

## S.S. 38 "DELLO STELVIO"

LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI  
"SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200  
NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO

CODICE SIL: NOMSMI01069

### PROGETTO DEFINITIVO

COD. SIL  
NOMSMI01069

#### PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. M. RASIMELLI  
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A632

#### GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. D. BONADIES  
Ing. N. ARCELLI  
Ing. S. PELLEGRINI  
Ing. R. CERQUIGLINI  
Ing. A. POLLI  
Ing. M. MARELLI  
Ing. A. LUCIA

Ing. M. PROCACCI  
Ing. R. CERQUIGLINI  
Ing. M. CARAFFINI  
Ing. R. ALUIGI  
Geom. M. BINAGLIA

#### L'ARCHEOLOGO

Dott. M. MENICHINI  
Elenco Ministero per i Beni Culturali al n° 2160 dal 18 05 2022

#### IL GEOLOGO

Dott. S. PIAZZOLI

#### COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. L. IOVINE

#### RUP

Ing. P. GUALANDI

#### DEC

Ing. E. FIORENZA

#### PROTOCOLLO

DATA:

#### IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



MANDATARIA



PINI GROUP SA

PINI GROUP Srl

MANDANTE

## GEOLOGIA E GEOTECNICA RELAZIONE GEOLOGICA

CODICE PROGETTO

PROGETTO  
M S M I 0 9

LIV. PROG.  
P

N. PROG.  
2 1 0 2

NOME FILE

T00\_GE00\_GEO\_RE01\_D

REVISIONE

PAG.

CODICE ELAB.

T 0 0 G E 0 0 G E O R E 0 1

D

1 di 76

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
D	QUARTA EMISSIONE	MAGGIO 2023	PIAZZOLI	ARCELLI	RASIMELLI
C	TERZA EMISSIONE	GENNAIO 2023	PIAZZOLI	ARCELLI	RASIMELLI
B	SECONDA EMISSIONE	AGOSTO 2022	PIAZZOLI	ARCELLI	RASIMELLI
A	PRIMA EMISSIONE	APRILE 2022	PIAZZOLI	ARCELLI	RASIMELLI

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione Geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 2 di 76</p>
---	--

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA _____</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>NORMATIVA E FONTI UFFICIALI DI RIFERIMENTO _____</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>INDAGINI E STUDI ESEGUITI _____</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE _____</b>	<b>12</b>
<b>5.</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO E TETTONICO- STRUTTURALE _____</b>	<b>14</b>
<b>6.</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO - PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.), PROGETTO I.F.F.I. E PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO (P.G.T.) _____</b>	<b>17</b>
<b>7.</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO _____</b>	<b>32</b>
<b>8.</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO – RISULTATI DELLE INDAGINI _____</b>	<b>34</b>
<b>9.</b>	<b>CARATTERISTICHE SISMICHE DELL'AREA DI STUDIO _____</b>	<b>46</b>
<b>10.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA SECONDO IL D.M. DEL 17.01.2018 _____</b>	<b>57</b>
<b>11.</b>	<b>RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE _____</b>	<b>62</b>
<b>12.</b>	<b>SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE _____</b>	<b>71</b>

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 3 di 76</p>
---	---

## 1. PREMESSA

La presente relazione geologica fa parte della documentazione allegata al Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica "S.S. n. 38 dello Stelvio – Nuovo svincolo a livelli separati 'Sassella' e riqualifica dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei Comuni di Sondrio e Castione Andevenno".

Nello studio illustrato dalla presente relazione sono state affrontate tutte le tematiche di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, geostrutturale e sismico, per il corretto ed esaustivo inquadramento e studio del territorio in cui l'intervento si inserisce, necessarie per lo sviluppo del progetto.

I dati utilizzati per l'esecuzione del lavoro derivano dalle seguenti attività:

- selezione ed esame dei lavori di letteratura disponibili per le aree di studio;
- analisi dei documenti e delle cartografie ufficiali pubblicati dallo Stato e dalle Pubbliche Amministrazioni;
- documentazione delle indagini già eseguite nell'area di progetto e zone limitrofe, relative al Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (anno 2021) e ad altre progettazioni precedenti, fornita da ANAS – Struttura Territoriale Lombardia (anni 2004 e 2009);
- documentazione delle indagine integrative eseguite specificamente per la presente progettazione definitiva (anno 2021);
- esecuzione di una ricognizione geologica, geomorfologica e idrogeologica del territorio lungo il tracciato e di una congrua fascia di territorio circostante;
- misurazioni di falda nei piezometri installati;
- esame dei risultati delle campagne di indagine effettuate, sia allo stato attuale che pregresse, rappresentate da indagini geognostiche, geofisiche e da prove geotecniche in sito e di laboratorio, tutti allegati all'interno di specifici elaborati di progetto.

Per la presente progettazione è stata prevista l'esecuzione di una campagna di indagine geognostica, sismica, geotecnica e ambientale, realizzata nei mesi di settembre e ottobre 2021, realizzata ad integrazione della campagna geognostica, geotecnica, sismica e ambientale eseguita precedentemente, nei mesi di aprile e maggio 2021.

Precedentemente alle suddette indagini, nell'area di progetto erano state realizzate altre campagne di indagini geognostiche e geotecniche a supporto di altre progettazioni, nel corso degli anni 2004 e 2009.

<b>ANAS S.p.A.</b> <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b> Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno <b>Relazione geologica</b>	File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 4 di 76
--	---

I risultati di tutte le indagini, sia attuali che pregresse, vengono allegati al presente progetto in un apposito elaborato.

Nella seguente tabella sono elencati tutti gli elaborati geologici e geotecnici redatti nel presente progetto.

DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOTECNICHE								
T	0	0	GE	0	0	GEO RE 0 2 A	Risultati indagini geognostiche, geotecniche, geofisiche e sulle terre e rocce da scavo	--
GEOLOGIA E GEOTECNICA								
T	0	0	GE	0	0	GEO RE 0 1 A	Relazione Geologica	--
T	0	0	GE	0	0	GEO CG 0 1 A	Carta geologica e geomorfologica con ubicazione indagini geognostiche	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO CG 0 2 A	Carta PAI - IFFI	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO CI 0 1 A	Carta idrogeologica	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO FG 0 1 A	Profilo geologico	1:1.000/1:100
T	0	0	GE	0	0	GET RE 0 1 A	Relazione Geotecnica	--
T	0	0	GE	0	0	GET FG 0 1 A	Profilo geotecnico	1:1.000/1:100
SISMICA								
T	0	0	SG	0	0	STR RE 0 1 A	Relazione Sismica	--
GESTIONE DELLE MATERIE								
T	0	0	CA	0	0	CAN RE 0 1 A	Relazione sulla gestione delle materie	--

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 5 di 76</p>
---	--

## 2.     **NORMATIVA E FONTI UFFICIALI DI RIFERIMENTO**

Lo studio geologico e i relativi elaborati, compresa la presente relazione, sono stati redatti in osservanza alle seguenti normative tecniche e pianificazioni di carattere nazionale e territoriale:

- *D.M. 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."*
- *Circ. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 "Legge 2 febbraio 1974, art. 1 – D.M. 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione".*
- *Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n. 3274, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i. (O.P.C.M. 3316/2003)".*
- *Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, n. 3519, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone".*
- *Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, "Aggiornamento delle 'Norme tecniche per le costruzioni'".*
- *Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".*
- *Decreto Legislativo 19 aprile 2016, n. 50, "Codice dei contratti pubblici".*
- *D. P. R. 05/10/2010, n. 207 (articoli ancora in vigore).*
- *PGT (Piano di Governo del Territorio) dei Comuni di Sondrio e Castione-Andevenno.*
- *PAI (Piano Assetto Idrogeologico) del Fiume Po.*
- *Progetto IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia – SINAnet – ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Sito web).*
- *DISS Database of Individual Seismogenic Sources, version 3 su Google Earth) – INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Sito web).*

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 6 di 76</p>
---	---

- *DBMI15 Database Macrosismico Italiano 2015 – INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Sito web).*
- *Classificazione sismica al 2015 – Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio rischio sismico e vulcanico (Sito web).*
- *Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale - INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Sito web).*
- *Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale - INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Sito web).*

Inoltre sono state consultate e utilizzate le seguenti cartografie geologiche ufficiali:

- *Carta Geologica d'Italia, Foglio 7-18 "Pizzo Bernina-Sondrio", scala 1:100.000, ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale-Servizio Geologico d'Italia.*
- *Carta Geologica d'Italia, Foglio 056 "Sondrio", scala 1:50.000, ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale-Servizio Geologico d'Italia.*

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 7 di 76</p>
---	---

### 3. INDAGINI E STUDI ESEGUITI

Nel corso dell'anno 2021 sono state eseguite le indagini geognostiche, geotecniche, sismiche e ambientali per il "Nuovo svincolo a livelli separati 'Sassella' e riqualifica dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei Comuni di Sondrio e Castione Andevenno" della S.S. n. 38 "dello Stelvio": nei mesi di aprile e maggio 2021 quelle a supporto del PFTE, nei mesi di settembre e ottobre 2021 quelle a supporto del progetto definitivo.

In precedenza erano state eseguite indagini geognostiche e geotecniche nell'area di progetto e in quelle limitrofe: nel 2004, a valle della strada e della ferrovia, quelle a supporto del "Progetto definitivo per la realizzazione del nuovo tracciato della S.S. 38 dallo svincolo di Tartano (escluso) allo svincolo di Sondrio (compreso) corrispondente al Lotto 2"; nel 2009, nell'area di progetto, quelle eseguite per il progetto "Riduzione attraversamenti a raso sulla S.S. 38 dello Stelvio tra il km 34+250 .....nei comuni di Berbenno, Castione e Sondrio".

Di seguito si elencano, in sintesi, le indagini eseguite, rimandando all'esame dei documenti allegati al progetto per il dettaglio dei risultati.

- INDAGINI PER IL PROGETTO DEFINITIVO "S.S. N. 38 'DELLO STELVIO' - NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SEPARATI 'SASSELLA' E RIQUALIFICA DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO" – Settembre-Ottobre 2021

- *INDAGINI GEOGNOSTICHE*

Sondaggi geognostici e prove

- n. 1 sondaggi a carotaggio spinto fino alla profondità di 30m (S1CDH);
- n. 2 sondaggi a carotaggio spinti fino alla profondità di 15m (S3CPZ, S4C);
- n. 1 sondaggio a distruzione di nucleo spinto fino alla profondità di 15m (S2DPZ).

Nei sondaggi sono stati effettuati complessivamente i seguenti prelievi:

- n. 13 campioni rimaneggiati;
- n. 3 campioni lapidei;
- n. 2 campioni indisturbati;
- n. 9 campioni ambientali di terre e rocce da scavo per caratterizzazione;
- n. 1 campione composito di terre e rocce da scavo per determinazione del codice CER;
- n. 1 campione composito di terre per determinazione dell'aggressività al CLS;
- n. 1 campione di acqua di falda per caratterizzazione;
- n. 1 campione di acqua di falda per determinazione dell'aggressività al CLS.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 8 di 76</p>
---	---

Nei sondaggi sono state eseguite complessivamente le seguenti prove:

- n. 13 prove di penetrazione dinamica SPT (Standard Penetration Test);
- n. 1 prova sismica in foro tipo Down-Hole (D-H).

Nei sondaggi sono stati installati:

- n. 2 piezometri a tubo aperto;
- n. 1 piezometro Casagrande.

#### Pozzetti geognostici

- n. 10 pozzetti geognostici, spinti fino alla profondità di 2m.

Nei pozzetti sono stati effettuati complessivamente i seguenti prelievi:

- n.5 campioni rimaneggiati;
- n. 2 campioni ambientali di terre e rocce da scavo per caratterizzazione;
- n. 2 campioni compositi di terre e rocce da scavo per determinazione del codice CER;
- n. 2 campioni compositi di terre per determinazione dell'aggressività al CLS.

Nei pozzetti sono state eseguite complessivamente le seguenti prove:

- n. 5 prove di carico su piastra.

#### Prove penetrometriche dinamiche DPSH

- n. 1 prova di profondità 1m (DP1);
- n. 1 prova di profondità 9,8m (DP3);
- n. 2 prove di profondità 15m (DP2, DP4).

- *INDAGINI GEOFISICHE*

- n. 2 prove sismiche MASW.

- *PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO*

- n. 3 determinazioni del peso di volume;
- n. 5 determinazioni del peso specifico;
- n. 3 determinazioni dell'umidità naturale;
- n. 10 granulometrie per setacciatura e sedimentazione;
- n. 11 determinazioni dei limiti liquido e plastico;
- n. 2 prove di taglio diretto (TD);
- n. 1 prova ELL;
- n. 1 prova edometrica;
- n. 3 determinazioni della massa volumica reale e apparente per rocce;

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 9 di 76</p>
---	---

- n. 3 determinazioni della porosità totale e aperta per rocce;
- n. 3 determinazioni della resistenza a compressione monoassiale per rocce.

➤ INDAGINI PER IL PROGETTO DI FATTIBILITA' "S.S. N. 38 'DELLO STELVIO' - NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SEPARATI 'SASSELLA' E RIQUALIFICA DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO" – Aprile-Maggio 2021

- *INDAGINI GEOGNOSTICHE*

Sondaggi geognostici e prove

- n. 1 sondaggi a carotaggio spinto fino alla profondità di 30m (S2);  
Nel sondaggio sono state eseguite complessivamente le seguenti prove:
- n. 10 prove di penetrazione dinamica SPT (Standard Penetration Test);  
Nel sondaggio sono stati effettuati complessivamente i seguenti prelievi:
- n. 1 campione indisturbato
- n. 2 campioni rimaneggiati;
- n. 1 campione ambientale di terre e rocce da scavo.

Nel sondaggio è stato installato:

- n. 1 piezometro a tubo aperto.

Pozzetti geognostici

- n. 2 pozzetti geognostici, spinti fino alla profondità massima di 1,3m.  
Nei pozzetti sono state eseguite complessivamente le seguenti prove:
- n. 2 prove di carico su piastra.

- *INDAGINI GEOFISICHE*

- n. 1 prove sismiche MASW.

- *PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO*

- n. 2 granulometrie per setacciatura e sedimentazione;
- n. 1 prova di taglio diretto (TD).

➤ INDAGINI PER IL "PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 10 di 76</p>
---	--

TRACCIATO DELLA S.S. 38 DALLO SVINCOLO DI TARTANO (ESCLUSO) ALLO SVINCOLO DI SONDRIO (COMPRESO) CORRISPONDENTE AL LOTTO 2" – 2004

• *INDAGINI GEOGNOSTICHE*

Sondaggi geognostici e prove

- n. 1 sondaggi a carotaggio spinto fino alla profondità di 25m (S17);

Nel sondaggio sono state eseguite complessivamente le seguenti prove:

- n. 7 prove di penetrazione dinamica SPT (Standard Penetration Test).

Prove penetrometriche dinamiche DPSH

- n. 1 prova di profondità 9m (PP5);

- n. 1 prova di profondità 3,6m (PP6);

- n. 1 prova di profondità 9,6m (PP7);

- n. 1 prova di profondità 5,1m (PP8).

*N.B.: delle indagini e prove suddette non è stata fornita ai Progettisti la relativa documentazione tecnica. Tutti i dati riguardanti le suddette indagini e prove riportati nella presente relazione geologica sono stati tratti dai seguenti documenti del progetto di fattibilità tecnica ed economica "S.S. n. 38 'dello Stelvio' - Nuovo svincolo a livelli separati 'Sassella' e riqualifica dalla pk 34+200 alla pk 35+300 nei Comuni di Sondrio e Castione Andevenno":*

*- Studio e indagini – Documenti specialistici – Relazione geologica e geomorfologica – Risultati indagine geognostica (N° elaborato 209);*

*- Profilo Geologico-Geotecnico di previsione (N° elaborato 203).*

- INDAGINI PER IL PROGETTO "RIDUZIONE ATTRAVERSAMENTI A RASO SULLA S.S. 38 DELLO STELVIO TRA IL KM 34+250 .....NEI COMUNI DI BERBENNO, CASTIONE E SONDRIO".

• *INDAGINI GEOGNOSTICHE*

Prove penetrometriche dinamiche DPSH

- n. 2 prove di profondità 8,1m (SCPT1, SCPT2);

*N.B.: delle indagini e prove suddette non è stata fornita ai Progettisti la relativa documentazione tecnica. Tutti i dati riguardanti le suddette indagini e prove riportati nella presente relazione geologica sono stati tratti dai seguenti documenti del progetto di fattibilità tecnica ed economica*

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 11 di 76</p>
---	---

*"S.S. n. 38 'dello Stelvio' - Nuovo svincolo a livelli separati 'Sassella' e riqualifica dalla pk 34+200 alla pk 35+300 nei Comuni di Sondrio e Castione Andevenno":*

- *Studio e indagini – Documenti specialistici – Relazione geologica e geomorfologica – Risultati indagine geognostica (N° elaborato 209);*
- *Profilo Geologico-Geotecnico di previsione (N° elaborato 203).*

Nello studio eseguito per la presente progettazione sono state effettuate, inoltre, le seguenti attività di ricerca, studio e analisi che hanno affiancato l'esecuzione delle indagini prima illustrate.

**Raccolta documentazione preliminare.** Sono stati raccolti i dati e i documenti cartografici di base, per avere un inquadramento dell'area di studio sotto i vari aspetti: lito-stratigrafico, tettonico-strutturale, idrogeologico, geomorfologico (in particolare individuazione aree a rischio idraulico e di frana), sismico, all'interno dei portali dei seguenti Enti e Servizi Nazionali e Territoriali: Servizio Geologico d'Italia-ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, DPCN – Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, Autorità di Bacino del Fiume Po, Regione Lombardia, Comuni di Sondrio e Castione-Andevenno.

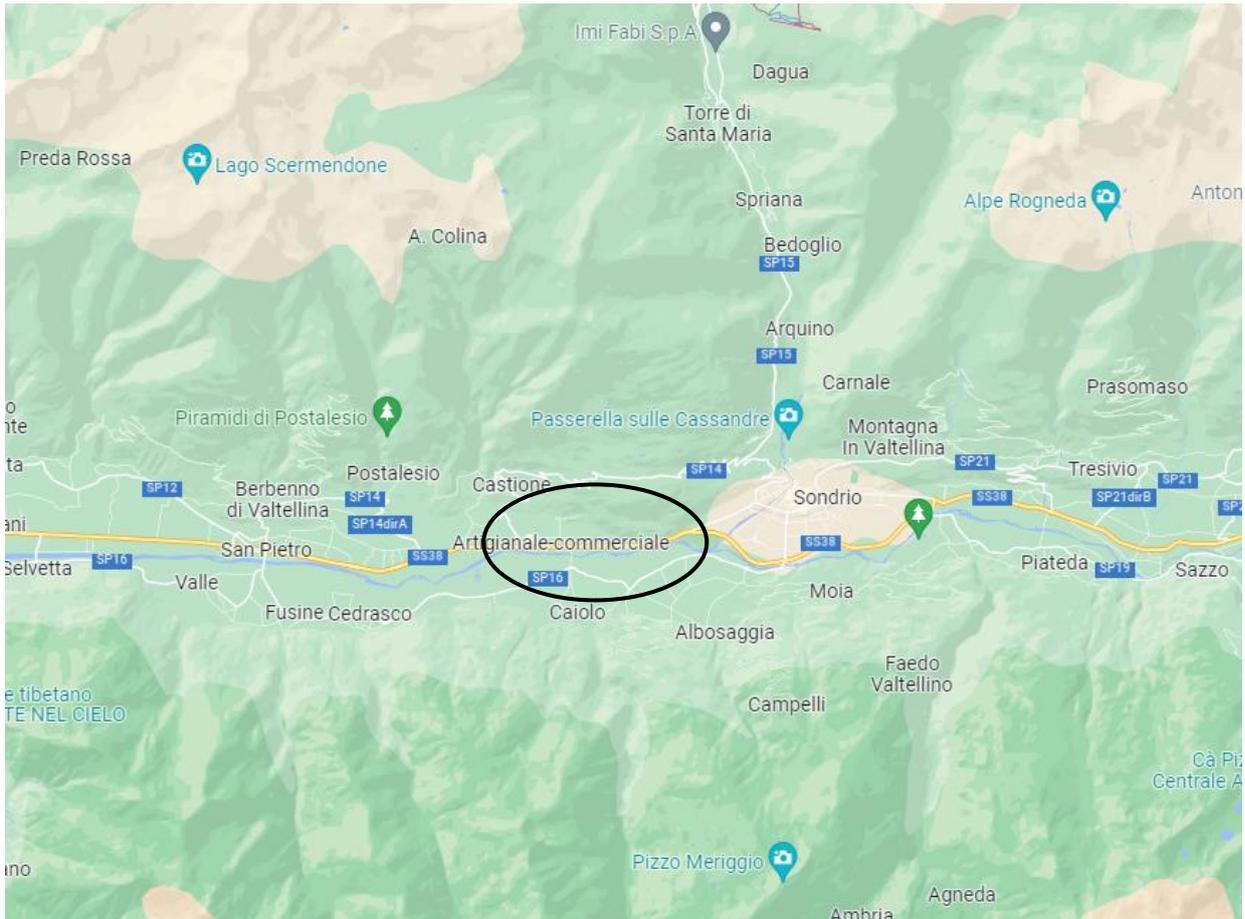
**Rilevamento geologico, geomorfologico e idrogeologico.** E' stata eseguita una ricognizione geologica, geomorfologica e idrogeologica dei territori attraversati dal tracciato di progetto e le zone contermini. Questo lavoro ha consentito di realizzare per le aree di progetto una Carta Geologica - Geomorfologica con riportati i dissesti "PAI"., e una Carta Idrogeologica.

