

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

Via Benini 7 - 48013 Legnano - Subotica

PINI GROUP Srl

Via Garibaldi 2 - 20124 Bergamo (BG) - Italia

MANDANTE

RELAZIONE SISMICA

CODICE PROGETTO

PROGETTO

M S M I 0 9

LIV. PROG.

P

N. PROG.

2 1 0 2

NOME FILE

T00_SG00_STR_RE01_D

CODICE ELAB.

T 0 0 S G 0 0 S T R R E 0 1

REVISIONE

D

PAG.

1 di 59

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
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 2 di 59</p>
---	---

SOMMARIO

1.	PREMESSA _____	2
2.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO _____	4
3.	INDAGINI E STUDI ESEGUITI _____	6
4.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE _____	13
5.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO E TETTONICO- STRUTTURALE _____	14
6.	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO E SISMICITA' STORICA _____	16
7.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA SECONDO IL D.M. DEL 17.01.2018 _____	26
8.	RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE _____	38
9.	SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE _____	47

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 Sismica	File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 3 di 59
--	--

1. PREMESSA

Nel presente elaborato si riportano i risultati dello studio a carattere geologico e sismico eseguito a supporto dei 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.

Per la redazione del presente studio geologico e sismico sono stati eseguiti sia sopralluoghi e rilievi che hanno riguardato i siti di progetto e l'area immediatamente circostante, nonché ricercati, consultati, analizzati ed utilizzati dati bibliografici e dati pubblicati dallo Stato e dalle altre Amministrazioni e Istituzioni Pubbliche inerenti l'area.

Ai fini della caratterizzazione geologica e sismica dei terreni presenti, in ottemperanza alle Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018), sono stati utilizzati sia i risultati di studi e indagini pregressi, che i risultati della campagna di indagine geognostica, sismica, geotecnica e ambientale specificamente pianificata ed eseguita in fase di progettazione definitiva.

Nello specifico, la campagna di indagine geognostica, eseguita nel mese di ottobre 2021 a integrazione delle indagini precedenti, ha permesso di indagare i terreni che saranno interessati dalle opere in progetto e di caratterizzarli dal punto di vista litostratigrafico, fisico-meccanico, sismico nonché ambientale attraverso l'esecuzione di indagini sia dirette che indirette.

I dati di riferimento, utilizzati per la redazione della presente relazione, sono contenuti nei seguenti elaborati di progetto, ai quali si rimanda per eventuali approfondimenti.

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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 4 di 59</p>
---	---

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Lo studio realizzato e la redazione della seguente relazione sono stati eseguiti in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento di seguito elencate.

- **Legge 2 febbraio 1974, n. 64** "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche" e successive modifiche ed integrazioni.
- **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).
- **Delibera della Giunta Regionale 29 luglio 2003, n. 1046** "Indirizzi generali per la prima applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003. Individuazione e formazione dell'elenco delle zone sismiche nella Regione Marche".
- **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 14 gennaio 2008** "Norme tecniche per le costruzioni".
- **Circolare Ministeriale del 02 febbraio 2009, n. 617** "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM.14.01.2008".

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 5 di 59</p>
---	---

- **Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018** "Norme tecniche per le costruzioni".
- **DISS Database of Individual Seismogenic Sources**, version 3 su Google Earth – INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Sito web).
- **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).
- **Mappa 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).

Le indagini di tipo geognostico, geofisico, geotecnico e ambientale sono state condotte in ottemperanza alle procedure e normative tecniche vigenti, in primo luogo le "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche", AGI (Associazione Geotecnica Italiana), giugno 1977, e, comunque, riportate nei rispettivi rapporti ed elaborati tecnici.

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 6 di 59</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+250nei 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).

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 7 di 59</p>
---	---

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.

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:

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 8 di 59</p>
---	---

- 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. 11 granulometrie per setacciatura e sedimentazione;
- n. 11 determinazioni dei limiti liquido e plastico;
- n. 3 prove di taglio diretto (TD);
- n. 1 prova ELL;
- n. 2 prove edometriche;
- n. 3 determinazioni della massa volumica reale e apparente per rocce;
- n. 3 determinazioni della porosità totale e aperta per rocce;
- n. 3 determinazioni della resistenza a compressione monoassiale 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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 9 di 59</p>
---	---

INDAGINI PER IL PROGETTO DI FATTIBILITÀ "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 sondaggio 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.

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 10 di 59</p>
---	--

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 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+150 alla pk 35+200 nei Comuni di Sondrio e 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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 11 di 59</p>
---	--

- 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+250NEI COMUNI DI BERBENNO, CASTIONE E SONDRIO". 2009

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Prove penetrometriche dinamiche DPSH

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

INDAGINI GEOFISICHE

- n. 6 stendimenti sismici a rifrazione da 120m, di cui si conosce solo l'ubicazione (B35-B40) La documentazione tecnica di quest'ultimi non è disponibile.

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+150 alla pk 35+200 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).

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 12 di 59</p>
---	--

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 i dissesti "PAI" e "IFFI", una carta idrogeologica e un profilo geologico.

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 13 di 59</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", tra le progressive 34+150 e 35+200 e comprende lo svincolo "Sassella" (Fig. 4.1).

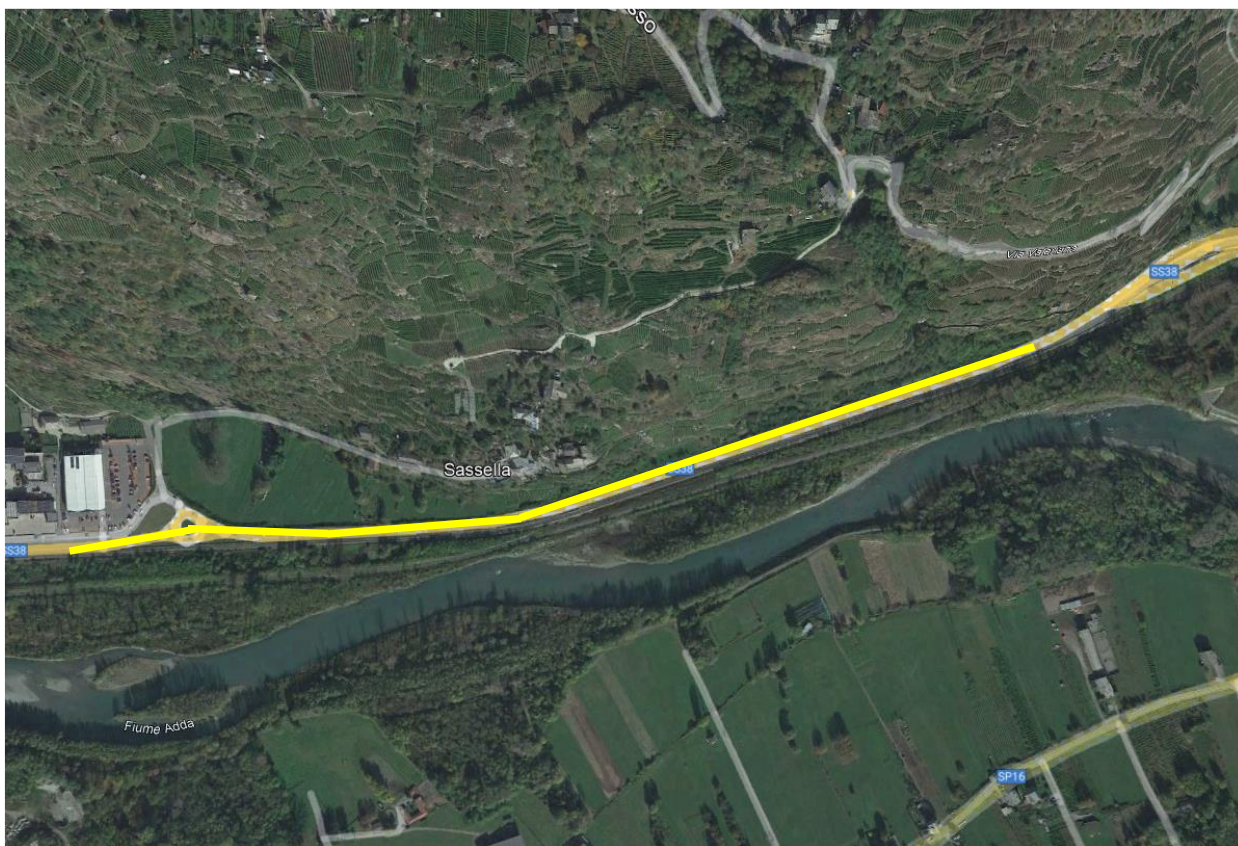
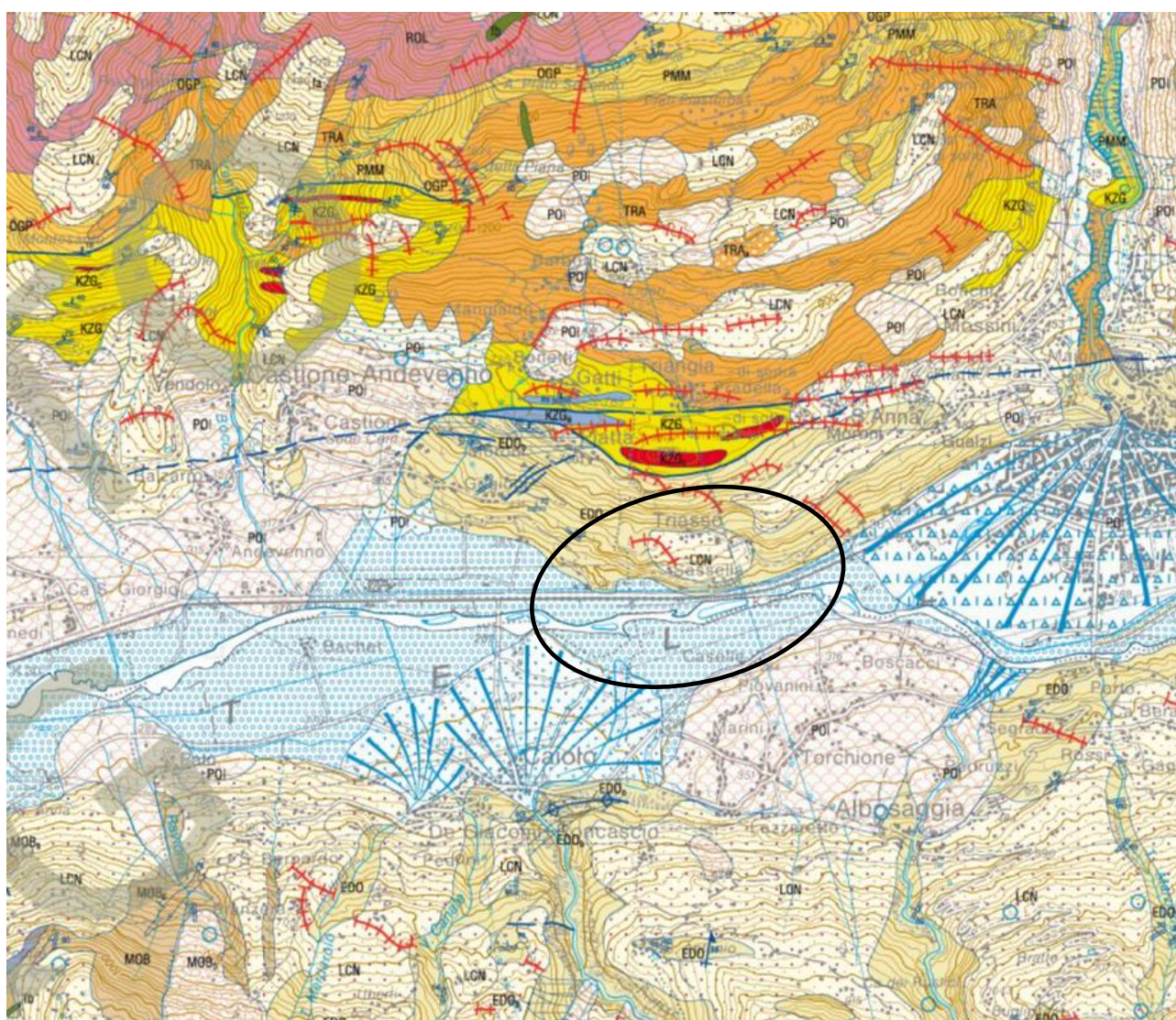


