

SS38 "dello Stelvio" - Tangenziale Sud di Sondrio

Nuovo attraversamento in viadotto della linea ferroviaria Sondrio-Tirano e nuove connessioni alla viabilità locale tra le Pk 40+000 e la Pk 40+700 nei Comuni di Sondrio e Montagna in Valtellina

PROGETTO DEFINITIVO

COD. MI634

PROGETTAZIONE:



PROGETTISTI:

Ing. Stefano Monni
Ordine Ing. Prato n. 155

Ing. Carlo Mazzetti
Ordine Ing. Siena n. 1177

Dott. Luciano Luciani
Dott. Sc. Forestali

Dott. Giulio Tona
Ordine Agronomi e Forestali Firenze n. 1045

Ing. Michele Frizzarin
Ordine Ing. Verona n. A4547

Il responsabile dell'integrazione tra le varie discipline specialistiche:

Ing. Stefano Monni
Ordine Ing. Prato n. 155

Il coordinatore della sicurezza in fase di progettazione:

Arch. Giorgio Salimbene
Ordine Arch. Firenze n. 3997

Il geologo:

Dott. Geol. Pier Paolo Binazzi
Ordine Geologi Toscana n. 130

VISTO
Il responsabile del procedimento:

Ing. Giancarlo Luongo

STUDI GENERALI GEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E IDROGEOLOGICA

| CODICE PROGETTO | | NOME FILE | | REVISIONE | SCALA: |
|-----------------|-----------------|----------------------|----------------|---------------|-----------|
| PROGETTO | LIV. PROG. ANNO | T00GE01GE0RE01_A.PDF | | | |
| DPMI0634 | D 23 | CODICE ELAB. | T00GE01GE0RE01 | A | - |
| | | | | | |
| | | | | | |
| A | EMISSIONE | AGOSTO 2023 | A.FINAZZI | P. P. BINAZZI | S. MONNI |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

Indice

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | PREMESSA | 2 |
| 2 | DATI DELLA COMPONENTE GEOLOGICA P.G.T. COMUNALE..... | 12 |
| 2.1 | CARTA DEL DISSESTO (CON LEGENDA UNIFORMATA A QUELLA DEL PAI (TAV. 1) | 12 |
| 2.2 | CARTA DEI VINCOLI (TAV. 2) | 14 |
| 2.3 | CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (TAV. 3)..... | 14 |
| 2.4 | CARTA DI SINTESI (TAV. 4) | 17 |
| 2.5 | CARTA DELLA FATTIBILITA' DELLE AZIONI DI PIANO (TAV. 5)..... | 18 |
| 2.6 | CARTA PAI – PGRA (TAV. 6) | 22 |
| 2.7 | CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (TAV. 7)..... | 23 |
| 2.8 | CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA (TAV. 8) | 24 |
| 3 | ASPETTI GEOMORFOLOGICI..... | 25 |
| 3.1 | LA STABILITA' DEI SUOLI DA REMOTE SENSING..... | 29 |
| 4 | MODELLO GEOLOGICO – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE | 34 |
| 5 | MODELLO GEOLOGICO – INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO | 39 |
| 6 | CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO MEDIANTE INDAGINI GEOLOGICHE | 40 |
| 6.1 | INDAGINI DI ARCHIVIO 2002 – 2003 (PROGETTO DEL LOTTO 7 DELLA SS 38) | 40 |
| 6.2 | VERTICALI ISPRA DA POZZI PER ACQUA CON LITOSTRATIGRAFIA..... | 44 |
| 6.3 | INDAGINI DI ARCHIVIO DA RFI S.P.A. LINEA SONDRIO-TIRANO DEL 2022 | 46 |
| 6.4 | INDAGINI SITOSPECIFICHE DELLA PRIMA FASE (P.F.T.E.) DELL' APRILE 2021 | 50 |
| | PROVE DI CARICO SU PIASTRA..... | 52 |
| | PROVE DI LABORATORIO | 53 |
| 6.5 | INDAGINI SITOSPECIFICHE DELLA SECONDO FASE (PROGETTO DEFINITIVO) DEL 2022 | 54 |
| 7 | RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO..... | 64 |
| 7.1 | VALUTAZIONI DELLA POSSIBILITA' DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE | 66 |
| 8 | CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE | 68 |

1 PREMESSA

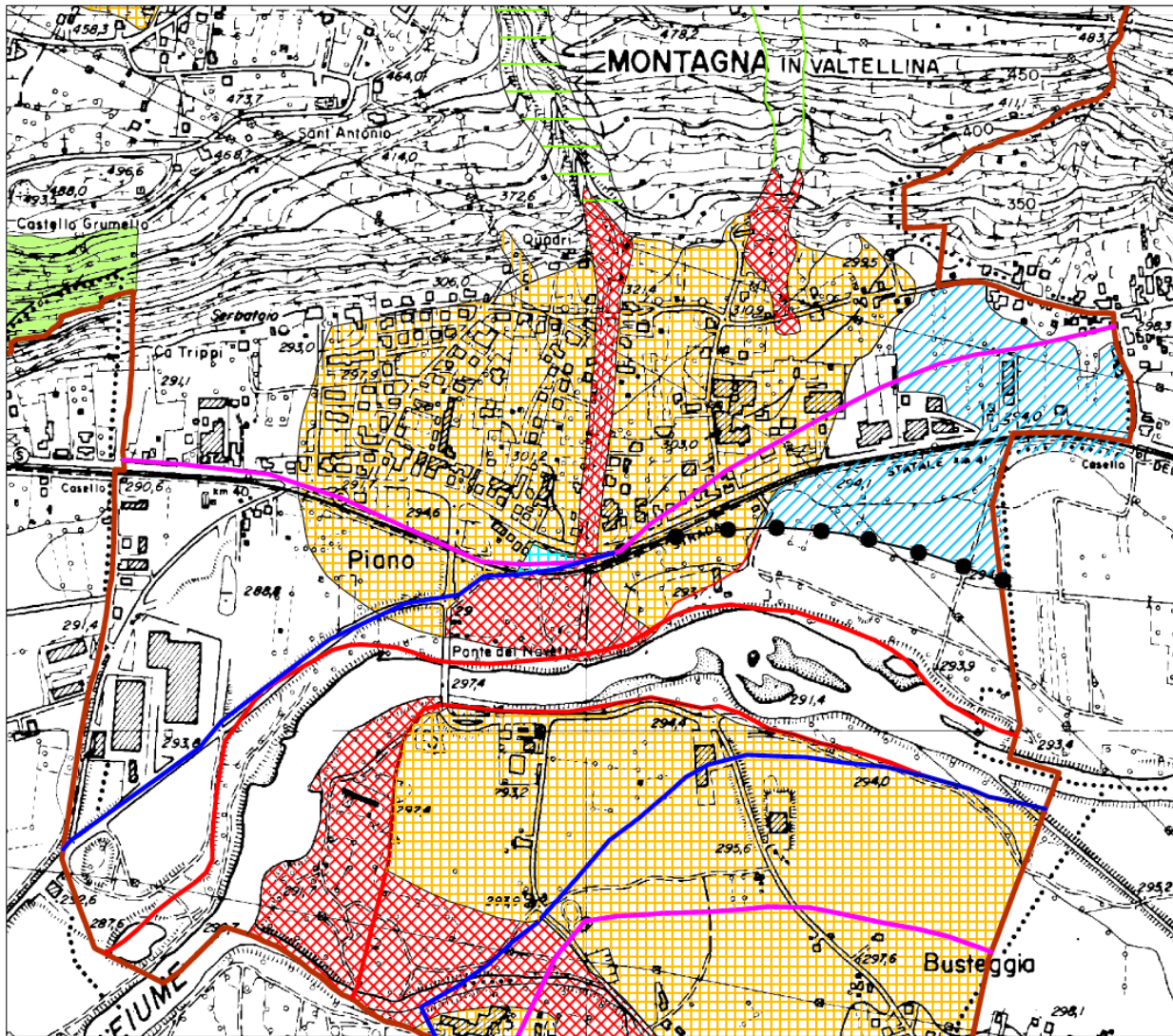
Nell’ambito del progetto S.S.N.38 “DELLO STELVIO” - LOTTO 2 - NUOVO ATTRAVERSAMENTO IN VIADOTTO DELLA LINEA FERROVIARIA SONDRIO-TIRANO E NUOVE CONNESSIONI ALLA VIABILITA’ LOCALE TRA LA PK 40+000 E LA PK 40+700 NEI COMUNI DI SONDRIO E MONTAGNA IN VALTELLINA - CUP: I33B18000290005 - CIG: 95890606A3, la presente relazione valuta la compatibilità del progetto con gli aspetti territoriali e con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del sottosuolo ai sensi di quanto disposto nello studio geologico di supporto al P.G.T. del comune di Montagna in Valtellina, nonché delle vigenti Norme del settore (D.M. 17/01/2018 – T.U. SISMICA, O.P.C.M. 3274/03 e segg. e D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011).

L’acquisizione dei dati con i quali è stata elaborata questa relazione geologica è indirizzata dalle indicazioni delle tavole del Piano delle Regole appartenente al P.G.T. del comune di Montagna in Valtellina (SO), costituite dalla *Carta del dissesto*, dalla *Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)*, dalla *Carta dei Vincoli*, dalla *Carta di Sintesi* e dalla *Carta della Fattibilità delle azioni di Piano*, nonché dalle relative Norme di Piano redatte del 2012-2013, integrate successivamente con la *Carta della Fattibilità Geologica*, la *Carta del PAI – PGRA* e la *Carta dei Fattori di Amplificazione Sismica* del 2019 e completate infine con l’approvazione della revisione 2022 della Carta della Pericolosità Idraulica.

Le tavole della fase di sintesi e valutazione dello studio di supporto al PGT comunale sono riportate e commentate nelle pagine che seguono.

Al momento della redazione della presente, alcune indagini geologiche sitospecifiche erano già state eseguite nel 2021 per renderle disponibili nella fase preliminare del progetto (P.F.T.E.), altre risalgono al 2004 per altro progetto inerente la zona in essere, per cui sono da considerarsi indagini di archivio, altre, invece, sono state fatte eseguire da ANAS S.p.A. nel 2022 per questa fase di progetto; altre ancora derivano da progetti in corso ricadenti nella stessa zona di indagine ma comunque rese disponibili dalla stazione appaltante e di potenziale interesse per la presente.

TAV. 1 - CARTA DEL DISSESTO (COMPONENTE GEOLOGICA del P.G.T. COMUNALE) scala 1:10.000



LEGENDA

FRANE

- | | | | |
|--|---------------------------------|--|---|
| | Area di frana attiva (Fa) | | Area di frana attiva non perimetrata (Fa) |
| | Area di frana quiescente (Fq) | | Area di frana quiescente non perimetrata (Fq) |
| | Area di frana stabilizzata (Fs) | | Area di frana stabilizzata non perimetrata (Fs) |

ESONDAZIONI E DISSESTI MORFOLOGICI DI CARATTERE TORRENTIZIO

- | | |
|--|---|
| | Area a pericolosità molto elevata (Ee) |
| | Area a pericolosità elevata (Eb) |
| | Area a pericolosità media o moderata (Em) |
| | Area a pericolosità molto elevata non perimetrata (Ee) |
| | Area a pericolosità elevata non perimetrata (Eb) |
| | Area a pericolosità media o moderata non perimetrata (Em) |

TRASPORTO IN MASSA SU CONOIDI

- | | |
|--|---|
| | Area di conoide attivo non protetta (Ca) |
| | Area di conoide attivo parzialmente protetta (Cp) |
| | Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cn) |

VALANGHE

- | | |
|--|--|
| | Area a pericolosità molto elevata o elevata (Va) |
| | Area a pericolosità media o moderata (Vm) |
| | Area a pericolosità molto elevata o elevata non perimetrata (Va) |
| | Area a pericolosità media o moderata non perimetrata (Vm) |

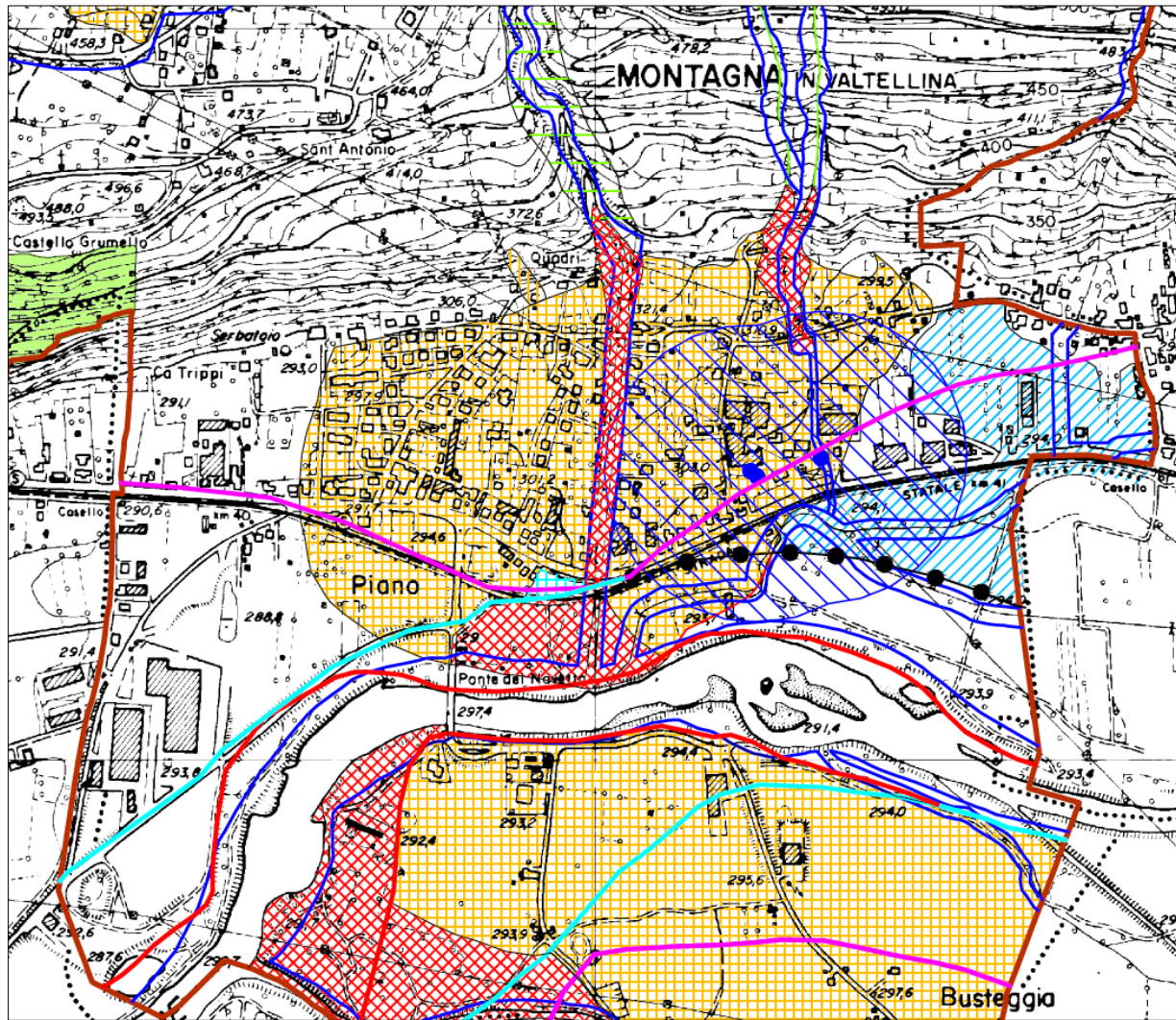
AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO

- | | |
|--|---|
| | Area a rischio idrogeologico molto elevato (P.S. 267) |
|--|---|

FASCE FLUVIALI

- | | |
|--|--|
| | FASCIA A |
| | FASCIA B |
| | FASCIA C |
| | Limite di progetto tra la fascia B e la fascia C |

TAV. 2 - CARTA DEI VINCOLI (COMPONENTE GEOLOGICA del P.G.T. COMUNALE) scala 1:10.000



Vincoli derivanti dal QUADRO DEL DISSESTO (P.A.I.)

FRANE

- Area di frana attiva (Fa)
- Area di frana quiescente (Fq)
- Area di frana stabilizzata (Fs)
- Area di frana attiva non perimetrata (Fa)
- Area di frana quiescente non perimetrata (Fq)
- Area di frana stabilizzata non perimetrata (Fs)

ESONDAZIONI E DISSESTI MORFOLOGICI DI CARATTERE TORRENTIZIO

- Area a pericolosità molto elevata (Ee)
- Area a pericolosità elevata (Eb)
- Area a pericolosità media o moderata (Em)
- Area a pericolosità molto elevata non perimetrata (Ee)
- Area a pericolosità elevata non perimetrata (Eb)
- Area a pericolosità media o moderata non perimetrata (Em)

TRASPORTO IN MASSA SU CONOIDI

- Area di conoide attivo non protetta (Ca)
- Area di conoide attivo parzialmente protetta (Cp)
- Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cn)

VALANGHE

- Area a pericolosità molto elevata o elevata (Va)
- Area a pericolosità media o moderata (Vm)
- Area a pericolosità molto elevata o elevata non perimetrata (Va)
- Area a pericolosità media o moderata non perimetrata (Vm)

AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO

- Area a rischio idrogeologico molto elevato (P.S. 267)

FASCE FLUVIALI

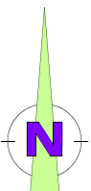
- FASCIA A
- FASCIA B
- FASCIA C
- Limite di progetto tra la fascia B e la fascia C

Areie di salvaguardia delle CAPTAZIONI AD USO IDROPOTABILE

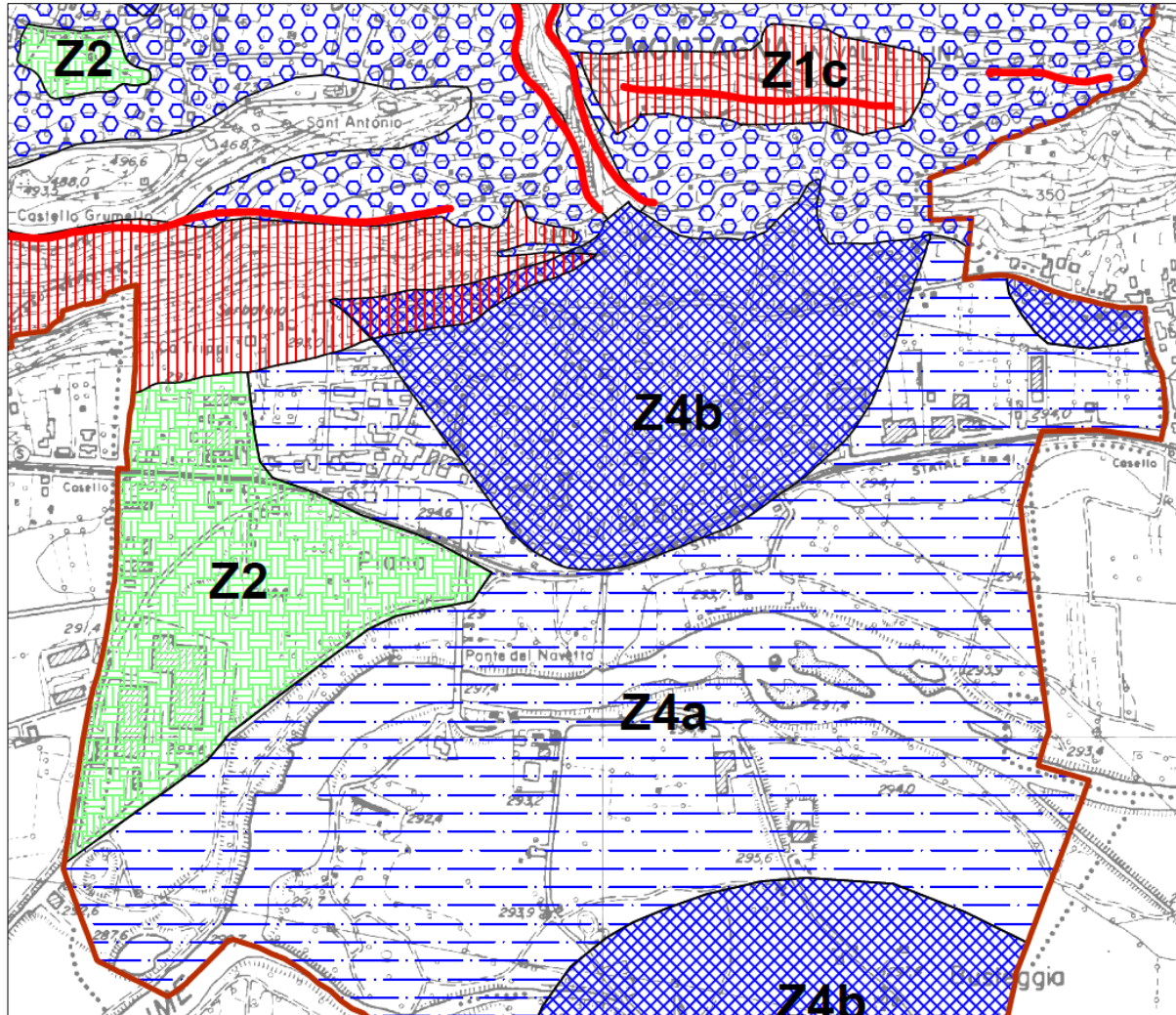
- Area di tutela assoluta della sorgente potabile
- Area di rispetto della sorgente potabile

Vincoli di POLIZIA IDRAULICA ai sensi della d.g.r. n. 7-7868 del 25-01-2002 e n.7-13950 del 01-08-2003










- Fascia di rispetto idraulico



TAV. 3- CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (COMPONENTE GEOLOGICA del P.G.T. COMUNALE) - scala 1:10.000

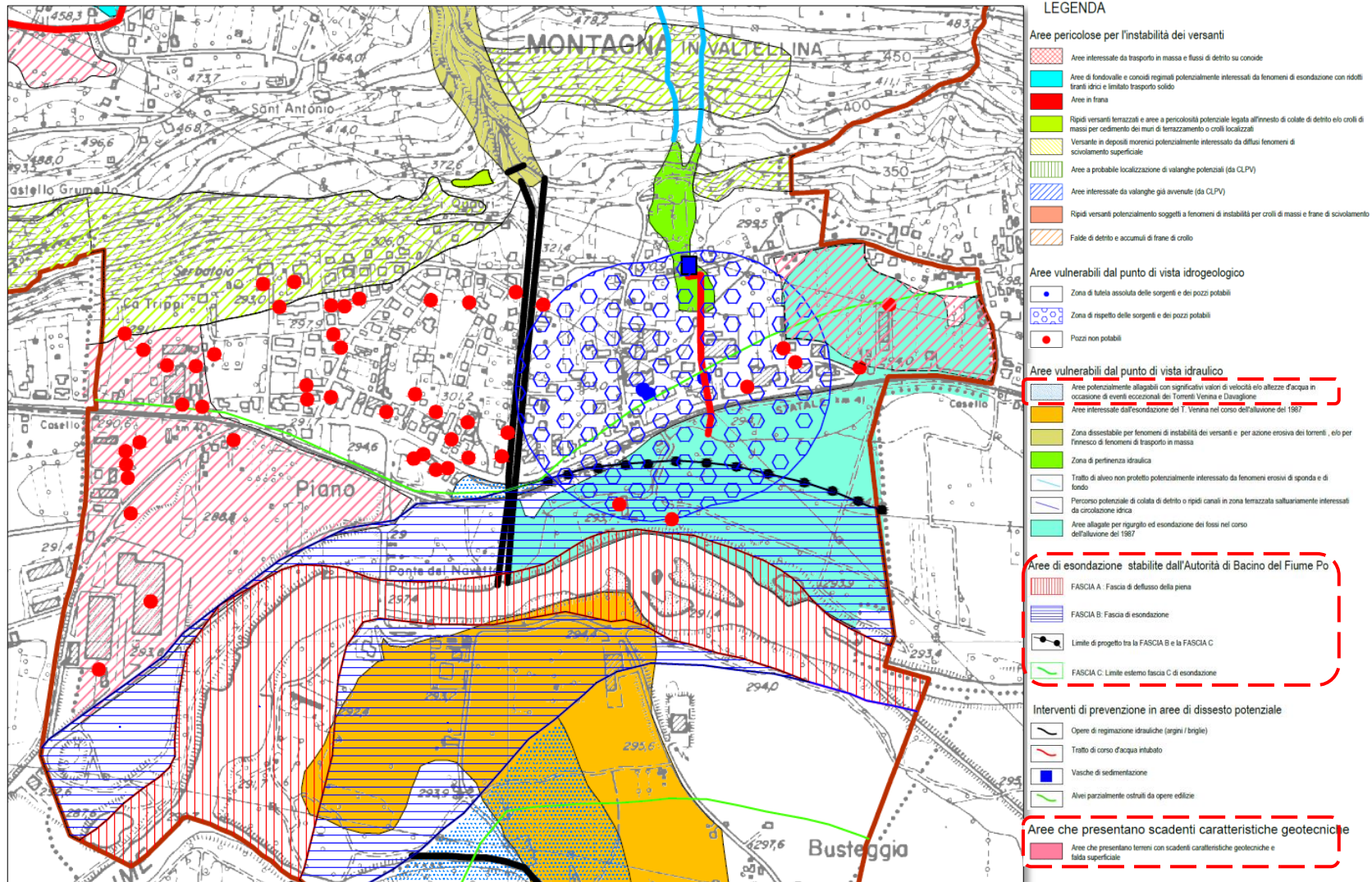


Scenari di pericolosità sismica locale (P.S.L.)

