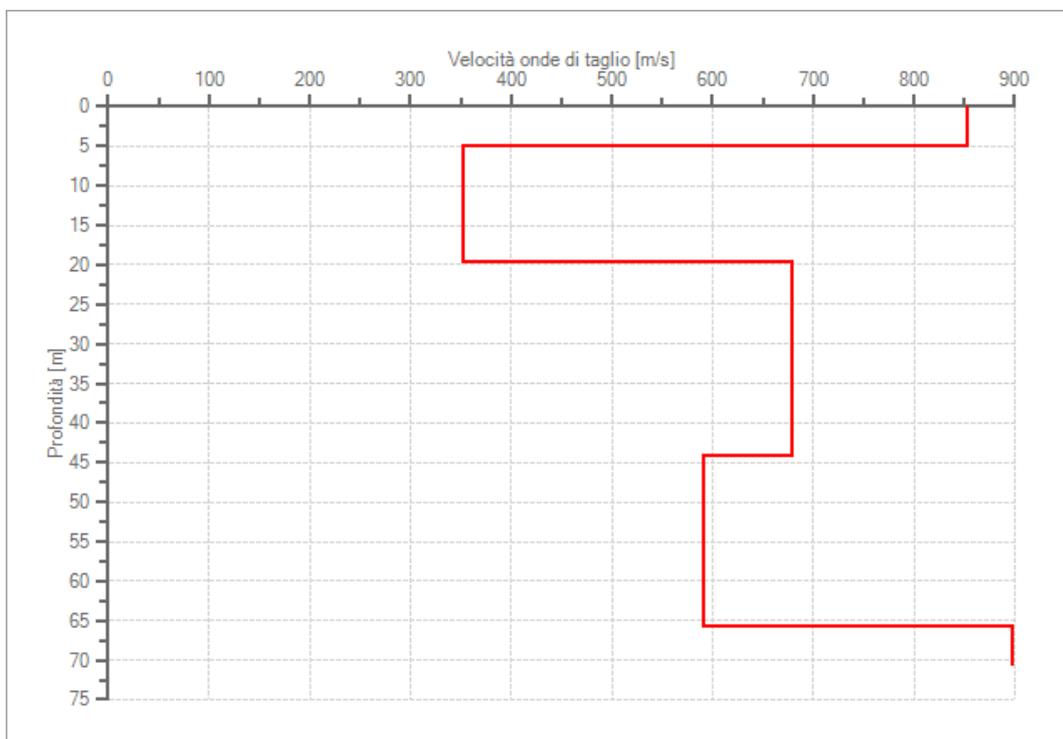
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 5
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 0,95 Hz
 Valore di disadattamento: 0,73

Dati della stratigrafia:

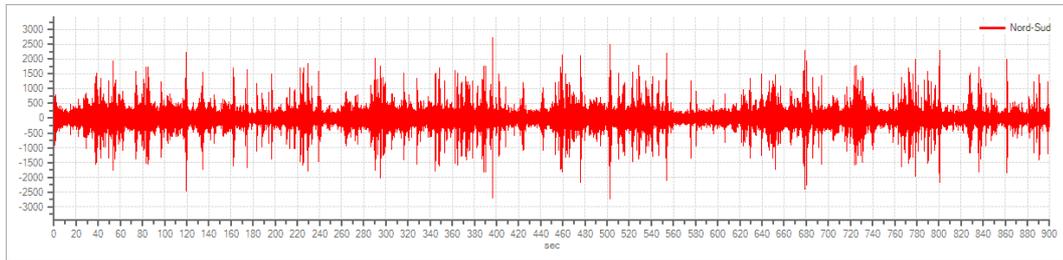
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	4,93	22	0,29	853
2	4,93	14,71	23	0,29	353
3	19,64	24,65	23	0,28	678
4	44,29	21,59	24	0,28	591
5	65,88	5	18	0,3	898