Fig. 4.1 – Mappa di inquadramento dell'area di studio con indicazione schematica del tratto interessato dal progetto.

Le opere ricadono quasi integralmente nel Comune di Sondrio, con solo la propaggine occidentale ricadente nel Comune di Castione Andevenno.

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



<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 15 di 59</p>
---	--

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

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 (Fig. 5.1). 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, si osserva come nell'area di studio 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.

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. Sul 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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 16 di 59</p>
---	--

6. CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO E SISMICITA' STORICA

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

Caratteristiche sismiche del territorio di studio

Per il territorio dei Comuni di Sondrio e Castione Advenno, 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.

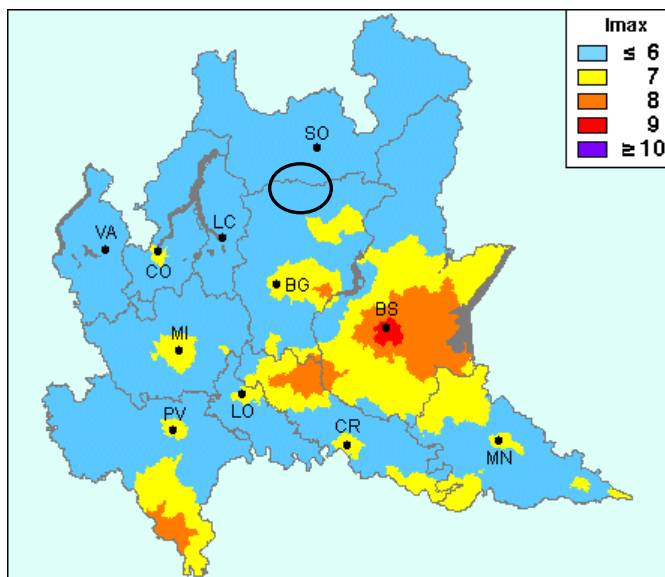


Fig.6.1 – Massime intensità macrosismiche

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 17 di 59</p>
---	--

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.

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	1785	11	18				Bassa Engadina	4		
5	1851	02	05	09	50		Valtellina	30	5	4.72
F	1879	02	14				Garda occidentale	13	5	4.62
4	1882	02	27	06	30		Valle Seriana	37	6-7	4.81
3	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
4-5	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.87
5-6	1891	12	22				Valtellina	7	5-6	4.41
3	1892	01	05				Garda occidentale	93	6-7	4.96
3-4	1894	11	27	05	07		Bresciano	183	6	4.89
5	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
3	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
3	1917	12	09	21	40		Alta Engadina	39	6	4.60

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 18 di 59</p>
---	--

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area Epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1918	04	24	14	21		Lecchese	34	6	4.95
3-4	1919	09	16	02	18	3	Alta Valtellina	10	4-5	3.50
2	1920	09	07	05	55	4	Garfaqnana	750	10	6.53
5	1927	08	13	01	00	5	Alta Enadina	19	5	4.40
4	1960	03	23	23	10		Vallese	178	7	5.00
4	1961	11	23	01	12	0	Prealpi bergamasche	119	6-7	4.86
F	1968	06	22	12	21	3	Val Lagarina	27	6-7	4.74
3-4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	1979	02	09	14	44		Bergamasco	73	6	4.78
3-4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4	1991	11	20	01	54	1	Griqioni, Vaz	468	6	4.70

Tab.6.1– 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.

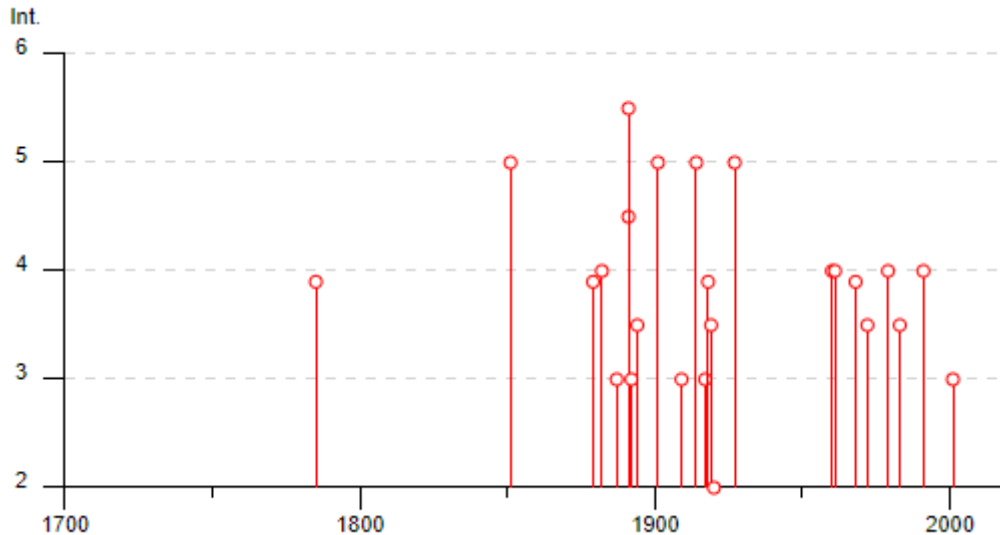


Fig.6.2 – Grafico riportante i valori delle massime intensità macrosismiche registrate (1348 – 2016)

La figura 6.2 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 ≥ 6 e magnitudo momento ≥ 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.