**Ricerca di cave, discariche e impianti di trattamento per inerti.** Il lavoro ha compreso anche la ricognizione e ricerca delle attività estrattive e di recupero e trattamento o discarica di inerti, con riferimento alle pianificazioni territoriali e alle ricerche di mercato. Questa attività è stata finalizzata in particolare alla redazione della Relazione sul piano di gestione delle materie.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno  <b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 12 di 76</p>
---	---

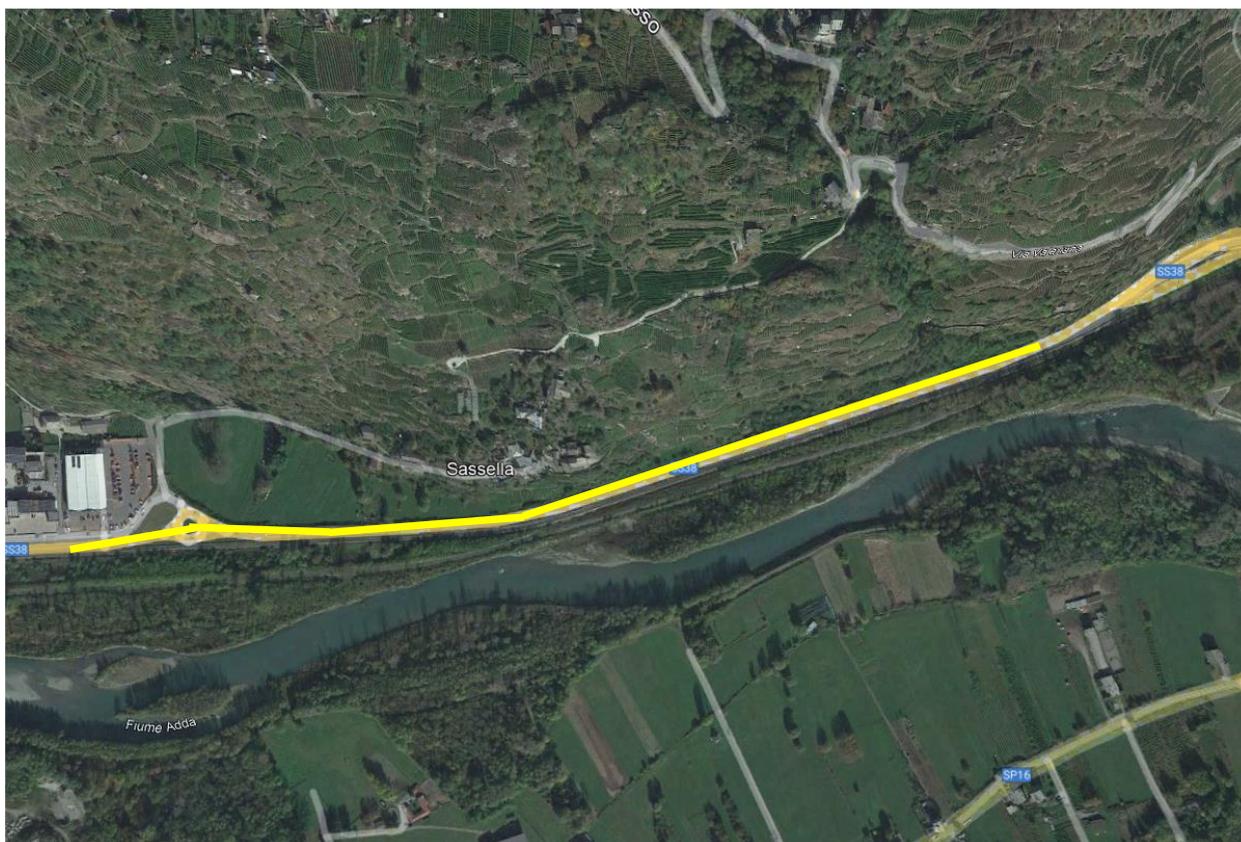
#### 4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE

L'area oggetto di studio è posta poco ad ovest della città di Sondrio, lungo il tracciato della S.S. N° 38 "dello Stelvio" (Fig. 4.1).



*Fig. 4.1 – Mappa di inquadramento dell'area di studio.*

Scendendo nel dettaglio il tratto di S.S. n. 38 interessato dall'intervento è compreso tra le progressive 34+150 e 35+200 e comprende lo svincolo "Sassella" (Fig. 4.2).



*Fig. 4.2 – Mappa di inquadramento dell'area di studio con indicazione schematica del tratto interessato dal progetto.*

Le opere di progetto ricadono quasi integralmente nel Comune di Sondrio, con solo l'estremità occidentale ricadente per circa 60 m nel Comune di Castione Andevenno.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 14 di 76</p>
---	---

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO E TETTONICO- STRUTTURALE

Il territorio oggetto di studio, inquadrato nella precedente Fig. 4.1 e nella successiva Fig. 5.1, è compreso nel Foglio 056 "Sondrio" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

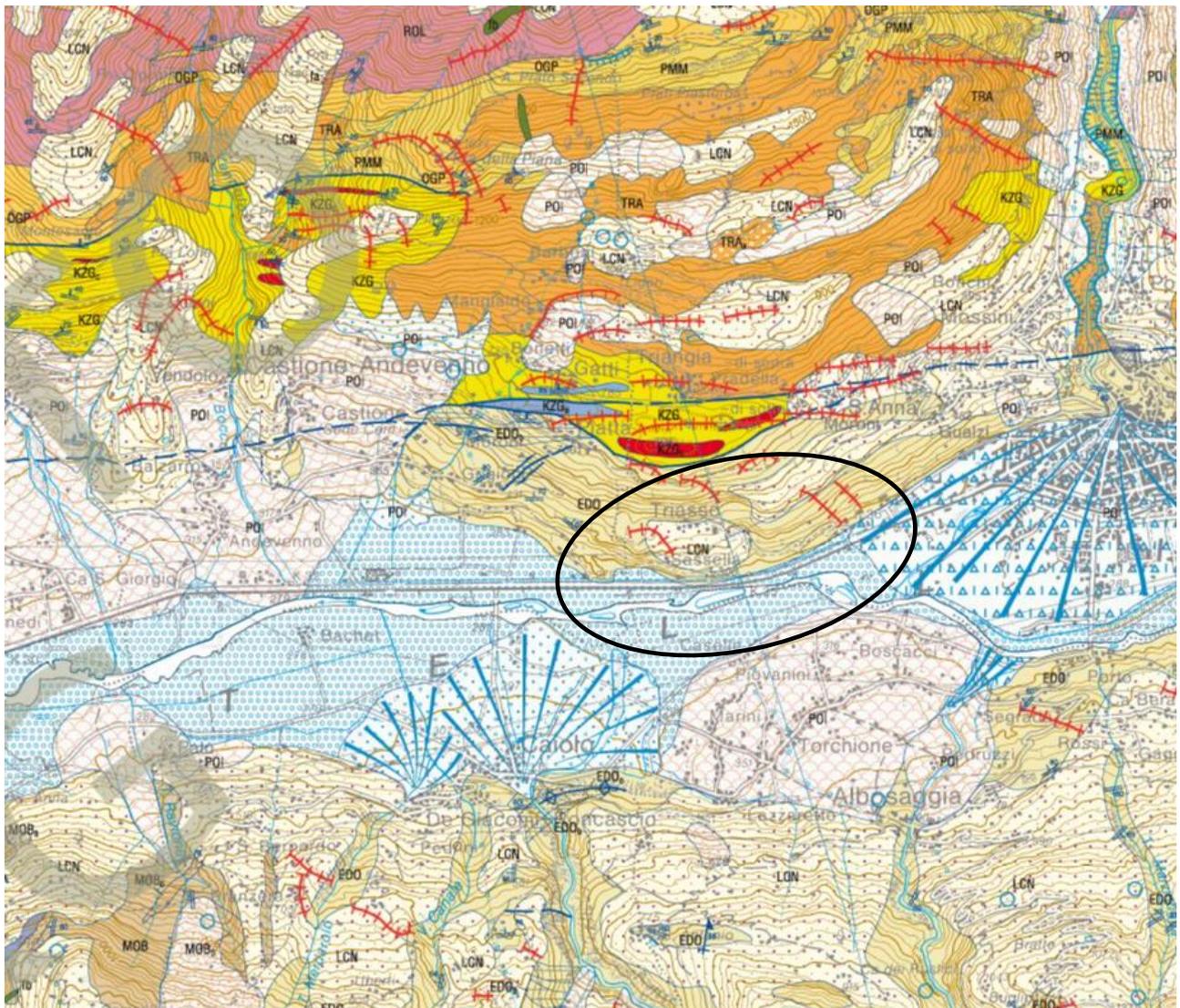


Fig. 5.1 – Inquadramento dell'area di studio sullo stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 056 "Sondrio"

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 15 di 76</p>
---	---

L'area è dominata da un fondamentale lineamento tettonico, rappresentato dalla "Linea Insubrica", la cui traccia percorre in senso W-E il territorio poco a nord dell'area di progetto (Figg. 5.1 e 5.2). La Linea Insubrica separa il Dominio Strutturale dell'Australpino, a nord, dal Dominio Strutturale delle Alpi Meridionali (o Sudalpino), a sud. L'area di progetto ricade, quindi, nel Dominio Strutturale delle Alpi Meridionali e, in particolare, nell'Unità Orobica.

Osservando lo stralcio della carta geologica di Fig. 5.1 e del profilo geologico di Fig. 5.2, si osserva come nell'area di studio, sia in destra che in sinistra idrografica del Fiume Adda, il substrato sia rappresentato dall'Unità degli Scisti di Edolo (EDO), di età presumibilmente cambriana, appartenente al basamento metamorfico delle Alpi Meridionali. L'unità è costituita da micascisti muscovitici a granato e staurolite, in facies delle anfiboliti, con metamorfismo retrogrado, che conferisce spesso alla roccia un colore grigio-verdastro. Sono frequenti lenti di quarzo, appiattite e piegate e intercalazioni di orizzonti milonitici di colore da verde scuro a nerastro.

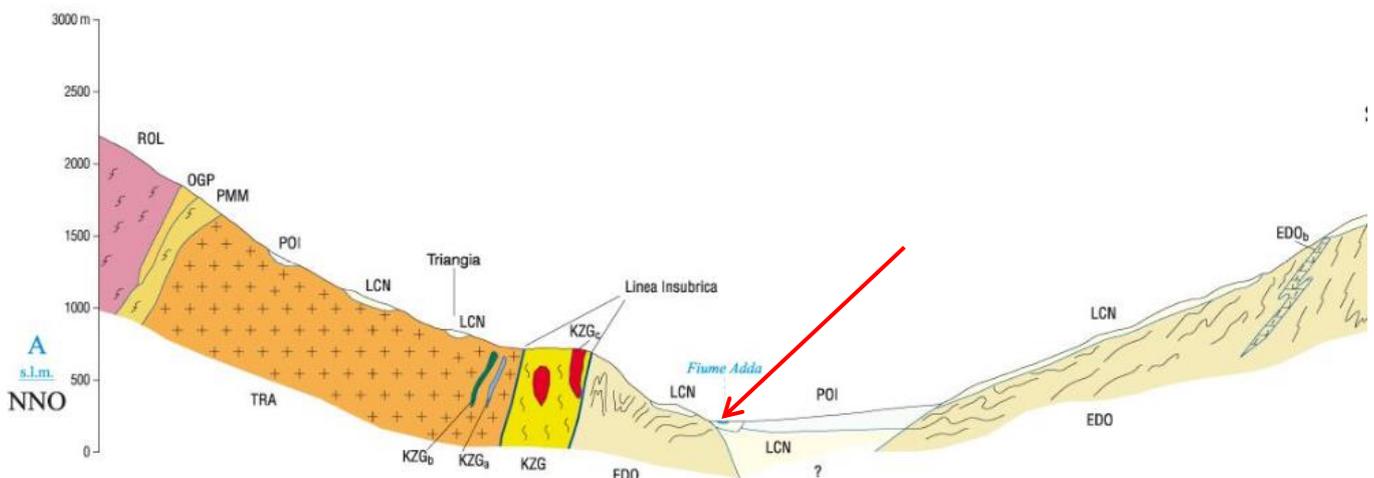


Fig. 5.2 – Stralcio della sezione A – A' della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 056 "Sondrio", passante per l'area di progetto (intersezione con la strada indicata con freccia)

Le opere di progetto si sviluppano lungo il tracciato della S.S. N° 38, quindi al margine della valle del Fiume Adda, presso il piede del versante in destra idrografica. Lungo il versante il substrato è ricoperto a tratti dai terreni dell'Unità dei Bacini dell'Adda e dell'Oglio, Supersintema dei Laghi, Sintema di Cantù (LCN). Questa formazione è costituita da diamicton massivi con clasti e blocchi (till di ablazione). Si tratta di diamicton massivi a supporto di matrice sovraconsolidata, con clasti spesso striati e sagomati a ferro da stiro, del Pleistocene Superiore.

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p style="text-align: center;"><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 16 di 76</p>
---	--

Questa formazione dovrebbe essere presente anche nel fondovalle, al di sotto dei depositi alluvionali recenti (Fig. 5.2). Nel fondovalle, percorso dalla viabilità di progetto, sono presenti i Depositi continentali neogenico-quadernari - Unità non distinte in base al bacino di appartenenza, Sintema del Po (Unità Postglaciale) (POI) del Pleistocene Sup. - Olocene. Nell'area di fondovalle si tratta di depositi alluvionali costituiti da ghiaie massive o stratificate, in matrice sabbiosa, con clasti arrotondati, ciottoli embricati e laminazione incrociata.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 17 di 76</p>
---	--

## **6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO - PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.), PROGETTO I.F.F.I. E PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO (P.G.T.)**

Il territorio di studio si sviluppa nella pianura alluvionale del Fiume Adda, lungo la riva destra e a breve distanza dal piede dei rilievi che bordano la pianura, poco ad ovest della città di Sondrio. Il tratto della S.S. N° 38, interessato dall'intervento, ha inizio presso la rotatoria al confine tra i comuni di Castione Andevenno e Sondrio, ad una quota di circa 281 m s.l.m., presso la zona artigianale-commerciale. Poco dopo l'inizio dell'intervento l'asse principale entra in variante verso monte e si sviluppa con le nuove opere del cavalcavia, della rotatoria e degli altri assi viari connessi quali la realizzazione della strada F1 Extraurbana e della strada loc. Sassella e dei nuovi rami di entrata e uscita per la S.S. N° 38 collegati alla nuova rotatoria (rampe "A", "B", "C", "D"). L'area in cui sono previste le opere suddette, fino alla progr. 0+600 circa, è ubicata a monte dell'attuale tracciato della strada statale ed è pianeggiante con quote comprese tra 279 e 281 m s.l.m.. Superata l'area dello svincolo il tracciato dell'asse principale torna in sede fino al termine dell'intervento, con una sezione più ampia resa possibile dall'allargamento sul lato monte, terminando alla quota di circa 284 m s.l.m., più alta rispetto al piano campagna naturale di circa 2 m a monte e 1 m a valle.

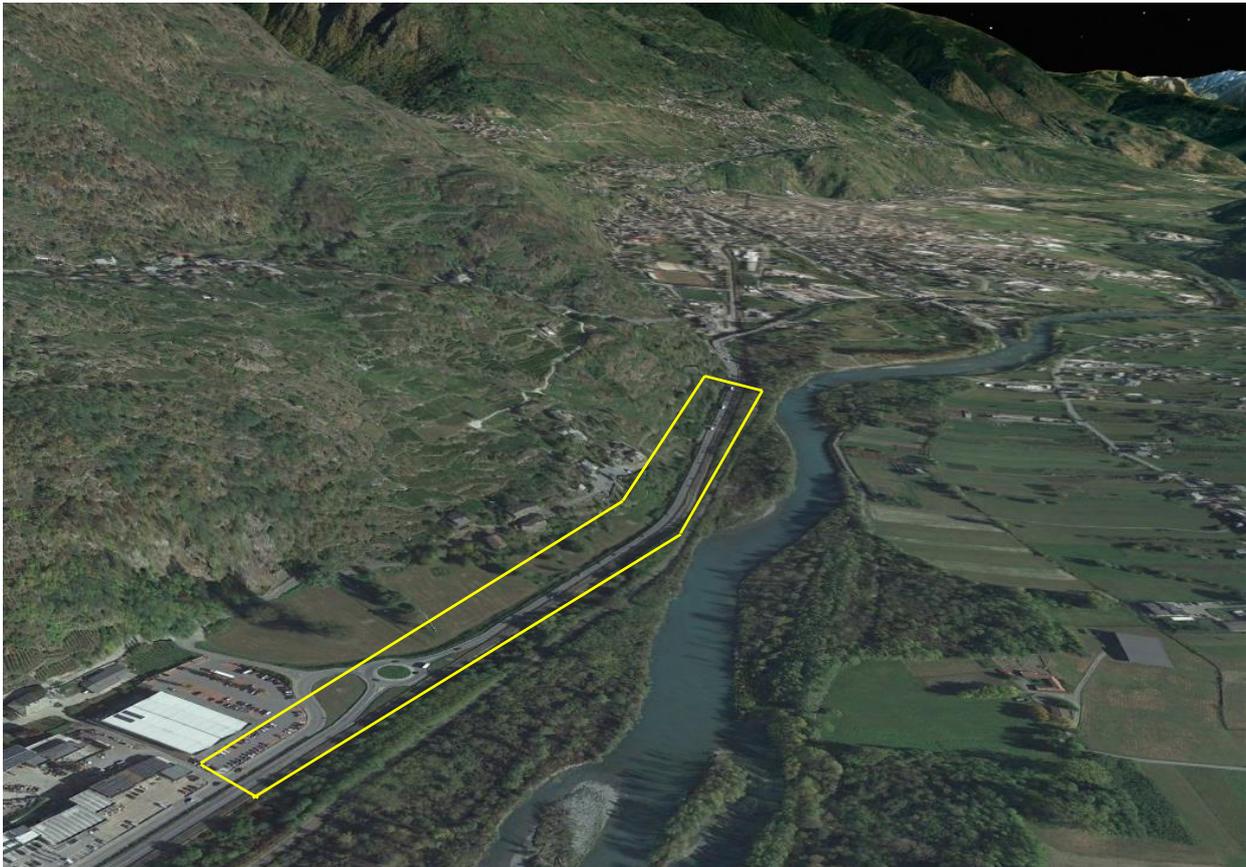
Per il presente progetto è stato eseguito uno studio geomorfologico del territorio attraversato dalle nuove opere e dei territori limitrofi, attraverso rilievi di campagna ed esame di foto aeree. Questo ha consentito il riconoscimento di processi e forme che sono stati rappresentati nella carta geomorfologica.

I lineamenti geomorfologici del territorio di studio dipendono dalle caratteristiche litologiche/granulometriche, geotecniche e strutturali delle formazioni presenti e rappresentano il risultato dell'evoluzione tettonica dell'area.

Il territorio interessato dai tracciati di progetto si sviluppa fundamentalmente tutto in pianura (Fig. 6.1) ma è possibile suddividerlo in due settori principali, che si

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 18 di 76</p>
---	---

differenziano per il rapporto tra la pianura stessa e i rilievi circostanti posti in destra idrografica



*Fig.6.1 – Panoramica dell'area di progetto (vista da W verso E).*

La prima parte delle opere di progetto, sostanzialmente ospitante gran parte del nuovo svincolo (dall'inizio alla progr. 0+340 circa), occupa una porzione della pianura abbastanza ampia tra il fiume e i rilievi al contorno, tuttavia limitata in quanto la larghezza massima a monte della strada attuale supera di poco i 100 m (Fig. 6.2).

La seconda parte del tracciato insiste su uno stretto corridoio pianeggiante compreso tra la linea ferroviaria e il piede del versante cosicchè le opere di progetto distano da quest'ultimo fino a un massimo di circa 20 m (Fig. 6.3).



*Fig.6.2 – Panoramica della parte iniziale dell'area di progetto dove avrà sede lo svincolo.*



*Fig.6.3 – Tratto di fondovalle chiuso fra la strada e il versante.*

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 20 di 76</p>
---	--

Per le sue caratteristiche geomorfologiche il territorio strettamente interessato dalle opere è immune da problematiche di tipo gravitativo, presentandosi quindi stabile. Tuttavia lo stesso territorio, per quanto descritto precedentemente, è compreso tra due importanti elementi geomorfologici, che risultano immediatamente limitrofi al tracciato stradale: il versante presente immediatamente a monte di buona parte del tracciato e il Fiume Adda presente poco a valle dello stesso.

Il versante è impostato nella formazione degli Scisti di Edolo con locali coperture dei terreni del Sintema di Cantù, costituiti da diamicton massivi con clasti e blocchi. Il versante presenta caratteristici terrazzamenti artificiali realizzati per la coltivazione prevalente della vite, dove la pendenza è più sostenuta; la pendenza del versante è variabile ma generalmente elevata nelle aree con affioramento degli Scisti di Edolo, sensibilmente inferiore nelle aree in cui sono presenti le coperture. A ridosso del tracciato stradale il versante è impostato integralmente negli Scisti di Edolo: su di esso si misurano pendenze generali che superano localmente i 40°, mentre in corrispondenza delle alzate dei terrazzi artificiali possono superare anche i 70°. A ridosso o a breve distanza dal tracciato stradale, inoltre, sono presenti numerosi settori in cui affiora la formazione di base in corrispondenza di pareti in roccia, che si presentano localmente prossime o pari alla verticale. I maggiori affioramenti sono presenti al margine della pianura nella zona dello svincolo, sulla scarpata sottostante l'abitato di Sassella (progr. 0+420-0+540 circa), a valle della chiesa di Sassella (progr. 0+600 circa), tra le progr. 0+660-0+740 (Fig. 6.4) e 0+800-0+840 e presso il termine dell'intervento (dalla progr. 1+000 circa al termine, progr. 1+045).