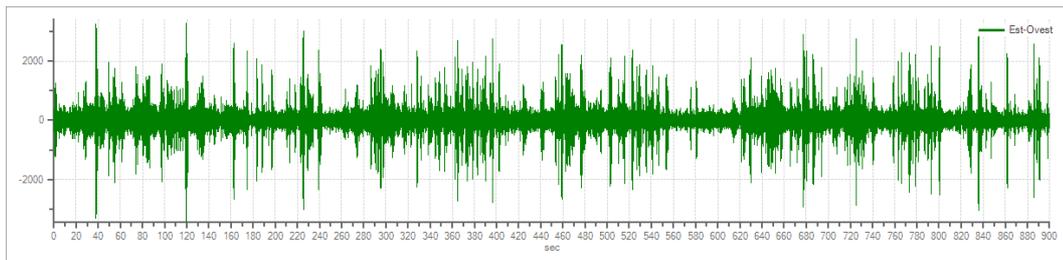
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 10.

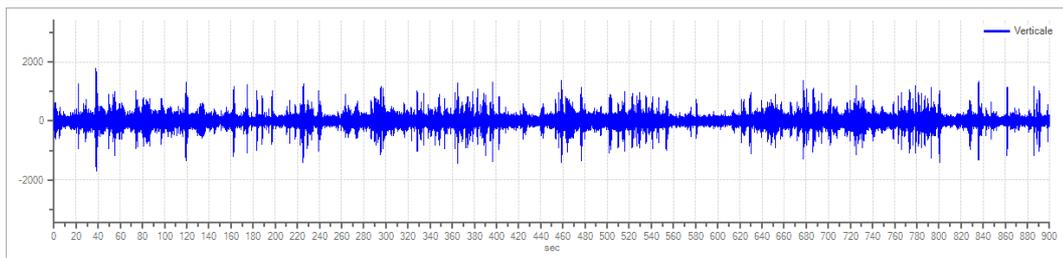
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

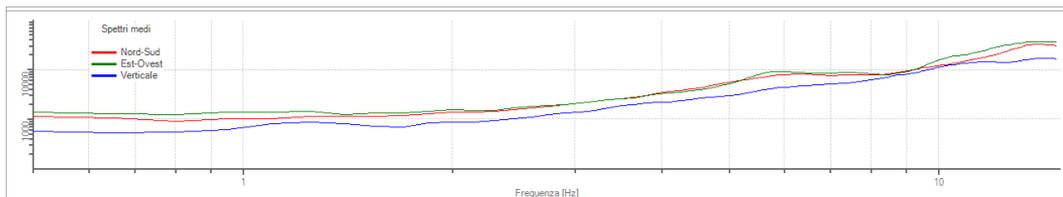


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

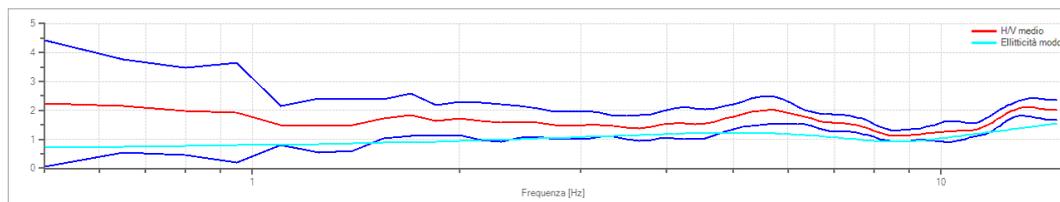
Dati riepilogativi

Frequenza massima:	15,00 Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10,00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0,50 Hz ±0,98 Hz