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 20 di 59</p>
---	--

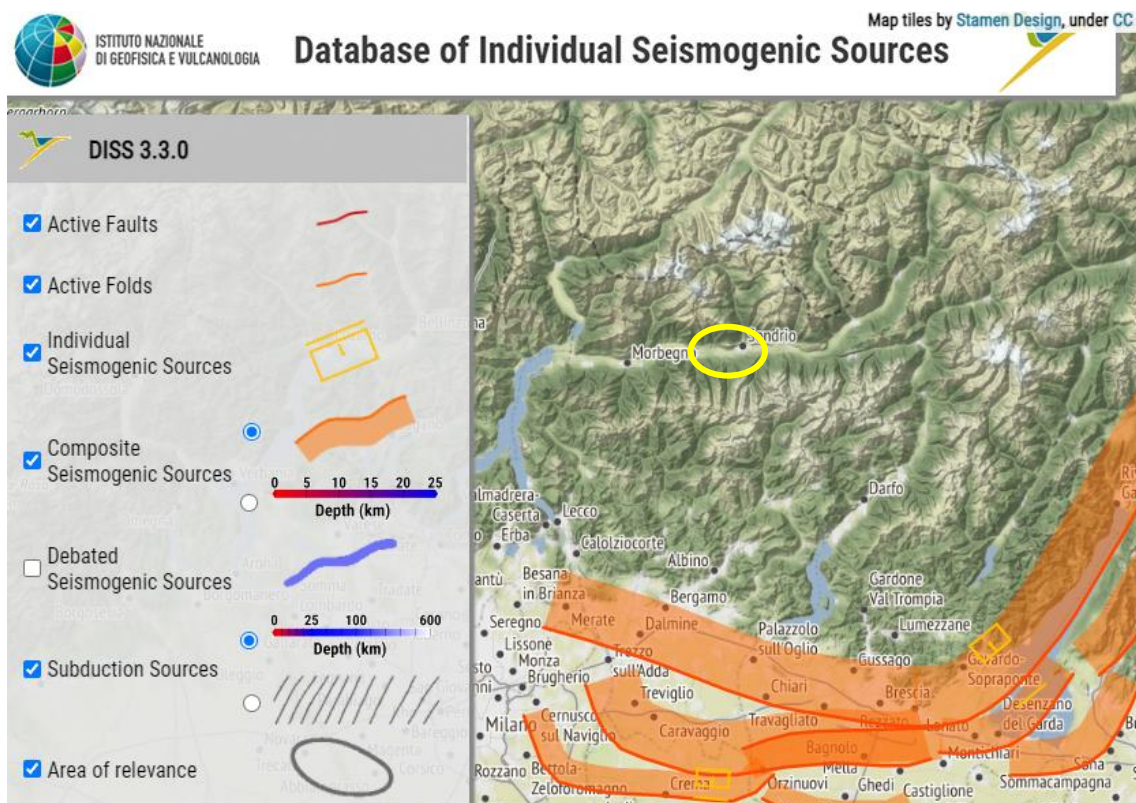


Fig.6.3 Sistemi di faglie attive nel territorio riguardante il Comune di Sondrio

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

Nel cerchio giallo 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 composta e/o da fonte sismogenetica individuale.

6.2 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.

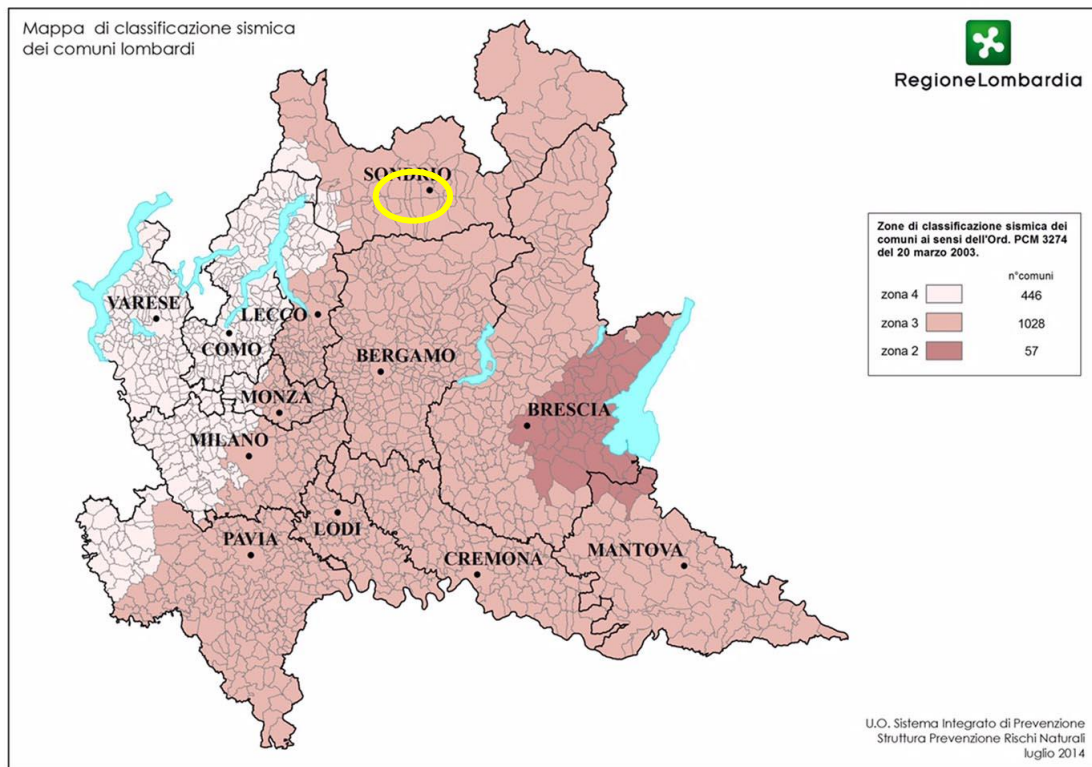


Fig.6.4 – classificazione sismica dei comuni lombardi

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 22 di 59</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.6.3 – 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 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

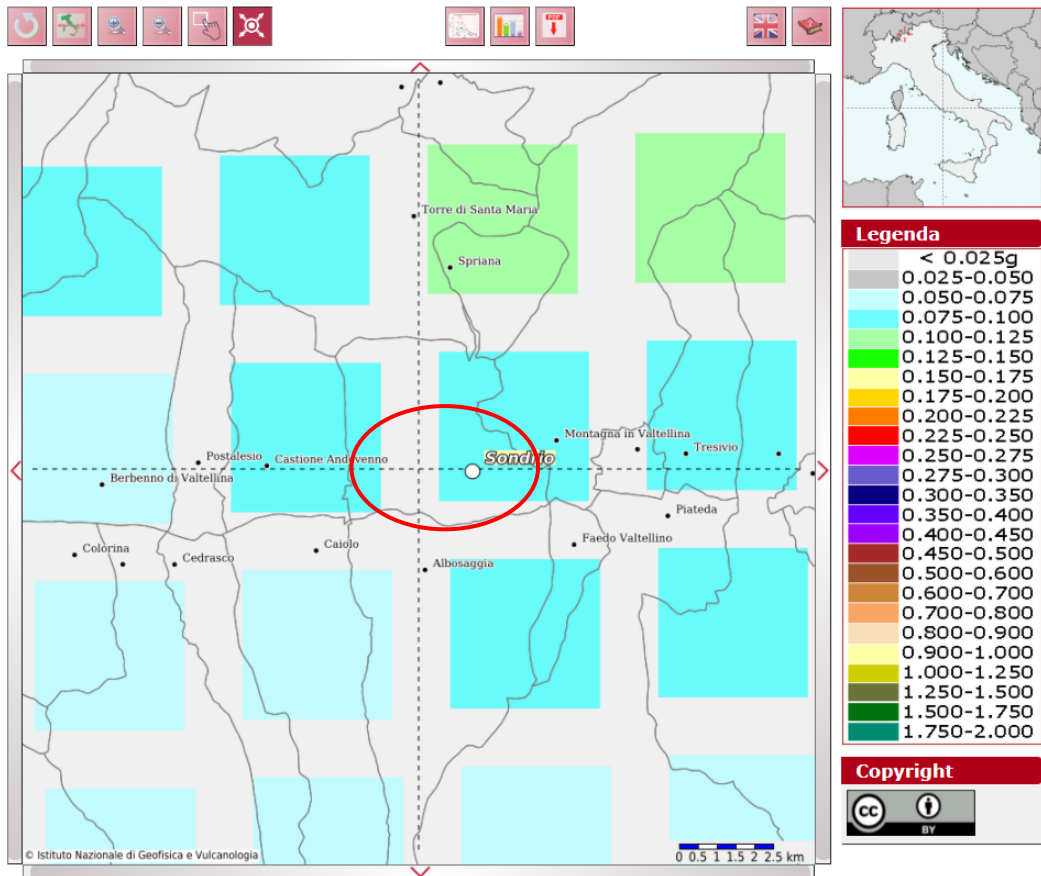


Fig.6.5 – INGV – Stralcio “Mappa interattiva di pericolosità sismica del territorio nazionale”

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.

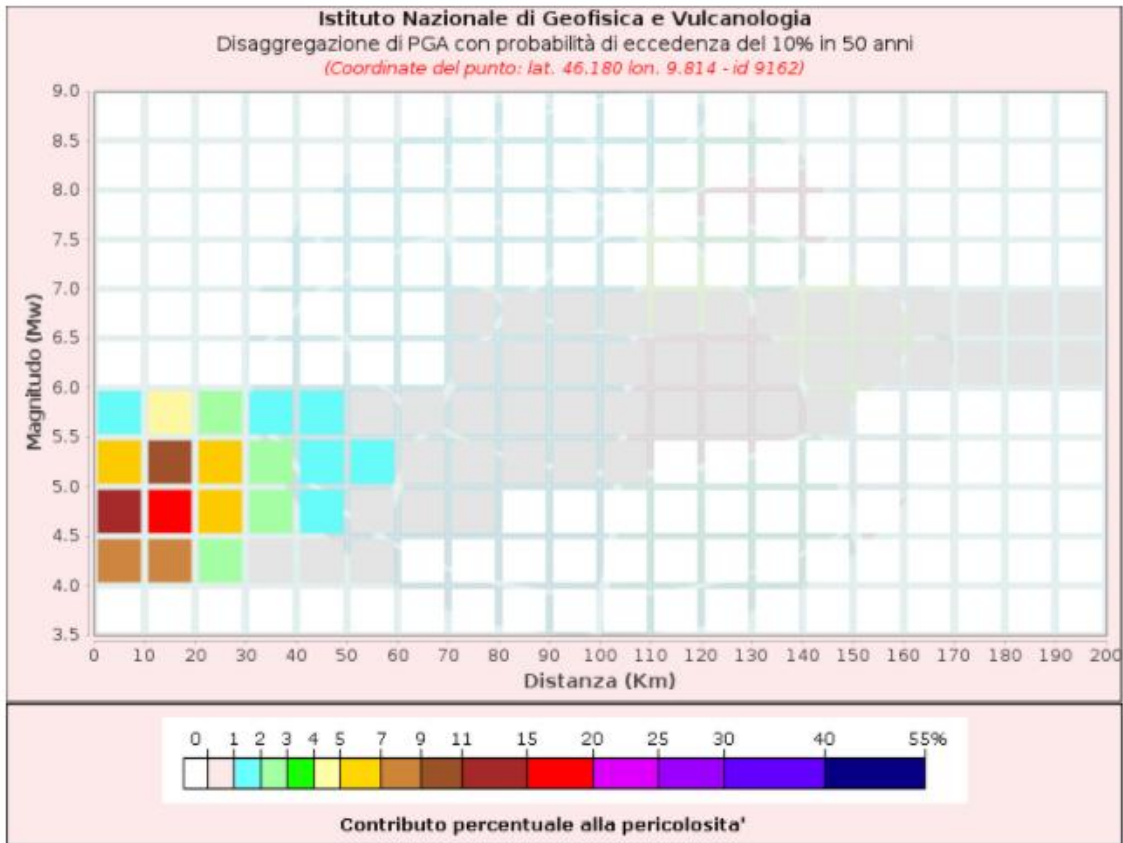


Fig.6.6 – (INGV) – Grafico Magnitudo - Distanza

<p>ANAS S.p.A.</p> <p>S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B</p> <p>Data: Agosto 2022</p> <p>Pag. 25 di 59</p>
---	--

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.6.4 – (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 = 19,4km.