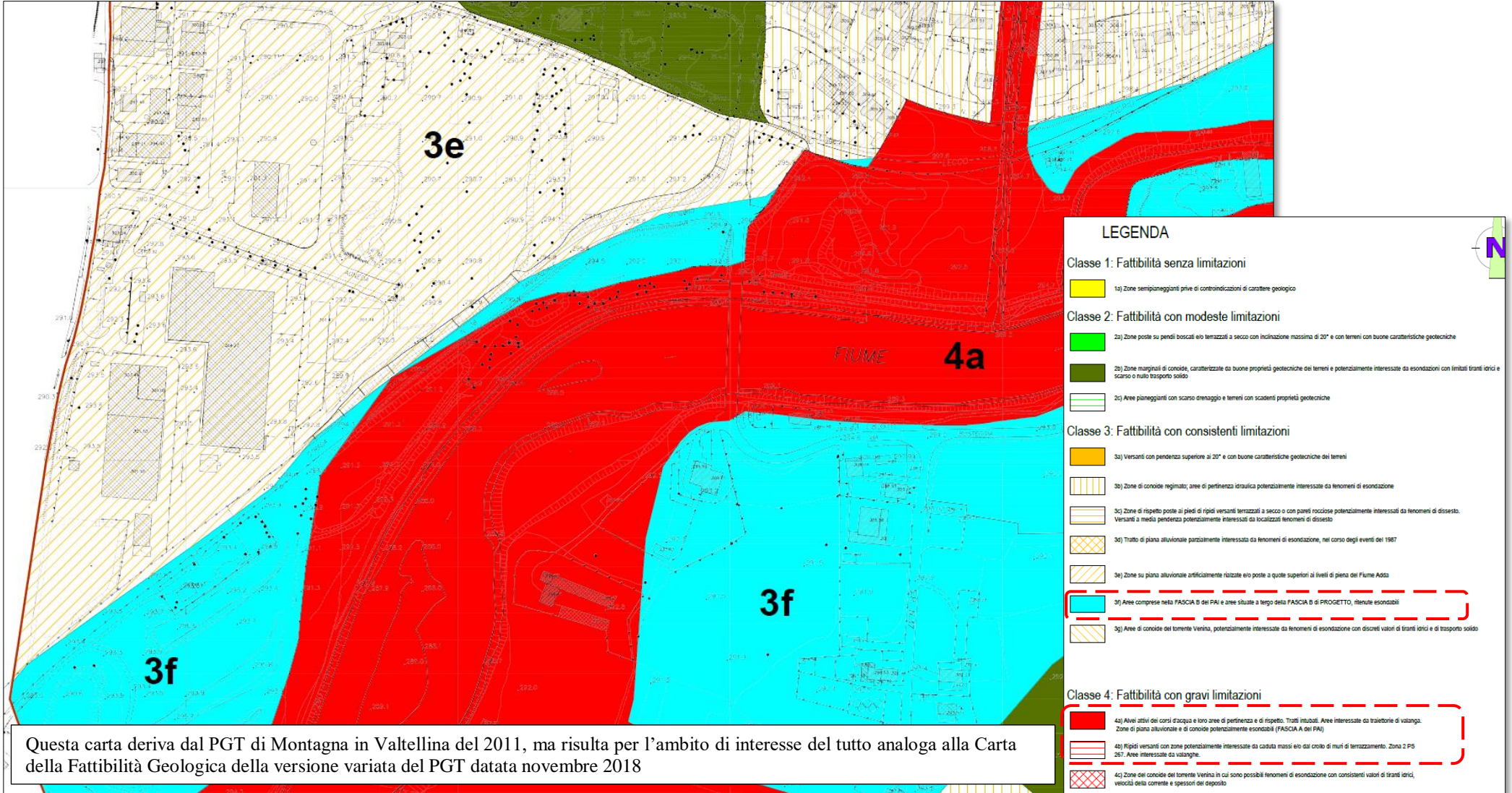
-  Z1a - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi
-  Z1b - Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti
-  Z1c - Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana
-  Z2 - Zona con terreni di fondazione scadenti e con depositi granulari fini parzialmente saturi
-  Z3a - Zona di ciglio scarpata forra in roccia
-  Z3b - Zona di cresta rocciosa
-  Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali
-  Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito e di conoide alluvionale
-  Z4c - Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi

| Stigla | SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE | EFFETTI |
|--------|---|--|
| Z1a | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi | Instabilità |
| Z1b | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti | |
| Z1c | Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana | |
| Z2 | Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riperti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zona con depositi granulari fini saturi | Cedimenti e/o liquefazioni |
| Z3a | Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.) | Amplificazioni topografiche |
| Z3b | Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate | |
| Z4a | Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi. | Amplificazioni litologiche e geomorfiche |
| Z4b | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide dellizio-lacustre | |
| Z4c | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche) | |
| Z4d | Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale | |
| Z5 | Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse | Comportamenti differenziali |

TAV. 4 - CARTA DI SINTESI (COMPONENTE GEOLOGICA del P.G.T. COMUNALE) scala 1:10.000

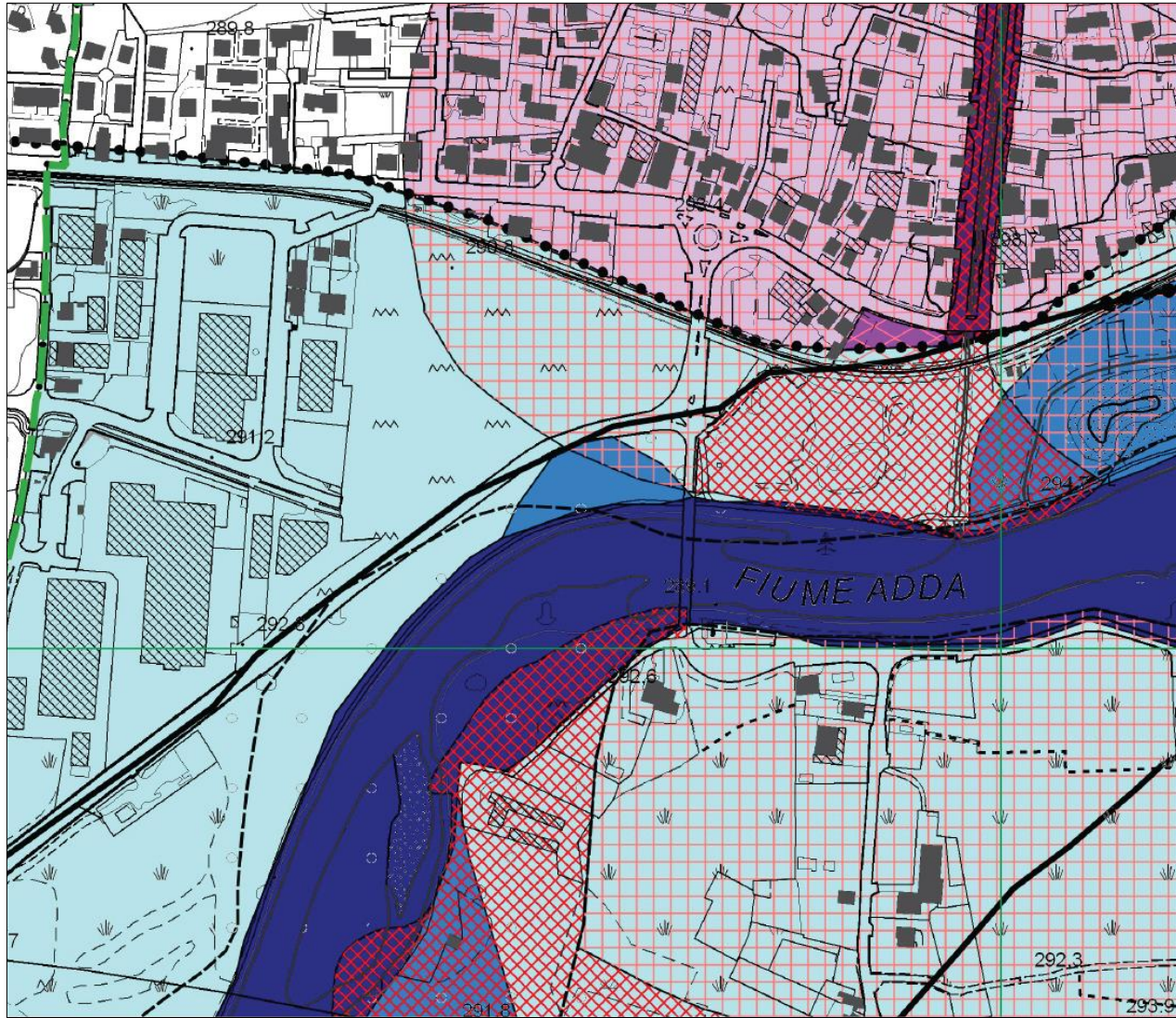


TAV. 5 - CARTA DELLA FATTIBILITA' DELLE AZIONI DI PIANO (COMPONENTE GEOLOGICA del P.G.T. COMUNALE) scala 1:5.000



Questa carta deriva dal PGT di Montagna in Valtellina del 2011, ma risulta per l'ambito di interesse del tutto analoga alla Carta della Fattibilità Geologica della versione variata del PGT datata novembre 2018

TAV. 6 - CARTA DEL PAI – PGRA (COMPONENTE GEOLOGICA del P.G.T. COMUNALE) - scala 1:10.000



Legenda

— comune

P.A.I. - FASCE FLUVIALI

--- Limite_Fascia_A

— Limite_Fascia_B

●●● Limite_Fascia_B_di_progetto

●●● Limite_Fascia_C

P.A.I. - AREE IN DISSESTO

Elementi poligonali

▨ Area di frana stabilizzata (Fs)

▩ Area di conoide attiva non protetta (Ca)

▨ Area di conoide attiva parzialmente protetta (Cp)

▨ Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cn)

▨ Area a rischio idrogeologico elevato o molto elevato per frana - ZONA 2

▨ Area a pericolosità elevata per dissesto a carattere torrentizio (Eb)

▨ Area a pericolosità media o moderata per dissesto a carattere torrentizio (Em)

Elementi lineari

— Alveo lineare a pericolosità molto elevata (Ee)

— Alveo lineare a pericolosità elevata (Eb)

P.G.R.A. - Ambito territoriale RP

▨ Aree interessate da alluvioni frequenti - P3/H

▨ Aree interessate da alluvioni poco frequenti - P2/M

▨ Aree interessate da alluvioni rare - P1/L

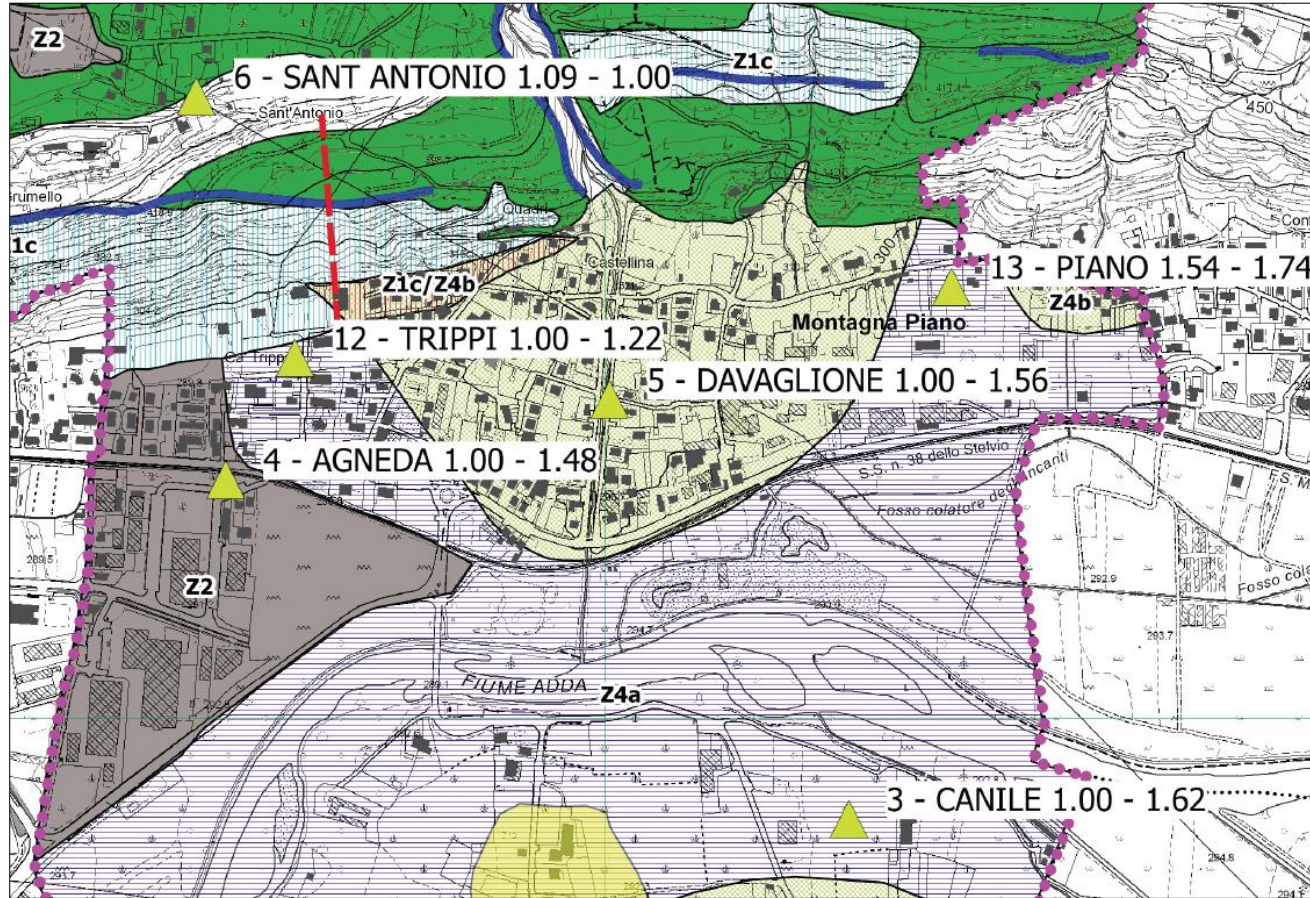
P.G.R.A. - Ambito territoriale RSCM

▨ Aree interessate da alluvioni frequenti - P3/H

▨ Aree interessate da alluvioni poco frequenti - P2/M

▨ Aree interessate da alluvioni rare - P1/L

TAV. 7- CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (COMPONENTE GEOLOGICA del P.G.T. COMUNALE) - scala 1:10.000



Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

Legenda

- ◆◆◆ comune
- Sezioni di verifica scarpate (Z3a)
- ▲ Siti con FAC>FAS
- Area con Fa maggiore dei valori soglia previsti
- ▲ Siti con FAC<FAS

Carta di Pericolosità Sismica Locale

SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - elementi lineari

— Z3a - Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, nicchia di distacco, orlo di terrazzo morfologico ecc)

SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - elementi poligonali

- Z1a - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi
- Z1b - Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti
- Z1c - Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana
- Z1c/Z4b
- Z2 - Zona con terreni di fondazione saturi e particolarmente scadenti
- Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali
- Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito e conoide alluvionale
- Z4c - Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi

| N | Sito | Scenario PSL | Categoria sismica del suolo | V _{s,eq} (m/s) | FAC (0.1-0.5s) | FAS (0.1-0.5s) | verifica | FAC (0.5-1.5s) | FAS (0.5-1.5s) | Verifica |
|----|------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------|----------------|----------------|----------|
| 1 | Busteggia Chiesa | Z4b | B | 448 | 1,54 | 1,50 | FAC≤FAS* | 1,74 | 1,70 | FAC≤FAS* |
| 2 | Venina | Z4a | B | 390 | 1,03 | 1,50 | FAC≤FAS | 1,87 | 1,70 | FAC>FAS |
| 3 | Canile | Z4a | B | 462 | 1,00 | 1,50 | FAC≤FAS | 1,62 | 1,70 | FAC≤FAS |
| 4 | Agneda | Z2 | B | 429 | 1,00 | 1,50 | FAC≤FAS | 1,48 | 1,70 | FAC≤FAS* |
| 5 | Davaglione | Z4b | B | 395 | 1,00 | 1,50 | FAC≤FAS | 1,56 | 1,70 | FAC≤FAS |
| 6 | S. Antonio | Z4c | B | 412 | 1,09 | 1,50 | FAC≤FAS* | 1,00 | 1,70 | FAC≤FAS* |
| 7 | Campagna | Z4b | B | 464 | 1,23 | 1,50 | FAC≤FAS | 1,03 | 1,70 | FAC≤FAS |
| 8 | Cà Castaldo | Z4c | B | 420 | 1,07 | 1,50 | FAC≤FAS | 1,03 | 1,70 | FAC≤FAS |
| 9 | Montagna centro | Z4c | B | 463 | 1,22 | 1,50 | FAC≤FAS | 1,03 | 1,70 | FAC≤FAS |
| 10 | Cà Bernardini | Z4c | B | 537 | 1,40 | 1,50 | FAC≤FAS | 1,09 | 1,70 | FAC≤FAS |
| 11 | Carnale | Z4c | B | 504 | 1,15 | 1,50 | FAC≤FAS | 1,01 | 1,70 | FAC≤FAS |
| 12 | Trippi | Z4a | B | 504 | 1,00 | 1,50 | FAC≤FAS | 1,22 | 1,70 | FAC≤FAS |
| 13 | Piano | Z4a | B | 435 | 1,54 | 1,50 | FAC≤FAS | 1,74 | 1,70 | FAC≤FAS |

FAC: fattore di amplificazione sismica calcolato

FAS: fattore di amplificazione sismica di soglia comunale

* la normativa consente una variabilità/tolleranza di + 0,1

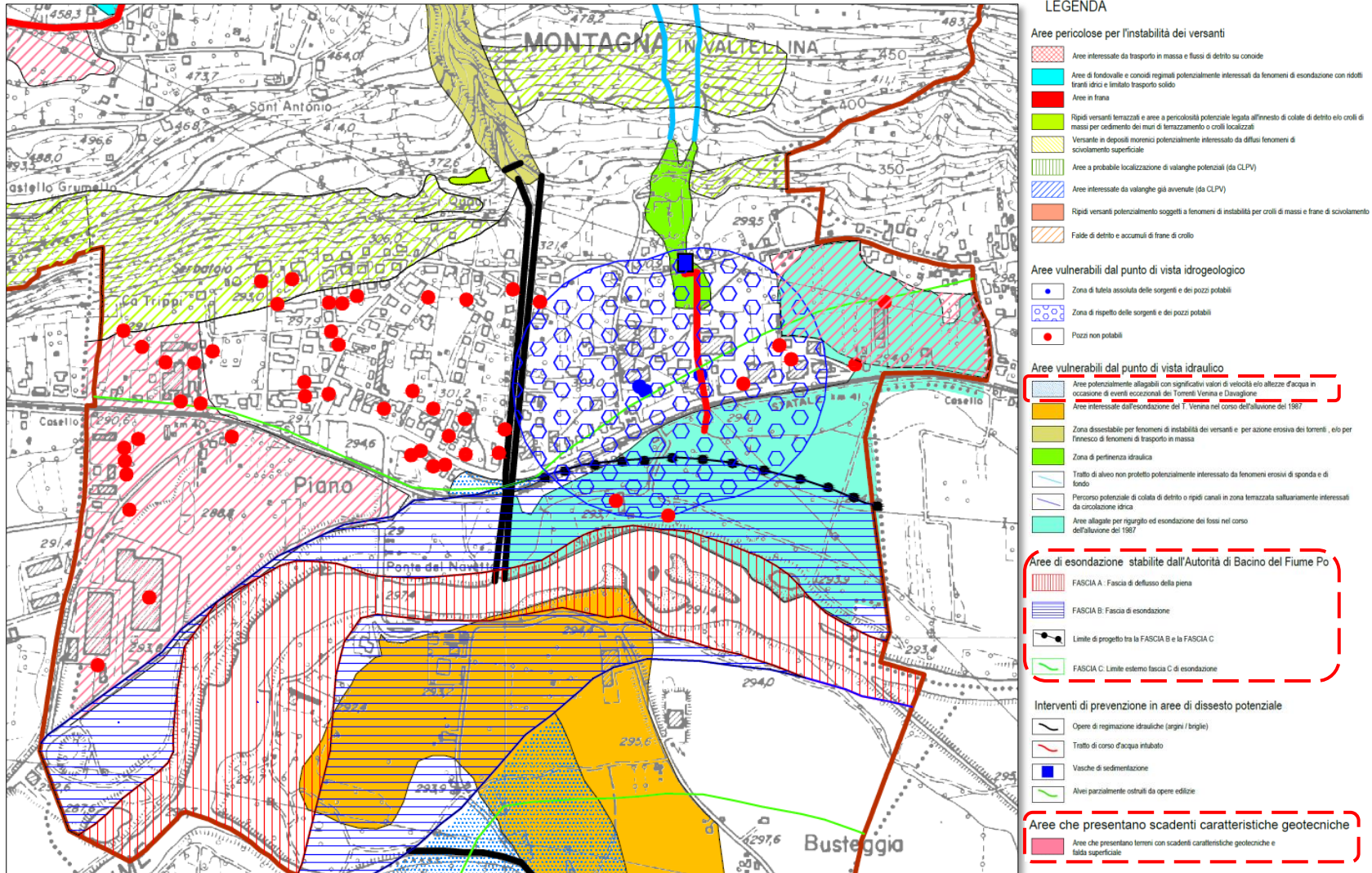
| Intervallo di periodo di riferimento | Suolo di tipo B | Suolo di tipo C | Suolo di tipo D | Suolo di tipo E |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| T 0.1 - 0.5 s | 1.5 | 1.9 | 2.3 | 2.1 |
| T 0.5 - 1.5 s | 1.7 | 2.5 | 4.4 | 3.1 |

Valori soglia comune di Montagna in Valtellina

| località | inclinazione scarpata | altezza | lunghezza | inclinazione fronte superiore | Area d'influenza | Fattore di amplificazione |
|----------|-----------------------|---------|-----------|-------------------------------|------------------|---------------------------|
| | α (°) | H (m) | L (m) | β (°) | A (m) | F _{a,0.1-0.5} |
| Trippi | 45 | 90 | 50 | 9 | 60 | 1,3 |

Risultati analisi effetti morfologici

TAV. 8 - CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA (COMPONENTE GEOLOGICA del P.G.T. COMUNALE) scala 1:10.000



Questo studio geologico di supporto al progetto definitivo ha avuto la finalità di valutare le indagini geognostiche e geofisiche a disposizione così da rieditare la componente grafica relativa al profilo geologico e alle carte tematiche di carattere geologico, geomorfologico e idrogeologico. In virtù di tali indagini e di tutte le indagini di cui sopra ne è stato fornito un elenco sintetico, è stato possibile implementare il quadro conoscitivo del sottosuolo, rielaborando ed approfondendo con nuove analisi ed argomenti le conoscenze geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche quanto già eseguito per il PFTE.