Gráfico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

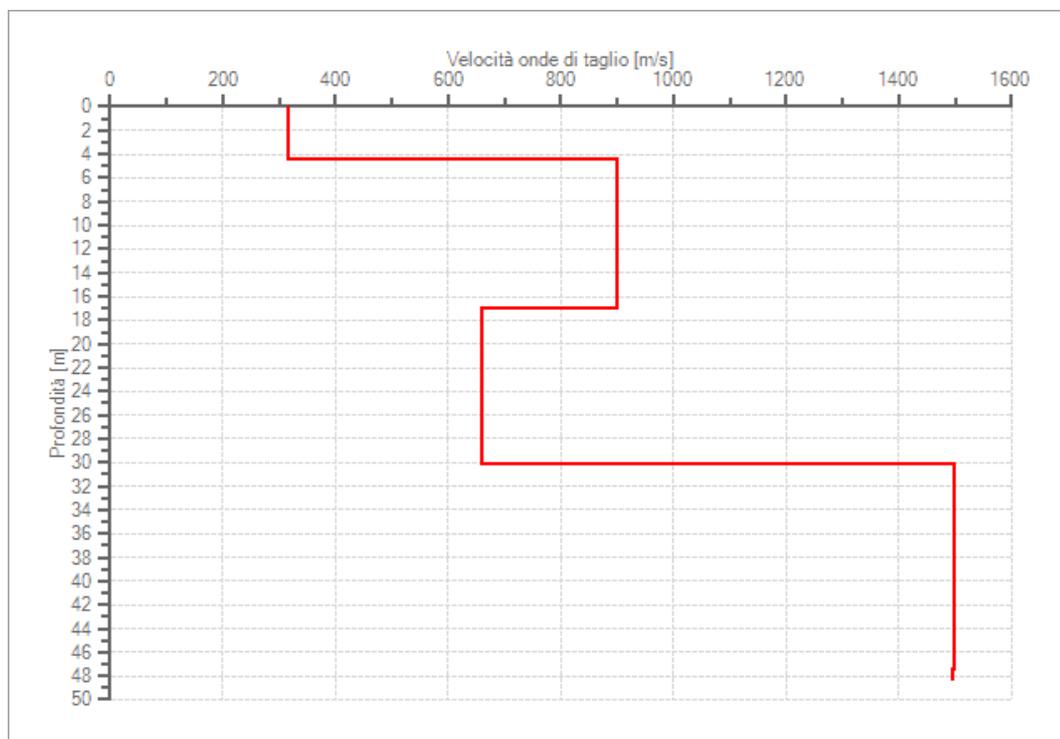
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 5
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 14,75Hz
 Valore di disadattamento: 0,17

Dati della stratigrafia:

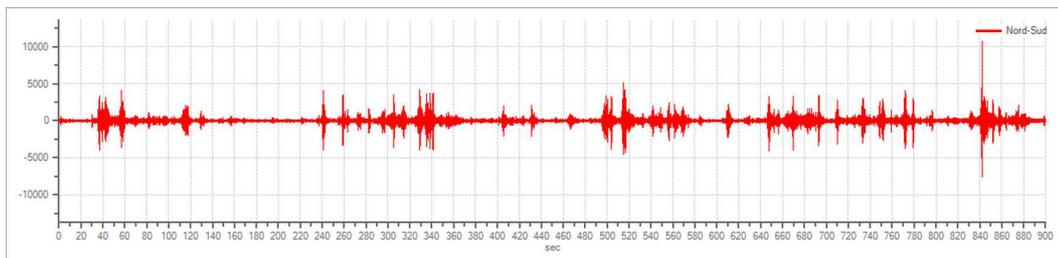
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	4,5	20	0,31	317
2	4,5	12,55	21	0,3	900
3	17,05	13,09	22	0,29	660
4	30,14	17,29	23	0,28	1498
5	47,44	1	24	0,3	1495



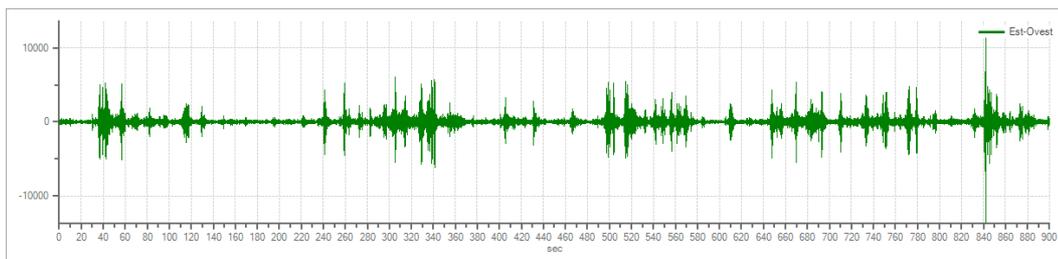
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 11.