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 26 di 59</p>
---	--

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA SECONDO IL D.M. DEL 17.01.2018

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;

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 27 di 59</p>
---	--

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

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:

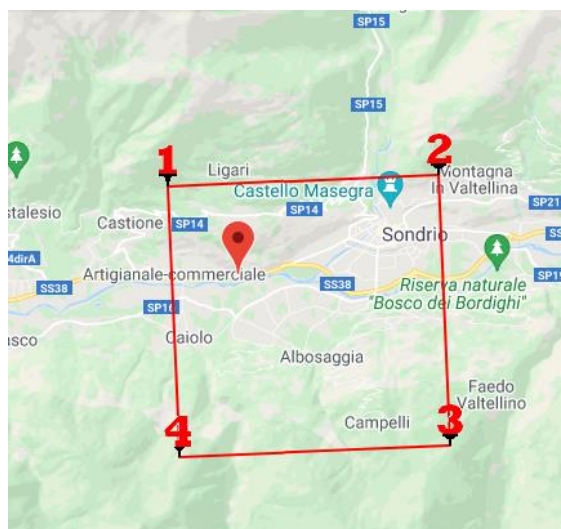
SLO – stato limite di operatività;

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

<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;">Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 28 di 59</p>
---	--

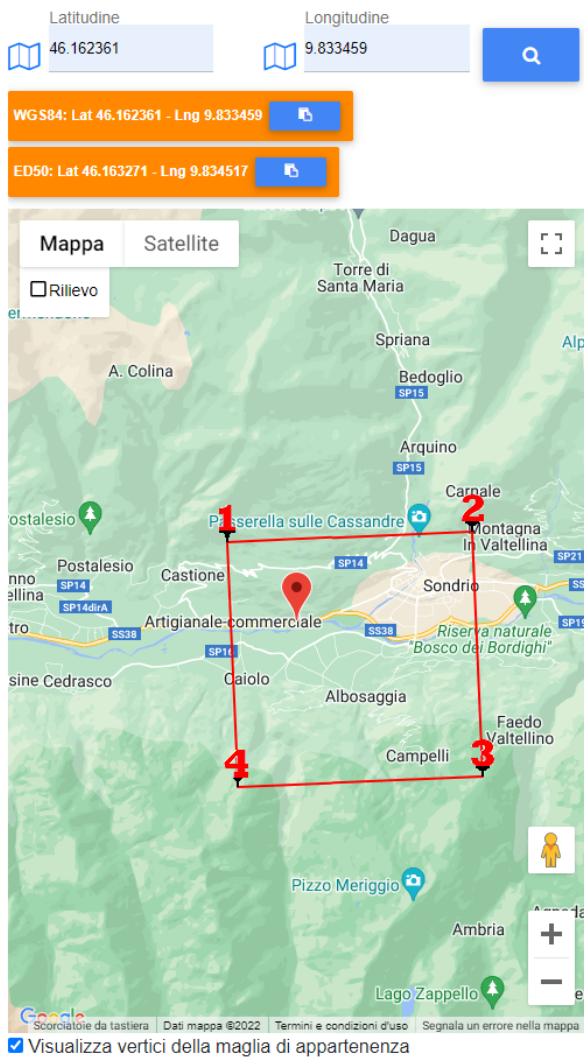
Sito 4 ID: 9384 Lat: 46,1296 Lon: 9,8171 Distanza: 3908,234

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:

WGS84: Lat 46.162144 - Lng 9.831732

ED50: Lat 46.163055 - Lng 9.832789



Stati limite

Classe Edificio

IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...

Vita Normale: 100

Interpolazione: Media ponderata

CU = 2

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F _o	T _c * [s]
Operatività (SLO)	120	0.046	2.549	0.230
Danno (SLD)	201	0.057	2.547	0.249
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0.127	2.580	0.282
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.138	2.592	0.284
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazi...

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 | us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,49
CC Coeff. funz categoria	1,70	1,66	1,59	1,59
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
Acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]	0.6			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.014	0.017	0.046	0.049
kv	0.007	0.009	0.023	0.025
Amax [m/s ²]	0.676	0.836	1.866	2.019
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

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

Che ha fornito i seguenti parametri sismici:

Parametri sismici

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 30 di 59</p>
---	--

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 46,163271

longitudine: 9,834517

Classe: 4

Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 9162 Lat: 46,1796 Lon: 9,8140 Distanza: 2407,465

Sito 2 ID: 9163 Lat: 46,1817 Lon: 9,8860 Distanza: 4462,302

Sito 3 ID: 9385 Lat: 46,1318 Lon: 9,8890 Distanza: 5470,077

Sito 4 ID: 9384 Lat: 46,1296 Lon: 9,8171 Distanza: 3974,071

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 200anni

Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 120 [anni]

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 31 di 59</p>
---	--

ag: 0,046 g
Fo: 2,549
Tc*: 0,230 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 201 [anni]
ag: 0,057 g
Fo: 2,547
Tc*: 0,249 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 1898 [anni]
ag: 0,127 g
Fo: 2,580
Tc*: 0,282 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 2475 [anni]
ag: 0,138 g
Fo: 2,592
Tc*: 0,284 [s]

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 32 di 59</p>
---	--

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500

Cc: 1,700

St: 1,000

Kh: 0,014

Kv: 0,007

Amax: 0,676

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,660

St: 1,000

Kh: 0,017

Kv: 0,009

Amax: 0,836

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,500

Cc: 1,590

St: 1,000

Kh: 0,046

Kv: 0,023

<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;">Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 33 di 59</p>
---	--

Amax: 1,866

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,490

Cc: 1,590

St: 1,000

Kh: 0,049

Kv: 0,025

Amax: 2,019

Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 46.162361

longitudine: 9.833459

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 34 di 59</p>
---	--

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,

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 35 di 59</p>
---	--

	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.

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, V_S 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, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 36 di 59</p>
---	--

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.

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 $i \leq 15^\circ$

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 37 di 59</p>
---	--

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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 38 di 59</p>
---	--

8. 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_CG01_B "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_RG02_B "Risultati indagini geognostiche".

Strumentazione e metodologie utilizzate

Campagna ottobre 2021.

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

Sismografo MAE mod. X820S 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.

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 39 di 59</p>
---	--

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

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

Elaborazione dei dati

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 M1

Gli spessori rilevati e le relative velocità delle onde S portano alla determinazione di una **VSeq = 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.

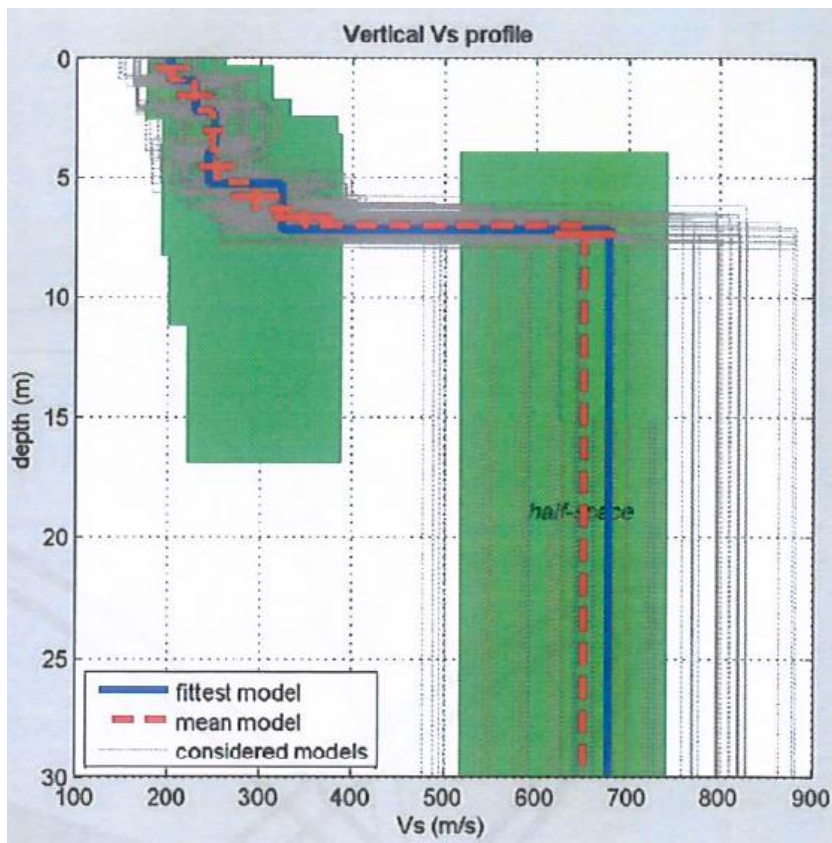


Fig. 8.1 - M1: profilo verticale delle Onde di taglio "VS".