La roccia posta sulle pareti in prossimità del tracciato di progetto, spesso con pendenza subverticale, si presenta interessata sia da scistosità che da fessurazione localmente molto densa. In queste condizioni di pendenza della scarpata e frammentazione dell'ammasso roccioso sono possibili locali crolli o ribaltamenti di frammenti o blocchi di roccia. Attualmente non si registrano fenomeni gravitativi attivi di significativa rilevanza sul versante ma si osservano distacchi di modesti volumi di roccia dalle suddette pareti ad opera degli agenti atmosferici.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 21 di 76</p>
---	---

0



*Fig.6.4 – Affioramento degli Scisti di Edolo a breve distanza dalle opere di progetto .*

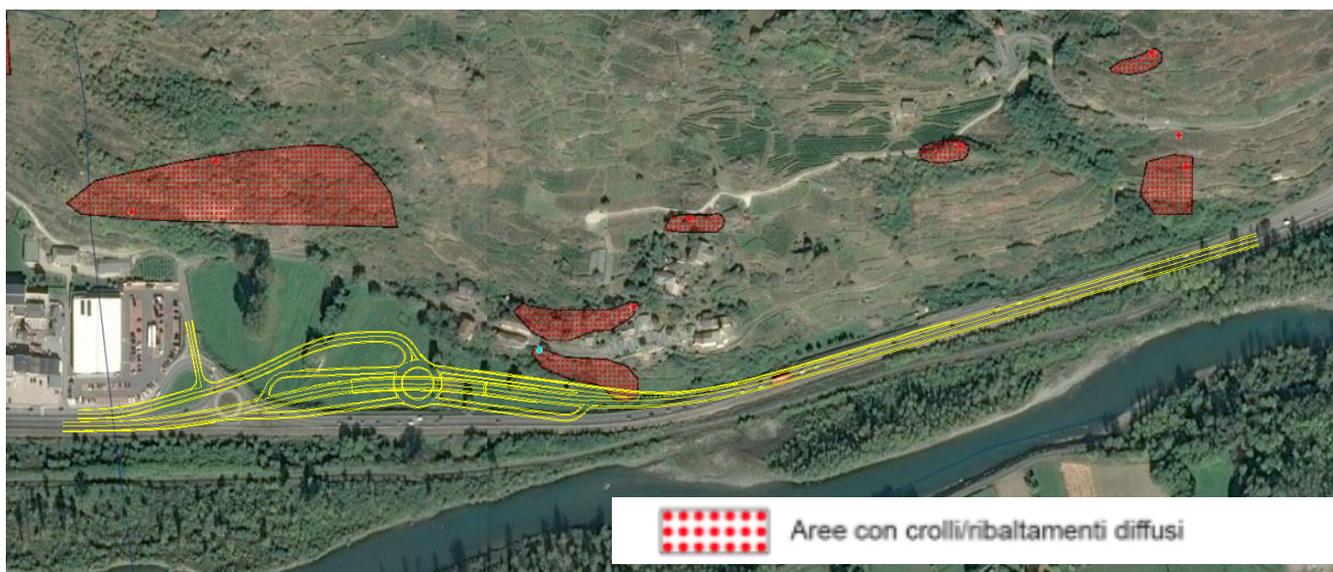
Per quanto riguarda il limitrofo Fiume Adda, la sponda del letto di magra di questo è posta ad una quota variabile tra 280 m s.l.m. all'estremità di monte e 277 m s.l.m. all'estremità di valle; la quota della strada è, di conseguenza, più alta rispetto alla sponda suddetta di circa 4 m. Il letto di magra del fiume ha un andamento con leggera sinuosità che lo porta a distanze variabili dal corridoio percorso dalla linea ferroviaria e dalla S.S. n° 38, fra 30 m e 110 m circa: lo spazio compreso è occupato dal fondovalle a morfologia pianeggiante e suborizzontale. All'interno della pianura è presente un argine con sommità a quota di 282-283 m s.l.m..

Prosegue la trattazione tenendo conto di quanto riportato nel PAI, nel progetto IFFI e nel PGT dei Comuni di Sondrio e Castione Andevenno, come di seguito illustrato.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 22 di 76</p>
---	---

➤ Progetto IFFI

Di seguito si riporta lo stralcio della carta del progetto IFFI (Fig. 6.5)



*Fig.6.5 – Stralcio della carta del progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia) con indicazione dei tracciati stradali di progetto.*

Nell'area di studio sono presenti aree con crolli/ribaltamenti diffusi sul versante, delle quali una intercetta con la sua propaggine di valle l'inizio della rampa di svincolo "C" tra le progr. 0+480 e 0+520 a cvalle dell'abitato di Sassella (Fig. 6.5).

Da un esame dell'area, coadiuvato dall'esame di foto aeree, si ritiene che la propaggine dell'area in dissesto interagente con il tracciato possa rappresentare l'espandimento verso valle del fenomeno, quindi la sua zona di accumulo, caratterizzata da modestissima pendenza; si ritiene un fenomeno di età molto antica e senza segni di attività allo stato attuale (Fig. 6.6).

Un'altra di queste aree è posta a monte del tracciato stradale, presso il termine, tra le progr. 0+980 e 1+020 circa. Attualmente si osservano estesi affioramenti dell'unità lapidea degli Scisti di Edolo in corrispondenza di quest'area, con volumi di roccia localmente verticali (Fig. 6.7). Quest'area, considerando l'ulteriore avvicinamento ad essa della strada di progetto, dovrà essere adeguatamente monitorata nel tempo.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 23 di 76</p>
---	--



*Fig.6.6 – Area a monte della strada attuale interessata dal nuovo tracciato che attraversa per un breve tratto della rampa "C" l'area con crolli/ribaltamenti diffusi riportata nel progetto IFFI.*



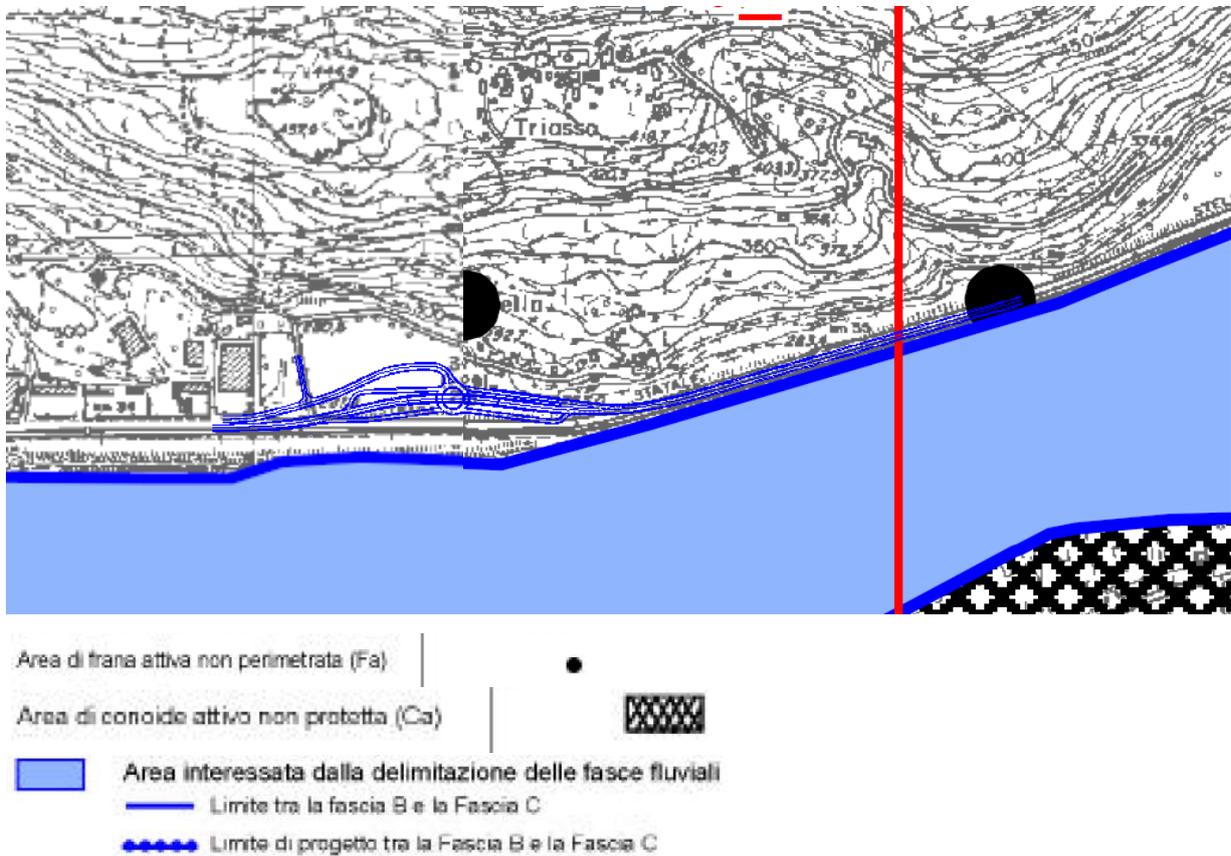
*Fig.6.7 – Area a monte della strada attuale interessata da crolli/ribaltamenti diffusi riportata nel progetto IFFI.*

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 24 di 76</p>
---	---

➤ PAI – Autorità di Bacino del Fiume Po

Per quanto riguarda l'autorità di Bacino del Fiume Po si considerano l'"Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici – Delimitazione delle aree in dissesto", l'"Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici – Perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato" e le "Tavole di delimitazione delle fasce fluviali".

Nelle seguenti figure 6.8, 6.9 e 6.10 sono riportati stralci della tavole di interesse.

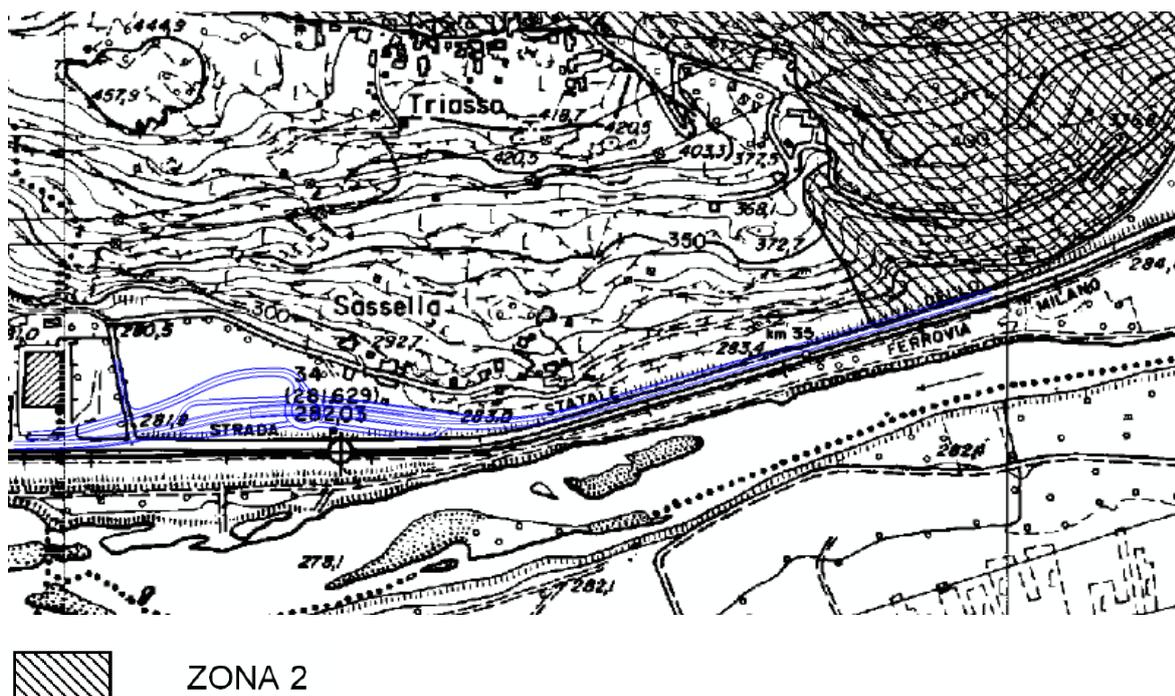


*Fig.6.8 – Stralcio dell'"Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici – Delimitazione delle aree in dissesto" – Foglio 056-Sez. I-Sondrio e Foglio 056-Sez. IV-Buglio in Monte, scala 1:25.000, f.s. (PAI – Autorità di Bacino del Fiume Po).*

Nella carta precedente sono riportate n. 2 frane attive non perimetrata, di cui una di queste interagirebbe apparentemente con il tracciato della S.S. N° 38 presso il termine dell'intervento.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 25 di 76</p>
---	---

Le opere di progetto inoltre sono poste al di fuori dell'area interessata dalla delimitazione delle fasce fluviali.



*Fig.6.9 – Stralcio dell' "Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici – Perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato", Allegato 4.1– Foglio 056-I-125-LO-SO, scala 1:10.000, f.s. (PAI – Autorità di Bacino del Fiume Po).*

Nella carta su riportata, nel tratto terminale della strada (oltre la progr. 0+920) il tracciato di progetto è posto a contatto della terminazione a valle della Zona 2 a rischio idrogeologico molto elevato. Questo settore, in cui tra l'altro ricade anche l'area di frana attiva non perimetrata della carta con delimitazione delle aree in dissesto (Fig. 6.8) e l'area con crolli/ribaltamenti diffusi del progetto IFFI (Fig. 6.7), è caratterizzato a monte della strada da una parete di roccia sub-verticale dell'altezza di circa 20 m che giunge fino alla soprastante Strada Antica per poi proseguire anche a monte. La parete rocciosa ricade in una profonda rientranza del piede del versante che prosegue verso monte in una profonda incisione come mostrato dalle carte precedenti. Tale classificazione conferma la necessità di monitorare nel tempo il versante a monte di questo tratto.

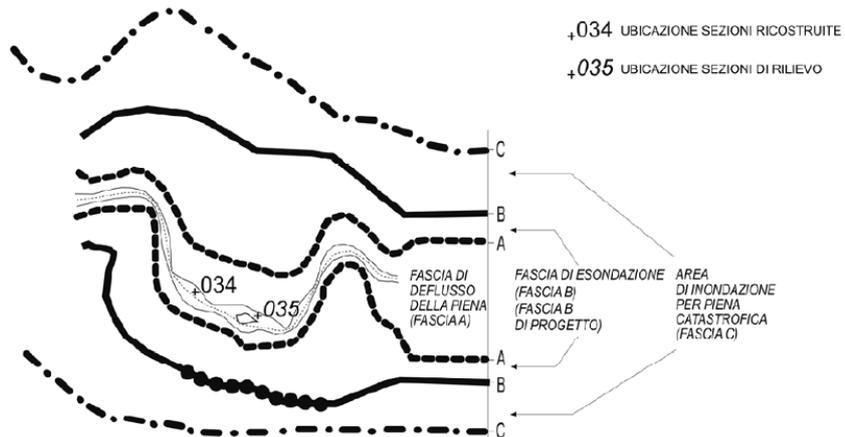
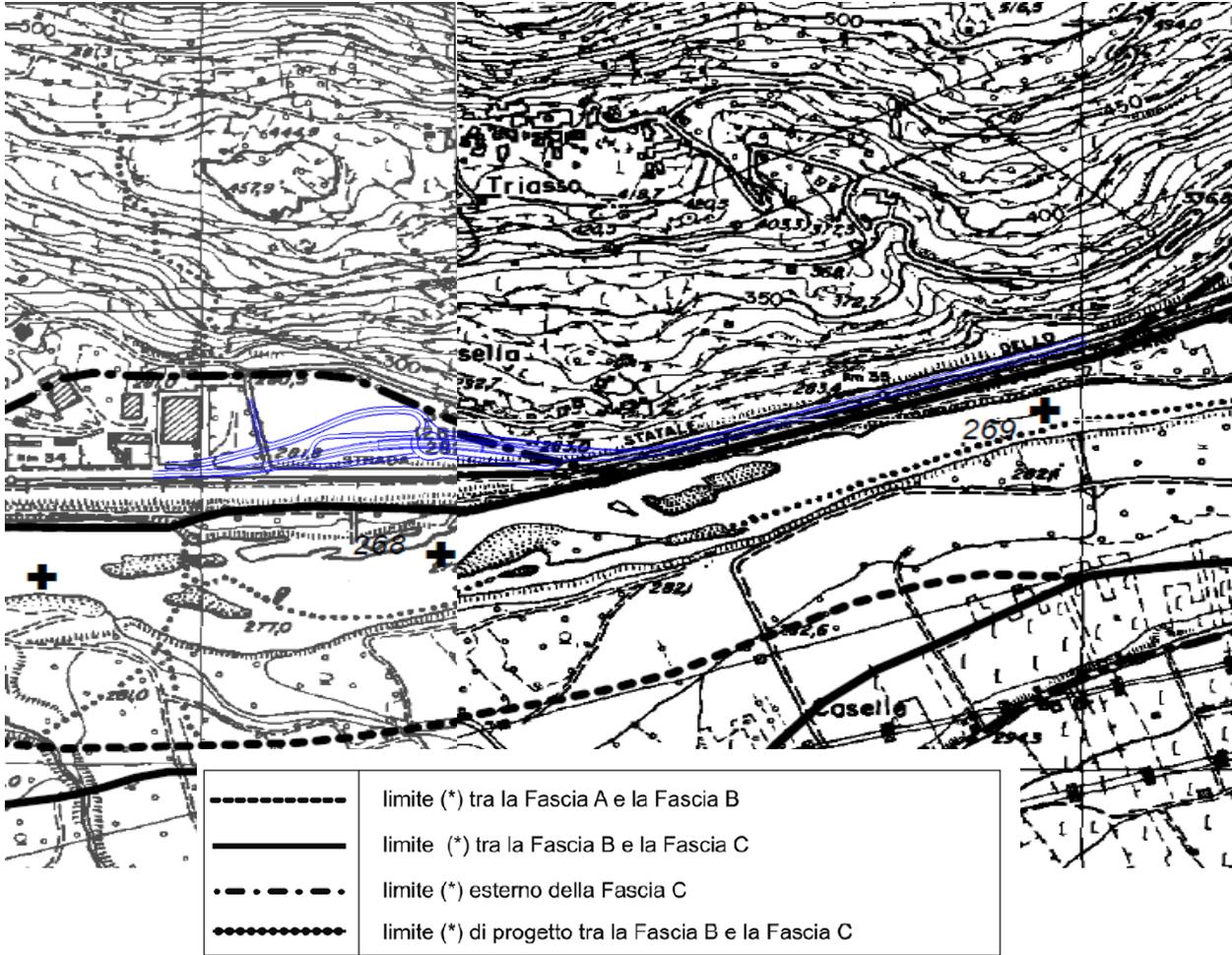


Fig.6.10 – Stralcio delle "Tavole di delimitazione delle fasce fluviali" Fogli 056020 Adda 16-I e 056030 Adda 17-IV, scala 1:10.000, f.s. (PAI – Autorità di Bacino del Fiume Po).

In base alla carta sopra riportata l'area dello svincolo, comprese quasi integralmente le rampe B e C, ricadono nella fascia C (area di inondazione per piena catastrofica), mentre il resto del tracciato ricade al di fuori delle fasce fluviali.

➤ PGT – Comune di Sondrio

Per il Comune di Sondrio si analizza il Piano di Governo del Territorio (P.G.T.), Componente Geologia, Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano, Tavole CG7 Quadro A e CG7 Quadro B (Figg. 6.11 e 6.12).

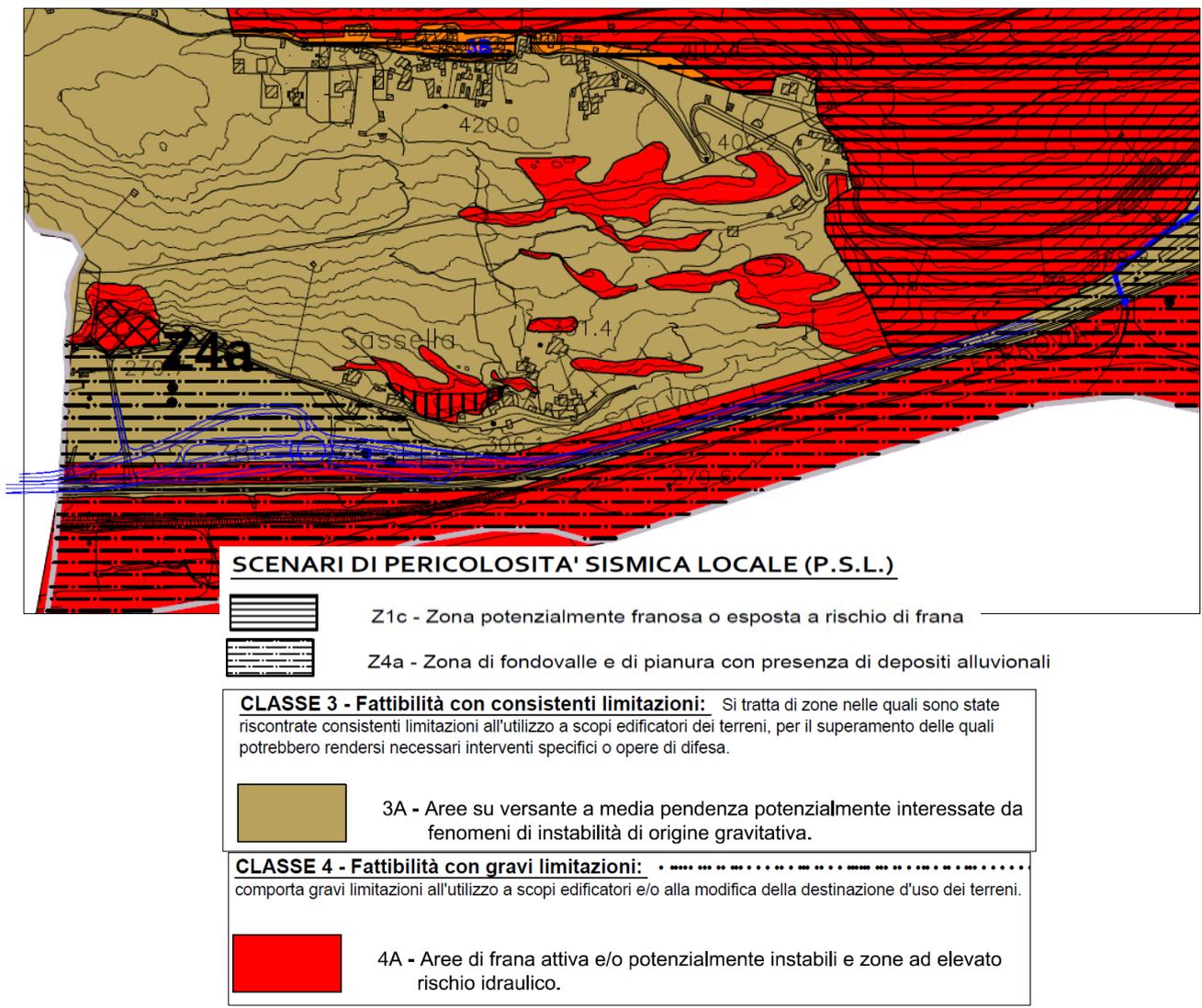
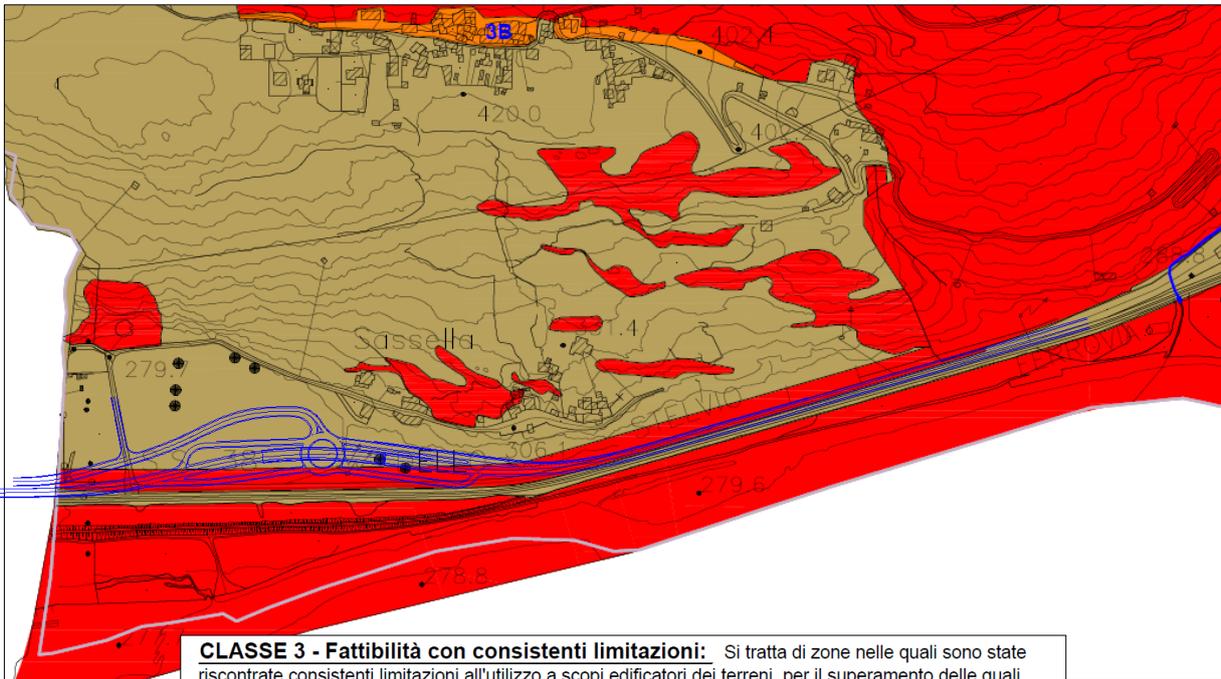


Fig.6.11 – Stralcio della "Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano" Tavola CG7 Quadro A, scala 1:10.000, f.s. (PGT – Componente Geologia, Comune di Sondrio).