Visto che l'intervento ha una vulnerabilità significativa e che ha connotati strategici/rilevanti, gli aspetti idrologici ed idraulici saranno definiti, in particolare i riscontri con il Piano di Bacino del F. Po, per quanto riguarda il rischio legato ad alluvionamenti e ristagni. Per questi aspetti si veda la relazione idraulica.

La quantità di informazioni acquisite con l'analisi delle cartografie disponibili, con le prove geologiche di archivio derivanti dalle indagini pregresse e quelle eseguite per la progettazione preliminare e definitiva che ANAS spa ha messo a disposizione, nonché dagli strumenti di pianificazione generali del comune di Montagna in Valtellina è stata ritenuta sufficiente a ricostruire un esaustivo quadro conoscitivo del sottosuolo.

Saranno, infine, effettuate sia considerazioni generali e di sito sulla sismicità locale, sia sulla possibilità di fenomeni di liquefazione, dato che il Comune di Montagna in Valtellina risulta fra quelli classificati sismici in zona 3 in base alla normativa vigente.

2 DATI DELLA COMPONENTE GEOLOGICA P.G.T. COMUNALE

2.1 CARTA DEL DISSESTO (con legenda uniformata a quella del PAI (Tav. 1)

La carta del dissesto costituisce proposta di aggiornamento del PAI e deve pertanto contenere una rappresentazione delle aree in dissesto classificate conformemente alle Tavole di delimitazione delle aree in dissesto del PAI.

Nella carta del dissesto è possibile evidenziare che il “*conoide attiva non protetta*” interessa la striscia di progetto sulla sponda nord del F. Adda solo tra la sezione n. 14 e la sezione n. 25, ovvero tra la nuova rotatoria prevista lungo la S.P. 19 per immettersi da sud sulla S.S. 38 e la sponda est del T. Davaglione.

Le correlazioni tra classi di Pericolosità/rischio, classi di Fattibilità geologica per le azioni di piano e voci della legenda PAI sono rappresentate nella tabella che segue:

| PERICOLOSITA'/RISCHIO | CLASSI DI FATTIBILITA' | VOCI LEGENDA PAI |
|--|---|---|
| H1 su conoide | Classe 1/2 – senza o con modeste limitazioni | Cn – conoide protetta... |
| H2 su conoide | Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni | Cn – conoide protetta ... |
| H3 su conoide | Classe 3 – consistenti limitazioni | Cp – conoide parz. protetta ¹ Cn – conoide protetta... |
| H4 – H5 su conoide | Classe 4 – gravi limitazioni | Ca – conoide attiva non protetta |
| H1 per crolli, crolli in massa e scivolamenti | Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni | Fs – frana stabilizzata |
| H2 per crolli e crolli in massa H2-H3 per scivolamenti | Classe 4/3 – gravi o consistenti limitazioni | Fq – frana quiescente ² |
| H3-H5 per crolli e crolli in massa H4-H5 per scivolamenti | Classe 4 – gravi limitazioni | Fa – frana attiva |
| <i>H1-H2 per esondazione</i> | Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni | Em – pericolosità media o moderata di esondazione |
| <i>H3 per esondazione</i> | Classe 3 – consistenti limitazioni (con norma più restrittiva art. 9 comma 6) | Eb – pericolosità elevata di esondazione |
| <i>H4 per esondazione</i> | Classe 4 – gravi limitazioni | Ee – pericolosità molto elevata |
| Zona rossa | Classe 4 – gravi limitazioni | Ve, Vm – pericolosità molto elevata o media per valanga |
| Zona blu | Classe 3 – consistenti limitazioni | Nessuna corrispondenza con legenda PAI ma norme di cui all'Allegato 3 |
| Zona gialla, Zona bianca | Classe 2 – modeste limitazioni | Nessuna corrispondenza con legenda PAI ma norme di cui all'Allegato 3 |

Questo è un tratto di opera interamente in viadotto per il quale sono previsti piloni vincolati al sottosuolo mediante fondazioni profonde su pali, quindi il pericolo derivante dalla presenza della conoide attiva non protetta, rappresentato da potenziali effetti sia di natura geomorfologica (mobilità del deposito granulare) che idrografica (dinamica d'alveo) o geotecnica (addensamento dinamico e sismico) viene affrontato in chiave strutturale dimensionando opportunamente resistenza meccanica e profondità di incastro dei pali di fondazione.

Tutte le versioni del PFTE approvato contemplavano un medesimo tratto in viadotto che attraversa questo lembo di conoide attivo non protetto, per cui il pericolo derivante da questo tratto di sovrapposizione tra viadotto e dissesto evidenziato dalla carta di TAV. 31 è stato catalogato ed accettato come superabile da progettisti e Stazione Appaltante.

2.2 CARTA DEI VINCOLI (Tav. 2)

La carta dei vincoli rappresenta le limitazioni d’uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore di contenuto prettamente geologico con particolare riferimento a vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della l. 183/89, i vincoli di polizia idraulica, aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile, vincoli derivanti dal PTR ed i geositi.

Nella carta del dissesto è possibile evidenziare che la “conoide attiva non protetta” interessa la striscia di progetto sulla sponda nord del F. Adda solo tra la sezione n. 14 e la sezione n. 25, ovvero tra la nuova rotatoria prevista lungo la S.P. 19 per immettersi da sud sulla S.S. 38e la sponda est del T. Davaglione, dove l’intervento è rialzato su piloni.

Per questa carta le considerazioni che emergono sono le stesse della tavola precedente in quanto, in sostanza, la legenda non cambia.

Degli effetti inerenti i vincoli individuati si occuperà l’elaborato relativo agli aspetti idrologici ed idraulici.

2.3 CARTA DELLA PERICOLOSITA’ SISMICA LOCALE (Tav. 3)

La carta della pericolosità sismica locale rappresenta il riconoscimento delle aree suscettibili di amplificazione sismica sulla base di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento) e di dati esistenti.

Questa carta è obbligatoria per tutti i Comuni ed era presente nel P.G.T. di Montagna in Valtellina prima che il suo territorio fosse spostato dalla Zona sismica 4 alla Zona sismica 3 con l’entrata in vigore della D.G.R. X/2129 del 11.07.2014 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)”:

| | Livelli di approfondimento e fasi di applicazione | | |
|------------------|---|---|---|
| | 1^ livello fase pianificatoria | 2^ livello fase pianificatoria | 3^ livello fase progettuale |
| Zona sismica 2-3 | obbligatorio | Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili | - Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2. |
| Zona sismica 4 | obbligatorio | Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) | - Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti. |

PSL = Pericolosità Sismica Locale

La carta di PSL (verifica di primo livello) mostra la perimetrazione areale (e lineare per alcuni scenari) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5 della D.G.R.

IX/2616 del 30.11.2011 che segue, in grado di determinare gli effetti sismici locali:

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

TABELLA 1 – SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Le aree urbanizzate del comune di Montagna in Valtellina sono prevalentemente concentrate nei due nuclei di Montagna e Montagna Piano, rispettivamente posti sul versante settentrionale e sul fondovalle valtellino, in contesti di versante morenico (scenario PSL Z4c), piana alluvionale (scenario PSL Z4a) e conoide alluvionale (scenario PSL Z4b). Sono, inoltre,

presenti alcune vecchie frazioni rurali poste sul versante retico all'interno di terreni morenici e detritici in scenario di PSL Z4c.

Nella carta della PSL si evidenzia che la striscia di territorio in cui ricade il progetto si inserisce a cavallo tra le zone Z2 e Z4a per quasi tutto il suo sviluppo longitudinale tra l'inizio del cantiere a SW ed il corso del T. Davaglione, mentre dalla sponda est del Torrente al raccordo finale con la S.S. 38 si interseca la zona Z4b.

Per gli scenari di Z2 si tratta di area di fondovalle, in sponda nord del Fiume Adda, caratterizzata da terreni ai quali nello studio geologico di supporto alla pianificazione urbanistica del comune di Montagna in Valtellina sono attribuite scadenti caratteristiche geotecniche o terreni saturi; invece per gli scenari Z4a e Z4b si tratta di aree di fondovalle con presenza di depositi alluvionali eterogranulari ed aree pedemontane di falda di detrito e conoide alluvionale.

Buona parte delle aree urbanizzate di fondovalle del comune di Montagna in Valtellina ricadono all'interno di questi ultimi scenari di pericolosità sismica e devono essere quindi oggetto dell'approfondimento sismico di 2^a livello.

Al tempo in cui vigeva la sola carta della PSL ed il comune di Montagna era stato classificato in zona sismica 4:

| Codice Istat 2001 | Denominazione | Categoria secondo la classificazione precedente (fino al 1998) | Categoria secondo la proposta del GdL del 1998 | Zona ai sensi del OPCM n. 3274/2003 |
|-------------------|------------------------|--|--|-------------------------------------|
| 03014044 | Montagna in Valtellina | N.C | N.C | 4 |

(le procedure di analisi sismica dei progetti era “zona dipendente”) in base all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” la prescrizione in campo sismico derivante dalla carta della PSL era quella di eseguire la verifica di 2^a livello solo per i progetti opere strategiche e rilevanti di nuova previsione ricadenti in zone sismiche Z3 e Z4 e di eseguire la verifica di 3^a livello, o l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore rispetto a quello misurato in sito, nelle zone sismiche Z1 e Z2 per opere strategiche/rilevanti ed anche quando la verifica di 2^a livello per tutta la rimanente attività edificatoria ordinaria non fosse stata favorevole alla sicurezza (FAC>FAS).

Con tali presupposti il progetto qui in discussione con Montagna in Valtellina in classe 4 sarebbe stato sicuramente sottoposto alla verifica di 2^a livello, dato il riconoscimento di opera strategica del nuovo tratto di SP 38 in corso di progettazione, e, anzi, anche al 3^a livello (ovvero con utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore rispetto a quello misurato in sito) per la presenza della zona sismica Z2 lungo lo sviluppo del nuovo tracciato dall’inizio del cantiere a SW fino alla nuova rotatoria prevista lungo la S.P. 19 per immettersi da sud sulla S.S. 38 per almeno una striscia di larghezza pari a metà della nuova carreggiata.

Con l’upgrade della zona sismica alla classe 3, avvenuta con la D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129, i presupposti normativi per eseguire la verifica sismica del progetto con il 2^a ed il 3^a livello si rafforzano:

ESTRATTO DALL’ELENCO DEI COMUNI CON INDICAZIONE DELLE RELATIVE ZONE SISMICHE E DELL’ACCELERAZIONE MASSIMA (AGMAX) PRESENTE ALL’INTERNO DEL TERRITORIO COMUNALE (O.P.C.M. 3519/06 E DECRETO MIN. INFRASTRUTTURE 17/01/18)

| ISTAT | Provincia | Comune | Zona Sismica | Ag max |
|----------|-----------|------------------------|--------------|----------|
| 03014044 | SO | MONTAGNA IN VALTELLINA | 3 | 0,116117 |

2.4 CARTA DI SINTESI (Tav. 4)

La carta di sintesi rappresenta le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità riferita allo specifico fenomeno che la genera, pertanto tale carta è costituita da zone che definiscono porzioni di territorio caratterizzate da pericolosità geologico-geotecnica e vulnerabilità idraulica e idrogeologica omogenee identificate sulla base del fenomeno e non su una scala della criticità.

L’areale di progetto è principalmente caratterizzato dall’area golenale (Fascia A – fascia di deflusso della piena) e dalla Fascia B (Fascia di esondazione).

Non si riscontrano ulteriori indicazioni in merito a pericoli di tipo geomorfologico, idrogeologico.

L'area potenzialmente allagabile con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua in occasione di eventi eccezionali dei torrenti Venina e Davaglione, presente per un piccolissimo lembo di territorio tra la sponda ovest del torrente Davaglione, la linea ferroviaria ed il tratto della S.S. 38 che costeggia a sud l'abitato di Montagna in Valtellina, caratterizzata da pericolosità dal punto di vista idraulico, non interessa il progetto che in quel tratto vi si sovrappone con il rilevato su piloni, che risulta quindi in trasparenza idraulica.

L'area triangolare presente lungo lo sviluppo del nuovo tracciato dall'inizio del cantiere a SW fino alla nuova rotatoria prevista lungo la S.P. 19 per immettersi da sud sulla S.S. 38 rientra per almeno metà della nuova carreggiata nella categoria dei pericoli “per scadenti caratteristiche geotecniche o falda superficiale”.

In realtà le indagini geognostiche eseguite all'interno di quella zona, costituite da un carotaggio continuo con numerose prove SPT fondo foro e due prove di carico su piastra in pozzetto, indicano, per quanto possa interessare in questa sede di analisi delle criticità, che quel sottosuolo non ha caratteristiche geotecniche scadenti e ha la superficie piezometrica che rimane qualche metro al di sotto del piano di sedime.

Considerando che il tratto di progetto che si affianca a questa zona di pericolo è limitato alla larghezza di mezza carreggiata della nuova S.S. 38, che si può escludere che quel sottosuolo abbia scarse caratteristiche geotecniche e che la fondazione del terrapieno su cui sarà impostata la nuova carreggiata sarà staccato qualche metro dal livello piezometrico una eventuale problematica idrogeologica derivante dalla risalita del fronte capillare risulterà improbabile e, se del caso, affrontabile con presidi di progetto finalizzati ad interrompere detta risalita. Una eventuale problematica di tipo geotecnico sarà affrontata invece con un adeguato dimensionamento della struttura fondale della nuova viabilità.

2.5 CARTA DELLA FATTIBILITÀ DELLE AZIONI DI PIANO (Tav. 5)

La carta della fattibilità delle azioni di piano è una carta di pericolosità che fornisce le indicazioni in ordine alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio. La carta deve essere utilizzata congiuntamente alle “norme geologiche di piano” che ne riportano la relativa normativa d'uso (prescrizioni per gli interventi urbanistici, studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti richiesti, opere di mitigazione del rischio, necessità di controllo dei fenomeni in atto o potenziali, necessità di predisposizione di sistemi di monitoraggio e piani di emergenza).

La carta di fattibilità delle azioni di piano viene desunta dalla carta di sintesi e dalla carta dei vincoli (per gli ambiti ricadenti entro le fasce fluviali e le aree in dissesto PAI) attribuendo un valore di classe di fattibilità a ciascuna zona identificata; devono essere sovrapposte, con apposito retino “trasparente”, le aree soggette ad amplificazione sismica locale, che non concorrono a definire la classe di fattibilità, ma alle quali è associata una specifica normativa che si concretizza nelle fasi attuative delle previsioni del PGT.

L’attribuzione della classe di fattibilità avviene mediante l’attribuzione a ciascun’area della carta di sintesi, in base ai fattori di pericolosità/vulnerabilità presenti, di una classe di fattibilità seguendo le prescrizioni della tabella delle classi di ingresso e della tabella delle classi di fattibilità per aree ricadenti nelle fasce fluviali che seguono:

| Aree pericolose dal punto di vista dell’instabilità dei versanti | |
|--|-----------|
| Aree soggette a crolli di massi (distacco e accumulo). Da definire in base all'estensione della falda di detrito e alla distanza raggiunta dai massi secondo dati storici (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli) | 4 |
| Aree interessate da distacco e rotolamento di blocchi provenienti da depositi superficiali (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli) | 4 |
| Aree di frana attiva (scivolamenti; colate ed espansioni laterali) | 4 |
| Aree di frana quiescente (scivolamenti; colate ed espansioni laterali) | 4 |
| Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti, soliflusso) | 4 |
| Aree a pericolosità potenziale per grandi frane complesse (comprehensive di aree di distacco ed accumulo) | 4 |
| Aree in erosione accelerata (calanchi, ruscellamento in depositi superficiali o rocce deboli) | 4 |
| Aree interessate da trasporto in massa e flusso di detrito su conoide | 4* |
| Aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata e stimata o calcolata area di influenza | 4 |
| Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza | 3 |
| Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche getecniche dei terreni | 3 |
| Aree di percorsi potenziali di colate in detrito e terreno | 4* |
| Aree a pericolosità potenziale legate alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprehensive delle aree di possibile accumulo (aree di influenza) | 3 |
| Aree interessate da valanghe già avvenute | 4 |
| Aree a probabile localizzazione di valanghe potenziali | 4 |
| Aree protette da interventi di difesa efficaci ed efficienti | 3 |
| Aree estrattive attive o dismesse non ancora recuperate, comprendendo una fascia di rispetto da valutare in base alle condizioni di stabilità dell’area | 3 |
| Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico | |
| Aree ad elevata vulnerabilità dell’acquifero sfruttato ad uso idropotabile e/o del primo acquifero | 3 |
| Aree con emergenze idriche diffuse (fontanili, sorgenti, aree con emergenza della falda) | 4 |
| Aree a bassa soggiacenza della falda o con presenza di falde sospese | 3 |
| Aree interessate da carsismo profondo (caratterizzate da inghiottitoi e doline) | 4 |

| Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico | |
|--|----------|
| Aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabili (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20-50 anni), con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido | 4 |
| Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua, tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche | 3 |
| Aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici tenendo conto delle criticità derivanti da punti di debolezze delle strutture di contenimento quali tratti di sponde in erosione, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti, sezioni di deflusso insufficienti anche a causa della presenza di depositi di materiale vario in alveo o in sua prossimità ecc. | 4 |
| Aree già allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali nelle quali non siano state realizzate opere di difesa e quando non è stato possibile definire un tempo di ritorno | 4 |
| Aree soggette ad esondazioni lacuali | 3 |
| Aree protette da interventi di difesa dalle esondazioni efficaci ed efficienti, dei quali sia stato verificato il corretto dimensionamento secondo l'allegato 3 (con portate solidoliquide aventi tempo di ritorno almeno centennale) | 3 |
| Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette da interventi di difesa | 4 |
| aree potenzialmente interessate da flussi di detrito in corrispondenza dei conoidi pedemontani di raccordo collina-pianura | 3 |
| Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche | |
| aree di possibile ristagno, torbose e paludose | 3 |
| aree prevalentemente limo-argillose con limitata capacità portante (riportare gli spessori) | 3 |
| aree con consistenti disomogeneità tessiture verticali e laterali (indicare le ampiezze) | 3 |
| aree con riporti di materiale, aree colmate | 3 |

Classe di fattibilità per le aree ricadenti all'interno delle fasce fluviali

| | Classe | norme |
|--|---|--|
| Fascia A all'esterno dei centri edificati | 4 | artt. 29, 38, 38 bis, 38 ter, 39 e 41 N.d.A. del PAI |
| Fascia B all'esterno dei centri edificati | 3 | consentiti solo gli interventi previsti dagli artt. 30, 38, 38bis, 38 ter, 39 e 41 delle N.d.A. del PAI |
| Fasce A e B all'interno dei centri edificati | da attribuire sulla scorta degli studi idraulici per la valutazione del rischio realizzati con il metodo approfondito di cui all'Allegato 4 | Fino ad avvenuta valutazione delle condizioni di rischio si applicano anche all'interno dei centri edificati le norme riguardanti le fasce A e B |
| Territori di fascia C delimitati con segno grafico indicato come “limite e progetto tra la fascia B e la Fascia C” | da attribuire sulla scorta degli studi idraulici per la valutazione del rischio realizzati con il metodo approfondito di cui all'Allegato 4 | Fino ad avvenuta valutazione delle condizioni di rischio si applicano le norme riguardanti la fascia B fino al limite esterno della fascia C |
| Fascia C | Da attribuire in base alle problematiche riscontrate | Da definire nell'ambito dello studio, fermo restando quanto stabilito dall'art. 31 delle N.d.A. del PAI |

L'area di progetto ricade in parte in Classe 3f – zone esondabili in fascia B del PAI - in parte in Classe 4a - alvei attivi dei corsi d'acqua in fascia A del PAI – descritte come segue. La striscia di circa metà carreggiata lato nord lungo lo sviluppo del nuovo tracciato dall'inizio del cantiere a SW fino alla nuova rotatoria prevista lungo la S.P. 19 per immettersi da sud sulla S.S. 38 rientra nella classe 3e – Zone su piana alluvionale artificialmente rialzate e/o poste a quote superiori ai livelli di piena del Fiume Adda.

Classe 3e – Zone su piana alluvionale artificialmente rialzate e/o poste a quote superiori ai livelli di piena del Fiume Adda

Tale classe comprende zone di piana alluvionale che, mediante riporti di materiale, risultano artificialmente poste ad una quota superiore rispetto alla piana circostante e, pertanto, all'esterno delle possibili zone interessate dall'esondazione dei fossi presenti.

Dal punto di vista geotecnico si rileva la presenza in superficie, per uno spessore di circa 1,0-2,0 m, di materiali di ripiena attualmente in parte coperti da infrastrutture e/o adibiti a piazzali.

In corrispondenza della località Agenda tale classe identifica aree di fondovalle non interessate dall'alluvione dell'87 e poste in Fascia C del PAI ed in zona RP P1/L del PGRA; si tratta di zone caratterizzate in superficie da terreni con scarse proprietà geotecniche e con presenza di falda freatica a limitata profondità dal piano campagna.

...omissis...

In località Agneda la relazione geologica dovrà, in particolare, indagare la situazione stratigrafica e idrogeologica della zona fornendo tutte le indicazioni di competenza utili alla corretta progettazione delle opere di fondazione e impermeabilizzazione degli edifici.

Classe 3f – zone esondabili in fascia B del PAI

Aree comprese nella FASCIA B del PAI, situate a tergo della FASCIA B DI PROGETTO e all'interno della zona RP P2/M del PGRA.

In queste zone valgono le limitazioni e prescrizioni previste per la FASCIA B di esondazione, contenute nelle NdA del PAI.

Classe 4a - alvei attivi dei corsi d'acqua in fascia A del PAI

Sono stati inseriti in questa sottoclasse gli alvei attivi dei corsi d'acqua, le aree esondabili (FASCIA A del PAI e RP P3/H del PGRA) e le loro zone di rispetto assoluto necessarie per mantenere una corretta funzionalità idraulica delle opere e consentire un facile accesso per le operazioni di svaso e pulizia. Nel caso di alvei non regimati sono state incluse le aree di pertinenza idraulica. Nella parte montana del bacino sono state, inoltre, inserite le aree valanghive note o potenziali.

È vietata la realizzazione di nuove costruzioni di qualsiasi tipo che comportino la riduzione delle possibilità di espansione del corso d'acqua in caso di piena, peggiorino le condizioni di deflusso delle acque e limitino l'accesso al corso d'acqua necessario per interventi manutentivi o di svaso. Sono quindi ammessi interventi di regimazione idraulica, strettamente finalizzati al miglioramento delle caratteristiche idrogeologiche ed idrauliche della zona, nonché la realizzazione delle opere di derivazione e convogliamento delle acque per fini consentiti dalla legislazione vigente in materia di derivazioni idriche, ferme restando le condizioni idrauliche pregresse dei siti in oggetto.

Sono vietati gli interventi che comportino tombamenti di tratti di corsi d'acqua.

Eventuali tratti tombinati esistenti sono soggetti a quanto stabilito dall'art. 21 N.d.A. del PAI.

Relativamente alle zone in FASCIA A del PAI e RP P3/H del PGRA sono prevalenti le limitazioni e prescrizioni indicate nelle NdA del PAI.

Delle condizioni di fattibilità idraulica 3f e 4a si occuperà l'elaborato relativo agli aspetti idrologici ed idraulici; di quelle della classe 3e la relazione geotecnica.

2.6 CARTA PAI – PGRA (Tav. 6)

La carta PAI – PGRA contiene la delimitazione delle aree allagabili per tre scenari di pericolosità:

- aree P3 (H in cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti;
- aree P2 (M in cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti;
- aree P1(L in cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni rare;

Relativamente al comune di Montagna in Valtellina le aree allagabili individuate riguardano i seguenti “ambiti territoriali”:

- Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP);

- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM).