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.

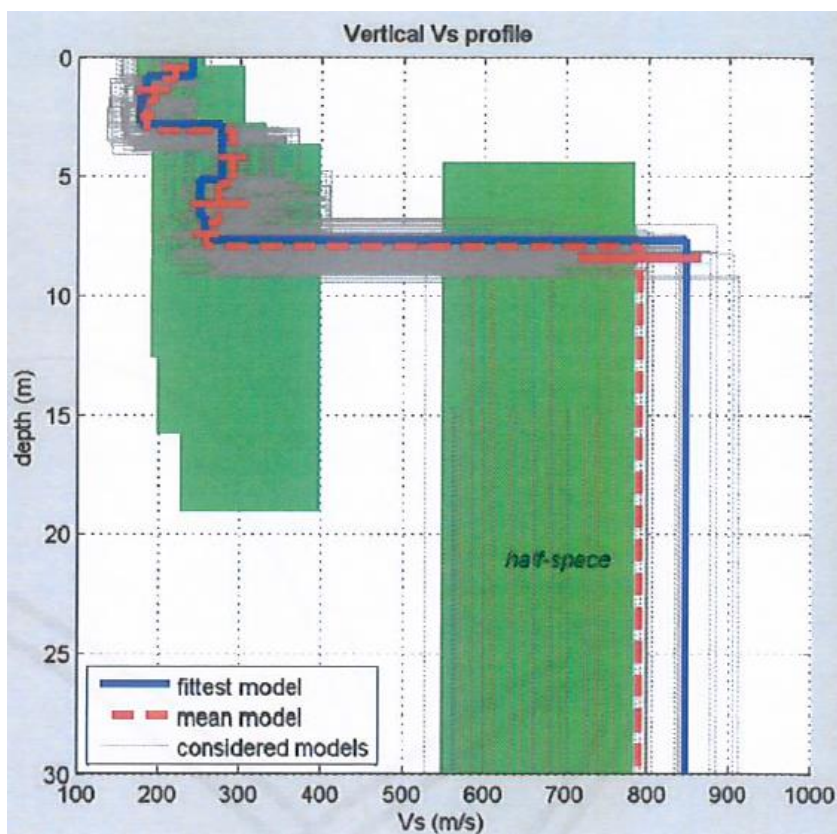


Fig. 8.2 – M2: profilo verticale delle Onde di taglio "VS".

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

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 42 di 59</p>
---	--

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

Vp average: Velocità media onde P in m/s

Vs Average: Velocità media onde S in m/s

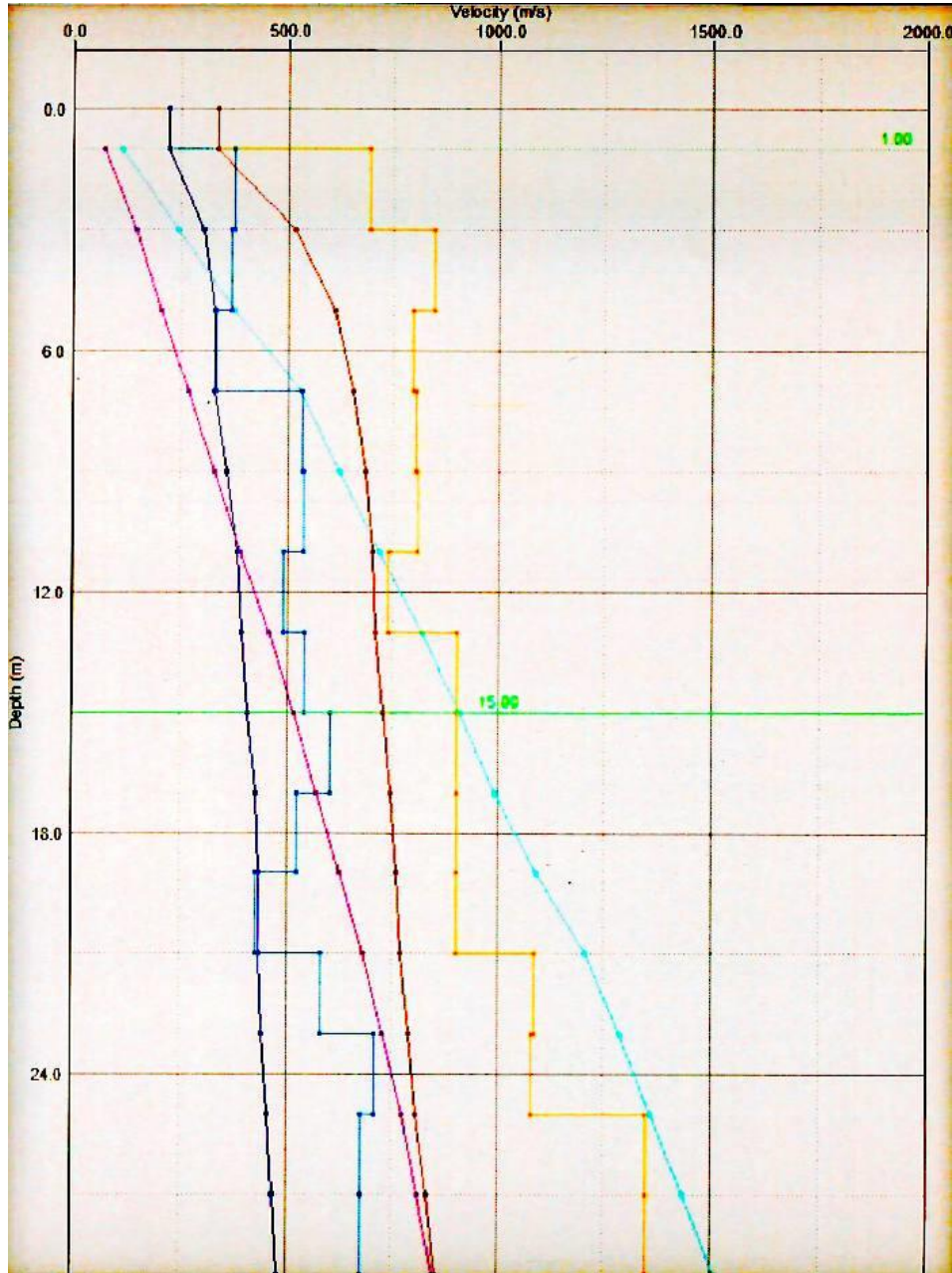
Ei: Modulo di elasticità dinamica iniziale (GPa)

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	ν	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



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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 44 di 59</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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 45 di 59</p>
---	--

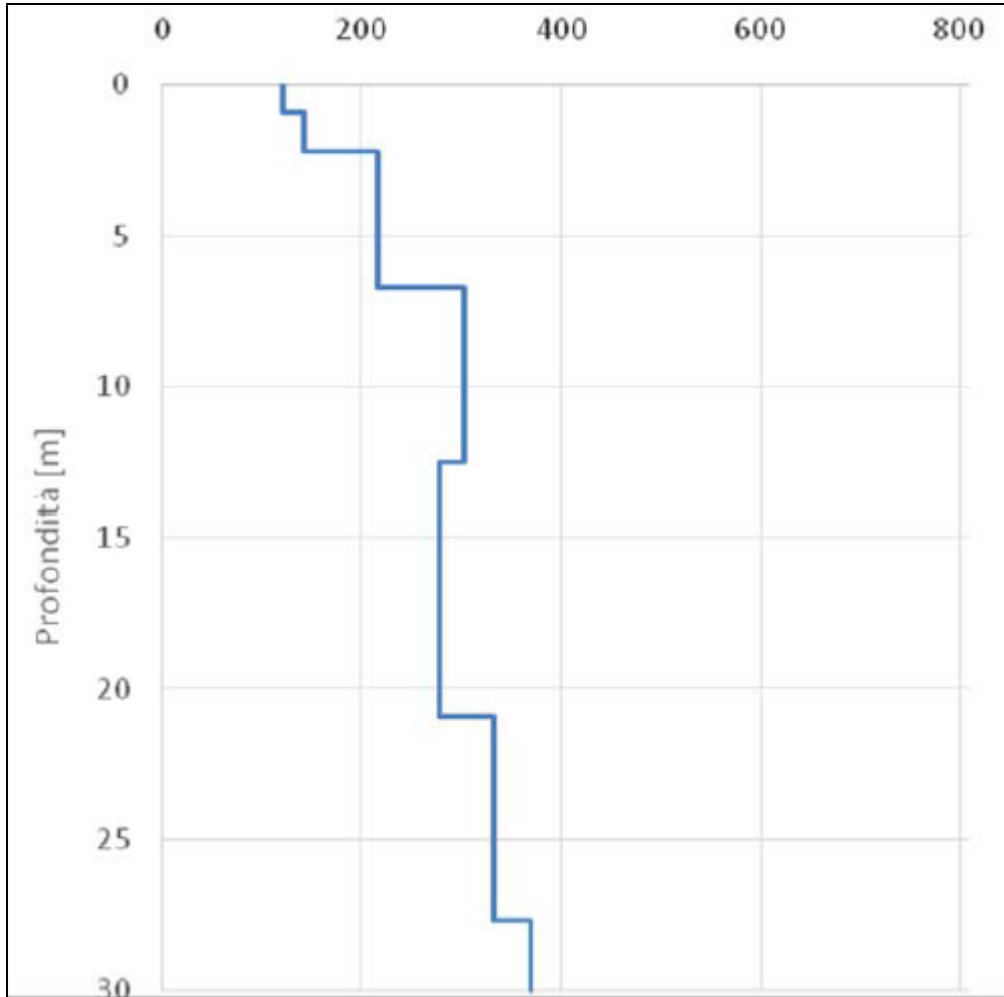


Diagramma Masw L2

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 VS,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:

opera di progetto	Indagine sismica	VS,E	Categoria	di
-------------------	------------------	------	-----------	----

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 46 di 59</p>
---	--

		(m/s)	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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 47 di 59</p>
---	--

9. 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 γ_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 σ'_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

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 48 di 59</p>
---	--

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

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 $U_c > 3,5$.