**CLASSE 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni:** Si tratta di zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori dei terreni, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

 3A - Aree su versante a media pendenza potenzialmente interessate da fenomeni di instabilità di origine gravitativa.

**CLASSE 4 - Fattibilità con gravi limitazioni:** comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso dei terreni.

 4A - Aree di frana attiva e/o potenzialmente instabili e zone ad elevato rischio idraulico.

Fig.6.12 – Stralcio della “Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano” Tavola CG7 Quadro B, scala 1:5.000, f.s. (PGT – Componente Geologia, Comune di Sondrio).

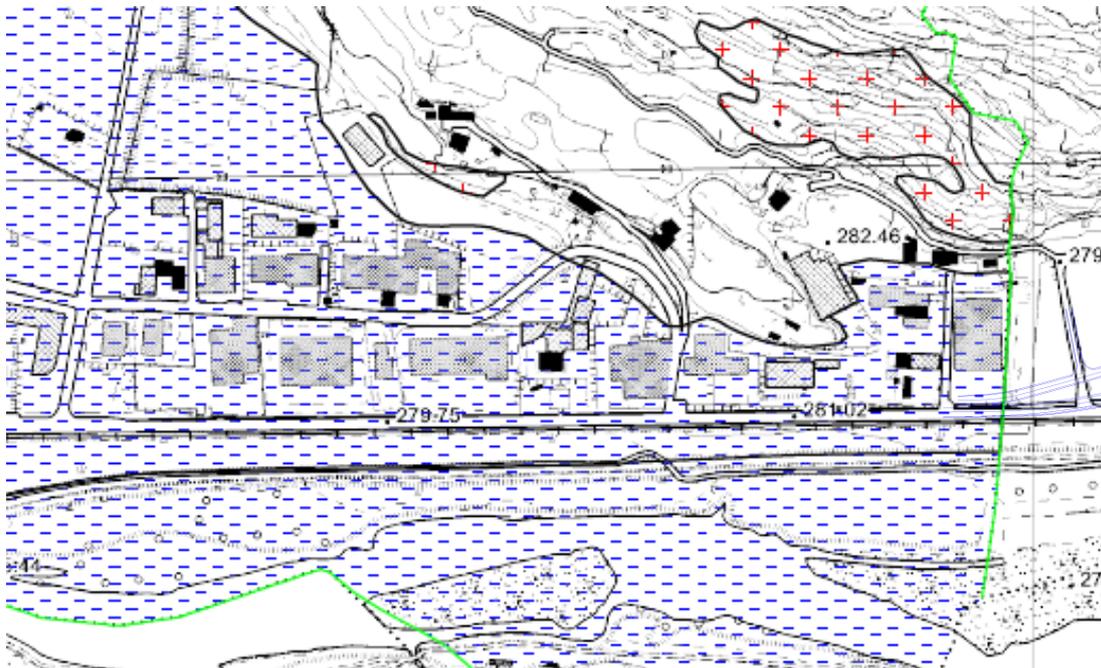
La cartografia precedente mostra come le opere di progetto interessino due classi di fattibilità, la 3A, su cui ricade principalmente la parte prevalente dello svincolo, e la 4A, interessata soprattutto dall’ampliamento della sede stradale principale verso monte. Per gli scenari di pericolosità sismica locale (P.S.L.) le opere interessano due zone , la Z1c (zona potenzialmente franosa o esposta al rischio di frana) e la Z4a (zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali). La Z1c è interessata dall’ultimo tratto della strada mentre la Z4a è interessata dal resto del tracciato.

Per quanto riguarda la Z1c si ritiene necessario monitorare nel tempo il versante ricadente in tale area, considerando la vicinanza della S.S. n° 38, passante immediatamente a valle.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 29 di 76</p>
---	---

➤ PGT – Comune di Castione Andevenno

Relativamente al Piano di Governo del Territorio (P.G.T.), Componente Geologica, si analizzano le seguenti carte: Carta della Pericolosità Sismica Locale, Tavola CG02; Carta di Fattibilità Geologica, Tavola CG06 Quadro 4; Carta di Sintesi, Tavola CG04 (Figg. 6.13-6.15).



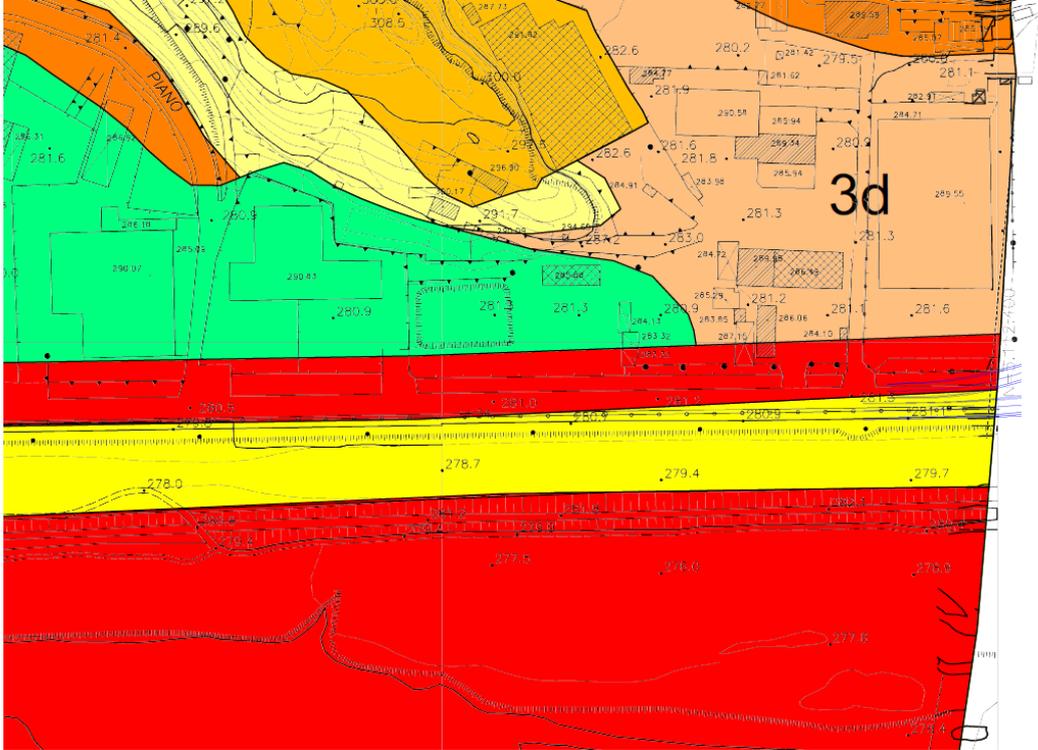
**Scenari di pericolosità sismica locale (P.S.L.)**



Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali

*Fig.6.13 – Stralcio della “Carta di Pericolosità Sismica Locale”, scala 1:10.000, f.s. (PGT – Componente Geologia, Comune di Castione Andevenno).*

La precedente carta illustra come scenario di pericolosità sismica locale la Zona Z4a – Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali.



**Classe 3: Fattibilità con consistenti limitazioni**

 3b) Zone di potenziale espansione dei corsi d'acqua, con associato trasporto solido e/o interessate da fenomeni erosivi di sponda

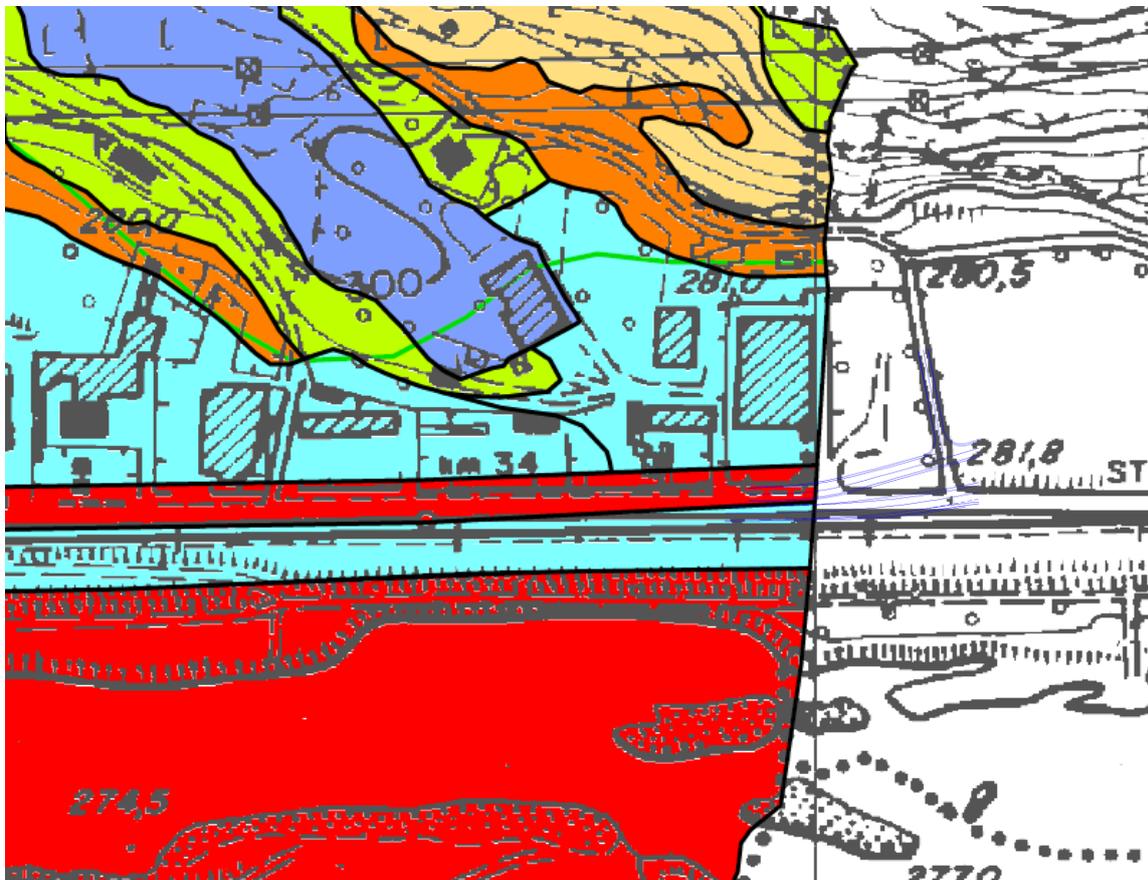
**Classe 4: Fattibilità con gravi limitazioni**

 4a) Alvei attivi dei corsi d'acqua e loro aree di pertinenza, espansione ed erosione spondale, laghi e ghiacciai, canali di valanga

*Fig.6.14 – Stralcio della “Carta di Fattibilità Geologica” Tavola CG06 Quadro 4, scala 1:2.000, f.s.  
(PGT – Componente Geologia, Comune di Castione Andevenno).*

La cartografia precedente mostra come le opere di progetto interessino due classi di fattibilità, la 3b, su cui ricade l’asse principale, e la 4a, interessata soprattutto dalla sede della strada F1 extraurbana.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 31 di 76</p>
---	---



Aree vulnerabili dal punto vista idrogeologico



Aree di fondovalle con bassa soggiacenza della falda freatica

Aree vulnerabili dal punto vista idraulico



Aree adiacenti ai corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e per la realizzazione di interventi di difesa (FASCE DI RISPETTO IDRAULICO)

*Fig.6.15 – Stralcio della "Carta di Sintesi" Tavola CG04, scala 1:10.000, f.s. (PGT – Componente Geologia, Comune di Castione Andevenno).*

La carta precedente mostra come le opere di progetto interessino due classi di fattibilità, l'Area di fondovalle con bassa soggiacenza della falda freatica, interessata dall'asse principale (S.S. n° 38) e le Aree adiacenti ai corsi d'acqua (Fasce di rispetto idraulico), in cui ricade la sede della strada F1 extraurbana.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 32 di 76</p>
---	--

## 7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Le opere di progetto insistono integralmente sui depositi alluvionali e fluvio-glaciali. Nella parte più superficiale, al di sotto dello strato di terreno vegetale, i depositi suddetti sono costituiti da uno strato di sabbia finissima, spesso circa 1,5-2,0 m e sottostanti sabbie e ghiaie con ciottoli che si estendono in profondità fino a circa 25 m, ad eccezione del tratto prossimo al versante dove si appoggiano sugli scisti del substrato presenti già a circa 5 m dalla superficie della pianura.

I depositi alluvionali e fluvio-glaciali sono caratterizzati da permeabilità per porosità da media, nelle sabbie ( $K= 10^{-4} / 10^{-3} \text{ m/s}$ ), ad alta, nelle sabbie e ghiaie con ciottoli ( $K= 10^{-3} / 10^{-2} \text{ m/s}$ ). Gli Scisti di Edolo sono rappresentati da una permeabilità secondaria per fessurazione medio-bassa ( $K= 10^{-6} / 10^{-5} \text{ m/s}$ )

Nell'area di studio è presente una falda idrica di tipo freatico circolante nei depositi alluvionali e fluvio-glaciali. La suddetta falda è stata intercettata dai sondaggi geognostici eseguiti e in alcuni di essi si è proceduto all'esecuzione di misure piezometriche, come di seguito illustrato.

SONDAGGIO/ PIEZOMETRO	Data misura	Quota piezometro (m s.l.m.)	Profondità livello piezometrico misurato (m dal p.c.)	Quota livello piezometrico misurato (m s.l.m.)
<b>S2DPZ</b>	Settembre 2021	278,9	2,2	276,7
<b>S2PZ</b>	Aprile 2021	279,4	3,7	275,7
<b>S17</b>	? 2004	280,2	4,15	276,05
<b>S3CPZ</b>	Settembre 2021	280,9	2,8	278,1
<b>S4C</b>	Settembre 2021	282,3	2,1	280,2

Le misurazioni eseguite hanno indicato profondità dei livelli piezometrici comprese fra - 2,1 m e -4,15 m dal piano campagna (in corrispondenza della pianura, al di fuori del

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p style="text-align: center;"><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 33 di 76</p>
---	--

rilevato stradale), a quote assolute comprese tra 275,7 e 280,2 m s.l.m. circa. La sponda del letto di magra del Fiume Adda (in base alle quote riportate sulla carta tecnica) è posta ad una quota variabile tra circa 280 m s.l.m. all'estremità di monte e circa 277 m s.l.m. all'estremità di valle. Non si può affermare che la quota della sponda del letto di magra coincidesse con il livello idrico del fiume nel momento delle misure piezometriche; se così fosse significherebbe che il livello idrico del fiume e il livello piezometrico della falda freatica si troverebbero all'incirca alla stessa quota. Sicuramente il fiume nei periodi in cui sono state eseguite le misure piezometriche si trovava entro il proprio alveo di magra, quindi eventualmente il suo livello era più basso di quello della falda freatica. In ogni caso, si può affermare che, in considerazione della elevata permeabilità del sottosuolo rappresentato da ghiaia e sabbia prevalenti, la falda idrica sotterranea e il fiume sono in stretta relazione idraulica. Le misure piezometriche suddette sono state prese in aprile e in ottobre (anno 2021), quindi è verosimile aspettarsi un aumento stagionale dei livelli misurati, in occasione di periodi di morbida idrologica, che nell'area di progetto sono più probabili nella tarda primavera e nel tardo autunno.

## 8. MODELLO GEOLOGICO LUNGO IL TRACCIATO – RISULTATI DELLE INDAGINI

Le opere di progetto si sviluppano planimetricamente sui depositi alluvionali e di età pleistocenica superiore-olocenica. Presso il tratto terminale, dove il tracciato della S.S. n° 38 si avvicina al piede del versante, a pochi metri di profondità al di sotto dei depositi alluvionali è presente il substrato roccioso rappresentato dagli Scisti di Edolo di età cambriana, come è stato evidenziato dai sondaggi S3CPZ e S4C (Figure 8.1-8.2).

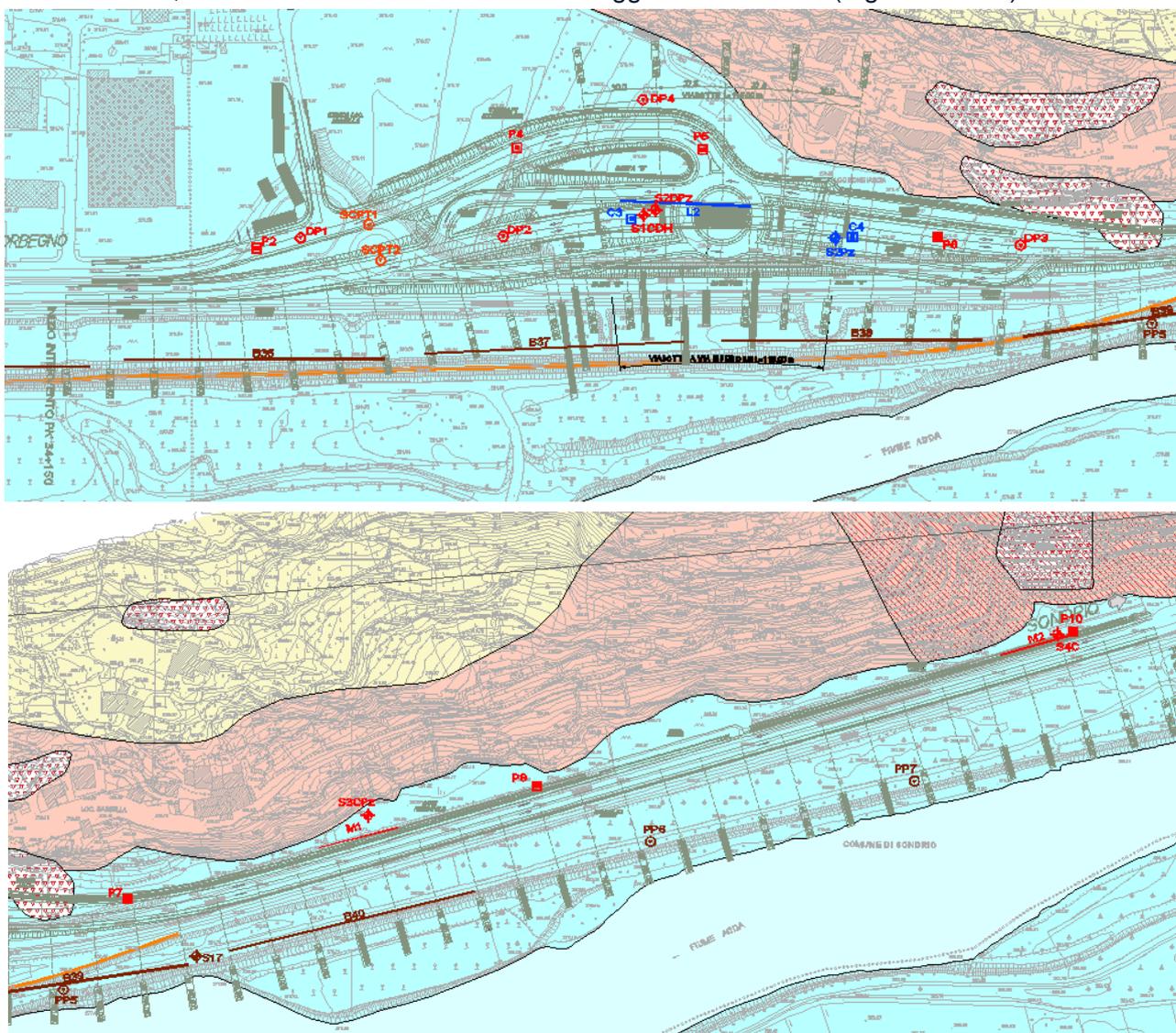


Fig. 8.1 – Stralcio della Carta geologica e geomorfologica di progetto.