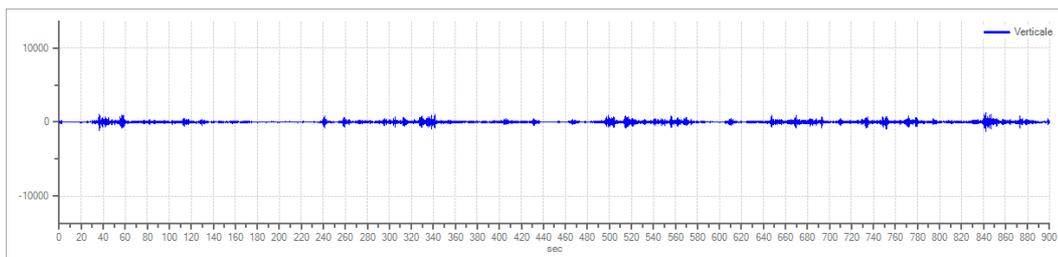
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

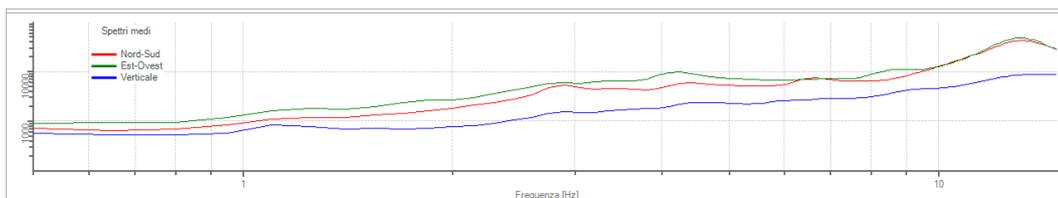


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

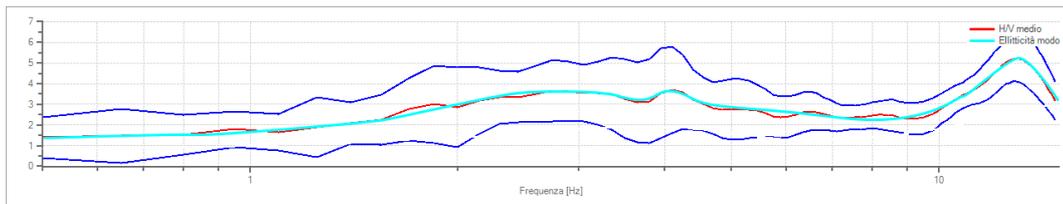
Dati riepilogativi

Frequenza massima:	15,00 Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10,00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 12,95 Hz ±0,22 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

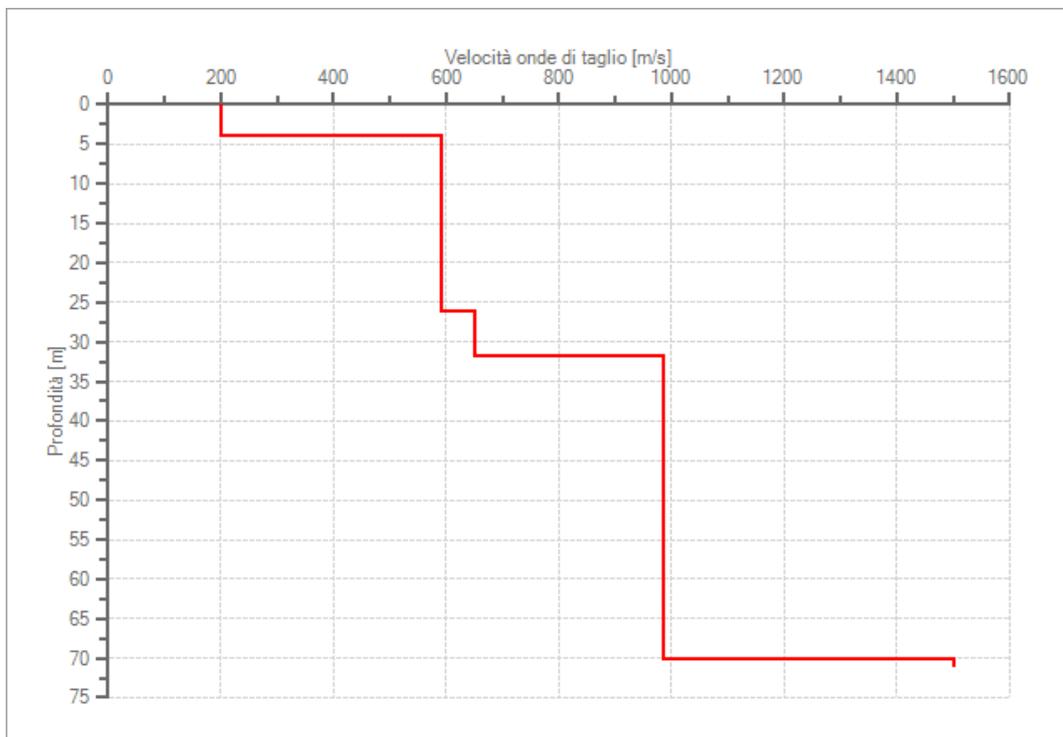
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 5
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 14,75 Hz
 Valore di disadattamento: 0,15