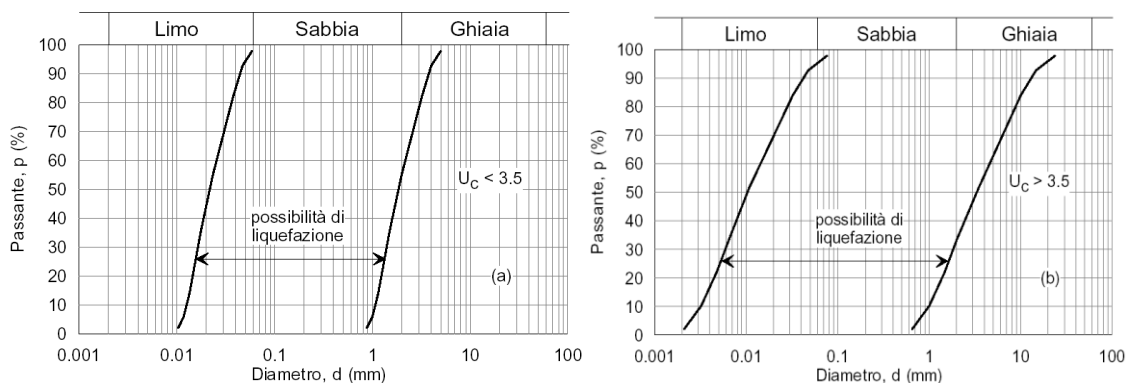


Fig. 9.1 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

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 2m).

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.

Analisi granulometriche Campagna ottobre 2021:

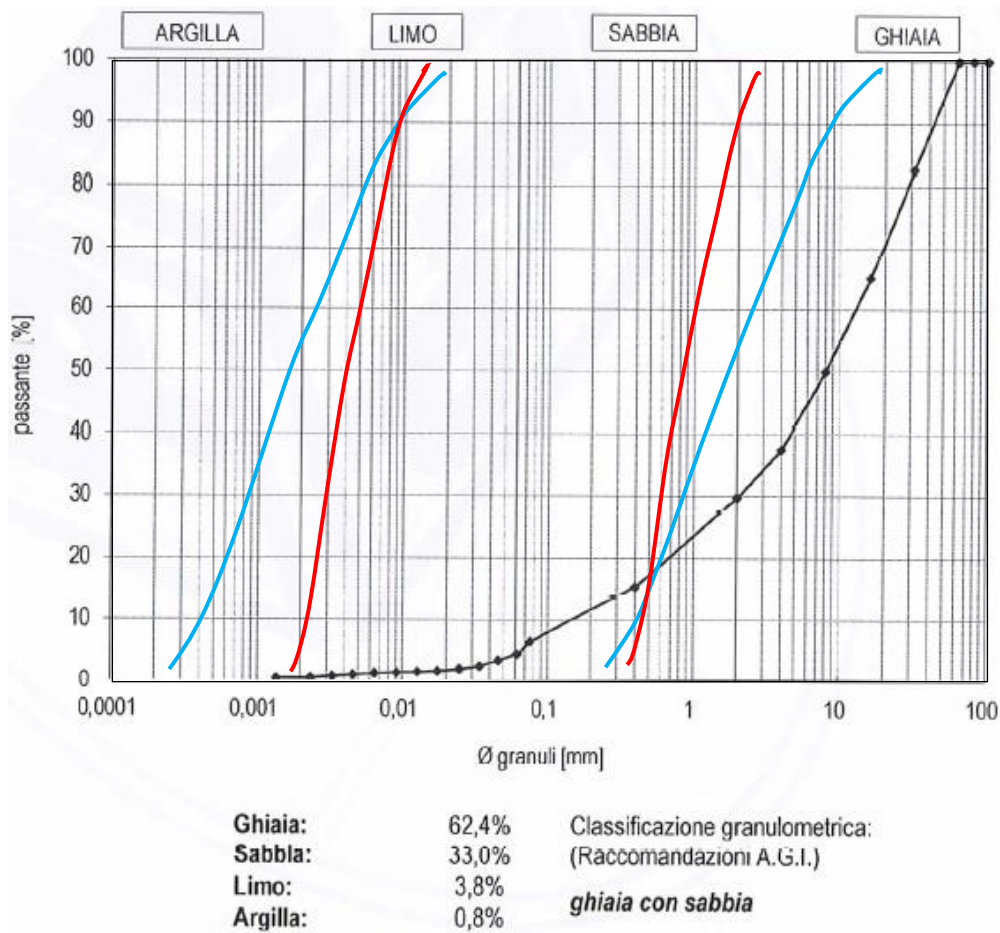


Fig. 9.2 - Campagna ottobre 2021 campione S1CDH C2 m 4,5-5

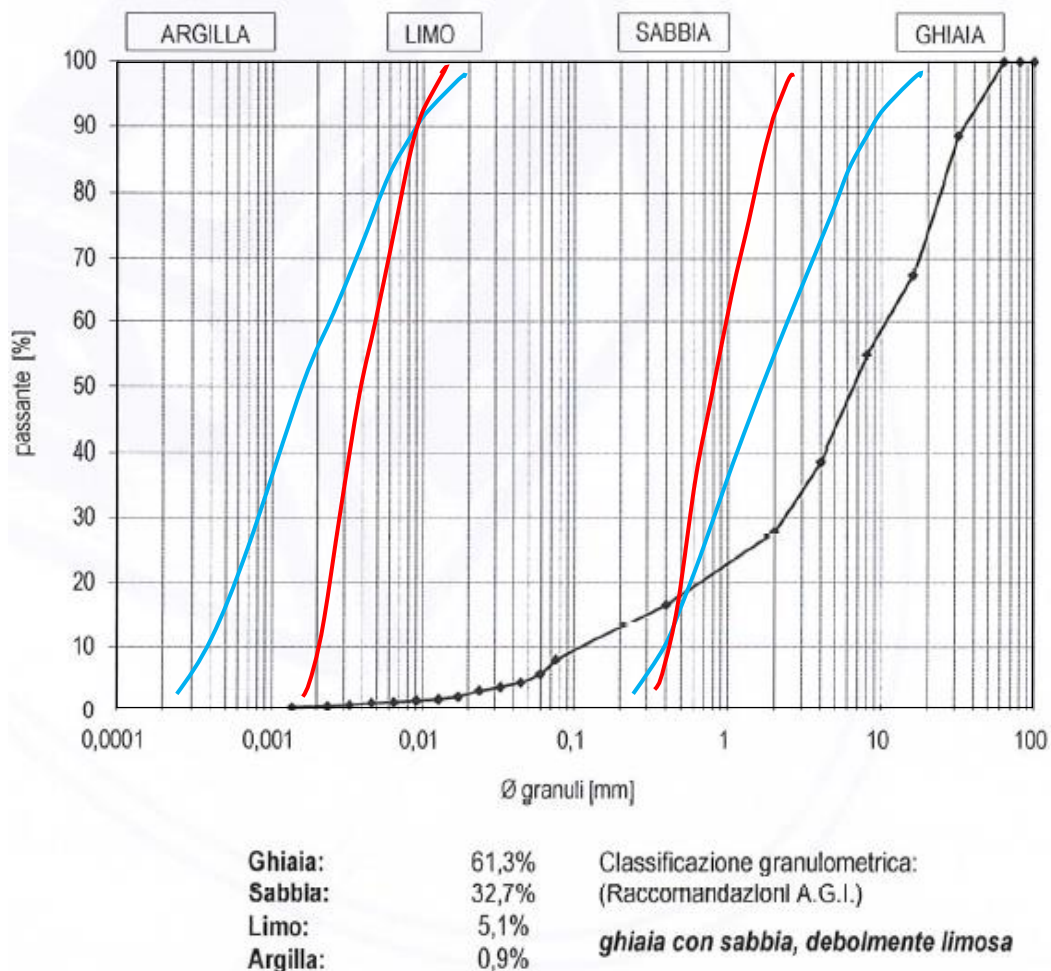


Fig. 9.3 - Campagna ottobre 2021 campione S1CDH C5 m 15-15,5

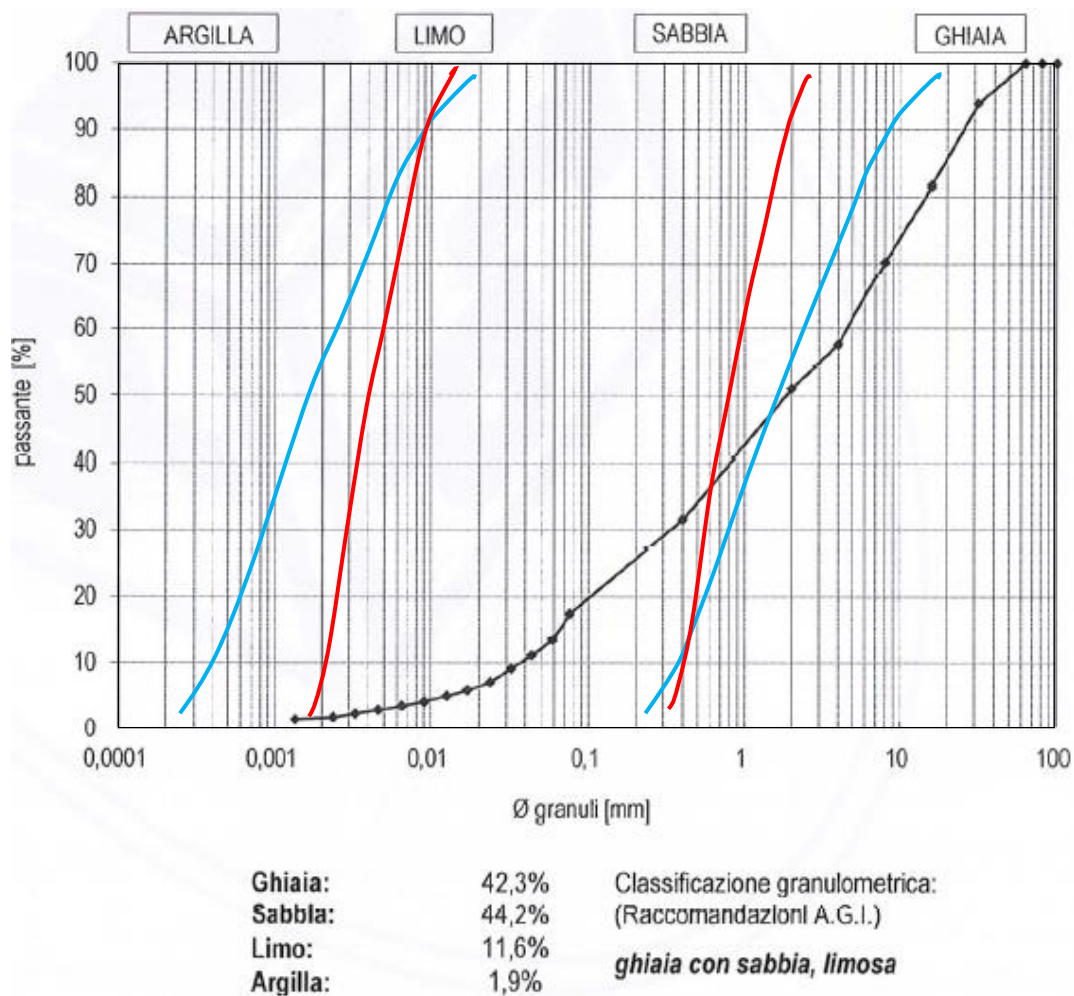


Fig. 9.4 - Campagna ottobre 2021 campione S1CDH C8 m 25-26

<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>Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 52 di 59</p>
---	--

Analisi granulometriche Campagna aprile 2021:

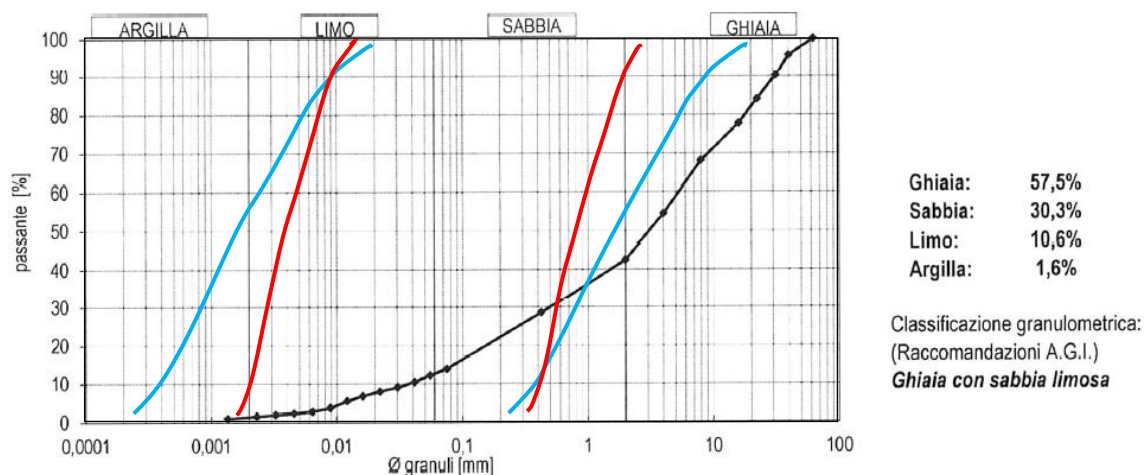


Fig. 9.5 - Campagna aprile 2021 campione S2 C2 (m 3)

Verifica alla liquefazione

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.

<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;">Relazione Sismica</p>	<p>File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 53 di 59</p>
---	--

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

Tutte le verifiche hanno dato **suscettibilità alla liquefazione molto bassa o nulla**, a seguire si riportano le schermate del programma.

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 Sismica	File: T00_SG00_STR_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 54 di 59
---	---

Masw M1 e M2 - Verifica a uno strato:

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE																												
<p style="text-align: center; color: red;">DATI INSERITI</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>$H_{falda} = 2$ $a_{max}/g = 0.19$</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>R = <input type="text"/></p> <p>M = 6.14</p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> </div>	<p style="text-align: center; color: blue;">TEORIE DI CALCOLO</p> <div style="border: 1px solid black; background-color: yellow; padding: 5px; margin: 5px;">ANDRUS E STOKOE (1997)</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: yellow; height: 30px; margin: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; background-color: yellow; height: 30px; margin: 5px;"></div>																											
<p style="text-align: center; color: red;">STRATIGRAFIA TERRENO</p> <div style="text-align: right; margin-bottom: 5px;"> $S_{TOT} = 7.00$ </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">PRIMO STRATO</th> <th style="text-align: left;">$H_1 = 3.5$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Parametri</td> <td colspan="2">Parametri calcolati</td> </tr> <tr> <td>$H_1 = 3.5$</td> <td>$\gamma_{H2O} = 1.00$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$\gamma = 2$</td> <td>$\sigma_{vo} = 0.70$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$V_s = 260$</td> <td>$\sigma_{vo}' = 0.55$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$V_{s1c} = 220$</td> <td>$P_{neutra} = 0.15$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$S_T = 7$</td> <td>$r_d = 0.97$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$FC = 5$</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>$V_{s1} = 301.91$</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	PRIMO STRATO		$H_1 = 3.5$	Parametri	Parametri calcolati		$H_1 = 3.5$	$\gamma_{H2O} = 1.00$		$\gamma = 2$	$\sigma_{vo} = 0.70$		$V_s = 260$	$\sigma_{vo}' = 0.55$		$V_{s1c} = 220$	$P_{neutra} = 0.15$		$S_T = 7$	$r_d = 0.97$		$FC = 5$			$V_{s1} = 301.91$			<div style="margin-top: 10px;"> <p>Committente: <input type="text" value="ANAS S.P.A."/></p> <p>Riferimento: <input type="text" value="REALIZZAZIONE NUOVO SVINCOLO 'SASSELLA'"/></p> <p>Località: <input type="text" value="SONDRIO - CASTIONE ANDEVENNO"/> Prov.: <input type="text" value="SO"/></p> <p>Oggetto: <input type="text" value="VERIFICA DA PROVE SISMICHE"/></p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffcc99; padding: 5px;">MENU PRINCIPALE</div> <div style="border: 1px solid black; background-color: #ffcc99; padding: 5px;">ANALISI METODO</div> </div>
PRIMO STRATO		$H_1 = 3.5$																										
Parametri	Parametri calcolati																											
$H_1 = 3.5$	$\gamma_{H2O} = 1.00$																											
$\gamma = 2$	$\sigma_{vo} = 0.70$																											
$V_s = 260$	$\sigma_{vo}' = 0.55$																											
$V_{s1c} = 220$	$P_{neutra} = 0.15$																											
$S_T = 7$	$r_d = 0.97$																											
$FC = 5$																												
$V_{s1} = 301.91$																												

<p>Committente: ANAS S.P.A.</p> <p>Riferimento: REALIZZAZIONE NUOVO SVINCOLO "SASSELLA"</p> <p>Località: SONDRIO - CASTIONE ANDEVENNO Prov.: SO</p> <p>Oggetto: VERIFICA DA PROVE SISMICHE</p>				
ANALISI				
Metodi che utilizzano	Fattore di sicurezza	Magnitudo di riferimento	Indice del Potenziale di Liquefazione (PL)	Rischio liquefazione Iwasaki et al. (1978)
Prove Sismiche (Vs)	Fs (Autore) OPCM 3274	(M)		(1978)
Andrus e Stokoe (1997)	> 1,0 >1,25	6.14	0.000	Molto Basso
<div style="border: 1px solid black; background-color: #ffcc99; padding: 5px; display: inline-block;">STRATIGRAFIA 1</div>				

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(DA PROVE SISMICHE)

METODO DI ANDRUS E STOKOE (1997)



EPC LIBRI

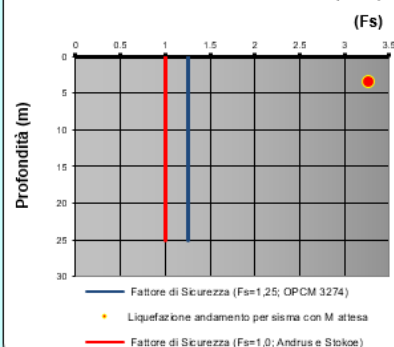
FORMULE:

RISULTATI:

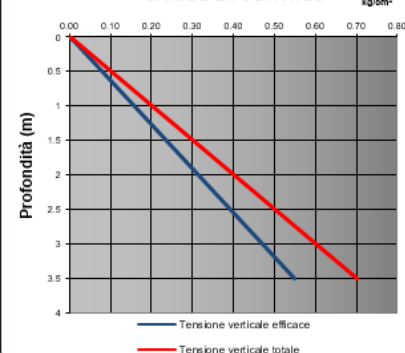
		1° STRATO	
$V_{s1} = V_s \cdot \left(\frac{1}{\sigma'_{10}}\right)^{0.25}$		Spessore	7
		V_{s1}	301.914
$CRR = 0,03 \cdot \left(\frac{V_{s1}}{100}\right)^2 + \frac{0,9}{(V_{s1C} - V_{s1})} - \frac{0,9}{V_{s1C}}$		CRR	0.258
$CSR = \frac{\tau_{cm}}{\sigma'_{10}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{10}}{\sigma'_{10}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$		M =	6.14
		CSR	0.079
		r_d	0.97
1	< $F_s = CRR/CSR$	M = 6.14	F_s 3.269 Verificato
1.25	< $F_s = CRR/CSR$	M = 6.14	$F_{s(O.P.C.M.)}$ 3.269 Verificato
RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)		Molto Basso	
PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P _L (%)]		0.01	
SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)		Liquef. incerta	

Committente: ANAS S.P.A.
Riferimento: REALIZZAZIONE NUOVO SVINCOLO "SASSELLA"
Località: SONDRIO - CASTIONE ANDEVENNO **Prov.:** SO
Oggetto: VERIFICA DA PROVE SISMICHE

TEORIA DI ANDRUS E STOKOE (1997)



CARICO LITOSTATICO



STRAT. SING. STRATO

Dh1 - Verifica a 2 strati

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

DATI INSERITI

H_{falda} = 2	a_{max}/g = 0.19	R =
		M = 6.14

STRATIGRAFIA TERRENO

PRIMO STRATO		H_1 = 4	SECONDO STRATO		H_2 = 16
Parametri		Parametri calcolati		Parametri calcolati	
H_1	= 4	γ_{H2O}	= 1.00	H_2	= 16
γ	= 2	σ_{vo}	= 0.80	γ	= 1.87
V_s	= 361	σ_{vo}	= 0.60	V_s	= 529
V_{S1C}	= 220	P_{neutra}	= 0.20	V_{S1C}	= 220
S_1	= 8	r_d	= 0.97	S_2	= 16
FC	= 5			FC	= 5
V_{S1}	= 410.18			V_{S1}	= 470.94

S_{TOT}	$N.C.$
-----------	--------

TEORIE DI CALCOLO

ANDRUS E STOKOE (1997)

Committente:	ANAS S.P.A.
Riferimento:	REALIZZAZIONE NUOVO SVINCOLO "SASSELLA"
Località:	SONDRIO - CASTIONE ANDEVENNO
	Prov.: SO
Oggetto:	VERIFICA DA PROVE SISMICHE

MENU PRINCIPALE

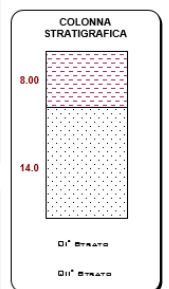
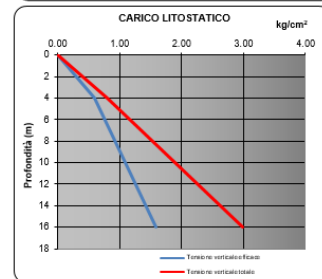
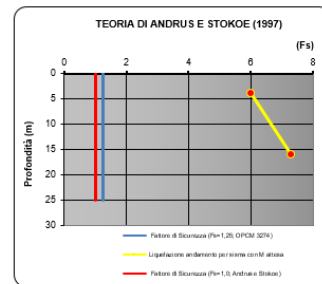
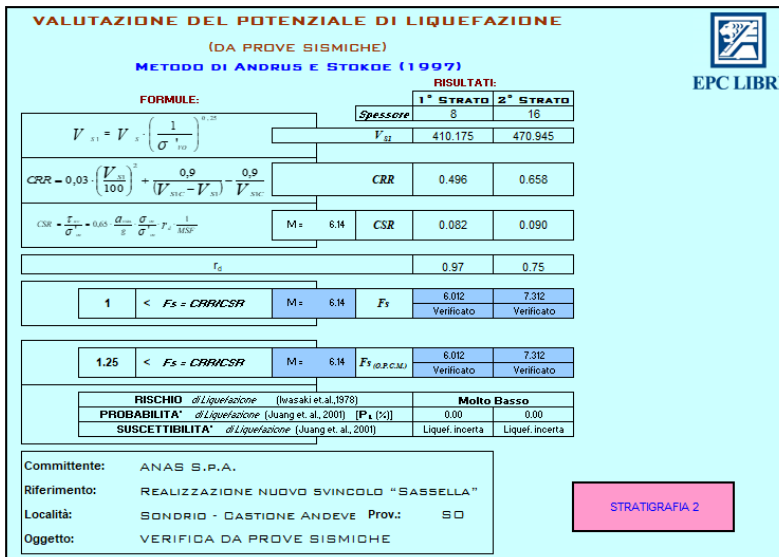
ANALISI METODO

Committente:	ANAS S.P.A.
Riferimento:	REALIZZAZIONE NUOVO SVINCOLO "SASSELLA"
Località:	SONDRIO - CASTIONE ANDEVENNO
	Prov.: SO
Oggetto:	VERIFICA DA PROVE SISMICHE

ANALISI

Metodi che utilizzano	Fattore di sicurezza		Magnitudo di riferimento	Indice del Potenziale di Liquefazione (PL)	Rischio liquefazione Iwasaki et al. (1978)
	F_s (Autore)	OPCM 3274			
Prove Sismiche (Vs)			(M)		
Andrus e Stokoe (1997)	> 1,0	>1,25	6.14	0.000	Molto Basso

STRATIGRAFIA 2



Masw L2 - verifica a 3 strati

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

DATI INSERITI

H_{falda} = 2	$a_{max/g}$ = 0.19	R =	
		M =	6.14

TEORIE DI CALCOLO

ANDRUS E STOKOE (1997)

STRATIGRAFIA TERRENO

S_{TOT} =		21.00	
-------------	--	-------	--

PRIMO STRATO		H_1 =	3.5
H_1 =	3.5	Parametri calcolati	
γ =	1.78	γ_{H2O} =	1.00
V_S =	220	σ_{vo} =	0.62
V_{SIC} =	220	σ_{vo} =	0.47
S_1 =	7	P.neutra =	0.15
FC =	5	r_d =	0.97
V_{St} =	265.28		

SECONDO STRATO		H_2 =	10
H_2 =	10	Parametri calcolati	
γ =	1.85	γ_{H2O} =	1.00
V_S =	310	σ_{vo} =	1.85
V_{SIC} =	220	σ_{vo} =	1.05
S_2 =	5.5	P.neutra =	0.80
FC =	5	r_d =	0.91
V_{St} =	306.24		

TERZO STRATO		H_3 =	13
H_3 =	13	Parametri calcolati	
γ =	1.9	γ_{H2O} =	1.00
V_S =	290	σ_{vo} =	2.47
V_{SIC} =	220	σ_{vo} =	1.37
S_3 =	8.5	P.neutra =	1.10
FC =	5	r_d =	0.83
V_{St} =	268.05		

Committente: ANAS S.P.A.

Riferimento: REALIZZAZIONE NUOVO SVINCOLO "SASSELLA"

Località: SONDRIO - CASTIONE ANDEVENNO Prov.: SO

Oggetto: VERIFICA DA PROVE SISMICHE

MENU PRINCIPALE

ANALISI METODO

Committente: **ANAS S.P.A.**

Riferimento: **REALIZZAZIONE NUOVO SVINCOLO "SASSELLA"**

Località: **SONDRIO - CASTIONE ANDEVENNO** Prov.: **SO**

Oggetto: **VERIFICA DA PROVE SISMICHE**

ANALISI

Metodi che utilizzano	Fattore di sicurezza		Magnitudo di riferimento	Indice del Potenziale di Liquefazione (PL)	Rischio liquefazione Iwasaki et al. (1978)
	Fs (Autore)	OPCM 3274			
Prove Sismiche (Vs)			(M)		
Andrus e Stokoe (1997)	> 1,0	>1,25	6.14	0.000	Molto Basso

STRATIGRAFIA 3

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE
(DA PROVE SISMICHE)
METODO DI ANDRUS E STOKOE (1997)

EPC LIBRI **FORMULE:**

$$V_{s1} = V_s \cdot \left(\frac{1}{\sigma'_{vs}} \right)^{0,25}$$

$$CRR = 0,03 \cdot \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{0,9}{(V_{s1c} - V_{s1})} \cdot \frac{0,9}{V_{s1c}}$$

$$CSR = \frac{I_{max}}{\sigma'_{vs}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{vs}}{\sigma'_{vs}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

RISULTATI:

Spessore	1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
7	265.282	306.242	268.051
V_{s1}			
CRR	0.187	0.267	0.193
CSR	0.082	0.102	0.095
r_d	0.97	0.91	0.83
$1 < F_s = CRR/CSR$	M= 6.14	F_s	2.288 2.611 2.020 Verificato Verificato Verificato
$1,25 < F_s = CRR/CSR$	M= 6.14	F_s	2.288 2.611 2.020 Verificato Verificato Verificato
RISCHIO di Liquefazione (Nasaka et al. 1978)	Molto Basso		
PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al. 2001) [P ₁ (%)]	0.02	0.01	0.03
SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al. 2001)	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta

Committente: ANAS S.P.A.
Riferimento: REALIZZAZIONE NUOVO SVINCOLO "SASSELLA"
Località: SONDRIO - CASTIONE ANDEVE Prov.: SO
Oggetto: VERIFICA DA PROVE SISMICHE

STRATIGRAFIA 3