<p><b>ANAS S.p.A.</b>  <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b>  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualficazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 35 di 76</p>
--	---

LEGENDA

-  Sintema del Po - Unità postglaciale. Ghiaie massive o stratificate, matrice sabbiosa, clasti arrotondati, ciottoli embriciati e laminazioni incrociate (depositi alluvionali). Pleistocene superiore - Olocene
-  SINTEMA DI CANTÙ  
Diamicton massivi con clasti e blocchi a supporto di matrice sovraconsolidata. con clasti spesso striati e sagomati a ferro da stiro. *PLEISTOCENE SUP.*
-  Scisti di Edolo  
Micascisti muscovitici a granato e staurolite in facies delle anfiboliti. con metamorfismo retrogrado che spesso conferisce alla roccia un colore grigio-verdastro. *Cambriano*
-  Aree con fenomeni di crollo e/o ribaltamento
-  Aree a franosità diffusa o potenzialmente instabili
-  Argini fluviali

- CAMPAGNA GEOGNOSTICA OTTOBRE 2021
-  S Sondaggio geognostico
  -  DP Prova penetrometrica dinamica
  -  P Pozzetto esplorativo
  -  CP Prova di carico su piastra
  -  M Stendimento MASW
- CAMPAGNA GEOGNOSTICA APRILE 2021
-  S2 Sondaggio a carotaggio con piezometro a tub
  -  L2 Stendimento sismico M.A.S.W.
  -  C Prova di carico su piastra
- CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2009
-  SCPT2 Prova penetrometrica dinamica
- CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2004
-  S Sondaggio a carotaggio
  -  PP6 Prova penetrometrica dinamica
  -  B37 Stendimento sismico a rifrazione

Fig. 8.2 – della Carta geologica e geomorfologica di progetto.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 36 di 76</p>
---	---

Il modello geologico dell'area di progetto, illustrato nel profilo geologico seguente (Figure 8.3-8.4), è stato ottenuto dai rilievi di superficie, dagli studi di letteratura e dalle indagini geognostiche, geotecniche e sismiche eseguite lungo il tracciato. Lungo il tracciato dell'asse principale e nelle immediate adiacenze, partendo dall'inizio, sono state effettuate le seguenti indagini (S=sondaggi, DP, SCPT e PP=prove penetrometriche dinamiche, P=pozzetti esplorativi, L e M=indagini MASW) alle rispettive progressive:

- P2 (m 2,0), progr. 0+091
- DP1 (m 1,0), progr. 0+116
- SCPT2 (m 8,1), progr. 0+148
- DP2 (m 15,0), progr. 0+205
- S1CDH (m 30), progr. 0+270
- S2DPZ (m 15), progr. 0+277
- L2 (L=m 60), progr. 0+260-0+320)
- P5 (m 2,0), progr. 0+298)
- S2PZ (m 30), progr. 0+360)
- P6 (m 2,0), progr. 0+407
- DP3 (m 9,8), progr. 0+445
- PP5 (m 9,0), progr. 0+504)
- P7 (m 2,0), progr. 0+537
- S17 (m 25), progr. 0+565
- M1 (L=m 38), progr. 0+633-0+671
- S3CPZ (m 15), progr. 0+660
- P8 (m 2,0), progr. 0+740
- PP6 (m 3,6), progr. 0+785
- PP7 (m 9,6), progr. 0+915
- M2 (L=m 35), progr. 0+972-1+007
- S4C (m 15), progr. 1+000
- P10 (m 2,0), progr. 1+007

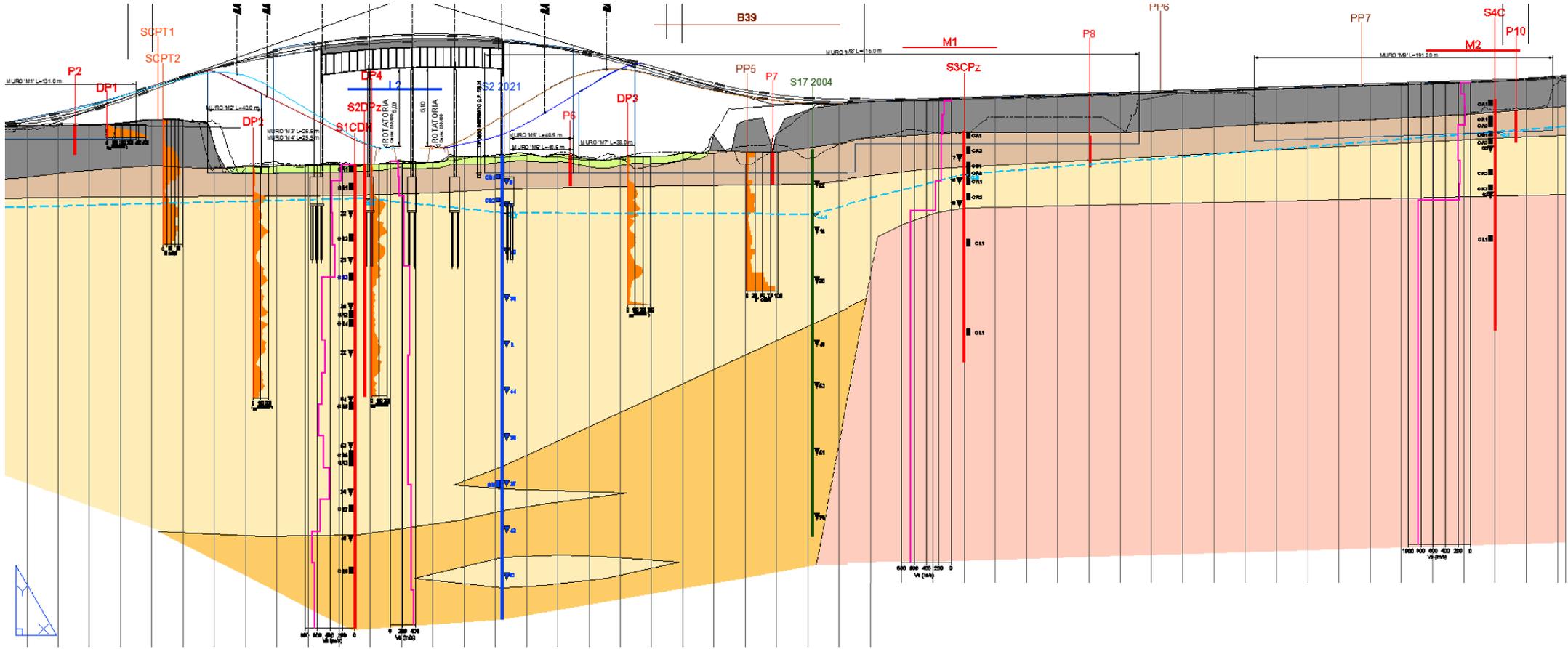


Fig. 8.3 – Stralcio del Profilo geologico di progetto.

LEGENDA

- Terreno di riporto e rilevati stradali
- Terreno vegetale

Sistema del Po - Unità postglaciale, depositi alluvionali. Pleistocene superiore - Olocene

- Sabbia finissima limosa
- Ghiaia e sabbia con ciottoli poligenici subarrotondati
- Sabbia limosa con rari ciottoli
- Scisti di Edolo, Micascisti muscovitici a granato e staurolite in facies delle anfiboliti. con metamorfismo retrogrado che spesso conferisce alla roccia un colore grigio-verdastro. Cambriano

Falda freatica

CAMPAGNA OTTOBRE 2021

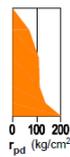
- S** Sondaggio geognostico
- CPT** Prova penetrometrica
- P** Pozzetto esplorativo
- CP** Prova di carico su piastra
- M** Stendimento MASW

CAMPAGNA APRILE 2021

- S** Sondaggio a carotaggio con piezometro a tubo aperto
- L** Stendimento sismico M.A.S.W.
- C** Prova di carico su piastra

CAMPAGNA 2009

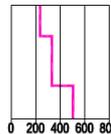
- SCPT** Prova penetrometrica dinamica



Prova penetrometrica (grafico di resistenza alla punta)

CAMPAGNA 2004

- S** Sondaggio a carotaggio
- PP** Prova penetrometrica dinamica
- B** Stendimento sismico a rifrazione



Prospezioni sismiche, grafico delle Vs in funzione della profondità

- Lettura del livello piezometrico
- Prelievo campione A=ambientale R = rimaneggiato
- Standard penetratin test (NSPT)

*Fig. 8.4 – Legenda del Profilo geologico di progetto.*

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 39 di 76</p>
---	---

Oltre alle indagini elencate, le indagini seguenti sono state eseguite lungo la Strada F1 extraurbana di progetto che affianca il tracciato della S.S. n° 38 immediatamente a monte:

- SCPT1 (m 8,1)
- P4 (m 2,0)
- DP4 (m 15,0)

Di seguito si illustrano in sintesi le caratteristiche litostratigrafiche e litotecniche dei terreni presenti nell'area di progetto.

➤ **Terreno di riporto - Rilevato stradale (Attuale)**

I terreni di riporto presenti lungo il profilo, consistenti nel rilevato stradale della S.S. n° 38, non sono stati intercettati da sondaggi o pozzetti esplorativi, così come dalle prove penetrometriche. Le indagini P2, DP1, SCPT1 e SCPT2, presso l'inizio del tracciato, hanno attraversato terreni di riporto presenti nella zona dell'attuale svincolo e rotatoria in corrispondenza della zona commerciale. Il pozzetto P2 mostra la presenza di ghiaia con ciottoli fino a - 2 m e una copertura di terreno vegetale spesso 20 cm, sempre di riporto. La prova penetrometrica DP1, vicina a P2, si è interrotta a -1 m per raggiungimento del rifiuto, per la presenza di ghiaia e ciottoli. Le prove penetrometriche SCPT1 e SCPT2 sono state spinte fino a -8,1 m dal p.c., mostrando basse resistenze fino a -1,5/1,8 m, in corrispondenza dei riporti superficiali, e poi un aumento progressivo del n. di colpi/30 cm fino a valori intorno a 40 in corrispondenza dei sottostanti depositi alluvionali. Nelle due prove si notano, tuttavia, delle riduzioni del numero di colpi, intorno a valori di 3-6, con continuità in SCPT2 (tra 4,5 e 5,1 m di profondità): in questo caso la riduzione è da attribuire al livello sommitale dei depositi alluvionali, costituito da sabbia limosa finissima.

➤ **Terreno vegetale (Attuale)**

Il terreno vegetale naturale ricopre con continuità i sottostanti depositi alluvionali. Tale strato sarà interessato dalle opere nella zona del nuovo svincolo, quindi dalla rotatoria, dalla strada F1, dalle rampe C e D, mentre solo marginalmente verrà inetressato dalle rampe A e B. Inoltre verrà interessato dai rilevati di approccio al viadotto tra le

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 40 di 76</p>
---	---

progressive 0+200-0+249 e 0+364-0+500 circa. Oltre dalle opere del nuovo svincolo lo strato di terreno vegetale verrà interessato dall'ampliamento della sede stradale verso monte per tutto il resto del tracciato. A fornire le caratteristiche e gli spessori di tale strato sono i sondaggi a carotaggio e i pozzetti esplorativi eseguiti. Si tratta di sabbia limosa o limo sabbioso ricchi di sostanza organica e resti di vegetali, di colore marrone, di spessore variabile da 20 cm a 50 cm.

➤ **Sintema del Po – Unità Postglaciale – Depositi alluvionali (Pleistocene Sup. - Olocene)**

In base alla definizione data dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 056 "Sondrio" (Fig. 5.1), i depositi in oggetto sono rappresentati da: Depositi continentali neogenico-quadernari - Unità non distinte in base al bacino di appartenenza, Sintema del Po (Unità Postglaciale) (POI) del Pleistocene Sup. - Olocene. Nello specifico nell'area di progetto sono presenti depositi alluvionali costituiti da ghiaie massive o stratificate, in matrice sabbiosa, con clasti arrotondati, ciottoli embricati e laminazioni incrociate.

Le caratteristiche granulometriche sono state evidenziate dalle indagini eseguite (sondaggi e analisi granulometriche). Dall'analisi compiuta è stato possibile distinguere, nell'ambito dei depositi alluvionali, differenti categorie di sedimenti riscontrabili nel sottosuolo (vedasi Figure 8.3-8.4).

- Sabbia finissima limosa

Si tratta dello strato sommitale delle alluvioni che si riscontra lungo l'intero tracciato. Si tratta di sabbia finissima micacea, da limosa a debolmente limosa, di colore da grigio a nocciola, con raro ghiaietto (Fig. 8.5).

Questo strato è stato intercettato da tutti i sondaggi a carotaggio per spessori compresi tra 1,5 m e 2,3 m: in S1CDH da m 0,5 a m 2,0 (m 1,5); in S2 da m 0,45 a m 2,2 (m 1,75); in S17 fino a m 2,20; in S3CPZ da 0,2 m a 2,5 m (m 2,3); in S4C da m 0,5 a m 2,5 (m 2,0).

Il materiale si presenta allo stato sciolto, come indicato anche dai risultati delle prove geotecniche in situ eseguite, quali le prove S.P.T. e le prove penetrometriche dinamiche.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 41 di 76</p>
---	--



*Fig. 8.5– Cassa n. 1 del sondaggio S1CDH; la sabbia finissima limosa è compresa tra -0,5 m e -2,00 m.*

**- Ghiaia e sabbia con ciottoli subarrotondati**

Questi terreni si riscontrano in tutti i sondaggi al di sotto dello strato sommitale caratterizzato da sabbia fine, per spessori variabili lungo il tracciato.

Sono rappresentati da ghiaia eterometrica, con ciottoli, poligenici (prevalenza di rocce metamorfiche), in matrice sabbiosa localmente limosa, di colore grigio scuro, e sabbia debolmente limosa da fine a grossolana, di colore grigio, con ghiaia poligenica (Fig. 8.6).

Questi sedimenti sono stati intercettati da tutti i sondaggi a carotaggio e si sono riscontrati fino a profondità variabili. In S1CDH sono stati intercettati da m 2,0 a m 24,0 (m 22); in S2 da m 2,2 a m 20,15 (m 17,95) e poi nuovamente in corrispondenza di ulteriori 2 livelli, cioè tra m 21,6 e m 23,0 (m 1,4) e tra m 26,0 e m 28,0 (m 2,0); in S17 da m 2,20 a m 11,30 (m 9,1); in S3CPZ da m 2,5 a m 5,0 (m 2,5); in S4C tra m 2,5 e m 6,3 (m 3,8).

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 42 di 76</p>
---	---



*Fig. 8.6 – Cassa n. 3 del sondaggio S1CDH; ghiaia e sabbia con ciottoli subarrotondati.*

Il profilo geologico (Fig. 8.3) mostra come questi depositi alluvionali siano interdigitati in profondità con l'altra tipologia di depositi alluvionali individuata più in profondità ma posta anche lateralmente in direzione est, che viene illustrata di seguito.

Il sedimenti in oggetto si presentano complessivamente da compatti a molto addeensati, come viene mostrato dalle prove S.P.T. e dalle prove penetrometriche dinamiche.

#### - Sabbia limosa con ghiaia e ciottoli

I sedimenti in questione differiscono molto poco dai precedenti, essenzialmente per un locale aumento delle frazioni limo e sabbia e una locale riduzione del contenuto di ghiaia e ciottoli. Sono rappresentati da sabbia da debolmente limosa a limosa, di colore da grigio a nocciola-marrone, associata a ghiaia poligenica localmente rara e rari ciottoli (Fig. 8.7).

Questi si riscontrano al di sotto dello strato precedente nella zona occidentale del tracciato, in particolare in corrispondenza del viadotto di progetto, fino alla progressiva

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 43 di 76</p>
---	--

0+600 circa.



*Fig. 8.7 – Cassa n. 6 del sondaggio S1CDH; sabbia limosa con ghiaia e ciottoli.*

In profondità si trovano interdigerati ai sedimenti precedenti o ne contengono lenti al proprio interno, mostrando come si tratti sostanzialmente degli stessi terreni che nel corso delle fasi di sedimentazione si sono differenziati in base ai processi di dinamica fluviale. In ogni caso, in generale, i sedimenti mediamente più grossolani, illustrati precedentemente, ricoprono quelli mediamente più fini in oggetto.

Questi sedimenti sono stati intercettati dai sondaggi a carotaggio nella prima parte del tracciato in quanto nella seconda parte a pochi metri di profondità si è riscontrato il substrato metamorfico. In S1CDH sono stati intercettati al di sotto di m 24,0 fino a fondo foro, cioè 30 m, quindi per m 6; in S2 per 3 tratti, cioè da m 20,15 a m 21,6 (m 1,45), fra m 23,0 e m 26,0 (m 3,0) e tra e m 28,0 e m 30,0 (m 2,0); in S17 al di sotto di m 11,30 fino a fondo foro, cioè m 25,0 (m 13,7).

Il profilo geologico (Fig. 8.3) mostra, come per la precedente tipologia di alluvioni, come questi depositi alluvionali siano interdigerati in profondità con l'altra tipologia di depositi alluvionali individuata a minore profondità ma posta anche lateralmente in direzione

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 44 di 76</p>
---	---

ovest.

Il sedimenti in oggetto si presentano complessivamente da compatti a molto addensati, come viene mostrato dalle prove S.P.T..

➤ **Scisti di Edolo (Cambriano?)**

La formazione degli Scisti di Edolo rappresenta il substrato lapideo dell'area sul quale si sono depositi i depositi alluvionali appena illustrati.

La formazione è costituita da micascisti muscovitici a granato e staurolite, di colore grigio-verdastro, con lenti di quarzo, appiattite e piegate e intercalazioni di orizzonti milonitici di colore da verde scuro a nerastro. La roccia è attraversata da piani di scistosità e fratturazione e presenta talora, lungo queste superfici, deboli ossidazioni di colore rosso-arancio. La roccia appare maggiormente fessurata ed alterata nel sondaggio S4C (Figure 8.8-8.10).



*Fig. 8.8 – Cassa n. 2 del sondaggio S4C; gli Scisti di Edolo sono presenti a -6,3 m al di sotto dei depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi.*

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p style="text-align: center;"><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 45 di 76</p>
---	--



*Fig. 8.9 – Particolare di una superficie di scistosità di un testimone di carotaggio di Scisti di Edolo.*



*Fig. 8.10 – Blocco appartenente agli Scisti di Edolo prelevato da un affioramento limitrofo al tracciato di progetto; sono evidenti i fittissimi piani di scistosità.*

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 46 di 76</p>
---	---

## 9. CARATTERISTICHE SISMICHE DELL'AREA DI STUDIO

Si riportano di seguito le principali caratteristiche sismiche del territorio compreso nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno, in cui ricadono gli interventi di progetto. Le informazioni in merito sono state tratte dal sito dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

### 9.1 Caratteristiche sismiche del territorio di studio

Per il territorio dei Comuni di Sondrio e Castione Andevenno, dove sono compresi gli interventi oggetto della presente, l'analisi delle massime intensità macroscopiche osservate rileva un'intensità macrosismica pari  $I_{max} < 6$ , dato tratto dal catalogo delle "Massime Intensità macrosismiche osservate nella provincia di Sondrio", informazione e planimetria accanto, tratte dal sito della INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia).

Attualmente nel sito web dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) è possibile consultare il DBMI, Database Macrosismico Italiano 2015, il quale permette di visionare la storia sismica delle località italiane presenti con almeno tre eventi fino all'anno 2017.

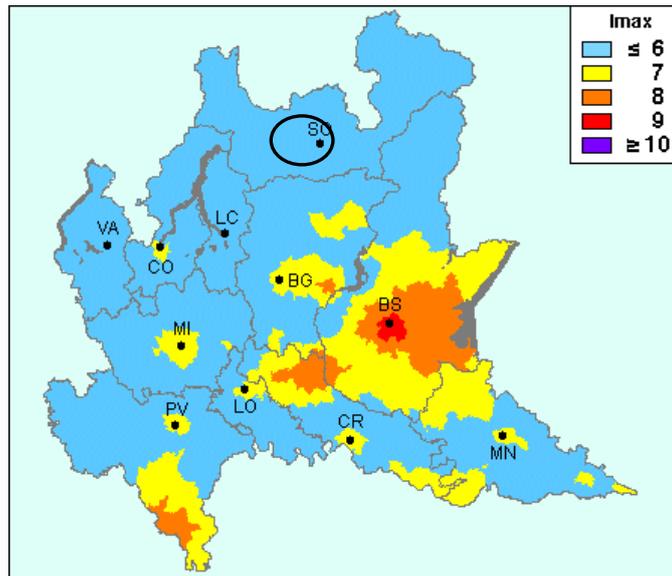


Fig.9.1 – Massime intensità macrosismiche

Di seguito è riportato un elenco non esaustivo dei maggiori terremoti storici con massima intensità avvertita nel territorio del Comune di Sondrio e di comuni limitrofi. Il seguente elenco relativo alla sismicità storica che ha coinvolto il territorio comunale in oggetto è tratto dal database macrosismico dell'INGV – DBMI15, che riporta dati riferiti ad un periodo temporale che va dall'anno 1.000 all'anno 2017.