Dati della stratigrafia:

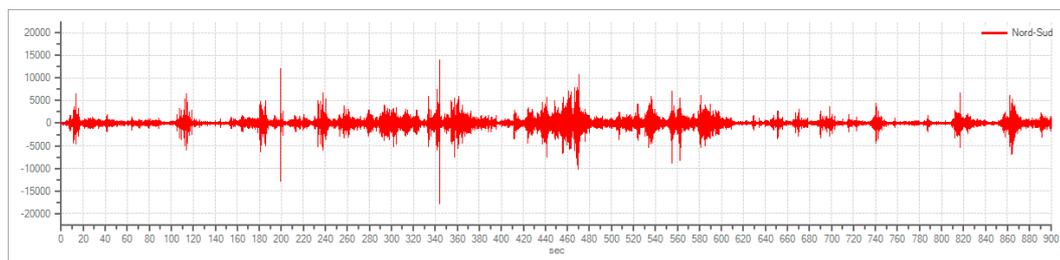
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	4,07	18	0,31	201
2	4,07	22,13	20	0,3	591
3	26,2	5,65	20	0,29	649
4	31,85	38,44	22	0,28	986
5	70,28	1	23	0,28	1500



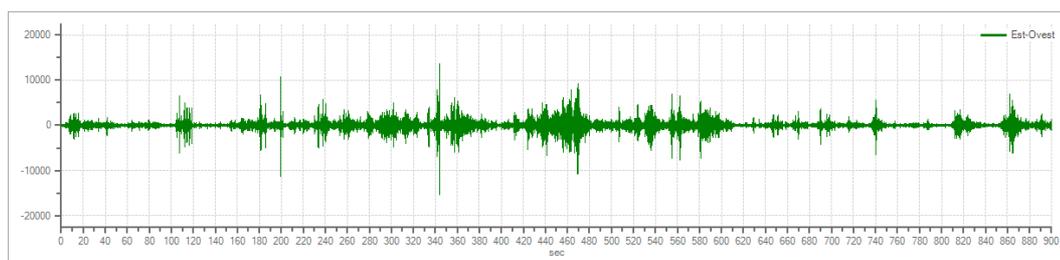
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 12.

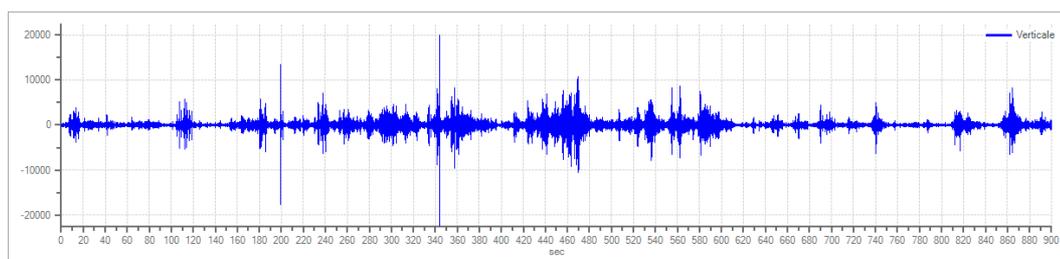
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