Le mappe di pericolosità e rischio contenute nel PGRA rappresentano un aggiornamento e integrazione del quadro conoscitivo rappresentato nel PAI in quanto contengono la delimitazione delle aree allagabili su corsi d’acqua del reticolo principale (RP) di pianura e di fondovalle anche non interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali nel PAI, aggiornano la delimitazione delle aree allagabili dei corsi d’acqua già interessati dalle delimitazioni delle fasce fluviali nel PAI, contengono localmente aggiornamenti delle delimitazioni delle aree allagabili dei corsi d’acqua del reticolo secondario collinare e montano (RSCM) rispetto a quelle presenti nel PAI e classificano gli elementi esposti ricadenti entro le aree allagabili in quattro gradi di rischio crescente.

La carta PAI-PGRA per la fascia di interesse comprende quasi esclusivamente la zona di pericolosità idraulica P1/L per alluvioni rare mentre con un’unica area a pericolosità P2/M posizionata in sponda sinistra nell’ansa fluviale posta in vicinanza della nuova rotatoria prevista lungo la S.P. 19 sfiora la infrastruttura viaria di collegamento a raso con detta rotatoria.

Di questa pericolosità idraulica si occuperà l’elaborato relativo agli aspetti idrologici ed idraulici.

2.7 CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (Tav. 7)

La carta dei fattori di amplificazione rappresenta un contributo efficace alla verifica di secondo livello della sismicità territoriale di Montagna in Valtellina e, per la fase progettuale un avanzato step di lavoro.

In accordo a quanto emerso dallo Studio Sismico di II livello prodotto a supporto della variante 2019 del PGT comunale, nella quasi totalità delle aree urbanizzate del territorio, e comunque in tutto il territorio interessato dal progetto in discussione, lo spettro della normativa nazionale della categoria individuata (FAS) risulta sufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (leggi: FAS superiore al fattore di amplificazione calcolato FAC).

In queste condizioni la norma prevede per l’attività edificatoria ordinaria, ad esclusione delle zone sismiche Z2 della Carta della PSL, di procedere con l’assunzione dello spettro di normativa e quindi l’approccio semplificato proposto nel NTC 2018.

Per la zona sismica Z2 e laddove valore di Fa calcolato (FAC) sia superiore al valore Fa di soglia comunale (FAS) in fase di progettazione edilizia è prevista l’applicazione della verifica

sismica di 3^a livello per la quantificazione degli effetti di amplificazione litologica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.3.3) oppure l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore rispetto a quello misurato in sito.

Considerata la variabilità litologica e morfologica del territorio comunale, sarà comunque facoltà del progettista-geologo, applicare nuovamente la procedura di 2^a livello prevista dalla D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 (All. 5 - § 2.2.2) sulla base di indagini geofisiche sito-specifiche.

La Carta dei fattori di amplificazione, che predispone a livello comunale la fase pianificatoria della verifica di 2^a livello, mostra per l'area di progetto i dati che seguono:

- Scenario di interesse: area 3 Canile corrispondente alla PSL 1° livello Z4a;
- Scenario di interesse: area 4 Agneda corrispondente alla PSL 1° livello Z2;
- Scenario di interesse: area 5 Davaglione corrispondente alla PSL 1° livello Z4b;
- Area 3 Canile categoria di **suolo B** ($V_s=462$ m/s);
- Area 4 Agneda categoria di **suolo B** ($V_s=429$ m/s);
- Area 5 Davaglione categoria di **suolo B** ($V_s=395$ m/s);
- Area 3 Canile FAC 0.1-0.5 sec **1,0** – FAC 0.5-1.5 sec **1,62**;
- Area 4 Agneda FAC 0.1-0.5 sec **1,0** – FAC 0.5-1.5 sec **1,48**;
- Area 5 Davaglione FAC 0.1-0.5 sec **1,0** – FAC 0.5-1.5 sec **1,56**;
- Area 3 Canile FAS 0.1-0.5 sec **1,5** – FAS 0.5-1.5 sec **1,7**;
- Area 4 Agneda FAS 0.1-0.5 sec **1,5** – FAS 0.5-1.5 sec **1,7**;
- Area 5 Davaglione FAS 0.1-0.5 sec **1,5** – FAS 0.5-1.5 sec **1,7**;

con:

| Intervallo di periodo di riferimento | Suolo di tipo B | Suolo di tipo C | Suolo di tipo D | Suolo di tipo E |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| T 0.1 – 0.5 s | 1.5 | 1.9 | 2.3 | 2.1 |
| T 0.5 – 1.5 s | 1.7 | 2.5 | 4.4 | 3.1 |

Valori soglia comune di Montagna in Valtellina

ed in sintesi:

- Area 3 Canile FAC < FAS_{0.1-0.5 sec} **VERIF.** – FAC < FAS_{0.5-1.5 sec} **VERIF.**;
- Area 4 Agneda FAC < FAS_{0.1-0.5 sec} **VERIF.** – FAC < FAS_{0.5-1.5 sec} **VERIF.**;
- Area 5 Davaglione FAC < FAS_{0.1-0.5 sec} **VERIF.** – FAC < FAS_{0.5-1.5 sec} **VERIF.**

2.8 CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA (TAV. 8)

La carta della pericolosità idraulica contiene le medesime criticità della Carta di sintesi (TAV. 6), costituite dall'area golenale (Fascia A – fascia di deflusso della piena) e dalla Fascia B (Fascia di esondazione) derivanti dal PAI del F. Po.

L'area potenzialmente allagabile con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua in occasione di eventi eccezionali dei torrenti Venina e Davaglione, presente per un piccolissimo lembo di territorio tra la sponda ovest del torrente Davaglione, la linea ferroviaria ed il tratto della S.S. 38 che costeggia a sud l'abitato di Montagna in Valtellina, caratterizzata da pericolosità dal punto di vista idraulico, non interessa il progetto che in quel tratto vi si sovrappone con il rilevato su piloni, che risulta quindi in trasparenza idraulica.

L'area triangolare presente lungo lo sviluppo del nuovo tracciato dall'inizio del cantiere a SW fino alla nuova rotatoria prevista lungo la S.P. 19 per immettersi da sud sulla S.S. 38 rientra per almeno metà della nuova carreggiata nella categoria dei pericoli “per scadenti caratteristiche geotecniche o falda superficiale”.

In realtà le indagini geologiche meccaniche eseguite all'interno di quella zona, costituite da un carotaggio continuo con numerose prove SPT fondo foro e due prove di carico su piastra in pozzetto, indicano, per quanto possa interessare in questa sede di analisi delle criticità, che quel sottosuolo non ha caratteristiche geotecniche scadenti e ha la superficie piezometrica che rimane qualche metro al di sotto del piano di sedime.

Considerando che il tratto di progetto che si affianca a questa zona di pericolo è limitato alla larghezza di mezza carreggiata della nuova S.S. 38, che si può escludere che quel sottosuolo abbia scarse caratteristiche geotecniche e che la fondazione del terrapieno su cui sarà impostata la nuova carreggiata sarà staccato qualche metro dal livello piezometrico una eventuale problematica idrogeologica derivante dalla risalita del fronte capillare risulterà improbabile e, se del caso, affrontabile con presidi di progetto finalizzati ad interrompere detta risalita. Una eventuale problematica di tipo geotecnico sarà affrontata invece con un adeguato dimensionamento della struttura fondale della nuova viabilità.

Le prescrizioni di questa carta saranno affrontate nella relazione idrologico idraulica.

3 ASPETTI GEOMORFOLOGICI

L'area oggetto di intervento è posta a quota circa 295 m s.l.m., all'interno dell'ampio territorio della Valtellina e della valle del F. Adda, ad orientamento prevalente E-W, che è bordato da un versante settentrionale (“retico”) che presenta valli e bacini idrografici quasi paralleli ad andamento N-S ed un versante meridionale (“orobico”), anch'esso solcato da valli N-S.

I tratti morfologici salienti di questo settore valtellinese sono rappresentati da:

- Processi di erosione fluviale che hanno portato alla formazione e all’approfondimento della valle del F. Adda, di origine pre-quadernaria;
- Processi glacigenici, connessi alle ripetute glaciazioni, che hanno determinato per tutto il Quaternario molti episodi di avanzata e ritiro del grande ghiacciaio vallivo che occupava la valle dell’Adda e degli apparati glaciali minori suoi affluenti; sono tuttavia evidenti sul terreno caratteri morfologici e deposizionali soltanto dell’ultima glaciazione. Poiché ad ogni glaciazione le aree di alimentazione e le quote raggiunte dal ghiacciaio dell’Adda e dai suoi affluenti erano simili, sia i depositi che le morfologie legate alle glaciazioni più antiche sono state completamente obliterate dall’ultimo passaggio del ghiacciaio. I depositi glaciali più antichi sono probabilmente conservati sul fondovalle dell’Adda, sepolti da depositi glaciali, fluvioglaciali, lacustri e alluvionali più recenti, risultando pertanto osservabili solo in sondaggio;
- Processi fluviali, sia di trasporto che di deposizione, che producono effetti sul fondovalle dell’Adda e, in misura minore, lungo gli affluenti laterali principali;
- Processi gravitativi di dinamica dei versanti che determinano sia il rimaneggiamento dei depositi glaciali che la formazione di detriti di versante attuali a spese del substrato affiorante, e che si esplicano con la messa in posto di coltri di detriti di versante e con processi di franamento e di colamento di vario tipo;
- Processi di deformazione gravitativa profonda (DGPV) che hanno interessato entrambi i versanti della valle dell’Adda già prima delle glaciazioni plio-quadernarie e si mantengono tutt’ora in attività. Questi ultimi sono i processi morfogenetici di minore interesse per questo progetto seppur siano ritenuti fenomeni in grado di conferire significativa instabilità alla grande ed alla piccola scala.

La zona che interessa il progetto di questa nuova viabilità può essere suddivisa in chiave morfologica e fisiografica, in settori omogenei distinti: 1) il fondovalle dell’Adda, 2) i versanti prospicienti la valle dell’Adda e 3) le valli laterali principali affluenti dell’Adda.

Il fondovalle del F. Adda si presenta inciso nel substrato, con versanti in roccia ad elevata inclinazione sia sul versante meridionale che su quello settentrionale. Esso è di origine pre-glaciale e mostra il fondo completamente occupato da sedimenti alluvionali attuali, a topografia pianeggiante.

Nel 2001 come collaborazione tra CNR e Regione Lombardia furono realizzati un profilo sismico a riflessione ed un carotaggio qualche chilometro ad est della zona di progetto, nell’ambito della valle dell’Adda e nelle stesse condizioni topografiche e morfologiche dell’area pianeggiante di Montagna in Valtellina, allo scopo di individuare le morfologie sepolte della valle e la natura dei depositi di riempimento.

Il profilo sismico ha messo in evidenza la presenza del bedrock a circa 550 m di profondità dal piano campagna. Questo permette di escludere l’origine glaciale della valle, la cui origine è invece il risultato di una erosione fluviale all’interno di un profondo canyon in relazione allo sviluppo della rete idrografica complessa pre-messiniana in tutta l’area alpina e sud-alpina.

Nel sondaggio, tra -192 e -209 m dal piano campagna, sono stati individuati depositi lacustri, evidenziati anche da un importante riflettore nel profilo sismico, messi in relazione con un antico episodio di sbarramento dell’Adda. Tali depositi sono ricoperti da *till* fino a -40 m dalla superficie, profondità alla quale iniziano i sedimenti fluviali.

È verosimile che tra i depositi glaciali ed i soprastanti depositi fluviali recenti ed attuali siano presenti sedimenti fluvioglaciali lasciati dal ghiacciaio dell’Adda nella sua fase di ritiro, senza però che si possa distinguere tra questi e quelli fluviali attuali perché le aree di alimentazione sono le stesse ed i depositi fluviali rimaneggiano anche depositi glaciali più antichi.

Il profilo sismico mostra anche evidenti superfici di movimento, interpretate come scivolamenti, dovute a DGPV che interessano sia il substrato lapideo che i depositi sciolti di copertura a partire anche dalla fase pre lacustre.

Nella sequenza deposizionale ci sono segni indicatori di una attività anche attuale delle DGPV, il che suggerisce che nemmeno l’importante spessore dei cunei di sedimenti che riempiono la valle esercita sulle masse rocciose e sedimentarie una resistenza di contrasto significativa.

Nel settore della valle dell’Adda sono attualmente predominanti i processi deposizionali, con un corso che presenta meandri liberi di divagare sulle alluvioni mobili di fondovalle. Risulta evidente un terrazzo d’erosione fluviale, relativamente continuo soprattutto lungo la sponda destra, di altezza circa 1-3 m che delimita l’alveo di piena.

Sopra quest’ultimo il fondovalle ha caratteri di piana d’esondazione con predominante deposizione di materiali fini, terminata con la realizzazione delle attuali opere di regimazione.

Dalle valli laterali ricevono alimentazione le numerose conoidi che, per la morfologia e la natura dei sedimenti, mostrano caratteri di depositi gravitativi, ovvero appaiono come conoidi costituite prevalentemente dalla sovrapposizione di più corpi di frana, o di trasporto di massa (*debris flow*) piuttosto che alluvionale s.s..

Dai rapporti con il corso dell'Adda, che le aggira, si deduce che alcuni di esse hanno subito fasi di accrescimento rapido in tempi molto recenti, come nel tratto di fondo alveo che ci interessa su entrambi i versanti del fiume, mentre in altri casi le conoidi manifestano attività meno recenti perché risultano tagliate dal corso d'acqua.

Entrambi i versanti prospicienti il fondovalle dell'Adda mostrano particolari abbastanza simili, con differenze dovute ai diversi caratteri litologici e strutturali delle formazioni geologiche affioranti: la somiglianza morfologica dei due versanti è legata alla predominanza dei processi glaciali e periglaciali che li hanno modellati.

Tali fenomeni sono costituiti principalmente da processi di erosione e modellamento del substrato su cui il ghiacciaio si è spostato, processi di deposizione di sedimenti glaciali sotto forma di till di varia tipologia e processi gravitativi, in particolare a carico degli accumuli di depositi di versante, crolli di roccia, frane per colata o scivolamento di detrito e formazione di colluvio.

Un ulteriore fenomeno che risulta ancora oggi attivo e che viene invocato per spiegare scollamenti della coltre quaternaria dal substrato e denudamenti anche a scala estesa sono le DGPV, causate sia dalle caratteristiche litologiche degli ammassi che coinvolgono che, soprattutto, tettonico-strutturali.

Le DGPV hanno condizionato in maniera significativa l'impostazione e lo sviluppo del reticolo idrografico, oltre che la produzione di corpi di detrito di versante e crolli lungo tutte le superfici che ne isolano il movimento e le tipiche trincee di distensione.

I processi geomorfologici di franamento, i colamenti di debris flow ed anche i crolli hanno subito un incremento a causa del disboscamento antropico che a partire dall'epoca romana ha privato parte dei versanti della copertura boschiva che li proteggeva dai fenomeni di dissesto più superficiali.

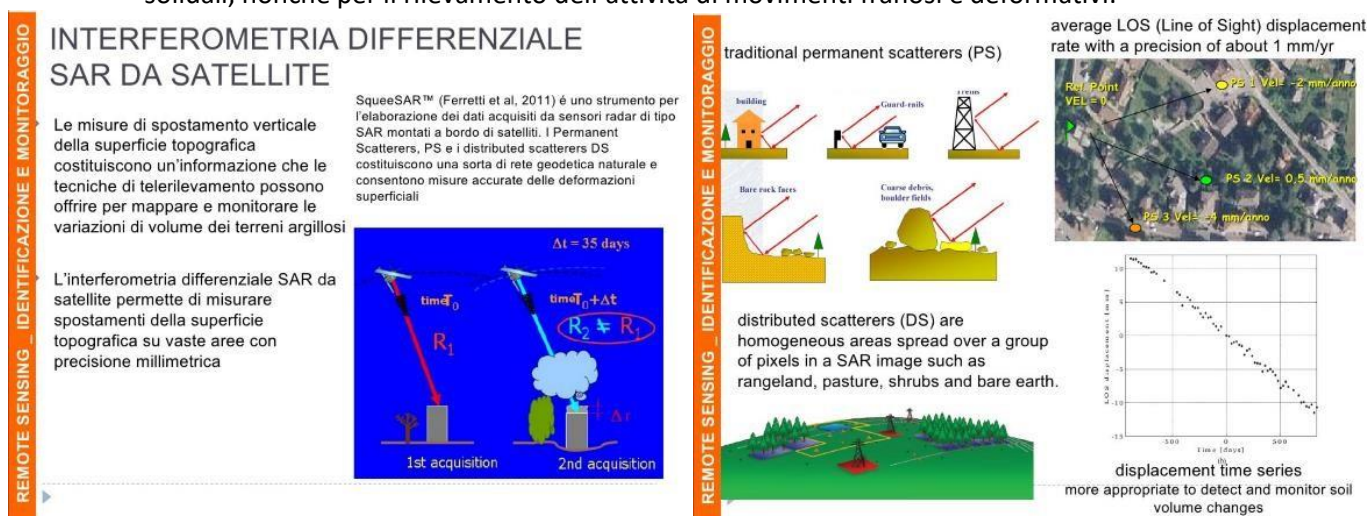
Nel complesso, l'area del fondovalle dell'Adda e delle sue valli laterali principali mostra una storia di instabilità, potenziale ed in atto, dei versanti da non trascurare.

3.1 LA STABILITA' DEI SUOLI DA REMOTE SENSING

Trattandosi di un lotto in cui sarà realizzato un intervento strategico di rafforzamento della viabilità interprovinciale risulta significativo un approfondimento specifico del contesto geomorfologico utilizzando l'interferometria differenziale tratto dal portale nazionale del Ministero dell'Ambiente (<http://www.pcn.minambiente.it/viewer/>) e da LAMMA (<http://geoportale.lamma.rete.toscana.it/sar/#/viewer/openlayers/134>), dove sono attivabili dei layers dei progetti SAR contenenti i PS (Permanent Scatterers-PS) dei satelliti ERS, ENVISAT, COSMO SKY-MED e SENTINEL_1 e 2.

Questi sono i nomi dei satelliti che hanno orbitato ed orbitanti non geostazionari inviati nello spazio dall'Agenzia Spaziale Europea E.S.A. per monitorare la superficie della terra e controllarne i movimenti. Tale monitoraggio risulta possibile perché (<http://www.pcn.minambiente.it/GN/gn-progetti/progetti/1721-interferometriadifferenziale-sar>) i satelliti riescono ad identificare dei punti - PS - (in genere manufatti), dotati di superficie rigida e piana, che riflettono il fascio radar emesso dal satellite ed a calcolarne la distanza ad ogni orbita a partire dalla misura del tempo di ritardo tra l'emissione e la ricezione dell'impulso di ritorno.

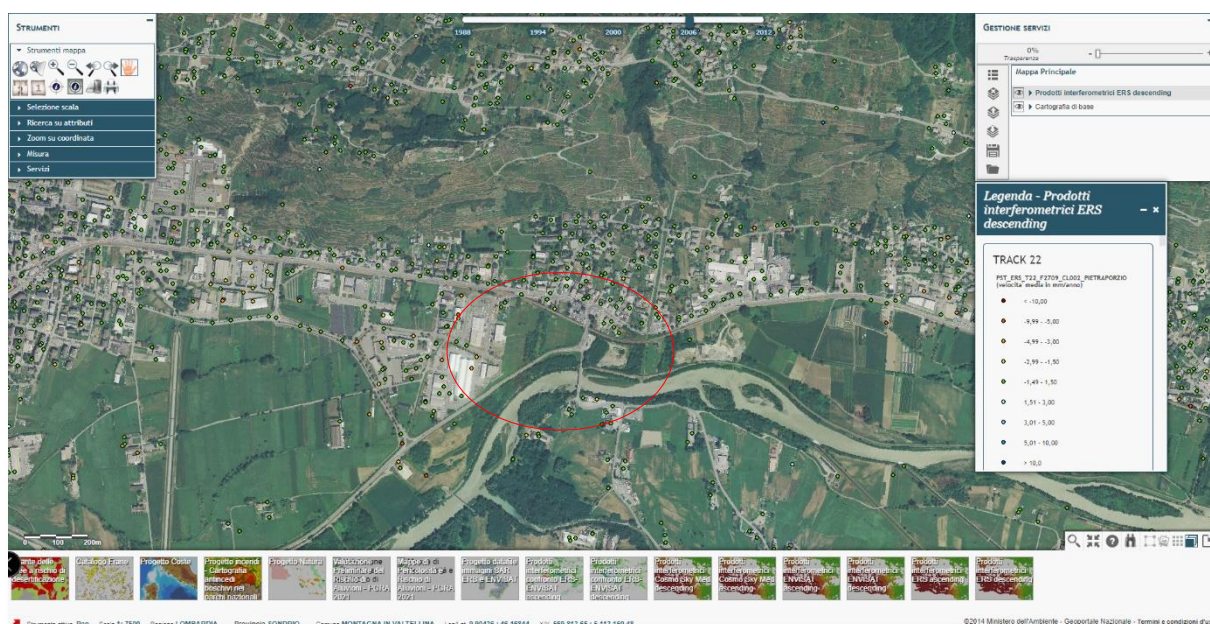
Il metodo dei PS è molto utilizzato per il monitoraggio del suolo e delle strutture ad esso solidali, nonché per il rilevamento dell'attività di movimenti franosi e deformativi:



Ciascun satellite è in grado di riconoscere ad ogni orbita lo stesso PS tramite confronto con la posizione reciproca di tutti gli altri al contorno ed a ricostruire orbita dopo orbita la storia della sua posizione, elaborando anche le relative velocità medie mensili o medie annue (mm/mese o mm/anno) sulla base delle quali costruire una scala di stabilità del PS.

Se infine il PS è solidale al suolo e non soggetto a sforzi esterni, si può dedurre la velocità di movimento media, la posizione e quindi la stabilità del suolo nel tempo.