<b>ANAS S.p.A.</b> <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b> Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno <b>Relazione geologica</b>	File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 47 di 76
--	--

Sondrio

PlaceID IT\_12272

Coordinate (lat, lon) 46.171, 9.872

Comune (ISTAT 2015) Sondrio

Provincia Sondrio

Regione Lombardia

Numero di eventi riportati: 25

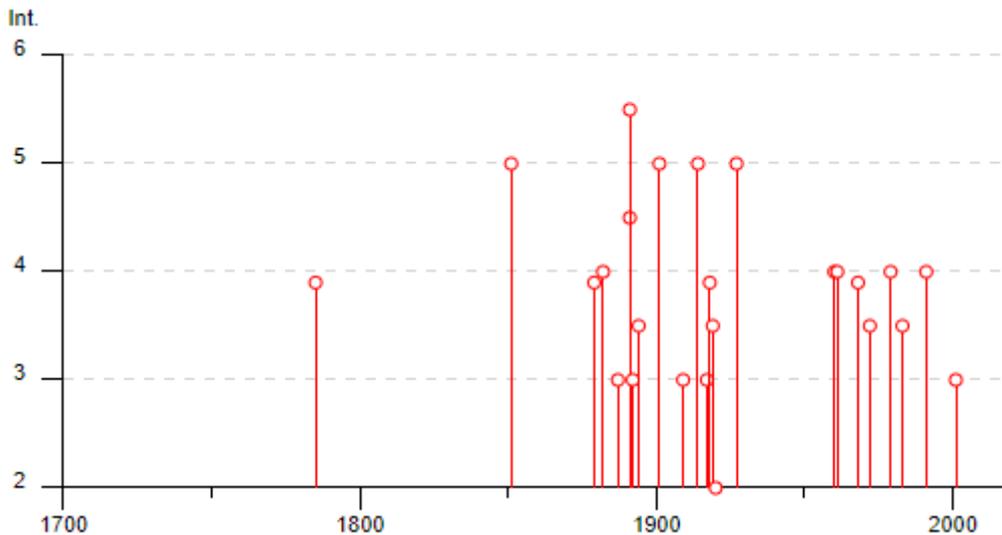
Effetti	In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area Epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	<a href="#">1785 11 18</a>	Bassa Engadina	4		
5	<a href="#">1851 02 05 09 50</a>	Valtellina	30	5	4.72
F	<a href="#">1879 02 14</a>	Garda occidentale	13	5	4.62
4	<a href="#">1882 02 27 06 30</a>	Valle Seriana	37	6-7	4.81
3	<a href="#">1887 02 23 05 21 5</a>	Liguria occidentale	1511	9	6.27
4-5	<a href="#">1891 06 07 01 06 1</a>	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.87
5-6	<a href="#">1891 12 22</a>	Valtellina	7	5-6	4.41
3	<a href="#">1892 01 05</a>	Garda occidentale	93	6-7	4.96
3-4	<a href="#">1894 11 27 05 07</a>	Bresciano	183	6	4.89
5	<a href="#">1901 10 30 14 49 5</a>	Garda occidentale	289	7-8	5.44
3	<a href="#">1909 01 13 00 45</a>	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	<a href="#">1914 10 27 09 22</a>	Lucchesia	660	7	5.63
3	<a href="#">1917 12 09 21 40</a>	Alta Engadina	39	6	4.60
F	<a href="#">1918 04 24 14 21</a>	Lecchese	34	6	4.95
3-4	<a href="#">1919 09 16 02 18 3</a>	Alta Valtellina	10	4-5	3.50
2	<a href="#">1920 09 07 05 55 4</a>	Garfagnana	750	10	6.53
5	<a href="#">1927 08 13 01 00 5</a>	Alta Engadina	19	5	4.40
4	<a href="#">1960 03 23 23 10</a>	Vallese	178	7	5.00
4	<a href="#">1961 11 23 01 12 0</a>	Prealpi bergamasche	119	6-7	4.86
F	<a href="#">1968 06 22 12 21 3</a>	Val Lagarina	27	6-7	4.74
3-4	<a href="#">1972 10 25 21 56 1</a>	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	<a href="#">1979 02 09 14 44</a>	Bergamasco	73	6	4.78

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area Epicentrale	NMDP	Io	Mw
3-4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4	1991	11	20	01	54	1	Grigioni, Vaz	468	6	4.70

*Tab.9.1– Elenco dei principali eventi sismici che hanno interessato il territorio di Sondrio*

- Np) - Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
- Io) - Intensità macrosismica epicentrale, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg
- Mw) – Magnitudo momento

Si riporta di seguito istogramma con i principali eventi sismici in funzione della intensità e della cronologia temporale.



*Fig.9.2 – Grafico riportante i valori delle massime intensità macrosismiche registrate (1348 – 2016)*

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 49 di 76</p>
---	--

La figura 9.2 rappresenta il diagramma della storia sismica del territorio comunale Sondrio; come è evidente l'intensità massima locale registrata non supera il grado 7 della scala Mercalli Cancani Sieberg (MCS). Nella seguente tabella sono riportati alcuni eventi più significativi caratterizzati da una intensità sismica  $\geq 6$  e magnitudo momento  $\geq 5$ .

Facendo riferimento alla documentazione dell'INGV, consultabile nel sito relativo, nella figura seguente è riportato uno stralcio della mappa del DISS (Database of Individual Seismogenic Sources) versione 3.2.1, in cui sono mostrati i sistemi di faglie attive individuate nel territorio del Comune di Sondrio in prossimità dell'area in oggetto.

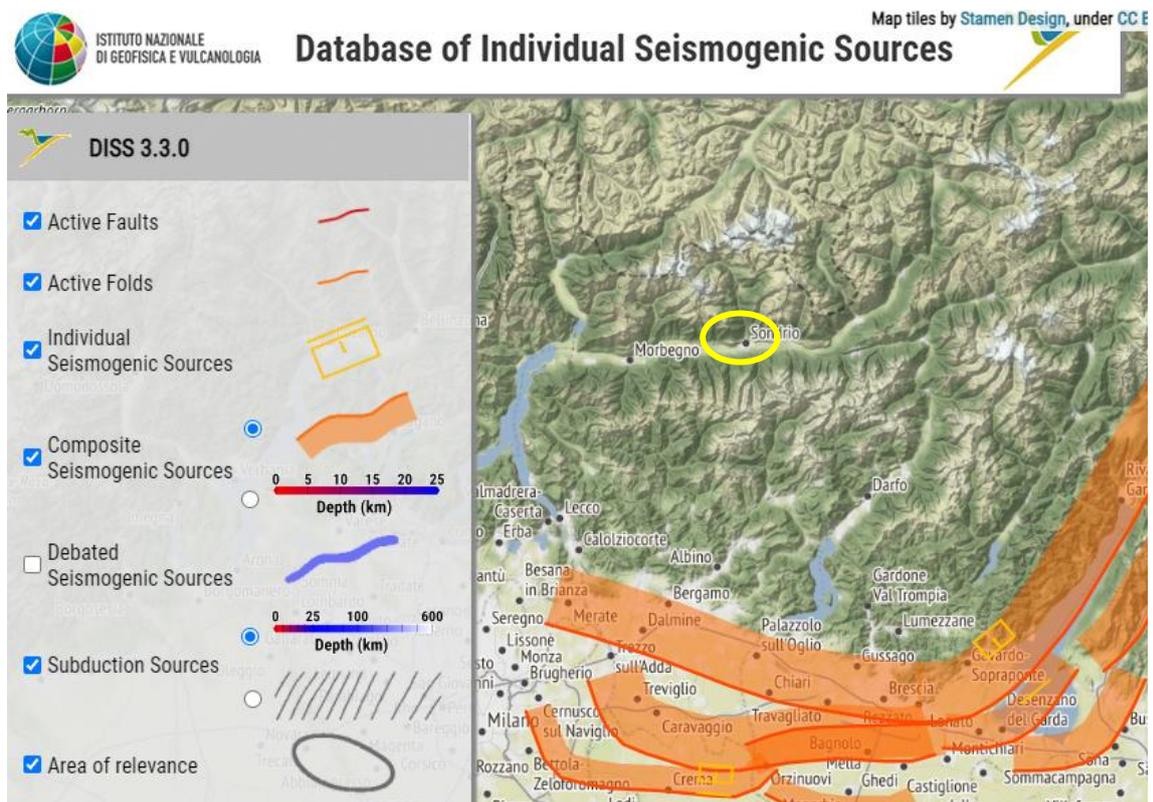


Fig.9.3 - Sistemi di faglie sismogenetiche nel territorio regionale

Le fasce marroni indicano le aree sismogenetiche composite, i riquadri arancio le sorgenti sismogenetiche individuali e i tratti rossi le faglie sismogenetiche.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 50 di 76</p>
---	---

Nel cerchio giallo è riportata l'area oggetto di studio (da DISS version 3, al sito <https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>).

Come risulta dalla mappa soprastante, l'area di progetto non è interessata da nessuna sorgente sismogenetica composita e/o da fonte sismogenetica individuale.

## 9.2 Classificazione sismica del territorio di studio

Il territorio in cui ricade il comune di Sondrio ed il sito di progetto è classificato dal punto di vista sismico in zona sismica 3, Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari ( $0,05 < ag \leq 0,15 g$ ).

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $ag$ ) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

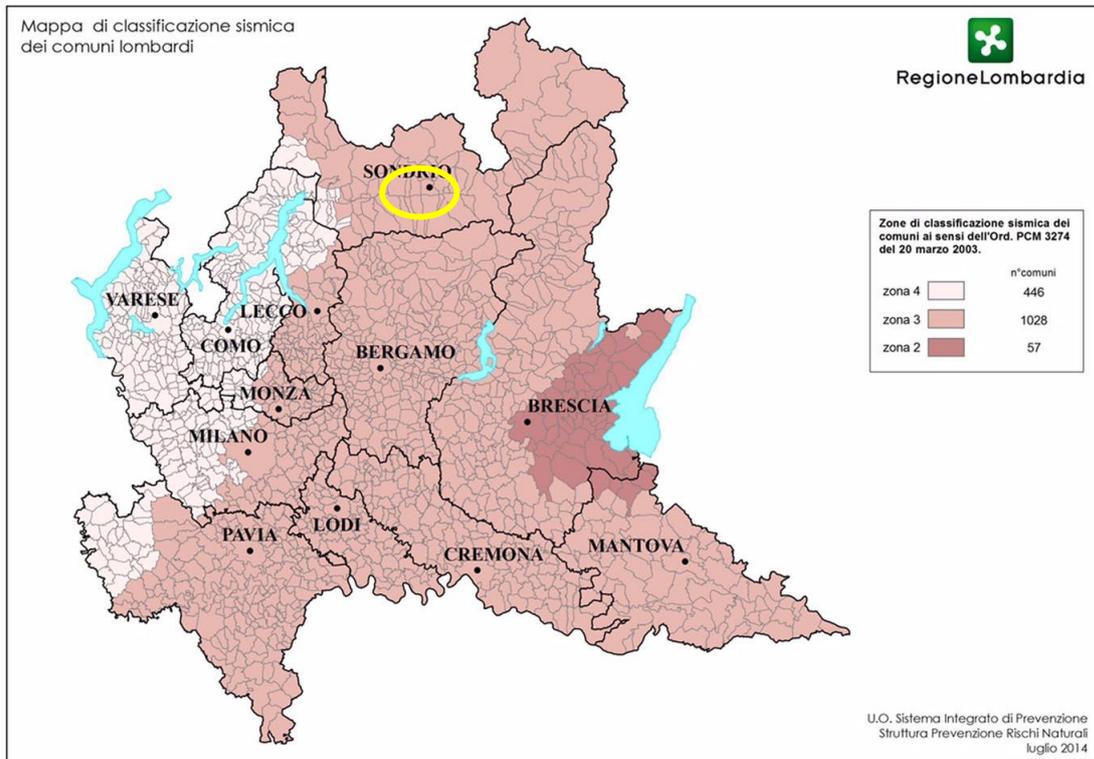


Fig. 9.4 – Classificazione sismica dei comuni lombardi

<p><b>ANAS S.p.A.</b>  <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b>  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 51 di 76</p>
---	---

Con riferimento alla classificazione sismica del territorio basata sulla pericolosità, nella tabella seguente è riportata la suddivisione delle zone sismiche in rapporto all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06).

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
1	ag >0,25
2	0,15 <ag ≤ 0,25
3	0,05 <ag ≤ 0,15
4	ag ≤ 0,05

*Tab.9.3 – Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido*

Nella figura seguente è riportato per il sito di riferimento, il dettaglio locale della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (Mappa interattiva di pericolosità sismica tratta dal sito web dell'INGV), per la determinazione della pericolosità sismica locale, individuato sulla base delle coordinate geografiche del sito: Lat. 42,583° N; Long. 12,697° E.

Dalla seguente tabella relativa alla pericolosità sismica si evince che l'area del Comune di Sondrio e la modestissima porzione ricadente nel Comune di Castione Andevenno, in cui è ubicato il sito di progetto, è posta all'interno della fascia di pericolosità con ag = 0,075-0,100

### Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

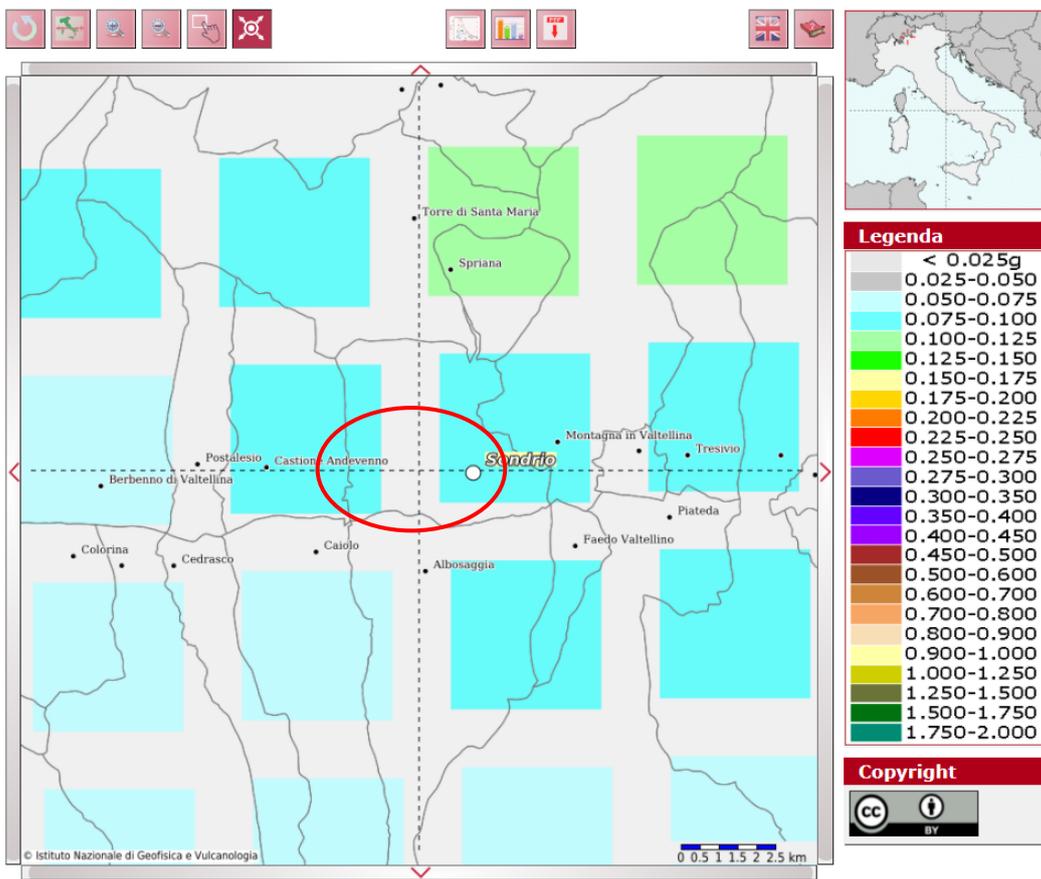


Fig.9.5 – INGV – Stralcio “Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio nazionale”

Mediante una delle funzioni della mappa interattiva è possibile ottenere il grafico e la tabella di disaggregazione del valore di  $a(g)$ , per il calcolo percentuale del contributo alla pericolosità sismica in base alla magnitudo e alla distanza dall'epicentro, come riportato negli stralci seguenti.

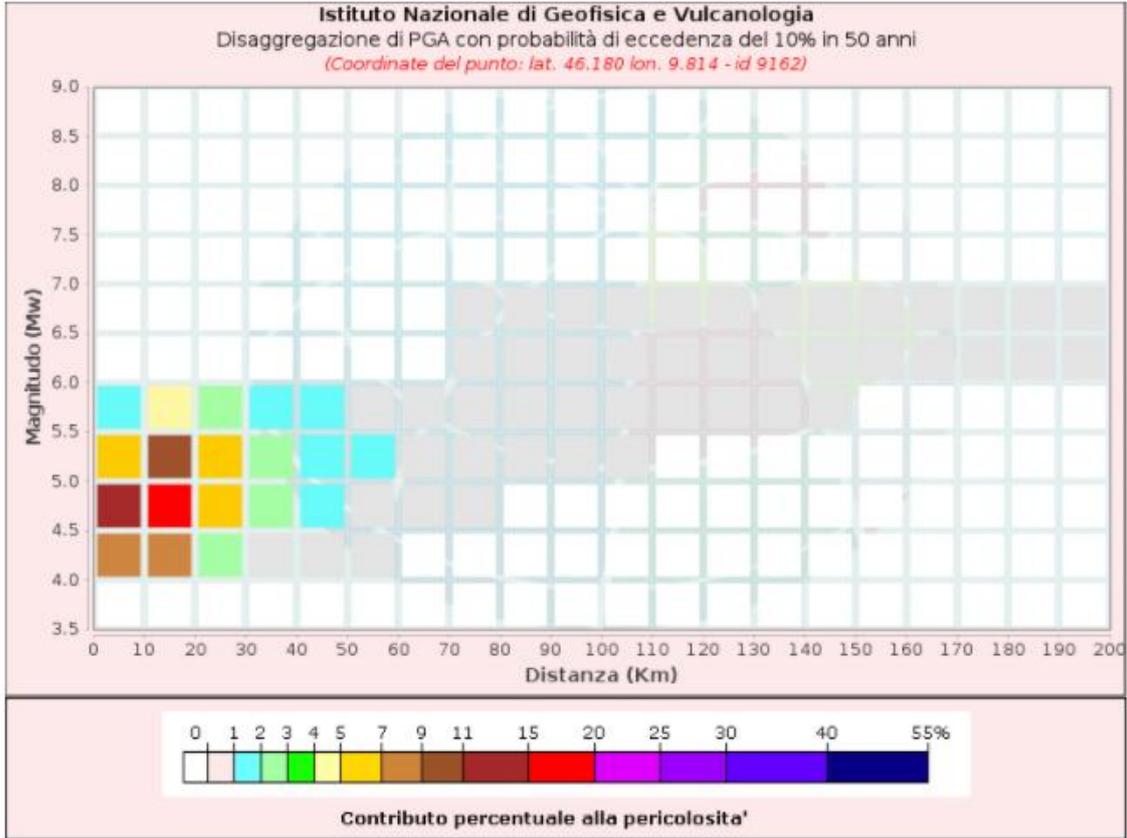


Fig.9.6 – (INGV) – Grafico Magnitudo - Distanza

<b>ANAS S.p.A.</b> <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b> Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno  <b>Relazione geologica</b>	File: T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 54 di 76
--	--

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 46.180 lon. 9.814 - id 9162)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0- 4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	7.4300	11.9000	5.5300	1.7900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	8.4900	17.2000	10.8000	4.3900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	2.2100	5.9400	5.3300	2.8500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.5760	2.1400	2.5800	1.7000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.1620	1.0700	1.5700	1.1400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0151	0.4740	1.0100	0.8030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.1000	0.5320	0.5160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0086	0.2400	0.3620	0.0905	0.0159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0664	0.1730	0.1270	0.0236	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0164	0.0954	0.1160	0.0229	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0485	0.0814	0.0171	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0210	0.0497	0.0110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0079	0.0296	0.0069	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0025	0.0189	0.0049	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0119	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0058	0.0021	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0086	0.0045	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0083	0.0058	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0037	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.95	19.4	0.698

*Tab.9.4 – (INGV) - Tabella della disaggregazione sismica del valore a(g)*

Come risulta dalla tabella precedente, i valori medi calcolati per il territorio comunale sono:

Magnitudo = 4,95

Distanza Epicentrale = 19,4 km.

La stima precedente consente di ottenere la magnitudo media attesa. Il Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica – Parti I e II", 2008, nel Cap. 2.8 fornisce la procedura per la stima della magnitudo attesa per le analisi di stabilità nelle zone suscettibili di instabilità. La linea guida indica il metodo per la stima della magnitudo attesa ai fini della progettazione o dello studio di

microzonazione sismica. Per le verifiche di liquefazione le linee guida indicano quale primo punto l'applicazione delle zonazione sismogenetica (ZS9) (Fig. 9.7), secondo cui la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima MWmax. Per i siti che cadono entro una delle 36 zone sismogenetiche individuate si assume come valore di magnitudo M il valore MWmax mentre per i siti che non cadono in nessuna delle zone sismogenetiche si assume il valore di magnitudo della zona più vicina, indicato nella tabella 2.8.1 del capitolo suddetto della pubblicazione del DPCN, (Fig. 9.7).

L'area di progetto, da verifica delle coordinate, non ricade in alcuna zona simogenetica ma è vicinissima alla ZS9 "903 - Altre zone", a cui è associata una magnitudo massima attesa MWmax = 6,14.