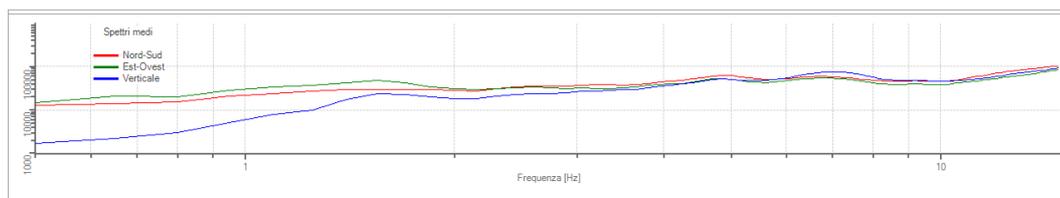


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

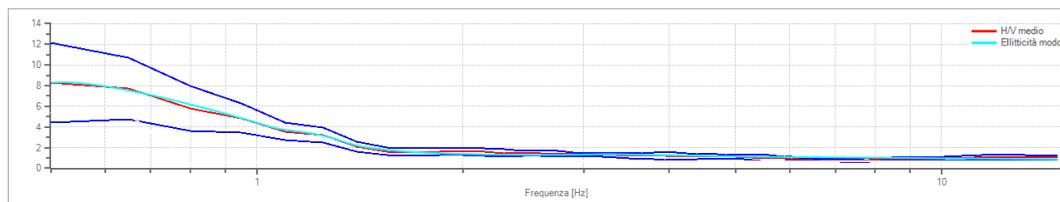
Dati riepilogativi

Frequenza massima:	15,00 Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamento:	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10,00%
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0,50 Hz ±0,47 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

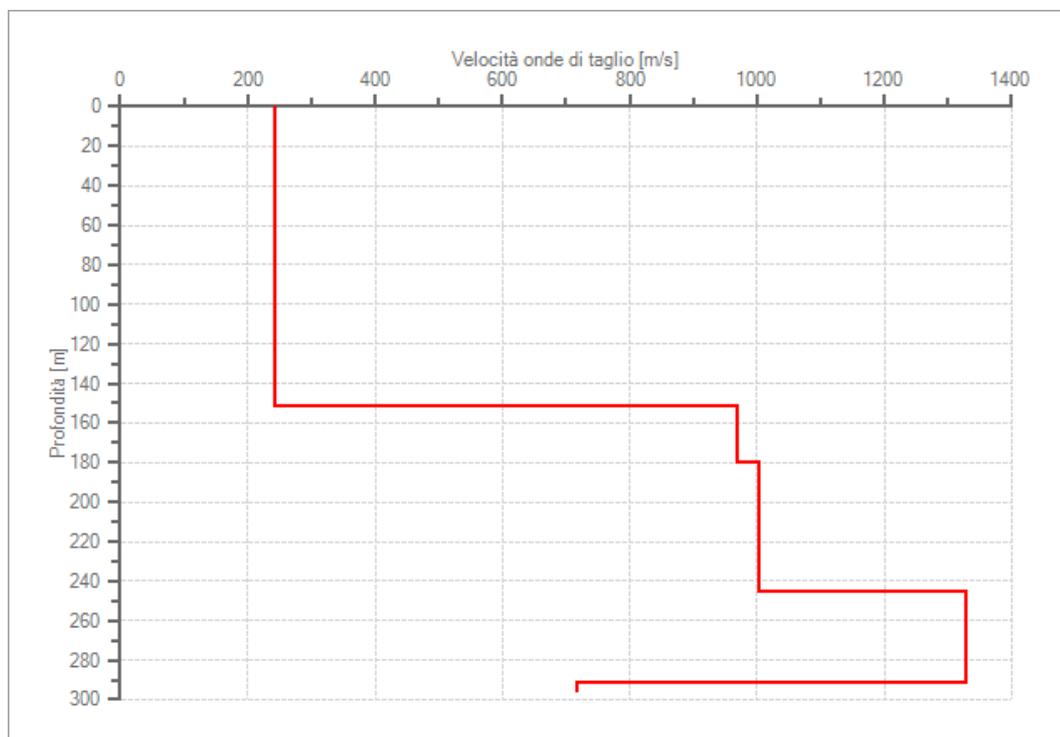
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 5
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 0,50 Hz
 Valore di disadattamento: 0,24