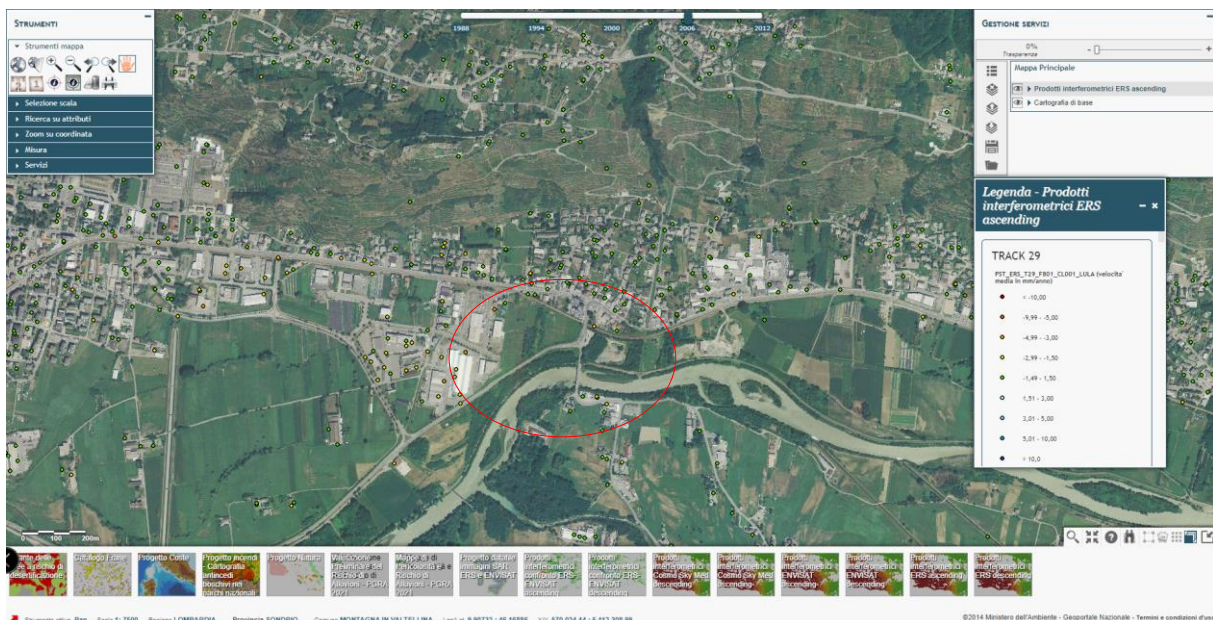
Nel caso del lotto del Municipio risultano presenti nell'intorno dell'area scelta PS riconosciuti per primi dal satellite ERS, che ha prodotto immagini circa mensili tra il 1992 ed il 2000. L'immagine che segue rappresenta i PS individuati in orbita discendente; i PS monitorati per la striscia di territorio sono tutti verdi (velocità media annua non superiore a $\pm 1,5$ mm/anno in allontanamento o avvicinamento al satellite) i quali, tenendo conto che la morfologia del territorio è riferita ad una zona di fondovalle con pendenza nulla, permettono di escludere assestamenti sia verticali che orizzontali:



Sopra: satellite ERS orbita discendente; periodo di monitoraggio 13/05/1992-16/12/2000

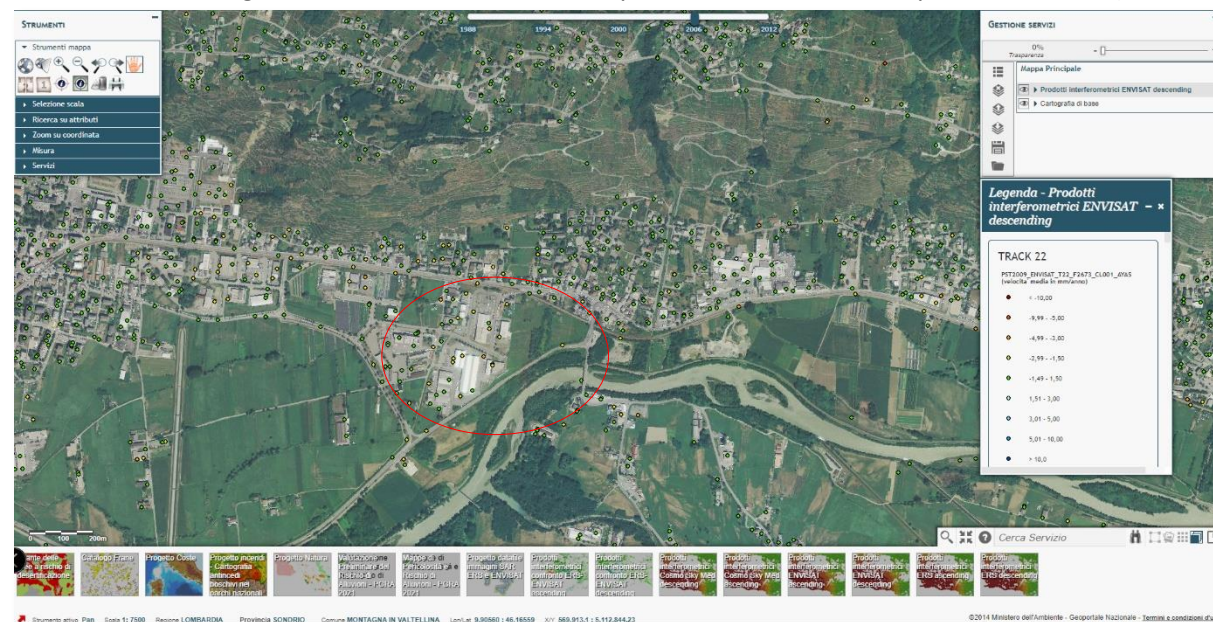
Si consideri anche che i satelliti hanno una linea di vista verso destra rispetto alla traiettoria dell'orbita che passa per i poli, quindi non riescono ad apprezzare gli spostamenti orizzontali con andamento N-S, per cui la zona indagata sarebbe ottimamente orientata per mostrare eventuali movimenti.

L'orbita ascendente del satellite ERS ha prodotto per la zona di Montagna in Valtellina una immagine analoga a quella dell'orbita discendente con PS prevalentemente indicatori di stabilità:



Sopra: satellite ERS orbita ascendente; periodo di monitoraggio 13/05/1992-16/12/2000

Con il successivo satellite ENVISAT il risultato del monitoraggio non cambia (vedi immagine che segue), cioè tutto il contesto urbanizzato intorno all’area di progetto è caratterizzato da PS verdi o in minoranza gialli, che denotano un abbassamento medio annuo del punto riflettente da -1,5 a -3,0 mm/anno (segni negativi per convenzione indicano un allontanamento lungo la linea di vista del satellite, quindi abbassamento del punto riflettente):

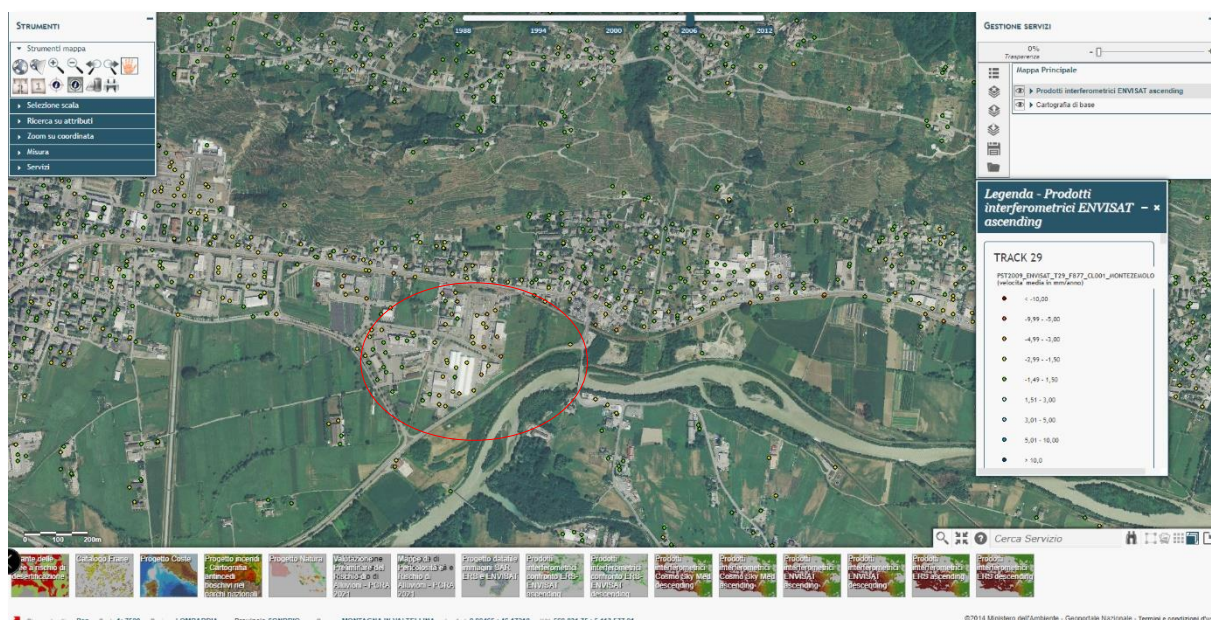


Sopra: satellite ENVISAT orbita discendente; periodo di monitoraggio 25/01/2003-12/06/2010

Considerando che la differenza tra i due colori dei PS è minima e che quelli gialli sono mischiati ai PS verdi, il pattern non pare indicare una qualche dinamica dell’intera struttura

sedimentaria della conoide, ma piuttosto di qualche singolo edificio per problematiche forse anche solo strutturali o, comunque, legate all’edificio e non al suo sottosuolo.

Nell’orbita ascendente il satellite ENVISAT ha riconosciuto di nuovo numerosi PS, peraltro diversi da quelli dell’orbita discendente, e con esito degli spostamenti sostanzialmente analogo; deve essere però evidenziato che la presenza dei PS gialli (1,5-3,0 mm di spostamento medio annuo) è più rappresentata; vedi immagine che segue:



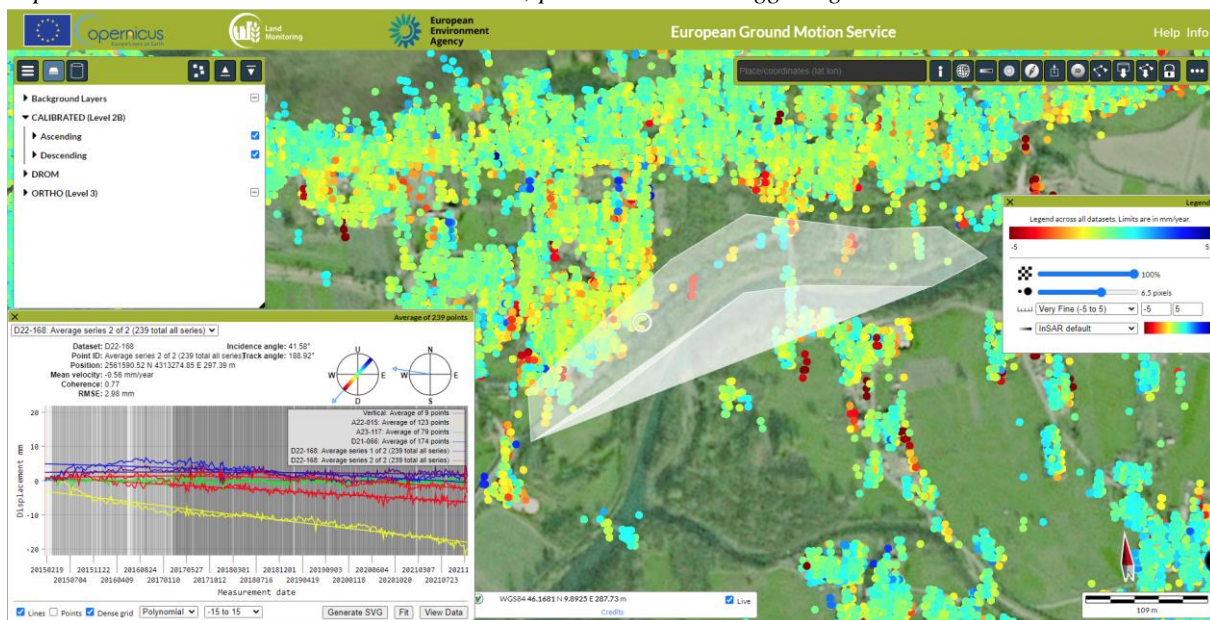
Sopra: satellite ENVISAT orbita ascendente; periodo di monitoraggio 25/01/2003-12/06/2010

Il satellite COSMO SKY-MED in orbita discendente non ha schermate pubblicate nella zona di Montagna in Valtellina e neppure in orbita ascendente.

Da pochi anni sono diventati pubblici i risultati del monitoraggio del terreno prodotto dal servizio Copernicus Land Monitoring - European Ground Motion Service, gestito dall’Agenzia Ambientale Europea che utilizza la costellazione di satelliti Sentinel 1, che hanno un tempo di rivisitazione settimanale e risoluzione decisamente aumentata, vedi immagine che segue:



Sopra: satellite COPERNICO orbita ascendente; periodo di monitoraggio 1 gen 2018 – 29 mar 2022



Dal 2015-20166 al 2021 tutti i punti sia della mappa di base che della mappa “calibrata” sulla fascia di territorio che sarà impegnata dalla nuova viabilità si hanno grafici di spostamento estremamente regolari, con movimento medio annuo di circa 1 mm/anno nel primo scenario e circa mezzo nel secondo, confermando che la storia geomorfologica recente ed attuale dell’area è esente da assestamenti (trattandosi di area di pianura spostamenti orizzontali non sono contemplati) significativi.

4 MODELLO GEOLOGICO – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE

Secondo lo schema tettonico riportato nel Foglio 056 Sondrio della Carta Regionale GEologica della Lombardia (vedi TAV. 9) la zona risulta suddivisa dalla Linea Insubrica, lineamento tettonico che percorre e si identifica con l'intera incisione valtellinese. A nord della linea Insubrica si trovano i complessi tettonici delle Austridi (Basamento Metamorfico Auralpino) e delle Pennidi oltre ai Massicci intrusivi terziari (Rocce filoniane e intrusive), mentre a sud della linea Insubrica si trova il Complesso strutturale delle Alpi Meridionali (Basamento Metamorfico delle Alpi Meridionali con l'Unità di Edolo e l'Unità di Morbegno).

La tettonica di tutto il settore è, quindi, condizionata dalla presenza della Linea Insubrica che costituisce una lineazione tettonica di importanza regionale ad andamento E-W lunga circa 700 km.

La linea è rappresentata sul territorio da una fascia milonitico-cataclastica che appartiene al Sistema di Faglie Periadriatico (PFS) e viene considerata la discontinuità strutturale più importante delle Alpi.

Lungo questa linea sono presenti diversi plutoni terziari, le cui relazioni con le miloniti testimoniano che la faglia è stata attiva fin dal periodo 34-28 milioni di anni fa.

L'intero PFS è costituito da un insieme di faglie a grande scala, legate dal punto di vista cinematico, ma con caratteristiche diverse che però nell'insieme indicano traspressione destrorsa.

Il rigetto verticale, manifestato dal sollevamento del lembo settentrionale, è di circa 20 chilometri nelle Alpi Centrali e si riduce a zero in quelle Orientali, dove lo spessore delle miloniti può arrivare a qualche chilometro.

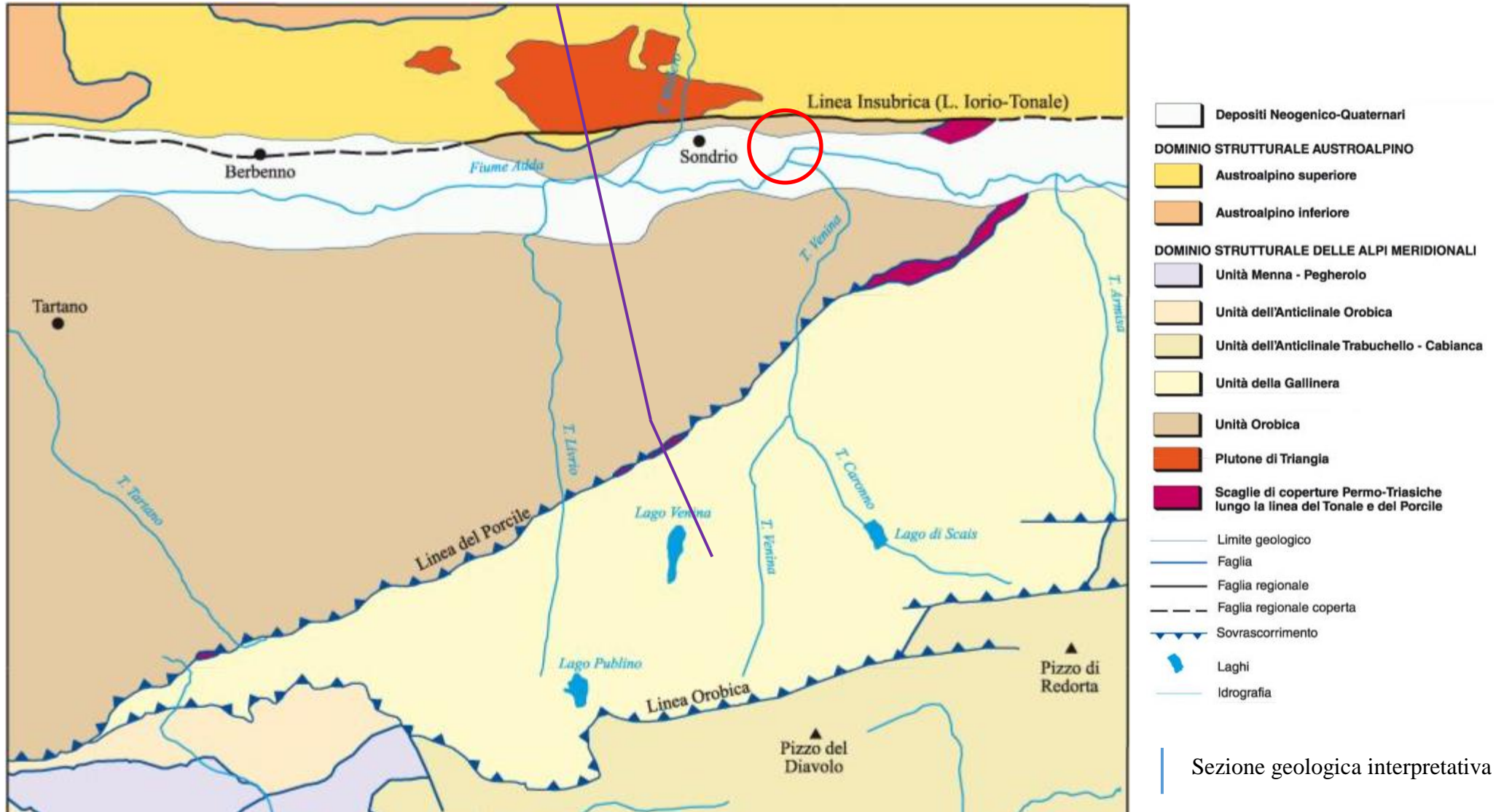
Il rigetto orizzontale destrorso è ancora oggetto di approfondimento, data l'incertezza attuale tra i 30 km ed i 300 km dei diversi Autori.

Il sistema di faglie periappenninico mette a contatto le propaggini settentrionali sudalpine con le unità austroalpine e costituisce la linea mediana che separa la catena delle falde vergenti verso nord da quelle vergenti verso sud.

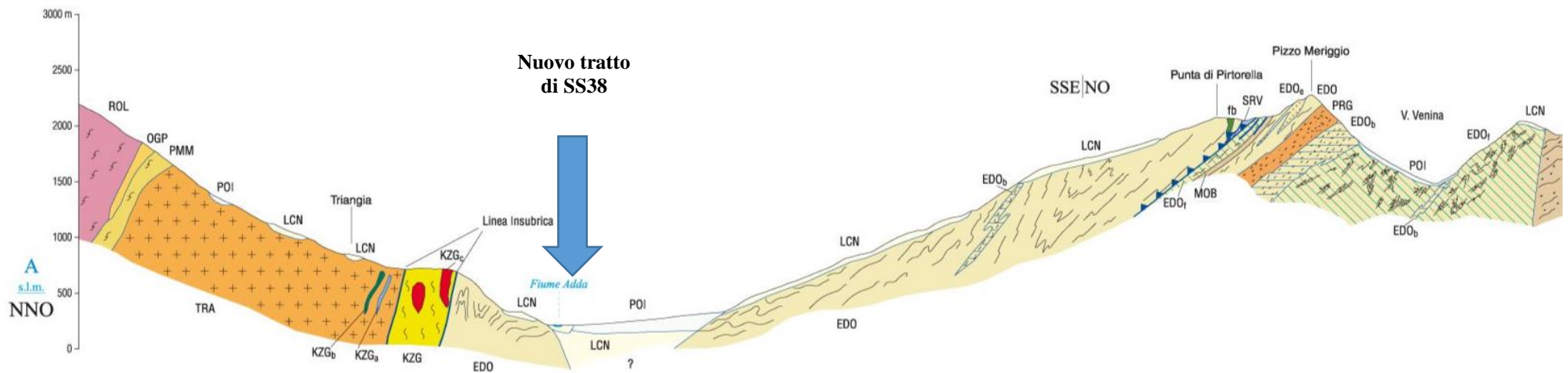
Nella zona di diretto interesse per le opere in progetto, in destra idrografica del fiume Adda e sotto le coperture sedimentarie descritte nel capitolo dell’assetto geomorfologico, si riconosce l’unità degli Scisti di Edolo (EDO) appartenente al Basamento Metamorfico delle Alpi Meridionali (vedi sezione geologica interpretata in TAV. 10).

Il litotipo caratterizzante gli Scisti di Edolo è costituito da micascisti muscovitici a granato e staurolite a grana media, di colore da grigio-scuro a grigio-argento, con lenti di quarzo allungate e piegate; i fenomeni di metamorfismo retrogrado conferiscono all’unità un colore grigio-verdastro.

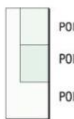
TAV. 9 - MODELLO GEOLOGICO - SCHEMA TETTONICO (Foglio CARG 1:50.000 056 SONDRIO) - SCALA 1:200.000



TAV. 10 – MODELLO GEOLOGICO - SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATA (CARG 1:50.000 056 SONDRIO)



DEPOSITI CONTINENTALI NEOGENICO-QUATERNARI
UNITÀ NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI APPARTENENZA



SISTEMA DEL PO (Unità Postglaciale)

POI₉
Ghiale e diamicton massivi a clasti spigolosi; diamicton a supporto di matrice limosa con clasti sparsi in letti paralleli al pendio (depositi di versante). Limi laminati, sabbie fini e torbe (depositi lacustri e di torbiera). Ghiale massive o grossolanamente stratificate e diamicton massivi (depositi di conoide misto). Ghiale massive o stratificate, matrice sabbiosa, clasti arrotondati, ciottoli embricati e laminazioni incrociate (depositi alluvionali). Superficie limite superiore caratterizzata da alterazione assente o molto ridotta e morfologie ben conservate o ancora in evoluzione. Limite inferiore discordante con il substrato o con le sottostanti unità, limite superiore dato dalla superficie topografica.

Subsistema del Po Recente (POI₈)

Diamicton massivi, con ciottoli e blocchi sino a metri (depositi glaciali posteriori alla Piccola Età Glaciale). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli poco evoluti con clasti non alterati, orizzonte B assente e morfologie ben conservate; coincide con la superficie topografica.

OLOCENE (1860 AD - ATTUALE)

Subsistema Piccola Età Glaciale (POI₇)

Diamicton massivi, con ciottoli e blocchi sino a metri (depositi glaciali riferiti alla Piccola Età Glaciale). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli poco evoluti con clasti non alterati, orizzonte B poco sviluppato e morfologie ben conservate; coincide, in genere, con la superficie topografica.