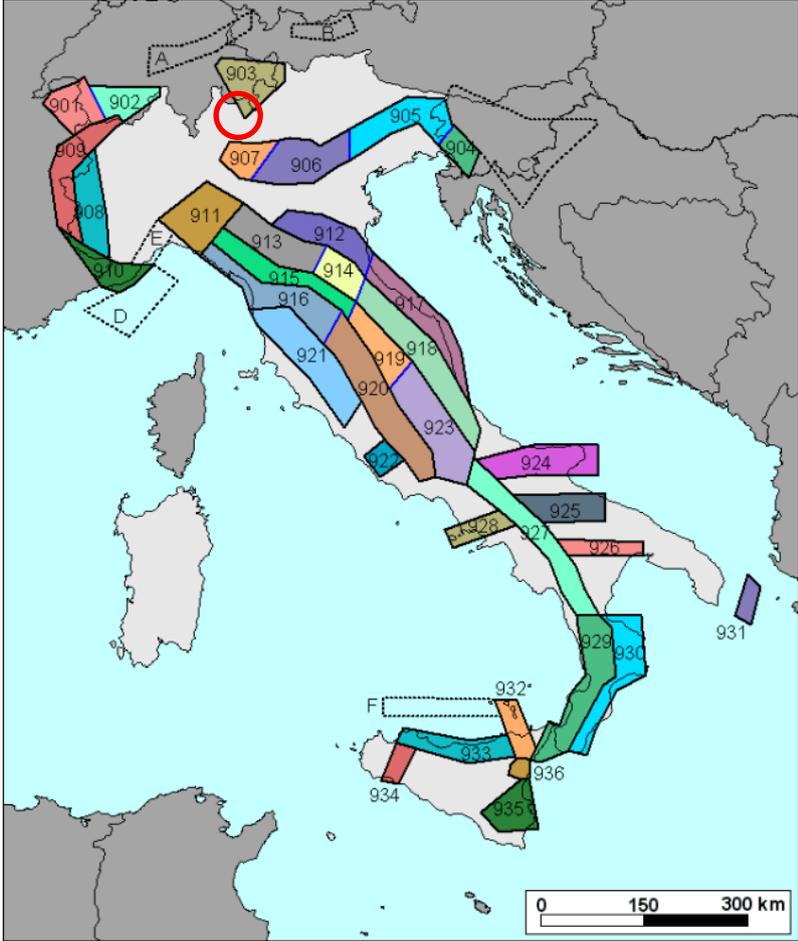


Fig. 9.7 – Carta delle zone sismogenetiche del territorio nazionale

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 56 di 76</p>
---	---

**Tabella 2.8-1 – Valori di  $M_{wmax}$  per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)**

Nome ZS	Numero ZS	$M_{wmax}$
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

*Figura 9.8 – Tabella delle zone sismogenetiche ZS9 con i rispettivi valori di  $M_{wma}$*

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 57 di 76</p>
---	--

## **10. CARATTERIZZAZIONE SISMICA SECONDO IL D.M. DEL 17.01.2018**

### **10.1 Azione sismica di progetto**

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. L'azione sismica così individuata viene poi variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1).

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag) accelerazione orizzontale massima al sito;

Fo) valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T\*C) valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

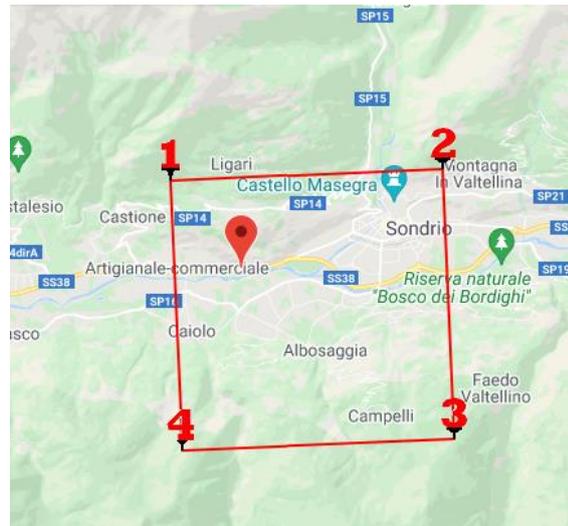
<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 58 di 76</p>
---	---

Tali parametri utilizzati per la determinazione della pericolosità sismica fanno capo ad un reticolo di riferimento costituito da una maglia di punti definiti in termini di latitudine e longitudine crescenti. Inserendo, quindi, i valori delle coordinate riferite al sito ove ricade l'opera di progetto, il programma utilizzato della società GEOSTRU (Geostru-PS è un software per individuare la pericolosità sismica direttamente dalla mappa geografica)

Permette di calcolare i parametri sismici utilizzando le tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica con i dati ufficiali, così come pubblicati nel D.M. 17/01/2018, e automaticamente consente la formulazione delle suddette tre variabili riferite agli stati limite di esercizio e stati limite ultimi, che brevemente si riportano:

- SLO – stato limite di operatività;
- SLD – stato limite di danno;
- SLV – stato limite di salvaguardia della Vita;
- SLC – stato limite di prevenzione del collasso.

Il sito in oggetto è compreso nella maglia del reticolato di riferimento i cui vertici sono definiti dalle seguenti coppie di coordinate relative ai valori di latitudine e longitudine:



Siti di riferimento:

Sito 1	ID: 9162	Lat: 46,1796	Lon: 9,8140	Distanza: 2340,986
Sito 2	ID: 9163	Lat: 46,1817	Lon: 9,8860	Distanza: 4591,682
Sito 3	ID: 9385	Lat: 46,1318	Lon: 9,8890	Distanza: 5557,829
Sito 4	ID: 9384	Lat: 46,1296	Lon: 9,8171	Distanza: 3908,234

Le coordinate sono espresse nel sistema di riferimento ED50.

In particolare per il sito in oggetto sono state considerate come rappresentative del sito di interesse progettuale le seguenti coppie di coordinate riferite ai seguenti sistemi di riferimento:

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 59 di 76</p>
---	--

WGS84: Lat 46.162144 - Lng 9.831732

ED50: Lat 46.163055 - Lng 9.832789

Il software utilizzato converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50 in automatico.

### **Classificazione sismica dei terreni di fondazione**

Successivamente all'approvazione delle N.T.C. dell'anno 2008 (D.M: 14/01/2008) ed al loro aggiornamento dell'anno 2018 (D.M. 17/01/2018), la classificazione sismica dei terreni di fondazione avviene sulla base della raccolta di parametri di carattere litologico, stratigrafico, sismico, geotecnico, topografico, quindi da informazioni che sono state desunte dallo studio eseguito sul sito ed aree limitrofe.

L'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", approvato con D.M. 17/01/2018, pubblicato sulla G.U. del 20 febbraio 2018, al punto 3.2.2 riportano le "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" per la determinazione dell'azione sismica di progetto.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto la norma fa riferimento ad un approccio semplificato, basato su categorie di sottosuolo di riferimento.

Tali categorie sono illustrate nella Tab. 3.2.II, allegata al punto 3.2.2 della normativa e sono di seguito riportate.

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

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

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 60 di 76</p>
---	---

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS ottenute mediante l'esecuzione di indagini geofisiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 61 di 76</p>
---	---

Per le cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 della normativa.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Per quanto concerne le condizioni topografiche, per condizioni complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, mentre per configurazioni superficiali semplici si utilizza la classificazione riportata nella Tab. 3.2.III allegata al punto 3.2.2 della normativa.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le precedenti categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 62 di 76</p>
---	--

## 11. RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Ai fini di ricostruire il profilo sismo stratigrafico dei terreni su cui sono previste le opere in progetto, congiuntamente alla caratterizzazione sismica dei terreni presenti, in ottemperanza alle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018), sono stati utilizzati i risultati delle campagne di indagine geognostica – geofisica eseguite.

Nello specifico, il sottosuolo è stato indagato dal punto di vista sismico tramite i risultati di n. 3 indagini sismiche di tipo MASW e n. 1 DOWN-HOLE

L'ubicazione di tali indagini è riportata nell'elaborato grafico specifico T00\_GE00\_GEO\_DG01a "Carta geologica con ubicazione delle indagini geognostiche".

I risultati delle indagini eseguite sono stati utilizzati per la ricostruzione del profilo verticale delle velocità delle onde di taglio VS e, quindi, per la determinazione della velocità equivalente VS,E, al fine di definire la classificazione sismica del sottosuolo per il calcolo dell'azione sismica di riferimento ai sensi delle NTC2018.

Per i dettagli delle indagini sismiche eseguite si rimanda all'elaborato T00\_GE00\_GEO\_RE02a "Risultati indagini geognostiche, geotecniche, geofisiche e sulle terre e rocce da scavo".

### - Campagna ottobre 2021.

N. 2 indagini sismiche di tipo MASW (M1 e M2), sono state eseguite tramite l'utilizzo della seguente strumentazione:

Sismografo MAE mod. X82OS a 24 bit in configurazione 24 canali, dotato di geofono trigger e n. 24 geofoni verticali a 4,5 Hz. Gli scoppi sono stati effettuati con una mazza da 8 kg su una piastra di battuta diam. 210 mm, spessore 28 mm.

Per l'acquisizione dei dati sismici è stato utilizzato il software MAE STnet.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File: T00_GE00_GEO_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 63 di 76</p>
---	--

Per l'elaborazione dei dati sismici è stato utilizzato il software GEOSTRU Easy Masw versione 2020.

L'elaborazione dei dati ha permesso, in base all'andamento delle velocità delle onde di taglio VS con la profondità, la ricostruzione sismostratigrafica dei terreni che saranno interessati dalle opere in progetto e la determinazione della velocità equivalente VS,E di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità necessaria, ai sensi delle NTC2018, per la definizione della categoria di sottosuolo.

Di seguito si riportano i grafici inerenti le prospezioni sismiche eseguite.

#### Indagine sismica MASW M1

Gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S portano alla determinazione di una  $V_{Seq} = 579$  m/sec, indicando per il sito in esame un sottosuolo sismico di categoria B.

Di seguito si riportano il grafico del profilo di velocità con la profondità e la successione dei sismostrati individuati.

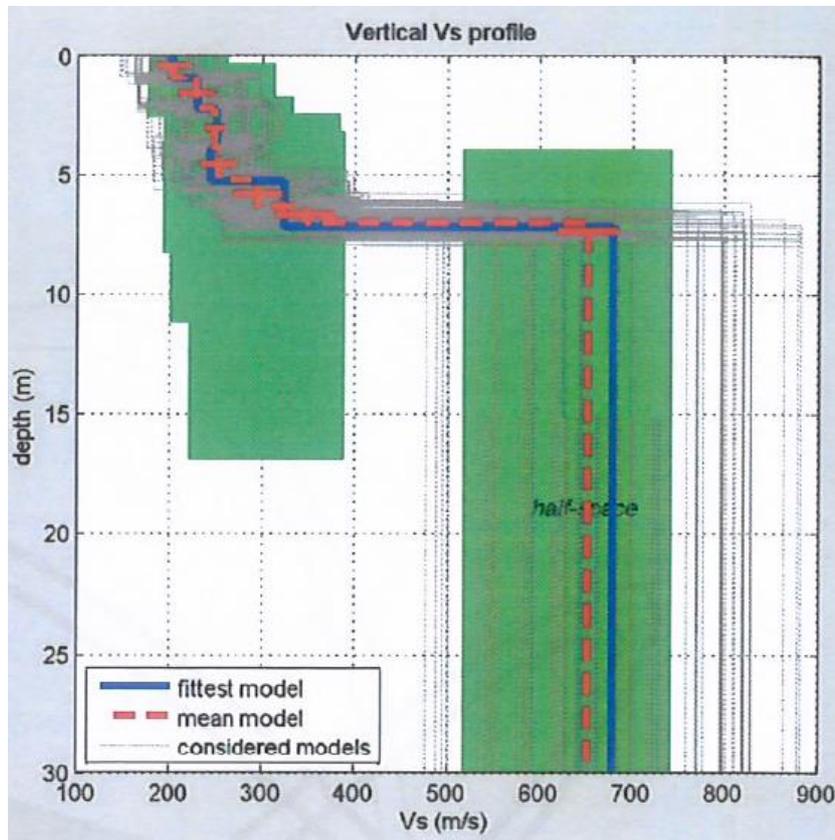


Fig. 11.1 - M1: profilo verticale delle Onde di taglio "VS".

### Indagine sismica MASW M2

L'elaborazione dei dati ottenuti dall'esecuzione dello stendimento geofisico n.2 i cui dati sono stati elaborati, con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), ha evidenziato un valore di  $V_{s,eq}$  calcolato a 30 m pari a 658 m/s: il sito in esame rientra quindi nella categoria B.

Di seguito si riportano il grafico del profilo di velocità con la profondità e la successione dei sismostrati individuati.

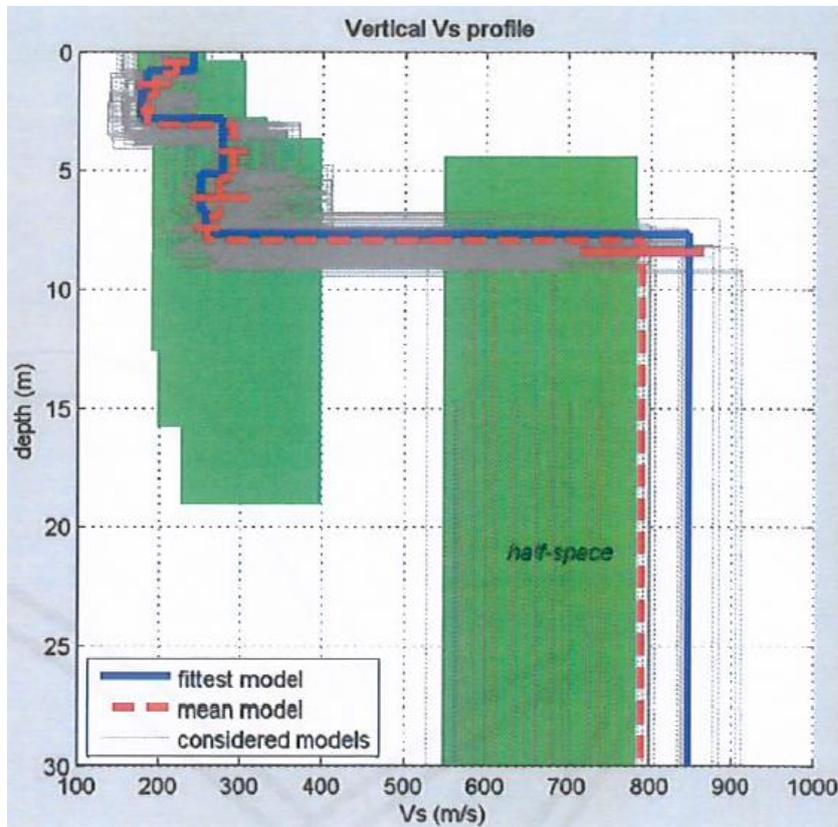


Fig. 11.2 – M2: profilo verticale delle Onde di taglio "VS".

### Simica DOWN-HOLE

Effettuata nel sondaggio SICDH ha dato i seguenti risultati:

I risultati delle prove Down Hole sono evidenziate nelle tabelle e nei grafici sotto riportati:

Valori tabulati prova DH

Distanza punto energizzazione - foro = 100 cm

Tp: Tempi onde P in uS

Ts: Tempi onde Sin pS

TpV: Tempi onde P corretti sulla verticale in pS

TsV: Tempi onde S corretti sulla verticale in pS

Vp Intervallo: Velocità Intervallo onde P in m/s

Vs Intervallo: Velocità Intervallo onde S in m/s

<b>ANAS S.p.A.</b> <b>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</b> Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200 nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno  <b>Relazione geologica</b>	File: T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 66 di 76
--	--

Vp average: Velocità media onde P in m/s

Vs Average: Velocità media onde S in m/s

Ei: Modulo di elasticità dinamica iniziale (GPa)

Gi: Modulo di taglio dinamico iniziale (GPa)

Ki: Modulo di compressibilità dinamica iniziale (GPa)

Prof. (m)	Ts	TsV	Vs int	Vs m	Tp	TpV	Vp int	Vp m	$\nu$	Gi	Ei	Ki
2	6.391	4.519	221.3	221.3	4.179	2.955	338.4	338.4	0.127	0.078	0.177	0.079
4	10.321	9.791	379.4	306.4	6.145	5.83	695.6	514.6	0.288	0.23	0.593	0.467
6	15.482	15.181	371.1	329.4	8.358	8.196	845.5	610.1	0.381	0.22	0.608	0.85
8	21.379	21.164	334.3	330.7	10.816	10.707	796.2	653.8	0.393	0.179	0.498	0.776
10	25.065	24.912	533.7	361.3	13.274	13.193	804.6	682.2	0.107	0.456	1.009	0.428
12	28.752	28.633	537.4	384.2	15.732	15.668	808.2	702.1	0.104	0.462	1.02	0.429
14	32.817	32.72	489.4	397.3	18.43	18.376	738.4	707.4	0.108	0.383	0.849	0.361
16	36.504	36.423	540.1	411.8	20.642	20.596	900.8	728.3	0.219	0.467	1.138	0.676
18	39.81	39.741	602.8	427.8	22.854	22.814	901.7	745.1	0.096	0.581	1.274	0.526
20	43.633	43.572	522	436.1	25.065	25.031	902.3	759.1	0.248	0.436	1.089	0.721
22	48.303	48.249	427.7	435.2	27.277	27.246	902.8	770.7	0.355	0.293	0.793	0.914
24	51.745	51.696	580.2	444.9	29.115	29.088	1086.2	790.7	0.3	0.539	1.401	1.17
26	54.554	54.511	710.6	458.6	30.963	30.938	1080.5	808.1	0.119	0.808	1.808	0.791
28	57.503	57.464	677.3	469.9	32.438	32.415	1354.1	832.9	0.333	0.734	1.957	1.955
30	60.452	60.416	677.4	480	33.912	33.892	1354.5	855.7	0.333	0.734	1.958	1.957

A seguire il grafico della distribuzione dei tempi di arrivo e delle velocità in funzione della profondità.

ANAS S.p.A.

S.S. 38 "DELLO STELVIO"

Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  
riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  
nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno

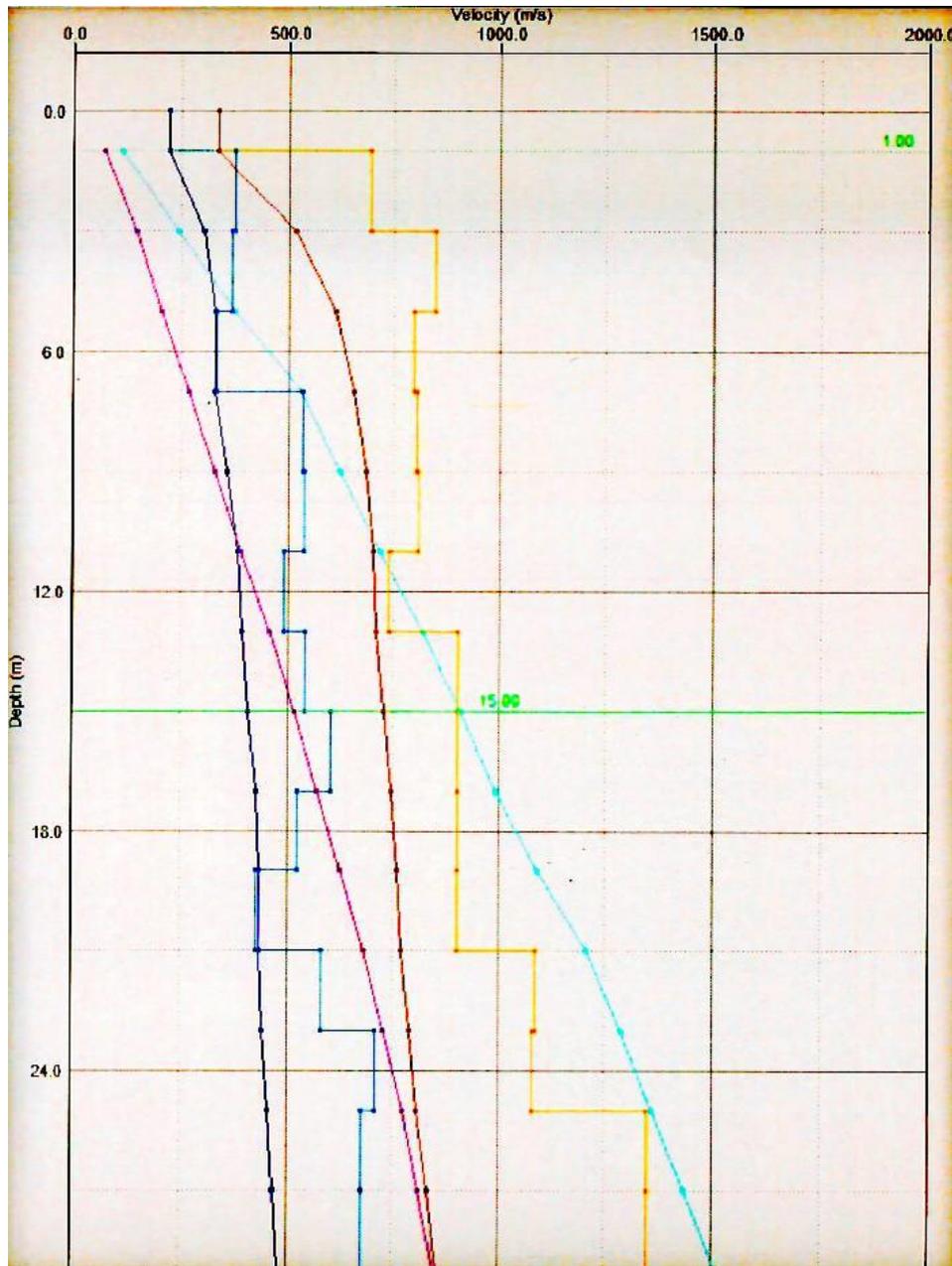
Relazione geologica

File:

T00\_GE00\_GEO\_RE01\_B

Data: Agosto 2022

Pag. 67 di 76



magenta: Tempi Vs

ciano: Tempi Vp

blu: Vel Int Vs

giallo: Vel Int Vp

nero: Vel Medie Vs

rosso: Vel Medie Vp

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 68 di 76</p>
---	---

L'analisi dei dati acquisiti con la prova Down Hole ha consentito di determinare il profilo verticale delle velocità  $V_s$  e, di conseguenza, del parametro  $V_{s,eq}$  calcolato (velocità d'intervallo) alla profondità di 30 metri dall'attuale piano campagna.

Profondità di riferimento: 30 m —  $V_{Soq}$  - 446 m/s

Categoria suolo B

"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine mo/to consistenti, caratterizzati da un mtg/oramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s"

#### **- Campagna aprile 2021**

Il programma di indagini sismiche ha previsto la realizzazione di n. 1 stendimento sismico M.A.S.W. della lunghezza complessiva di 60.00 m denominato "L2". L'acquisizione di campagna è stata condotta con Sismografo PASI modello Gea 24, con geofoni verticali e orizzontali da 4.5 Hz speziati di 5m con offset a 5m di distanza dal primo geofono, l'energizzazione è avvenuta tramite mazza del peso di 10 Kg. Tramite i dati ottenuti dagli stendimenti sismici con metodologia M.A.S.W. è stato inoltre possibile effettuare la determinazione della categoria di sottosuolo per il sito.