Dati della stratigrafia:

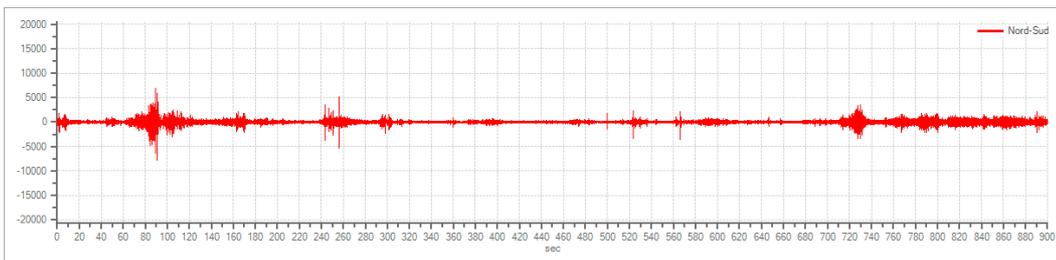
Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	151,95	18	0,31	243
2	151,95	28,18	19	0,3	969
3	180,13	65,55	23	0,28	1003
4	245,68	46,35	23	0,29	1328
5	292,03	5	23	0,29	718



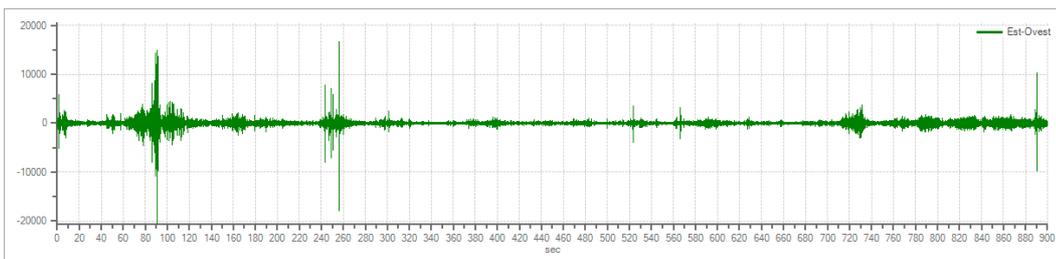
Profilo delle velocità delle onde di taglio.

HVSR 13.