OLOCENE (1500 -1860 AD)

PLEISTOCENE SUP. - OLOCENE

UNITÀ DEI BACINI DELL'ADDA E DELL'OGLIO

SUPERSISTEMA DEI LAGHI



SISTEMA DI CANTÙ

Diamicton massivi con clasti e blocchi (*fill* di ablazione). Diamicton massivi a supporto di matrice sovraconsolidata, con clasti spesso striati e sagomati a ferro da stiro (*fill* di alloggiamento). Superficie limite superiore caratterizzata da morfologie localmente ben conservate, copertura loessica assente, profilo di alterazione poco evoluto, con profondità massima dell'alterazione 1,5 - 2 m. **PLEISTOCENE SUP.**

ROCCHE INTRUSIVE TERZIARIE
ROCCHE FILONIANE



Rocce filoniane africane

Rocce di colore grigio-scuro, struttura microgranulare massiccia; locale alterazione dell'orneblienda in clorite ed in anfibolo verde per autometamorfismo. **EOCENE - OLIGOCENE?**



Porfiriti

Rocce intermedie, con massa di fondo microcristallina di colore da grigio a grigio-verde e fenocristalli da millimetrici a centimetrici di plagioclasio e subordinatamente di orneblienda. Locale alterazione di plagioclasio e orneblienda. Filoni di potenza da decimetrica a metrica spesso discordanti rispetto alla foliazione della roccia incassante. **EOCENE**

ROCCHE PLUTONICHE



Tonalite di Trianga

Roccia a $Pl+Bt+Hbl+Qtz+Apz+Zrc$; grana per lo più media e struttura da granulare ipidiomorfa a porfirica; in prevalenza tonaliti a Bt e Hbl (TRA); un piccolo corpo granitico aplitico (TRAa), a grana fine, nella parte centrale dell'affioramento. Struttura da massiccia a debolmente orientata presso i contatti e nelle zone di shear. Xenoliti e inclusi mafici microgranulari. **OLIGOCENE**

BASAMENTO METAMORFICO DELLE ALPI MERIDIONALI (CON METAPLUTONITI ORDOVICIANE)

UNITÀ DEGLI GNEISS DI MORBEGNO

UNITÀ DEGLI SCISTI DI EDOLO

Gneiss del Pizzo Meriggio

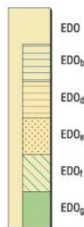
Ortogneiss di colore grigio-scuro da occhiadini a milonitici, con porfiroclasti di K-feldspato. Costituiti da $Qtz+Kfs+Pl+Bt+WMs+Grts+Chl+Tur$. Frequenti orizzonti milonitici millimetrici, generalmente concordanti con la foliazione. Localmente (Punta di Santo Stefano, Punta della Pessa) sono caratterizzati da biotite rosso-bruna. Formano sottili lenti entro gli Scisti di Edolo. **ORDOVICIANO**

Ortogneiss del Monte Fioraro

Ortogneiss a grana medio-grossolana, da equigranulari a inequigranulari, con composizione variabile da granitica (FfO_2 , FfO_2 , FfO_2) a dioritica (FfO_2). Formano una grossa lente entro gli Scisti di Edolo. **ortogneiss biotitico-muscovitici**: ortogneiss di colore chiaro, a grana da media a grossolana, a struttura da porfirica ad occhiadina fino a *flaser*. Associazione mineralogica: $Kfs+Qtz+Pl+Bt+Ms$ (FfO_2). Localmente a granato e titanite (FfO_2). **ortogneiss dioritici** (FfO_2): ortogneiss di colore scuro a $Pl+Hbl+Bt+Qtz+Kfs+Grts+Act$, a grana medio-grossolana e tessitura da massiccia ad occhiadina fino a *flaser*. Affiorano in alta Val Tartano. **ortogneiss biotitico muscovitici del monte pedena** (FfO_2): ortogneiss granitici a due niche a porfiroclasti di K-feldspato, talora a granato e tormalina. Localmente molto deformati. **ORDOVICIANO**

Scisti di Edolo

Micascisti muscovitici a granato e staurolite ($Qtz+Pl+Ms+Bt+Grt+St+Chl+Tur$) in facies delle anfiboliti, con metamorfismo retrogrado che spesso conferisce alle rocce un colore grigio-verdastro; frequenti *rod* di quarzo, appiattiti e piegati, ed intercalazioni di orizzonti milonitici di colore da verde-scuro a nerastro (EDD). **quarzoscisti** (EDD₂): quarzoscisti talora granatiferi e quarziti grigio-verdastre (CFG del limitrofo foglio Malonno). **paragneiss a due niche** (EDD₂): rocce a grana fine a $Qtz+Pl+Bt+Ms+Grts+Tur$ intercalate a micascisti alla transizione con i paragneiss nodulari. **micascisti a granato e biotite con noduli di plagioclasio** (EDD₂): micascisti a $Qtz+Pl+Bt+Ms+Grts+St$ con noduli di plagioclasio, intercalati ai micascisti muscovitici a granato e staurolite (EDD) nella zona di transizione agli Gneiss di Morbegno. **filoniti** (EDD₁): rocce a grana fine di colore grigio-verde con fitta scistosità intensamente crenulata e *rod* di quarzo. Sono costituite da alternanze di *film* fillosilicatici (clorite e sericite) e *lithon* quarzosi. Relitti strutturali di granato sostituito da clorite (Filladi di Ambria Auct.). **scisti cloritici** (EDD₃): rocce di colore da verde-scuro a nerastro con *lithon* quarzosi e *film* fillosilicatici a clorite e rara mica chiara. Frequente calcite e, localmente, granato più o meno clorizzato.



BASAMENTO METAMORFICO AUSTRALPINO

METAPLUTONITI CARBONIFERE



Metagranodiorite del Pizzo Mercantelli

Rocce a $Qtz+Pl+Kfs+Bt+Hbl$, simili alla Metagranodiorite del Monte Rolla, ma di composizione da granodioritica a tonalitica; tessitura da massiccia a più o meno foliata fino a milonitica. Il quarzo assume spesso una colorazione grigio-azzurrognola. E' intrusa entro l'unità degli Gneiss del Monte Canale.

Metadiorite di Primavera (MECa)

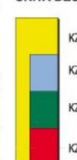
Rocce di composizione assai variabile da orneblenditi cumulitiche a dioriti fino ad apliti. E' presente in sacche di dimensioni metriche, nella facies migmatitica degli ortogneiss del Monte Canale. **CARBONIFERO SUP.**

Metagranodiorite del Monte Rolla

Rocce a $Qtz+Pl+Kfs+Bt+Hbl$ da massicce a più o meno foliate fino a milonitiche a composizione da granitica a granodioritica; grana per lo più medio-grossolana. Ricche di biotite e megacrystaliti/porfiroclasti di K-feldspato di dimensioni anche centimetriche. Quarzo da grigio-nero a grigio-azzurrognolo. Le varietà milonitiche mostrano associazione mineralogica di facies degli scisti verdi. Presenti inclusi mafici microgranulari. E' intrusa entro l'unità degli Gneiss della Punta di Pietra Rossa. **CARBONIFERO SUP.**

AUSTRALPINO SUPERIORE

UNITÀ DEGLI GNEISS DEL MONTE TONALE



Micascisti e paragneiss "kinzigitici"

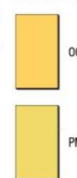
Rocce a $Bt+Qtz+Pl+Sil+Grt+Ms+Kfs$ caratterizzate da particolare abbondanza di biotite, granato e sillimanite e dalla presenza di muscovite *cross*; sono associate a paragneiss minuti biotitici (KZG) (LTN del limitrofo F. Malonno).

marmi e calcefiri (KZG₂): marmi a grana fine di colore da grigio-chiaro a nero, in lenti metriche associati a calcefiri massicci per lo più composti da Cal, Grt e Di (LTC del limitrofo F. Malonno).

anfiboliti (KZG₃): rocce di colore nero-verdastro a $Pl+Hbl$ con tessitura da massiccia a bande millimetriche, con foliazione continua. Lungo le zone di shear parziale retrocessione in facies degli scisti verdi (LTA del limitrofo F. Malonno).

metapegmatiti (KZG₄): rocce in sacche e lenti per lo più concordanti con la scistosità; colore bianco-grigio, grana molto variabile, spesso contenenti lamine centimetriche di muscovite. **PRE CARBONIFERO**

UNITÀ DEGLI GNEISS DELLA PUNTA DI PIETRA ROSSA (CON METAPLUTONITI ORDOVICIANE)



Ortogneiss occhiadini a due niche

Rocce talora con grossi occhi di K-feldspato grandi sino a 5 cm, grana da grossolana a minuta, localmente a bande per laminazione tettonica; migmatitici in prossimità delle metaplutoniti carbonifere. Presenti come lenti allungate entro l'unità degli Gneiss della Punta di Pietra Rossa. **ORDOVICIANO**

Paragneiss muscovitici o a due niche

Paragneiss a $Qtz+Pl+Ms+Bt+Grt+Chl$ a grana minuta; tessitura da massiccia a debolmente foliata. **CAMBRIANO?**

L'intervento si sviluppa nel fondovalle ampio e pianeggiante del F. Adda, caratterizzato dalla presenza di uno spesso materasso di depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi derivanti dall'evoluzione geomorfologica recente ed attuale (vedi §. 3) di fasi di dinamica fluviale ad alta e media energia rappresentate dalla interconnessione tra la conoide del torrente Davaglione e la sedimentazione del F. Adda.

5 MODELLO GEOLOGICO – INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'assetto idrogeologico dell'area di progetto, ad est di Sondrio lungo la valle del F. Adda, risulta caratterizzato dai litotipi e dalle coperture detritiche affioranti e dall'interazione tra i sistemi sedimentari dei versanti ed il fondovalle.

Gli apporti meteorici in questa zona sono elevati, in media tra gli 800-1000 mm/anno sul versante settentrionale e di 1300-1600 circa mm/anno su quello meridionale, e garantiscono notevoli quantità d'acqua, sia sotterranea che superficiale.

L'acquifero principale è rappresentato dai depositi alluvionali del fondovalle, costituito prevalentemente da sabbie e ghiaie, nelle quali lenti o strati prevalentemente sottili limosi e limoso-argillosi mantengono questo serbatoio di tipo freatico, cioè privo di confinamento. L'alimentazione dell'acquifero alluvionale è fornita per la maggior quantità dal F. Adda.

Lo spostamento delle acque sotterranee nell'acquifero alluvionale è principalmente orizzontale ed orientato da Est verso Ovest, con un gradiente idraulico molto basso. La soggiacenza del livello piezometrico nell'acquifero alluvionale è ridotta: la disponibilità di sondaggi dalle diverse campagne di indagine geologica disponibili ha permesso di stabilire che l'acqua nel sottosuolo del fondovalle del F. Adda varia dai 2 ai 6 metri; le quote dell'acqua riscontrate risultano molto prossime a quelle del tratto di alveo dell'Adda e si abbassano spostandosi verso i fianchi della valle.

In asse al fondovalle del F. Adda si rileva una diminuzione della soggiacenza andando da Est verso Ovest, seguendo l'andamento altimetrico del terreno e dell'asta fluviale; le quote risultano leggermente inferiori a quelle dell'alveo dell'Adda, ciò conferma che l'acquifero del fondovalle viene alimentato dal corso d'acqua.

La permeabilità, misurata in diverse verticali tra 4 e 30 metri di profondità, è sempre dell'ordine dei 10^{-3} - 10^{-4} cm/sec, quindi piuttosto elevata e del tutto compatibile con le indicazioni

bibliografiche sugli acquiferi composti di materiali prevalentemente grossolani con scarsa matrice. I risultati delle misure della permeabilità sono tutto sommato omogenei e indipendenti dalla profondità entro gli spessori indagati. Quella minima variabilità riscontrata potrebbe essere legata alla posizione della verticale e, quindi, alla collocazione della misura più o meno prossimale/distale rispetto all'apice della conoide (nel nostro caso quella del T. Davaglione).

In quell'acquifero confluiscono gli acquiferi secondari che sono alloggiati nelle conoidi laterali formate dai corsi d'acqua provenienti dai due versanti.

Le piccole falde di conoide sono anch'esse del tipo freatico e possono raggiungere valori di soggiacenza anche elevati; essi tendono poi a diminuire nelle zone distali e di raccordo con l'acquifero di fondovalle.

L'alimentazione di queste falde secondarie è data sia dagli apporti diretti provenienti dai versanti, sia dai corsi d'acqua.

I litotipi del substrato lapideo, che costituiscono prevalentemente versanti ad elevate pendenze, sono caratterizzati generalmente da un grado di permeabilità piuttosto basso, il quale determina il prevalere del deflusso superficiale nei confronti dell'infiltrazione e quindi del deflusso sotterraneo, che avviene attraverso alle discontinuità strutturali ed alla stratificazione.

La piezometria della zona di progetto è ricostruibile dai piezometri attrezzati in alcuni dei sondaggi di cui la Stazione appaltante ci ha dato disponibilità.

In particolare la soggiacenza della superficie piezometrica è posizionata tra i 2,5 ed i 6,0 metri di profondità dal piano di sedime in periodo di morbida, con escursioni sia giornaliere che stagionali dell'ordine delle decine di centimetri le prime e di 1-2 metri le seconde.

6 CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO MEDIANTE INDAGINI GEOLOGICHE

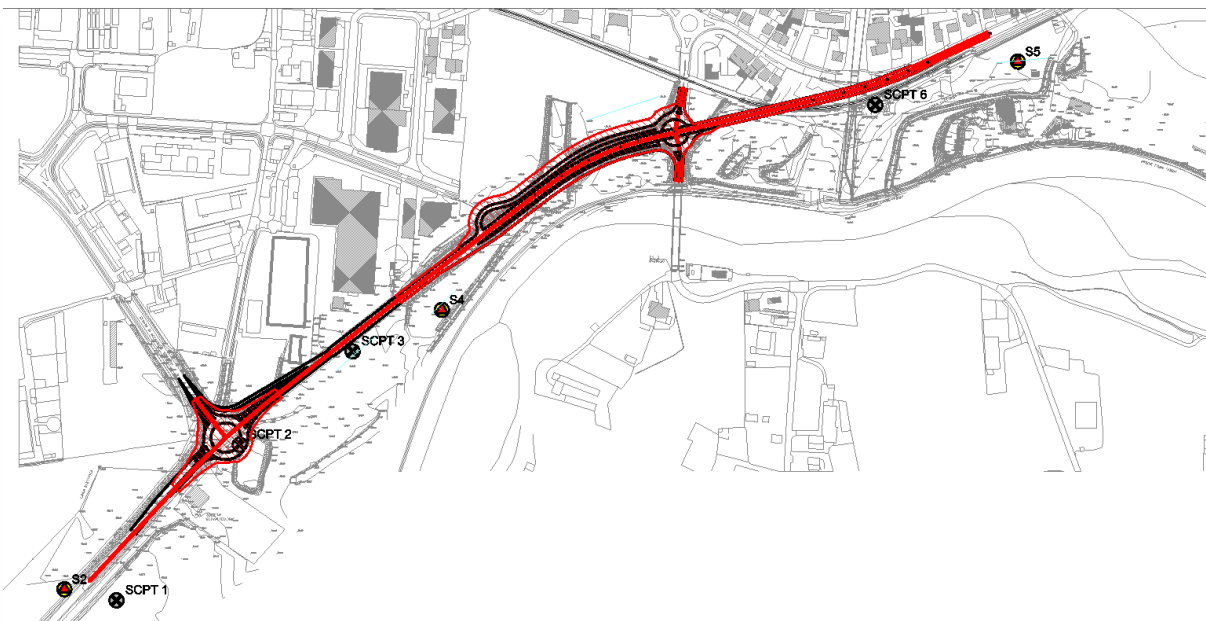
6.1 INDAGINI DI ARCHIVIO 2002 – 2003 (PROGETTO DEL LOTTO 7 DELLA SS 38)

A titolo di supporto alla progettazione del nuovo tratto di viabilità SS38 sono stati consultati ed acquisiti i risultati di una selezione della doppia campagna geognostica effettuata nel 2002 per il definitivo e nel 2003 per l'esecutivo di una vecchia versione del progetto *“LOTTO 7 per il completamento della tangenziale di Sondrio dallo svincolo di Montagna (compreso) allo svincolo di Tresivio (compreso)”* fornita da ANAS S.p.A. che possono essere ritenute di interesse per questa fase

di progetto in quanto afferenti all’area di studio. La selezione di indagini impiegate per la definizione del modello geologico locale, con redazione del relativo profilo geologico, consiste in:

- n. 3 sondaggi verticali a carotaggio continuo denominati “S2” “S4” “S5” fino alla profondità rispettivamente di 50,00 – 25,00 -25,00 m dal p.c. eseguiti con trivella CMV600, batteria aste da 76 mm, rivestimento da 127 e 152 mm, carotiere “S” da 101 e 131 mm e corone a inserti Vidia, con SPT fondo foro e prove di permeabilità Lefrank;
- n. 6 verticali penetrometriche dinamiche DPSH (Standard Cone Penetration Test) denominate “DPSH1” “DPSH2” “DPSH3” “DPSH6” spinte fino alla profondità rispettivamente di 17,10 - 8,10 - 20,50 – 3,00 m dal p.c., eseguite con penetrometro superpesante tipo MEARDI-AGI;

Posizionate come segue:



Segue la descrizione delle stratigrafie di sintesi di tali sondaggi:

Sondaggio S2:

| Profondità da p.c. (m) | Tipo di terreno |
|------------------------|---|
| da p.c. a -0.2.5 | Terreno vegetale e depositi pedogenizzati (alluvioni attuali) |
| da -2.5 a -9.8 | Sabbia, ghiaia e ghiaia sabbiosa (alluvioni attuali) |
| da -9.8 a -10 | Ghiaie con materiale vegetale (paleosuolo?) (alluvioni attuali) |
| da -10 a - 25.5 | Ghiaia sabbiosa debolmente limosa (alluvioni antiche e recenti) |
| da -25.5 a -28 | Sabbia ghiaiosa (alluvioni antiche e recenti) |

| | |
|----------------|--|
| da -28 a - 41 | Ghiaia sabbiosa con intervalli sabbioso limosi (alluvioni antiche e recenti) |
| Da - 41 a - 50 | Sabbia ghiaiosa e intervalli maggiormente ghiaiosi e sabbioso limosi (alluvioni antiche e recenti) |

Sondaggio S4:

| | |
|------------------------|---|
| Profondità da p.c. (m) | Tipo di terreno |
| da p.c. a -0.1 | Terreno vegetale e depositi pedogenizzati |
| da - 0.1 a -0.7 | Sabbia fine limoso-ghiaiosa |
| da -0.7 a -3.1 | Ghiaia grossolana con sabbie limosa |
| da - 3.1 a -6.6 | Alternanze di sabbie limose deb. ghiaiose e sabbie fine |
| da - 6.6 a -25 | Ghiaia grossolana con sabbie limosa Sabbia e ghiaia a tratti limosa |

Sondaggio S5:

| | |
|------------------------|--|
| Profondità da p.c. (m) | Tipo di terreno |
| da p.c. a -0.3 | Terreno vegetale e depositi pedogenizzati |
| da - 0.3 a -3.5 | Alternanze di sabbie fini ghiaiose e sabbie fini con ghiaie |
| da -3.5 a -21 | Ghiaia medio-grossolana sabbiosa; tra 11.40 e 11.60 materiale organico (paleosuolo?) |
| da - 21 a -25 | Ghiaia con sabbia debolmente limosa |

Tutti i sondaggi sono stati allestiti con piezometri a tubo aperto.

Le misure freaticometriche eseguite nei fori di sondaggio hanno rilevato le seguenti profondità della superficie piezometrica:

Sondaggio “S2”: 21/12/2002: -2.30 m, 15/01/2003: -2.17, 21/03/2003: -2.27 m dal p.c.

Sondaggio “S4”: 21/03/2003: -6.49 m dal p.c.

Sondaggio “S5”: 21/03/2003: -3.44 m dal p.c.

Invece a fine sondaggio:

| Riferimento sondaggio/piezometro | Profondità piezometro | Soggiacenza acqua |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------|
| S 2 | 50 metri | - 2.23 m pc |
| S 4 | 12 metri | - 6.49 m pc |
| S 5 | 9 metri | - 3.44 m pc |

Nei sondaggi non è stato possibile prelevare campioni indisturbati a causa dell’attraversamento di materiali granulari grossolani addensati, per cui sono stati prelevati campioni rimaneggiati successivamente sottoposti ad analisi di laboratorio per la determinazione della granulometria e, solo per alcuni di essi, dei limiti di Atterberg.

I risultati sono stati per S2-S4-S5 quasi tutti “ghiaia con sabbia”, raramente “ghiaia sabbiosa” o “sabbia con ghiaia”; una volta in S2C3 “sabbia con limo” e in S4C1 sabbia limosa”.

Le prove SPT (Standard Penetration Test) eseguite ogni 3.00 m hanno utilizzato, data la compatibilità con la granulometria dei terreni presenti nel fondovalle, il campionatore Raymond Diam. 50,8 mm. Il valore di NSPT di ogni sondaggio, dato dalla somma del secondo (15÷30 cm) e terzo tratto (30÷45 cm) di avanzamento della prova, è riportato di seguito.

Sondaggio S2:

| Prova SPT n° | Profondità prova m da p.c. | N SPT 15-45 |
|--------------|----------------------------|-------------|
| 1 | Da - 3 a - 3.45 | 32 |
| 2 | Da - 6 a - 6.45 | 35 |
| 3 | Da -9 a -9.45 | 29 |
| 4 | Da -12 a -12.45 | 44 |
| 5 | Da -15 a -15.45 | 52 |
| 6 | Da -18 a -18.45 | 100 |
| 7 | Da -21 a -21.45 | 54 |
| 8 | Da -24 a -24.45 | 56 |
| 9 | Da -27 a -27.45 | 68 |
| 10 | Da -30 a 30.45 | 100 |
| 11 | Da - 33 a - 33.45 | 100 |
| 12 | Da - 36 a -36.45 | 77 |
| 13 | Da-39 a -39.45 | 100 |
| 14 | Da -42 a -42.45 | 80 |
| 15 | Da - 45 a -45.45 | 75 |
| 16 | Da - 48 a - 48.45 | 100 |

Sondaggio S4:

| Prova SPT n° | Profondità prova m da p.c. | N SPT 15-45 |
|--------------|----------------------------|-------------|
| 1 | Da - 3 a - 3.45 | 100 |
| 2 | Da - 6 a - 6.45 | 24 |
| 3 | Da -9 a -9.45 | 43 |
| 4 | Da -12 a -12.45 | 100 |
| 5 | Da -15 a -15.45 | 47 |
| 6 | Da -18 a -18.45 | 41 |
| 7 | Da -21 a -21.45 | 68 |
| 8 | Da -24 a -24.45 | 55 |

Sondaggio S5:

| Prova SPT n° | Profondità prova m da p.c. | N SPT 15-45 |
|--------------|----------------------------|-------------|
| 1 | Da - 3 a - 3.45 | 30 |
| 2 | Da - 6 a - 6.45 | 100 |
| 3 | Da -9 a -9.45 | 47 |
| 4 | Da -12 a -12.45 | 55 |
| 5 | Da -15 a -15.45 | 62 |

| | | |
|---|-----------------|----|
| 6 | Da -18 a -18.45 | 70 |
| 7 | Da -21 a -21.45 | 64 |
| 8 | Da -24 a -24.45 | 73 |

Prove di permeabilità in foro di sondaggio Lefranc:

In S4 è stata eseguita una prova Lefranc che ha ottenuto il risultato di 1.38E-05 m/s tra 3,5 e 4,5 m di profondità:

Prove penetrometriche DPSH:

Le prove penetrometriche scelte come rappresentative del tracciato in progetto sono le “DPSH1” “DPSH2” “DPSH3” “DPSH6” e sono rappresentate nelle pagine che seguono.

6.2 VERTICALI ISPRA DA POZZI PER ACQUA CON LITOSTRATIGRAFIA

L’accesso al geoportale ISPRA ha permesso di acquisire ulteriori punti di indagine del sottosuolo mediante la consultazione dell’Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984) che comprende il censimento di pozzi per acqua di cui sia stata compilata e pubblicata la scheda tecnica. Nella zona del progetto risultano le schede riportate nelle pagine successive.

Dall’analisi di queste verticali, seppur non molto profonde e prive di informazioni meccaniche, si può confermare la presenza continua ed omogenea di una stratigrafia composta da uno strato superficiale di materiale medio fine, che è diventato quasi ovunque terreno rimaneggiato soggetto a coltivazioni o suolo e terreno agrario, e da un secondo livello di sabbie e ciottoli o ghiaie, sia misti che in alternanze, in cui la matrice è assente o poco rappresentata che possono essere messe in relazione con la porzione distale (o sepolta) della conoide del T. Davaglione ovvero con il materasso alluvionale recente ed attuale del Fiume Adda.

TAV. 11 – POSIZIONE DELLE VERTICALI ISPRA



Per il dettaglio delle verticali vedi fascicolo delle indagini geognostiche

6.3 INDAGINI DI ARCHIVIO DA RFI S.P.A. LINEA SONDRIO-TIRANO DEL 2022

Il progetto a cui si riferiscono queste indagini è denominato “Linea Sondrio – Tirano, Soppressione dei Passaggi a Livello alle progressive km 2+984, km 3+519 e km 4+143 Comune di Montagna in Valtellina e Poggiridenti” e si riferisce ad una commessa di RFI soa - Direzione Investimenti Programmi Soppressione P.L. e Risanamento Acustico-PM Portafoglio Nord-Est – e rientrano nell’ambito del Decreto-legge 11 marzo 2020, n. 16 (Decreto Olimpiadi) alla riga 15 dell’allegato 3 “Opere essenziali per rendere efficienti e appropriate le infrastrutture esistenti individuate nel dossier di candidatura”.

Il programma delle indagini eseguite ci interessa relativamente a quelle eseguite nella zona più occidentale del progetto, in quanto interessano l’area dell’attraversamento della linea ferroviaria in viadotto e del T. Davaglione. Le indagini disponibili dal progetto RFI sono:

- n. 3 sondaggi a c.c. condizionati i primi 2 con tubo in PVC e il terzo con piezometro a tubo aperto da 3’’;
- n. 12 Prove di Permeabilità tipo Lefranc;
- n. 16 Prove Penetrometriche tipo SPT;
- n. 16 prelievi di campioni rimaneggiati di terreno;
- n. 2 Prova Sismica tipo Down-Hole e 2 Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- n. 6 Pozzetti Esplorativi spinti alla profondità di 1m dal p.c.,
- n. 6 Prove di carico su piastra, una per pozzetto;
- n. 4 Prove Penetrometriche del tipo DPSH.

Quelle perse in considerazione invece sono le seguenti.