I sismogrammi dello stendimento "L2" filtrati di eventuali disturbi di fondo scelti per la modellazione hanno consentito di estrapolare gli spettri di velocità dei quali si è risalito tramite picking alle curve di dispersione che consentono di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

L'elaborazione dei dati ottenuti dall'esecuzione dello stendimento geofisico L2 i cui dati sono stati elaborati, con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), ha evidenziato un valore di  $V_{s,eq}$  calcolato a 30 m pari a 276,57 m/s: il sito in esame rientra quindi nella categoria C.

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 69 di 76</p>
---	---

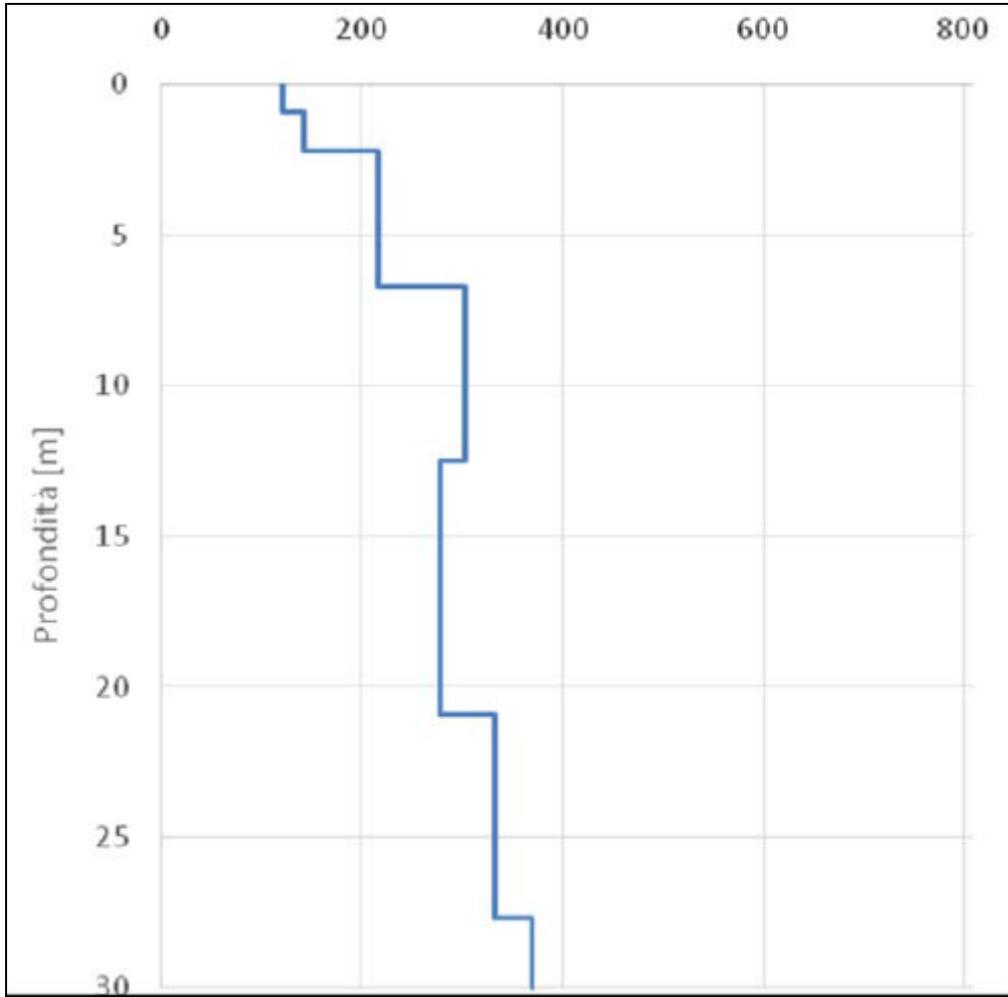


Fig. 11.3 – Diagramma Masw L2

Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Sulla base dei risultati delle indagini geofisiche condotte e precedentemente illustrate, in base ai valori registrati di velocità equivalente  $V_{S,E}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità, è possibile definire la categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC2018 così come segue:

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 70 di 76</p>
---	---

opera di progetto	Indagine sismica	VS,E (m/s)	Categoria di sottosuolo
Muro M8	MASW M1	579	B
Muro M9	MASW M2	658	B
Viadotto, svincolo e nuova rotatoria	MASW L2	279	C
	DOWN-HOLE	446	B

*Tab. 8.3 – Categoria di sottosuolo in base alle NTC 2018*

Dalla precedente tabella si evince quindi che come categoria di sottosuolo di riferimento per le valutazioni strutturali e geotecniche per 3 prospezioni sismiche è da considerarsi la categoria di sottosuolo di tipo B, cioè:

“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS compresi tra 360 m/s e 800 m/s.”.

Per una sismica di tipo MASW L2 la categoria di suolo risultante è C

“Depositati 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.”

La suddetta indagine è stata eseguita in corrispondenza del viadotto e nuovo svincolo da realizzare, pertanto si ritiene di dover assumere un terreno di fondazione di tipo C per tali opere.

Inoltre, per quanto concerne le condizioni topografiche, in base alla classificazione riportata nella Tab. 3.2.III allegata al punto 3.2.2 delle NTC2018 ed in base alle caratteristiche topografiche del sito, l'area di progetto rientra nella categoria T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B  Data: Agosto 2022  Pag. 71 di 76</p>
---	---

## 12. SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Il sito presso il quale sono ubicate le opere in progetto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente limo-sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Oltre la soglia volumetrica  $\gamma_v$  ed avvicinandosi alle condizioni di rottura, il carattere ciclico delle azioni sismiche, variabili in ampiezza e frequenza, può produrre una variazione, rispetto alle condizioni statiche, della resistenza al taglio del terreno.

Quest'ultima, con riferimento al criterio di Mohr-Coulomb, può essere espressa in termini di tensioni efficaci, nella forma:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \cdot \tan \phi' = c' + (\sigma'_0 - \Delta u) \cdot \tan \phi'$$

dove  $\sigma'_0$  rappresenta la tensione statica normale al piano di sollecitazione, agente in condizioni precedenti al moto sismico.

Per liquefazione di un terreno s'intende una vera e propria transizione di fase, caratterizzata dal pressoché totale annullamento della sua resistenza al taglio e dalla perdita del mutuo contatto fra i granelli solidi (azzeramento dello stato tensionale efficace), con il terreno che si comporta come un fluido pesante.

Tali fenomeni causano immancabilmente il collasso delle sovrastanti strutture, anche se dimensionate con criteri antisismici.

### 8.1 Condizioni di esclusione della verifica

La normativa (D.M.17/01/2018), prevede che la verifica a liquefazione possa essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

<p>ANAS S.p.A.  S.S. 38 "DELLO STELVIO"  Lavori per la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati "Sassella" e  riqualificazione della S.S.38 dalla pk 34+150 alla pk 35+200  nei comuni di Sondrio e Castione Andevenno</p> <p><b>Relazione geologica</b></p>	<p>File:  T00_GE00_GEO_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 72 di 76</p>
---	---

accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 8.1 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 8.1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

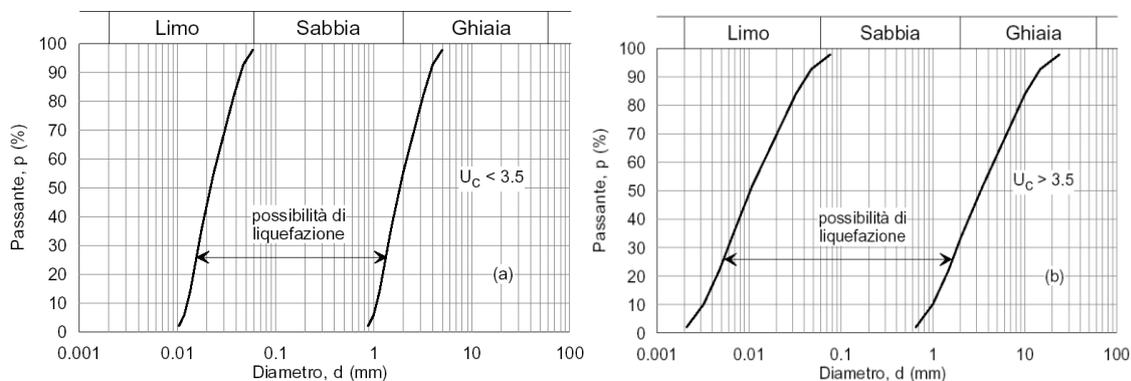


Fig. 12.1 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

La superficie di falda rilevata, di tipo freatico, si attesta a profondità comprese tra -2,2 e -4,1 dal piano campagna.

Per quanto riguarda il criterio di esclusione di cui al punto 4, è stato fatto il confronto tra i grafici suddetti e i risultati delle prove granulometriche eseguite su tutti i campioni sotto falda (prelevati a profondità maggiori di 2 m).

Le figure seguenti mostrano le curve granulometriche con sovrapposte le zone suddette, in rosso per  $U_c < 3,5$  e in blu per  $U_c > 3,5$ .

Tutti i campioni ricadono al di fuori delle zone di liquefazione, con netta prevalenza di granulometrie grossolane. Tali considerazioni permettono di escludere la liquefacibilità dei terreni, senza necessità di ulteriori verifiche.

Analisi granulometriche Campagna ottobre 2021:

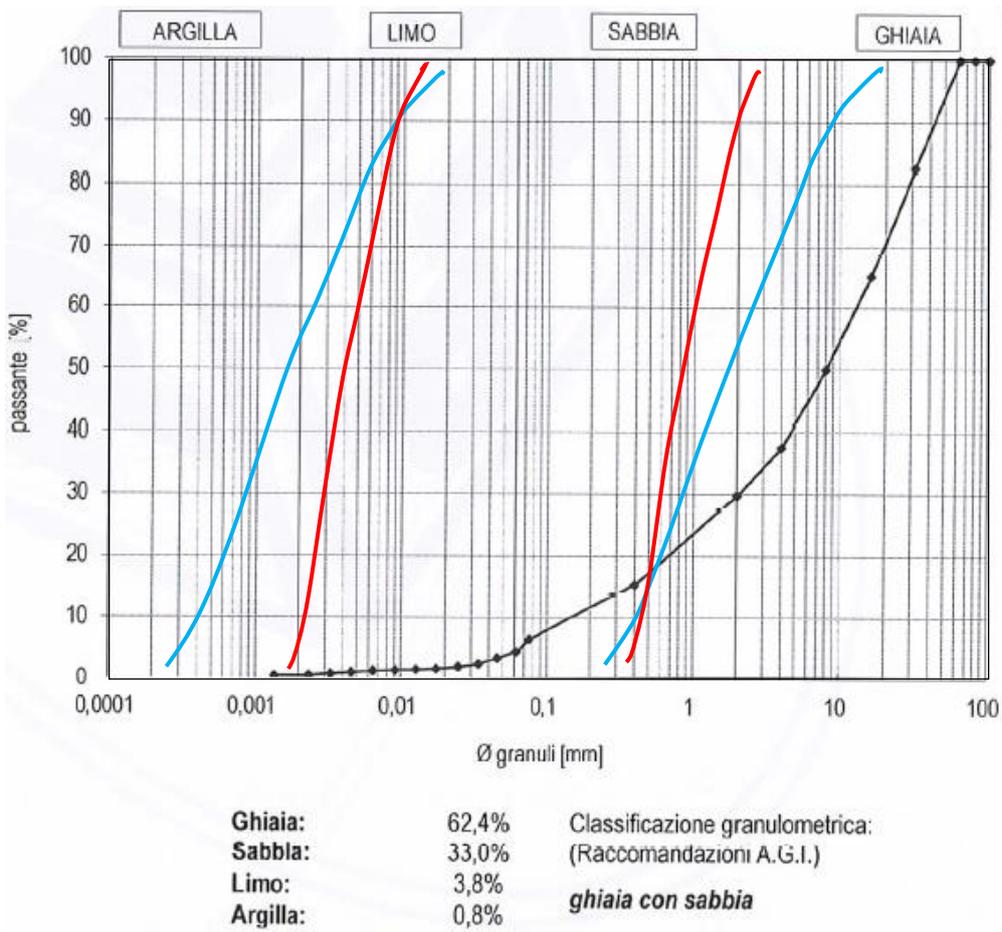


Fig. 12.2 - Campagna ottobre 2021 campione S1CDH C2 m 4,5-5

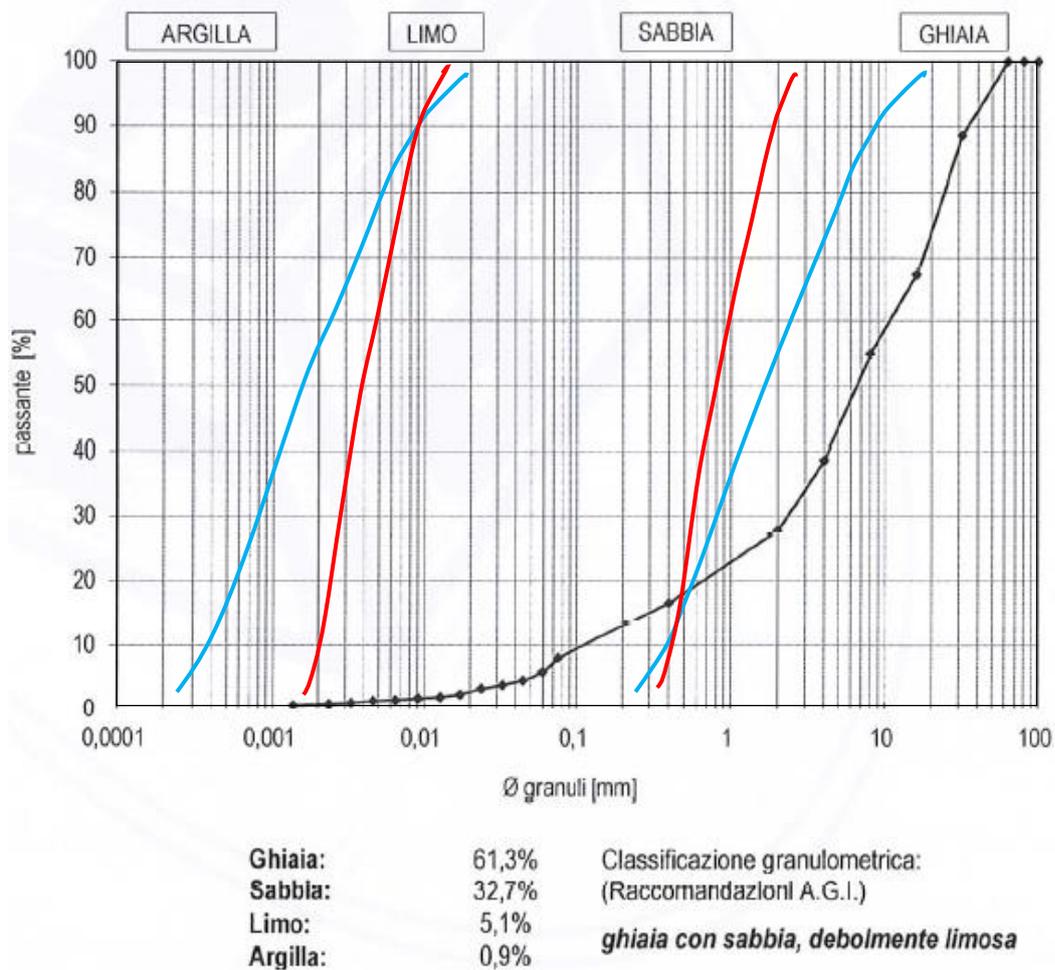


Fig. 12.3 - Campagna ottobre 2021 campione S1CDH C5 m 15-15,5

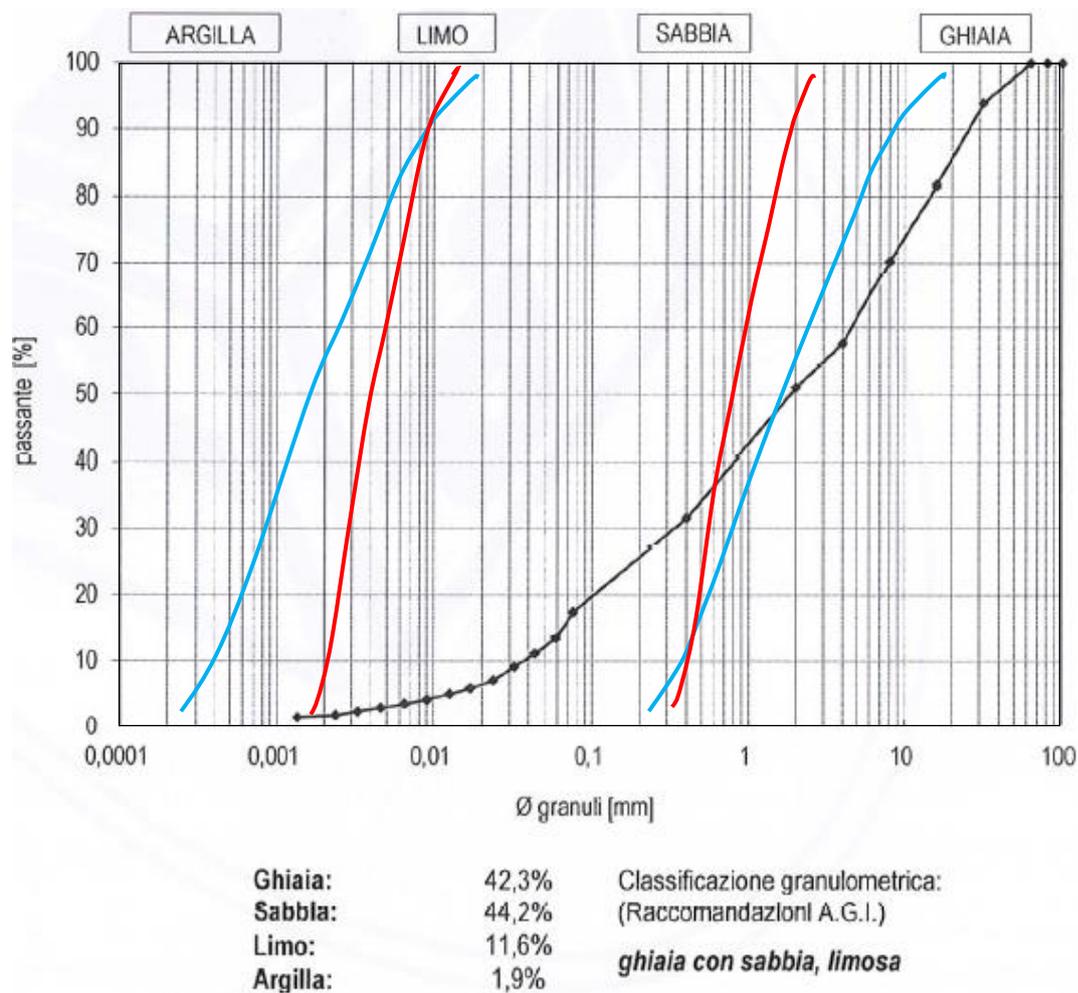


Fig. 12.4 - Campagna ottobre 2021 campione S1CDH C8 m 25-26

Analisi granulometriche Campagna aprile 2021:

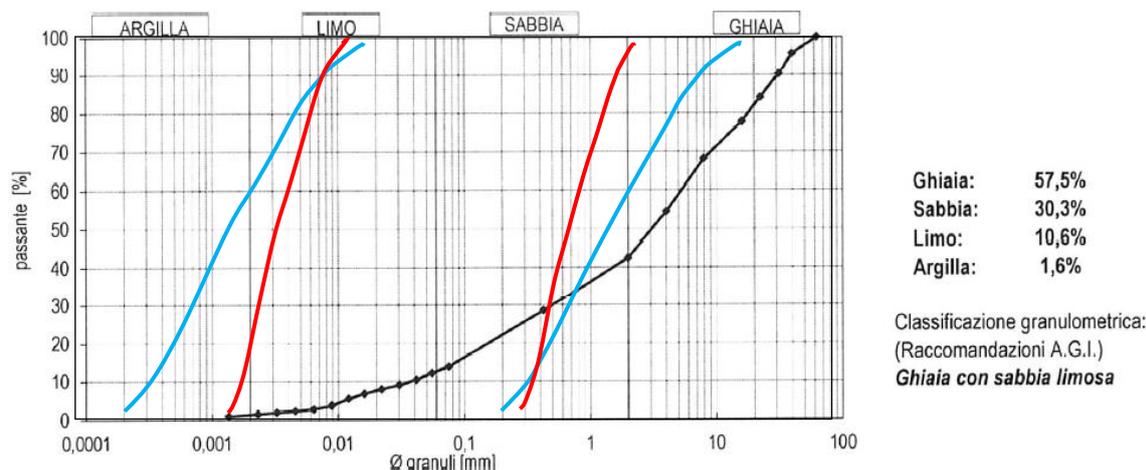


Fig. 12.5 - Campagna aprile 2021 campion

Sebbene le curve granulometriche ricadano al di fuori delle zone di liquefazione con sovrapposte le zone suddette si è provveduto comunque alle verifiche alla liquefazione, utilizzando i risultati delle indagini sismiche.

Sono state effettuate:

- N° 2 verifiche nella zona del viadotto, utilizzando la prova downhole S1CDH e la Masw L2;
- N° 1 nel tratto del tracciato interessato da muri di sostegno, utilizzando i due stendimenti masw M1 e M2, che hanno restituito sequenze sismostratigrafiche del tutto analoghe, in quest'area la verifica è stata limitata alla profondità di 7m, oltre la quale è presente il sustrato litoide.

È stato utilizzato il software LIQUEFAZIONE Vers. 1.3 di EPC LIBRI.

Tutte le verifiche hanno dato **suscettibilità alla liquefazione molto bassa o nulla**, come riportato nelle schermate del programma, che si omettono in quanto riportate nella Relazione Sismica (elaborato T00\_SG00\_STR\_RE01\_B), a cui si rimanda per ogni approfondimento.