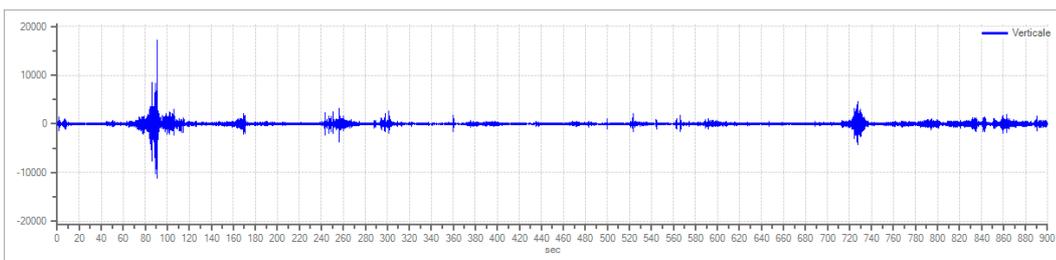
Grafici tracce



Traccia e finestre in direzione Nord – Sud

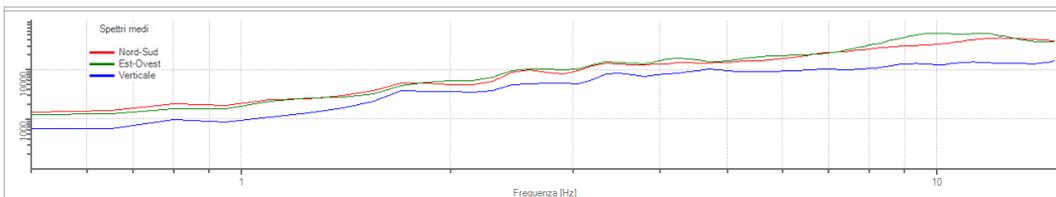


Traccia e finestre in direzione Est – Ovest



Traccia e finestre in direzione Verticale

Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Rapporto spettrale H/V

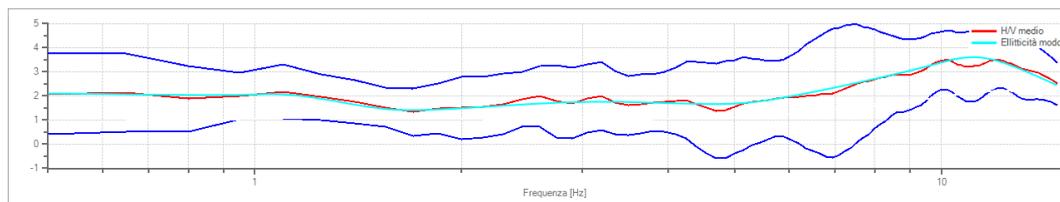
Dati riepilogativi

- Frequenza massima: 15,00 Hz
- Frequenza minima: 0,50 Hz
- Passo frequenze: 0,15 Hz
- Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale
- Percentuale di lisciamento: 10,00%
- Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati

Frequenza del picco del rapporto H/V: 12,05 Hz ±0,34 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

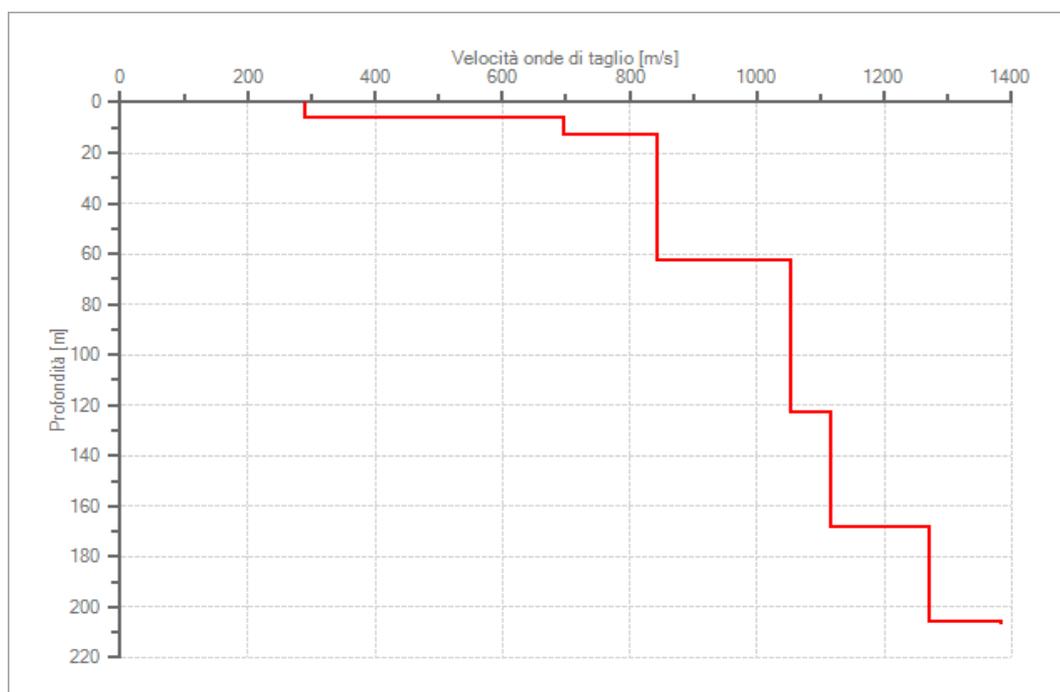
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi

Numero strati: 7
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 12,35Hz
 Valore di disadattamento: 0,10

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità Vol. [kN/m³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	6,22	18	0,31	290
2	6,22	6,68	19	0,3	697
3	12,9	49,77	19	0,3	844
4	62,67	60,28	22	0,29	1052
5	122,95	45,18	22	0,29	1116
6	168,13	37,68	24	0,28	1270
7	205,81	1	24	0,28	1384



Profilo delle velocità delle onde di taglio.