Sondaggi a carotaggio continuo:

Tabella 1 – Riepilogo Sondaggi.

| Sondaggio | Coordinate. | | Quota p.c. (s.l.m.) | SPT | Prove Lefranc | Campioni ambientali | Campioni Rimaneggiati |
|-----------|---------------|---------------|---------------------|-----|---------------|---------------------|-----------------------|
| | Latitudine | Longitudine | | | | | |
| S1-DH | 46°10'07,28"N | 9°54'21,82"E | 298 | 6 | 4 | 3 | 6 |
| S2-DH | 46°10'08,81"N | 09°54'33,44"E | 295 | 6 | 4 | 3 | 6 |
| S3-PZ | 46°10'12,47"N | 9°54'55,98"E | 294 | 4 | 4 | 3 | 4 |

Prove penetrometriche SPT fondo foro

Tabella 2 – Riepilogo prove SPT

| Sondaggio | Prova | Profondità | Colpi | N _{SPT} |
|--------------|-------|-------------|----------|------------------|
| S1-DH | SPT1 | 4,60÷4,82 | 36 | >50 |
| | SPT2 | 9,00÷9,10 | | >50 |
| | SPT3 | 13,70÷13,90 | 22 | >50 |
| | SPT4 | 18,00÷18,45 | 20-31-40 | 71 |
| | SPT5 | 23,50÷23,62 | | >50 |
| | SPT6 | 27,00÷27,38 | 24-37 | >50 |
| S2-DH | SPT1 | 2,10÷2,55 | 3-2-2 | 4 |
| | SPT2 | 7,50÷7,60 | | >50 |
| | SPT3 | 13,00÷13,34 | 15-27 | >50 |
| | SPT4 | 17,20÷17,65 | 13-22-37 | 59 |
| | SPT5 | 23,50÷23,70 | 22 | >50 |
| | SPT6 | 27,00÷27,45 | 17-30-38 | 68 |

Prove di permeabilità Lefranc

I risultati delle prove di permeabilità Lefranc eseguite nei perfori di sondaggio sono i seguenti:

| | |
|-------------------|--|
| S1-DH Lefranc n°1 | 4,80*10 ⁻⁶ m/s fondo foro a 5,00 m |
| S1-DH Lefranc n°2 | 9,60*10 ⁻⁶ m/s fondo foro a 11,50 m |
| S1-DH Lefranc n°3 | 3,41*10 ⁻⁵ m/s fondo foro a 20,00 m |
| S1-DH Lefranc n°4 | 5,88*10 ⁻⁶ m/s fondo foro a 27,00 m |
| S2-DH Lefranc n°1 | 1,22*10 ⁻⁵ m/s fondo foro a 4,50 m |
| S2-DH Lefranc n°2 | 6,32*10 ⁻⁶ m/s fondo foro a 13,50 m |
| S2-DH Lefranc n°3 | 7,93*10 ⁻⁶ m/s fondo foro a 21,00 m |
| S2-DH Lefranc n°4 | 8,62*10 ⁻⁶ m/s fondo foro a 27,50 m |
| S3PZ Lefranc n°1 | 6,24*10 ⁻⁵ m/s fondo foro a 4,00 m |
| S3PZ Lefranc n°2 | 1,66*10 ⁻⁵ m/s fondo foro a 9,50 m |
| S3PZ Lefranc n°3 | 5,15*10 ⁻⁵ m/s fondo foro a 14,00 m |
| S3PZ Lefranc n°4 | 2,09*10 ⁻⁵ m/s fondo foro a 18,50 m |

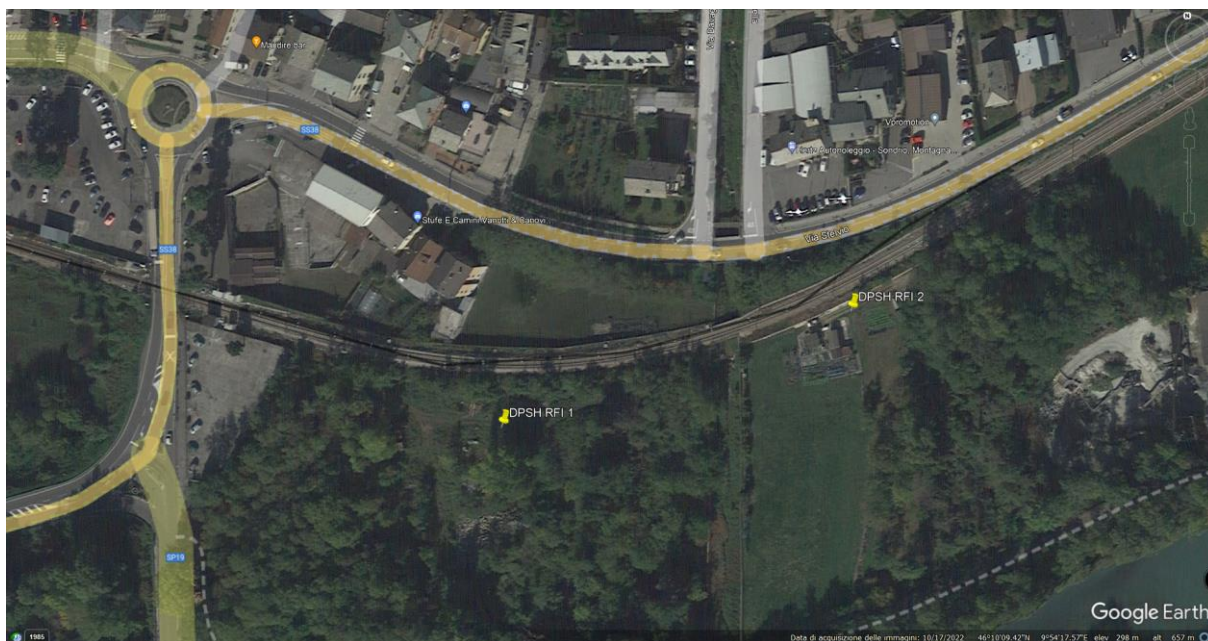
Pozzetti esplorativi

Sui 6 pozzetti esplorativi realizzati da RFI lungo il tracciato della linea ferroviaria ne risultano di interesse n. 4 la cui posizione si avvicina molto al nuovo tratto della SS38 in progetto.

Per la posizione e di risultati vedi nel fascicolo delle indagini geologiche geognostiche.

Prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH

Le 4 Prove Penetrometriche Dinamiche Pesanti Continue (DPSH) sono state posizionate come segue:



ed eseguite con attrezzatura PAGANI TG200. Esse hanno raggiunto le seguenti profondità:

- **DPSH1 – profondità 2,75 mt sul p.c.**
- **DPSH2 – profondità 8,90 mt dal p.c.**
- **DPSH3 – profondità 8,28 mt dal p.c.**
- **DPSH4 – profondità 8,28 mt dal p.c.**

Per i risultati vedi ubicazione nel fascicolo delle indagini geologiche geognostiche.

Prove di carico su piastra

Queste prove di carico su piastra sono posizionate nei pozzetti esplorativi. Per la posizione e di risultati vedi nel fascicolo delle indagini geologiche geognostiche.

Prove sismiche MASW

Per la posizione e di risultati vedi nel fascicolo delle indagini geologiche geognostiche.

Prove sismiche DH

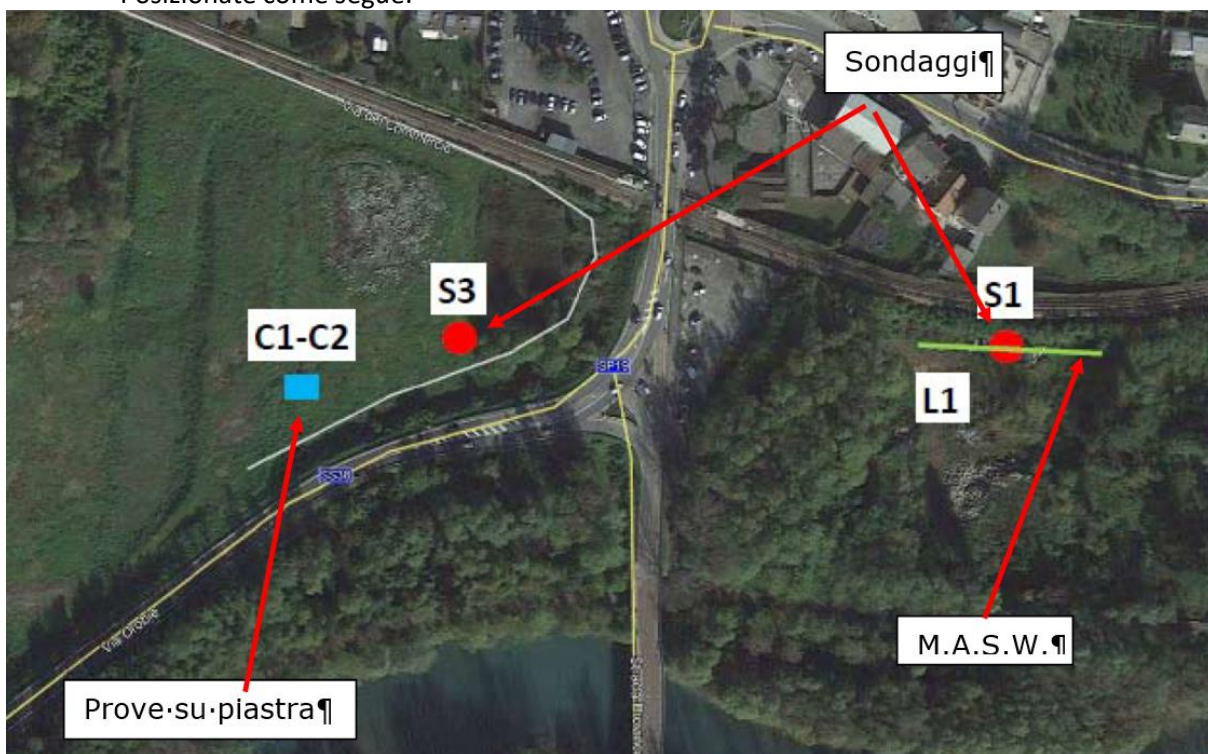
Le due prove sismiche Down Hole DH1 e DH2 sono posizionate rispettivamente nei due fori di sondaggio S1 e S2 (Per la posizione e di risultati vedi nel fascicolo delle indagini geologiche geognostiche).

6.4 INDAGINI SITOSPECIFICHE DELLA PRIMA FASE (P.F.T.E.) DELL'APRILE 2021

Il programma di indagine sitospecifica eseguito nella zona a Est di Sondrio ha comportato le seguenti operazioni:

- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo con profondità di 30.0 metri dal p.c. (S1 ed S3);
- esecuzione di prove a resistenza meccanica S.P.T. in foro;
- installazione di piezometro a tubo aperto diam. 2” in corrispondenza del sondaggio S1;
- n. 1 stendimento sismico M.A.S.W. della lunghezza complessiva di 48 metri (L1);
- n. 3 pozzetti esplorativi con escavatore prof. massima di 1,30m dal p.c.;
- n. 2 prove di carico su piastra (C1, C2,).

Posizionate come segue:



Segue la descrizione delle stratigrafie di sintesi di tali sondaggi:

Sondaggio “S1”:

- materiale di riporto (sabbia fine, calcestruzzo e mattoni frammentati) fino a -1.20 m dal p.c.;
- sabbie fini con ghiaia e ciottoli poligenici eterometrici subarrotondati fino a -3.35 m dal p.c.;
- ghiaietto e ciottoli fino a -4.95 m dal p.c.;
- strati di ghiaietto con ciottoli alternati a sabbia grossolana e sabbia fine fino a 21.00 m di profondità dal p.c.;
- strato sottile di 0.50 m di frammenti di legno alla profondità di 21.00 m dal p.c. Si segnala la presenza di uno spessore sottile di 0,50 m di frammenti di legno a profondità 21 m da p.c..

Lungo tutto il sondaggio sono presenti trovanti in genere di paragneiss, gneiss, serpentiniti e quarziti.

La falda è stata misurata a -4,89m dal p.c., corrispondente ad una quota assoluta della superficie piezometrica pari a 287,59 m slm.

Sono state eseguite n. 10 prove SPT lungo il corso della perforazione, rispettivamente a 1,50 - 3,00 - 6,00 - 9,00 - 12,00 - 15,00 - 18,00 - 21,00 - 24,00 e 27,00 m dal p.c..

Valori del numero di colpi per ogni prova SPT eseguita nel sondaggio “S1”.

| Profondità [m] | n° colpi | | |
|----------------|----------|----|----|
| 1.50 | 3 | 3 | 5 |
| 3.00 | 20 | 22 | 21 |
| 6.00 | 17 | 11 | 12 |
| 9.00 | 16 | 15 | 15 |
| 12.00 | 18 | 18 | 16 |
| 15.00 | 10 | 9 | 9 |
| 18.00 | 27 | 26 | 28 |
| 21.00 | 9 | 7 | 7 |
| 24.00 | 32 | - | - |
| 27.00 | 27 | 31 | 38 |

Sondaggio “S3”:

- strato di sabbia fine grigio chiaro con ghiaietto e materiale plastico fino a -0.55 m dal p.c.;
- strato di sabbie fini debolmente limose con ciottoli di diametro maggiore di 10 cm fino alla profondità di 1.65 m dal p.c.;
- strati di sabbia fine debolmente limosa con ghiaia, intervallati da strati di sabbia grossolana con ghiaietto e ciottoli fino a 21.30 m dal p.c.;
- strato di sabbia medio-fine con ghiaietto e strati di ghiaietto e ciottoli subarrotondati con diametro massimo di 10 cm fino a 24.25 m di profondità dal p.c.;
- strato di ghiaietto e ciottoli di diametro mediamente superiore a 10 cm fino a profondità di 25.25 m dal p.c. Lungo tutto il sondaggio sono presenti trovanti in genere di paragneiss, gneiss, serpentiniti e quarziti.

Sono state eseguite n. 10 prove SPT lungo il corso della perforazione, rispettivamente a 4,00 - 5,00 - 6,00 - 7,50 - 9,00 - 12,00 - 15,00 - 18,00 - 21,00 - 24,00 m dal p.c..

A -9.00 m dal p.c. si sono registrati dei valori bassi (n° colpi 5), indice della presenza di uno strato di materiale fine non chiaramente identificabile dall’esame delle carote di terreno.

Valori del numero di colpi per ogni prova SPT eseguita nel sondaggio “S3”.

| Profondità [m] | n° colpi | | |
|----------------|----------|----|----|
| 4.00 | 30 | 26 | 28 |
| 5.00 | 23 | 26 | 27 |
| 6.00 | 31 | 20 | 23 |
| 7.50 | 17 | 13 | 13 |

| | | | |
|-------|----|----|----|
| 9.00 | 7 | 5 | 5 |
| 12.00 | 20 | 17 | 18 |
| 15.00 | 30 | 22 | 15 |
| 18.00 | 23 | 20 | 21 |
| 21.00 | 35 | 27 | 21 |
| 24.00 | 29 | - | - |

Per quanto riguarda le prove penetrometriche dinamiche SPT fondo foro, il test consiste nell’infissione a percussione di una punta chiusa, \varnothing 50mm, conicità 60°, collegato alla superficie con aste di diametro di 51 mm.

Il dispositivo di percussione a sganciamento automatico è costituito da un maglio di 63.5 Kg con una altezza di caduta di 760 mm.

Localmente, in base alla granulometria dei terreni riscontrati in fase di perforazione, alle aste possono essere collegato uno specifico tubo campionatore a parete grossa tipo Raymond, avente diametro esterno 51 mm e diametro interno 34.9 mm (non usato per i terreni granulari e grossolani presenti nel sottosuolo del fondovalle dell’Adda).

La punta viene fatta penetrare nel terreno per una profondità pari a 45 cm, a partire dalla quota di fondo foro, rilevando il numero di colpi (N) necessari per l’avanzamento di ciascun intervallo di 15 cm. Il valore di NSPT è ottenuto sommando i colpi necessari all’avanzamento del 2° e 3° intervallo.

La prova viene interrotta quando il numero di colpi N, per un intervallo di 15 cm, supera il valore di 50, annotando in tal caso il rifiuto alla penetrazione e registrando l’infissione in cm ottenuta con 50 colpi.

Prove di carico su piastra

Nell’ambito della campagna d’indagine dell’aprile 2021 si sono realizzate n. 2 prove di carico su piastra denominate “C1” e “C2” effettuate nello stesso pozzetto esplorativo ma a differenti profondità, rispettivamente di -0.90 e -1.60 m dal p.c.

L’esecuzione di ciascuna prova secondo la norma C.N.R. B.U. A. XXVI n° 14614/12/1992 è stata eseguita con ciclo di carico al fine di determinare il modulo Md, convenzionalmente indicativo della portanza e del grado di costipamento dello strato in esame.

Nella figura che segue vengono riportate le due curve dei cedimenti per intervalli di carico delle prove.

I rapporti delle prove di carico effettuate sono riportati nel fascicolo delle indagini geologiche geognostiche.

Prove di laboratorio

Dalle cassette catalogatrici sono stati prelevati n. 4 campioni rimaneggiati (due nel sondaggio S1, uno nel sondaggio S3 e uno nella trincea di scavo della prova di carico su piastra denominata C2) a differenti profondità dal p.c. sui quali sono state eseguite le analisi granulometriche per vagliatura e sedimentazione secondo norma CNR B.U. n.23 – CEN ISO/TS 17892-4 ASTM D422, il cui esito è riportato nella tabella sottostante:

Tabella 1 – Analisi granulometriche eseguite

| Codice campione | Profondità dal p.c. [m] | Classificazione AGI 1978 |
|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| S1 CS1 | -1.50 | Ghiaia con sabbia limosa |
| S1 CS1 | -3.00 | Ghiaia con sabbia limosa |
| S3 CS3 | -3.00 | Ghiaia con sabbia |
| C2 CC2 | -1.50 | Sabbia limosa-ghiaiosa |

Il programma di indagini di laboratorio ha previsto inoltre la realizzazione di n.2 prove di taglio diretto su campioni rimaneggiati prelevati dalle cassette, le quali hanno evidenziato un angolo di resistenza al taglio (φ) e coesione efficace (c') riportati nella tabella che segue:

Angolo di resistenza al taglio e coesione efficace dei campioni rimaneggiati prelevati

| Codice campione | Profondità dal p.c. [m] | φ | c' |
|-----------------|-------------------------|-----------|------|
| S1 CS1 | -21.00 | 38 | 12 |
| S3 CS3 | -24.00 | 41 | 8 |

Per poter caratterizzare chimicamente i terreni si è provveduto a prelevare n.2 campioni sui quali effettuare le analisi chimiche: S1 CS1 nel sondaggio S1 alla profondità di -1.00 m e C1 CC1 nella trincea di scavo della prova di carico su piastra denominata C1, l'esito di tali analisi è riportato nella relazione sulla gestione delle materie.

Indagine M.A.S.W.

Il programma di indagini sismiche ha previsto la realizzazione di n. 1 stendimento sismico M.A.S.W. della lunghezza complessiva di 48.00 m denominato “L1”.

L'acquisizione di campagna è stata condotta con sismografo PASI modello Gea24, con geofoni verticali e orizzontali da 4.5 Hz spazati di 4 m con offset a 5m di distanza dal primo geofono; l'energizzazione è avvenuta tramite mazza del peso di 10 Kg.

Tramite i dati ottenuti dallo stendimento sismico con metodologia M.A.S.W. è stato inoltre possibile effettuare la determinazione della categoria di sottosuolo sitospecifica.

I sismogrammi dello stendimento “L1” filtrati di eventuali disturbi di fondo scelti per la modellazione hanno consentito di estrapolare gli spettri di velocità dai quali si è risalito tramite picking alle curve di dispersione che consentono di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

Dall’inversione della curva di dispersione si è ottenuta la ricostruzione dell’andamento delle Vs in profondità visibile nell’immagine che segue:

Dall’elaborazione dei dati la verticale presenta valore della Vs.eq pari a 276,57 m/s.

Il terreno è pertanto classificabile in categoria C, definita nel NTC 2018 come *“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”*.

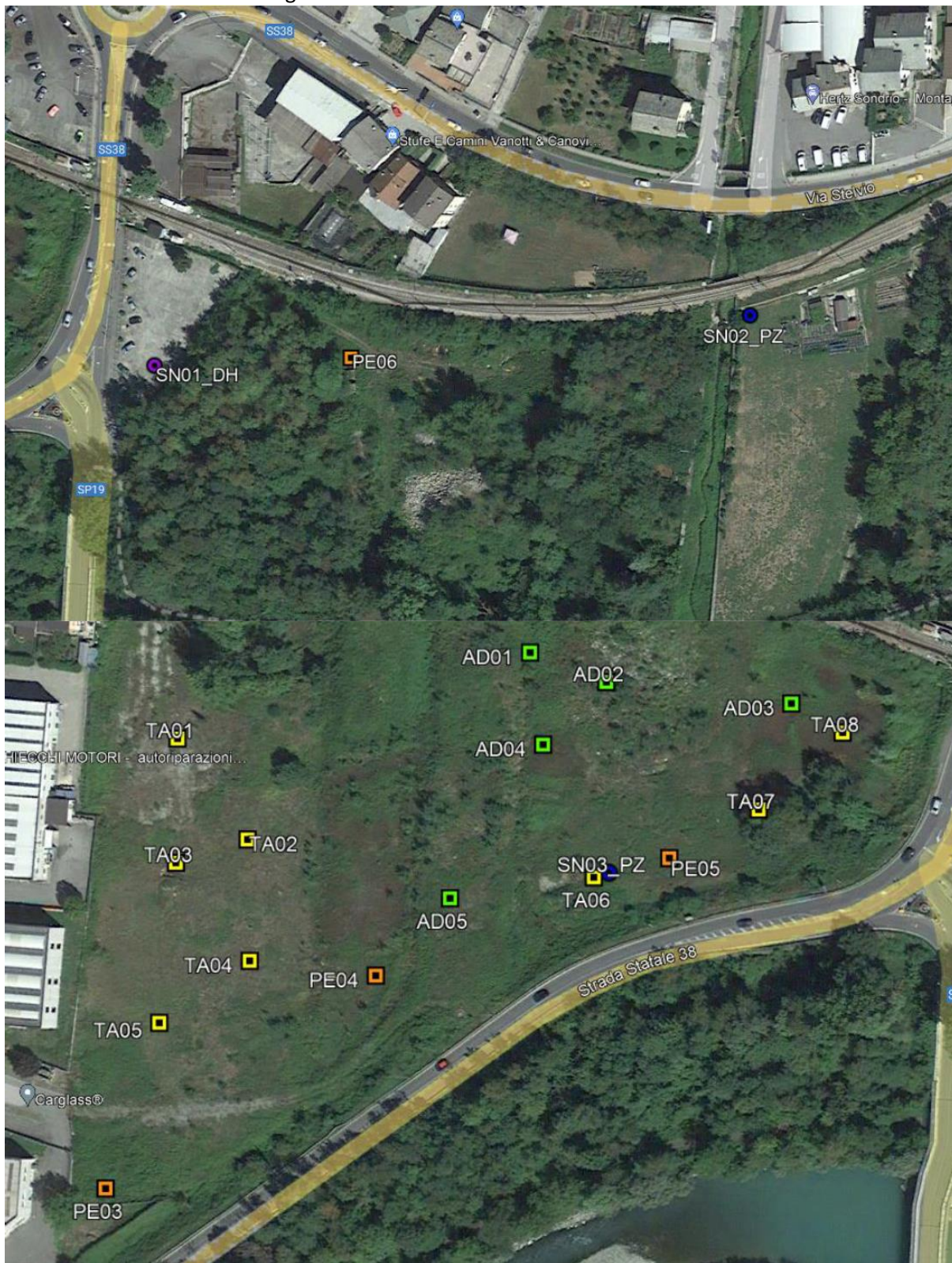
6.5 INDAGINI SITOSPECIFICHE DELLA SECONDO FASE (PROGETTO DEFINITIVO) DEL 2022

Questa seconda fase di indagini geologiche, predisposta nel 2022 da ANAS spa a supporto della progettazione definitiva del nuovo tratto di viabilità della SS38, è composta da:

- n.22 indagini elettromagnetiche nelle aree di esecuzione delle indagini, per la valutazione della presenza di ordigni bellici e sottoservizi;
- n.2 sondaggi geognostici verticali, eseguiti a carotaggio continuo, spinti sino a profondità comprese fra -20.00 m da p.c e -35.00 m da p.c., attrezzati con piezometro a tubo aperto $\varnothing 3''$;
- n.1 sondaggio geognostico verticale, eseguito a carotaggio continuo, spinto sino alla profondità di -35.00 m da p.c., attrezzato con tubazione cieca in PVC $\varnothing 3''$ per esecuzione prove sismiche in foro;
- n.28 prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT;
- n.6 prove di permeabilità in foro di tipo Lefranc;
- n.6 trincee esplorative, eseguite con escavatore meccanico, spinte sino a profondità pari a -2.00 m da p.c.;
- n.5 prove di carico su piastra all’interno delle trincee esplorative eseguite;
- n.5 trincee ambientali, eseguite con mototrivella, spinte sino a profondità pari a -1.00 m da p.c.;
- n.8 trincee archeologiche, eseguite con escavatore meccanico, spinte sino a profondità di -1.50 m da p.c.;
- prelievo di n.31 campioni rimaneggiati di tipo geotecnico, di cui n.21 all’interno dei sondaggi geognostici e n.10 all’interno delle trincee esplorative;
- prelievo di n.20 campioni rimaneggiati di tipo ambientale, di cui n.6 all’interno dei sondaggi geognostici, n.9 all’interno delle trincee esplorative e n.5 all’interno delle trincee ambientali;

- Prelievo di n.2 campioni di acqua sotterranea da altrettanti piezometri realizzati nel corso della campagna di indagine.

Posizionate come segue:





| SONDAGGI GEOGNOSTICI | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|--------------------|---------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|
| PUNTO DI INDAGINE | RIF. | WGS 84 (EPSG 4326) | | GAUSS-BOAGA FUSO 0 (EPSG 3003) | | WGS 84 - UTM 32N (EPSG 32632) | | QUOTA ELLISSOIDICA (m) | QUOTA GEODETICA (m s.m.) |
| | | LATITUDINE | LONGITUDINE | EST (m) | NORD (m) | EST (m) | NORD (m) | | |
| SN01_DH | Piano campagna | 46°10'7.0295" | 9°54'15.1224" | 1569830.609 | 5113201.140 | 569801.251 | 5113179.867 | 346.125 | 295.510 |
| | Testa strumentazione | | | | | | | 346.001 | 295.386 |
| SN02_PZ | Piano campagna | 46°10'7.5316" | 9°54'23.749" | 1570015.421 | 5113218.745 | 569986.0594 | 5113197.473 | 346.705 | 296.087 |
| | Testa strumentazione | | | | | | | 346.589 | 295.970 |
| SN03_PZ | Piano campagna | 46°10'6.8875" | 9°54'9.5645" | 1569711.477 | 5113195.402 | 569682.1207 | 5113174.128 | 341.983 | 291.370 |
| | Testa strumentazione | | | | | | | 342.027 | 291.415 |

- Sintesi coordinate plano-altimetriche sondaggi geognostici -

| TRINCEE ESPLORATIVE | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------|--------------------|---------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|
| PUNTO DI INDAGINE | RIF. | WGS 84 (EPSG 4326) | | GAUSS-BOAGA FUSO 0 (EPSG 3003) | | WGS 84 - UTM 32N (EPSG 32632) | | QUOTA ELLISSOIDICA (m) | QUOTA GEODETICA (m s.m.) |
| | | LATITUDINE | LONGITUDINE | EST (m) | NORD (m) | EST (m) | NORD (m) | | |
| PE01 | Piano campagna | 46°9'55.3301" | 9°53'50.1574" | 1569299.343 | 5112833.974 | 569269.996 | 5112812.706 | 344.309 | 293.715 |
| PE02 | Piano campagna | 46°9'57.0262" | 9°53'50.2547" | 1569300.839 | 5112886.348 | 569271.492 | 5112865.079 | 340.534 | 289.940 |
| PE03 | Piano campagna | 46°10'4.0086" | 9°54'2.9346" | 1569570.313 | 5113104.933 | 569540.960 | 5113083.661 | 341.970 | 291.365 |
| PE04 | Piano campagna | 46°10'5.9468" | 9°54'6.4812" | 1569645.689 | 5113165.618 | 569616.334 | 5113144.345 | 341.134 | 290.524 |
| PE05 | Piano campagna | 46°10'7.0211" | 9°54'10.361" | 1569728.510 | 5113199.720 | 569699.153 | 5113178.447 | 342.073 | 291.460 |
| PE06 | Piano campagna | 46°10'7.1069" | 9°54'17.9616" | 1569891.466 | 5113204.222 | 569862.106 | 5113182.950 | 343.110 | 292.494 |

- Sintesi coordinate plano-altimetriche trincee esplorative -

| TRINCEE AMBIENTALI | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------|--------------------|---------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|
| PUNTO DI INDAGINE | RIF. | WGS 84 (EPSG 4326) | | GAUSS-BOAGA FUSO 0 (EPSG 3003) | | WGS 84 - UTM 32N (EPSG 32632) | | QUOTA ELLISSOIDICA (m) | QUOTA GEODETICA (m s.m.) |
| | | LATITUDINE | LONGITUDINE | EST (m) | NORD (m) | EST (m) | NORD (m) | | |
| AD01 | Piano campagna | 46°10'8.8984" | 9°54'8.5233" | 1569688.445 | 5113257.214 | 569659.089 | 5113235.939 | 341.412 | 290.797 |
| AD02 | Piano campagna | 46°10'8.6313" | 9°54'9.5294" | 1569710.113 | 5113249.213 | 569680.757 | 5113227.939 | 342.820 | 292.204 |
| AD03 | Piano campagna | 46°10'8.4347" | 9°54'11.9738" | 1569762.599 | 5113243.743 | 569733.242 | 5113222.470 | 341.422 | 290.807 |
| AD04 | Piano campagna | 46°10'8.0592" | 9°54'8.6932" | 1569692.384 | 5113231.353 | 569663.028 | 5113210.079 | 341.243 | 290.630 |
| AD05 | Piano campagna | 46°10'6.6536" | 9°54'7.4745" | 1569666.741 | 5113187.672 | 569637.386 | 5113166.399 | 344.199 | 293.588 |

- Sintesi coordinate plano-altimetriche trincee ambientali -

| TRINCEE ARCHEOLOGICHE | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|--------------------|---------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|
| PUNTO DI INDAGINE | RIF. | WGS 84 (EPSG 4326) | | GAUSS-BOAGA FUSO O (EPSG 3003) | | WGS 84 - UTM 32N (EPSG 32632) | | QUOTA ELLISSOIDICA (m) | QUOTA GEODETICA (m s.m.) |
| | | LATITUDINE | LONGITUDINE | EST (m) | NORD (m) | EST (m) | NORD (m) | | |
| TA01 | Piano campagna | 46°10'8.1151" | 9°54'3.8618" | 1569588.760 | 5113231.901 | 569559.406 | 5113210.627 | 343.160 | 292.548 |
| TA02 | Piano campagna | 46°10'7.1923" | 9°54'4.7842" | 1569608.862 | 5113203.644 | 569579.508 | 5113182.371 | 341.850 | 291.240 |
| TA03 | Piano campagna | 46°10'6.9789" | 9°54'3.8336" | 1569588.552 | 5113196.829 | 569559.198 | 5113175.555 | 341.720 | 291.110 |
| TA04 | Piano campagna | 46°10'6.0813" | 9°54'4.8115" | 1569609.837 | 5113169.362 | 569580.483 | 5113148.089 | 341.918 | 291.309 |
| TA05 | Piano campagna | 46°10'5.5152" | 9°54'3.623" | 1569584.549 | 5113151.600 | 569555.196 | 5113130.327 | 342.110 | 291.502 |
| TA06 | Piano campagna | 46°10'6.8458" | 9°54'9.3638" | 1569707.188 | 5113194.066 | 569677.832 | 5113172.793 | 341.981 | 291.369 |
| TA07 | Piano campagna | 46°10'7.4648" | 9°54'11.5386" | 1569753.608 | 5113213.703 | 569724.251 | 5113192.429 | 341.655 | 291.041 |
| TA08 | Piano campagna | 46°10'8.1692" | 9°54'12.6517" | 1569777.229 | 5113235.712 | 569747.872 | 5113214.438 | 341.645 | 291.029 |

Sondaggi a carotaggio continuo

| SONDAGGI GEOGNOSTICI | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|------------------|--------------------------|------------------------|---|
| SIGLA | PROFONDITA' (m da p.c.) | METODO DI PERFORAZIONE | N. PROVE S.P.T. | N. PROVE LEFRANC | N. CAMPIONI RIMANEGGIATI | N. CAMPIONI AMBIENTALI | COMPLETAMENTO FORO |
| SN01_DH | 35.00 | a carotaggio continuo | 11 | 2 | 7 | - | Installazione di tubazione cieca PVC ø3" di lunghezza pari a 35.00 m |
| SN02_PZ | 35.00 | a carotaggio continuo | 11 | 2 | 8 | 4+ 1 (acque sott.) | Installazione di piezometro in PVC ø3" di lunghezza pari a 35.00 m (cieco da 0.00 m a -6.00 m da p.c.; fessurato da -6.00 m da p.c. a -35.00 m da p.c.) |
| SN03_PZ | 20.00 | a carotaggio continuo | 6 | 2 | 5 | 2+ 1 (acque sott.) | Installazione di piezometro in PVC ø3" di lunghezza pari a 20.00 m (cieco da 0.00 m a -4.00 m da p.c.; fessurato da -4.00 m da p.c. a -20.00 m da p.c.) |

-Sintesi sondaggi geognostici eseguiti-

Sono stati eseguiti con sonda a rotazione cingolata modello Beretta T51 e la seguente attrezzatura:

- Aste di perforazione con filettatura tronco conica APIR 2"3/8 øEST=76 mm, L=1.50÷3.00 m;
- Valvola a sfera a tenuta d'acqua con aperture di scarico, a filettatura tronco conica APIR 2"3/8 øEST=76 mm, L=0.50 m;
- Tubi di rivestimento øEST=127 mm, L=1.50 m;
- Carotiere semplice tipo T1 øEST=101, L=1.50÷3.00 m;
- Pompa triplex dotata di smorzatore di pulsazioni pneumatico, con pressione di iniezione massima pari a 40 bar a e portata massima pari a 200 l/min;
- Corone e scarpe a inserti in carburo di tungsteno;

Le perforazioni a carotaggio continuo sono state eseguite completamente a secco, il fluido di circolazione, costituito da acqua additivata con polimero biodegradabile, è stato utilizzato unicamente per le fasi di posa delle tubazioni di rivestimento provvisorio, e comunque solo dopo aver superato le profondità di prelievo dei campioni rimaneggiati di tipo ambientale.

Trincee esplorative geologiche eseguite con escavatore meccanico cingolato modello Caterpillar CAT 306.

| TRINCEE ESPLORATIVE | | | | | | |
|---------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| SIGLA | PROFONDITA' (m da p.c.) | METODO DI SCAVO | N. PROVE DI CARICO SU PIASTRA | N. CAMPIONI RIMANEGGIATI | N. CAMPIONI AMBIENTALI | COMPLETAMENTO TRINCEA |
| PE01 | 2.00 | Escavatore cingolato | 1 | 2 | 2 | Sigillatura mediante materiale precedentemente escavato |
| PE02 | 2.00 | | 1 | 2 | - | |
| PE03 | 2.00 | | 1 | 2 | - | |
| PE04 | 2.00 | | 1 | 2 | 3 | |
| PE05 | 2.00 | | 1 | 2 | 2 | |
| PE06 | 2.00 | | - | - | 2 | |

-Sintesi trincee esplorative eseguite-

Trincee ambientali eseguite con trivella manuale a elica, con diametro pari a $\phi=100$ mm.

| TRINCEE AMBIENTALI | | | | |
|--------------------|-------------------------|------------------|------------------------|---|
| SIGLA | PROFONDITA' (m da p.c.) | METODO DI SCAVO | N. CAMPIONI AMBIENTALI | COMPLETAMENTO TRINCEA |
| AD01 | 1.00 | TRIVELLA MANUALE | 1 | Sigillatura mediante materiale precedentemente escavato |
| AD02 | 1.00 | | 1 | |
| AD03 | 1.00 | | 1 | |
| AD04 | 1.00 | | 1 | |
| AD05 | 1.00 | | 1 | |

-Sintesi trincee ambientali eseguite-

Trincee archeologiche eseguite con escavatore meccanico cingolato modello Caterpillar CAT 306.

| TRINCEE ARCHEOLOGICHE | | | | |
|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------|---|
| SIGLA | PROFONDITA' (m da p.c.) | METODO DI SCAVO | DIMENSIONI B×L×H (m) | COMPLETAMENTO TRINCEA |
| TA01 | 1.50 | Escavatore cingolato | Singola banca: 4.0×1.5×1.5 | Sigillatura mediante materiale precedentemente escavato |
| TA02 | 1.50 | | Singola banca: 4.0×1.5×1.5 | |
| TA03 | 1.50 | | Singola banca: 4.0×1.5×1.5 | |
| TA04 | 1.50 | | Singola banca: 4.0×1.5×1.5 | |
| TA05 | 1.50 | | Singola banca: 4.0×1.5×1.5 | |
| TA06 | 1.50 | | Singola banca: 6.0×1.5×1.5 | |
| TA07 | 1.50 | | Singola banca: 6.0×1.5×1.5 | |
| TA08 | 1.50 | | Singola banca: 6.0×1.5×1.5 | |

-Sintesi trincee archeologiche eseguite-

Campionamenti

Tutti i campionamenti di questa fase, come del resto anche delle fasi precedenti, sono stati eseguiti prelevando dalle cassette catalogatrici o dai cumuli di terreni prodotti dagli scavi dei campioni rimaneggiati perché la natura del materiale non ha mai consentito il prelievo di campioni indisturbati.

Nei campioni di natura geologica l'obiettivo è stato quello di eseguire test di laboratorio al fine di ottenere una parametrizzazione fisica e meccanica dei terreni costituenti il sottosuolo del progetto; i campioni ambientali invece sono stati prelevati per le determinazioni analitiche finalizzate alla ricostruzione dello stato di contaminazione dei suoli e, successivamente, alla gestione delle terre ai sensi del DPR n. 120/2017.

Le sigle e le profondità dei **campioni dai carotaggi** sono:

| CAMPIONI RIMANEGGIATI | | | |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--|
| SONDAGGIO | POROFONDITA' (m da p.c.) | SIGLA CAMPIONE | PROFONDITA' DI PRELIEVO (m da p.c.) |
| SN01_DH | 35.00 | CR1 | 4.20÷4.40 |
| | | CR2 | 7.00÷9.00 |
| | | CR3 | 12.00÷14.00 |
| | | CR4 | 16.50÷18.00 |
| | | CR5 | 22.00÷24.00 |
| | | CR6 | 27.00÷29.00 |
| | | CR7 | 32.00÷34.00 |
| SN02_PZ | 35.00 | CR1 | 0.50÷1.50 |
| | | CR2 | 1.50÷3.50 |
| | | CR3 | 8.00÷10.00 |
| | | CR4 | 13.00÷15.00 |
| | | CR5 | 17.00÷20.00 |
| | | CR6 | 23.00÷25.00 |
| | | CR7 | 25.00÷27.00 |
| | | CR8 | 31.00÷33.00 |
| SN03_PZ | 20.00 | CR1 | 0.30÷2.00 |
| | | CR2 | 2.00÷4.00 |
| | | CR3 | 7.00÷9.00 |
| | | CR4 | 13.00÷14.00 |
| | | CR5 | 17.00÷19.00 |

Le sigle e le profondità dei **campioni dalle trincee esplorative geologiche** sono:

| CAMPIONI RIMANEGGIATI | | | |
|-----------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------------|
| TRINCEA ESPL./AMB. | POROFONDITA' (m da p.c.) | SIGLA CAMPIONE | PROFONDITA' DI PRELIEVO (m da p.c.) |
| PD01 | 2.00 | CR1 | 0.50÷1.00 |
| | | CR2 | 1.00÷2.00 |
| PD02 | 2.00 | CR1 | 0.50÷1.00 |
| | | CR2 | 1.00÷2.00 |
| PD03 | 2.00 | CR1 | 0.50÷1.00 |
| | | CR2 | 1.00÷2.00 |
| PD04 | 2.00 | CR1 | 0.50÷1.00 |
| | | CR2 | 1.00÷2.00 |
| PD05 | 2.00 | CR1 | 0.50÷1.00 |
| | | CR2 | 1.00÷2.00 |

Le sigle e le profondità dei **campioni di tipo ambientale dai carotaggi** sono:

| CAMPIONI AMBIENTALI | | | | | |
|---------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| SONDAGGIO | POROFONDITA' (m da p.c.) | SIGLA CAMPIONE | PROFONDITA' DI PRELIEVO (m da p.c.) | CARATTERISTICHE CAMPIONE | QUANTITA' PRELEVATA |
| SN02_PZ | 35.00 | CA1 | 0.00÷1.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| | | CA2 | 2.00÷3.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| | | CA3 | 4.00÷5.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| | | CA4 | 0.00÷5.00 | Materiale tal quale | n.2 Secchielli da 1 kg n.1 sacchetto da 1 kg |
| | | TQ1-CLS | 0.00÷35.00 | Materiale tal quale | n.1 sacchetto da 5 kg |
| SN03_PZ | 20.00 | CA1 | 0.00÷1.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| | | CA2 | 1.00÷2.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |

-Sintesi campioni rimaneggiati di tipo ambientale prelevati da sondaggi geognostici-

Le sigle e le profondità dei **campioni ambientali dalle trincee esplorative geologiche** sono:

| CAMPIONI AMBIENTALI | | | | | |
|---------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| TRINCEA ESPLORATIVA | POROFONDITA' (m da p.c.) | SIGLA CAMPIONE | PROFONDITA' DI PRELIEVO (m da p.c.) | CARATTERISTICHE CAMPIONE | QUANTITA' PRELEVATA |
| PE01 | 2.00 | CA1 | 0.00÷1.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| | | CA2 | 1.00÷2.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| PE04 | 2.00 | CA1 | 0.00÷1.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| | | CA2 | 1.00÷2.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| | | CA3 | 0.00÷2.00 | Materiale tal quale | n.2 Secchielli da 1 kg n.1 sacchetto da 1 kg |
| | | TQ1-CLS | 0.00÷2.00 | Materiale tal quale | n.1 sacchetto da 5 kg |
| PE05 | 2.00 | CA1 | 0.00÷1.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| | | CA2 | 1.00÷2.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| PE06 | 2.00 | CA1 | 0.00÷1.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| | | CA2 | 1.00÷2.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |

-Sintesi campioni rimaneggiati di tipo ambientale prelevati da trincee esplorative -

Le sigle e le profondità dei **campioni ambientali dalle trincee esplorative ambientali** sono:

| CAMPIONI AMBIENTALI | | | | | |
|---------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| TRINCEA AMBIENTALE | POROFONDITA' (m da p.c.) | SIGLA CAMPIONE | PROFONDITA' DI PRELIEVO (m da p.c.) | CARATTERISTICHE CAMPIONE | QUANTITA' PRELEVATA |
| AD01 | 1.00 | CA1 | 0.00÷1.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| AD02 | 1.00 | CA2 | 0.00÷1.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| AD03 | 1.00 | CA3 | 0.00÷1.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| AD04 | 1.00 | CA4 | 0.00÷1.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |
| AD05 | 1.00 | CA5 | 0.00÷1.00 | Materiale passante al setaccio ø20 mm | n.1 vaso da 1 l |

-Sintesi campioni rimaneggiati di tipo ambientale prelevati da trincee ambientali -

Le sigle e le profondità dei **campioni ambientali di acqua dai piezometri** sono:

| CAMPIONI AMBIENTALI ACQUE SOTTERRANEE | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------|--|
| PIEZOMETRO | POROFONDITA' (m da p.c.) | SOGGIACENZA FALDA (m da tt.) | SIGLA CAMPIONE | TIPO DI CAMPIONAMENTO | QUANTITA' PRELEVATA |
| SN02_PZ | 35.00 | 7.50 | CA3 | Dinamico | n.2 bottiglie in vetro scuro da 1 l, n.1 bottiglia 0.5 l, n.2 vials, n. 1 PET |
| SN03_PZ | 20.00 | 3.50 | CA5 | Dinamico | n.4 bottiglie in vetro scuro da 1 l, n.1 bottiglia 0.5 l, n.2 vials, n. 1 PET |

-Sintesi campioni acque sotterranee prelevati -

Prove SPT in foro di sondaggio

Queste prove sono state eseguite con attrezzatura standard usando sia il campionatore a punta aperta sia anche la punta chiusa (vedi la differenziazione nella tabella sottostante) a seconda della granulometria e dell'addensamento dei terreni che in quel momento la trivella stava attraversando.

Mediante le SPT fondo foro, di questa fase di indagine, ma anche della precedente indagine sitospecifica del 2021 e di quelle di archivio, si è potuto ricostruire una parametrizzazione meccanica del sottosuolo granulare coinvolto dalla realizzazione del nuovo tratto di viabilità SS38.

La sigla, la profondità, le letture della resistenza penetrometrica e la resistenza penetrometrica corretta con la profondità delle SPT fondo foro eseguite sono:

| SINTESI PROVE SPT - SONDAGGIO SN01_DH | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------|---|------------------|-----------------|---------------------------------|
| SIGLA SONDAGGIO | SIGLA PROVA SPT | PROFONDITA' DI PROVA (m da p.c.) | CAMPIONAT. UTILIZZATO | NUMERO DI COLPI (N ₁ -N ₂ -N ₃) | N _{SPT} | N ₆₀ | (N ₁) ₆₀ |
| SN01_DH | SPT-01 | 3.00÷3.45 | Punta aperta | 7-6-6 | 12 | 10 | 14 |
| | SPT-02 | 6.00÷6.45 | Punta aperta | 50/7cm | Rifiuto | 95 | 91 |
| | SPT-03 | 9.00÷9.45 | Punta chiusa | 17-15-18 | 33 | 33 | 27 |
| | SPT-04 | 12.00÷12.45 | Punta aperta | 6-8-11 | 19 | 19 | 14 |
| | SPT-05 | 15.00÷15.45 | Punta aperta | 8-10-14 | 24 | 24 | 17 |
| | SPT-06 | 18.00÷18.45 | Punta aperta | 9-13-11 | 24 | 24 | 16 |
| | SPT-07 | 21.00÷21.45 | Punta aperta | 12-15-18 | 33 | 33 | 21 |
| | SPT-08 | 24.00÷24.45 | Punta aperta | 7-10-8 | 18 | 18 | 11 |
| | SPT-09 | 27.00÷27.45 | Punta aperta | 14-18-20 | 38 | 38 | 22 |
| | SPT-10 | 30.00÷30.45 | Punta aperta | 15-16-22 | 38 | 38 | 21 |
| | SPT-11 | 33.00÷33.45 | Punta aperta | 12-14-18 | 32 | 32 | 17 |

-Sintesi risultati prove SPT sondaggio SN01_DH-

| SINTESI PROVE SPT - SONDAGGIO SN02_PZ | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------|---|------------------|-----------------|---------------------------------|
| SIGLA SONDAGGIO | SIGLA PROVA SPT | PROFONDITA' DI PROVA (m da p.c.) | CAMPIONAT. UTILIZZATO | NUMERO DI COLPI (N ₁ -N ₂ -N ₃) | N _{SPT} | N ₆₀ | (N ₁) ₆₀ |
| SN02_PZ | SPT-01 | 3.00÷3.45 | Punta chiusa | 18-24-29 | 53 | 45 | 61 |
| | SPT-02 | 6.00÷6.45 | Punta chiusa | 15-28-37 | 65 | 62 | 59 |
| | SPT-03 | 9.00÷9.45 | Punta aperta | 11-13-10 | 23 | 23 | 19 |
| | SPT-04 | 12.00÷12.45 | Punta aperta | 8-10-12 | 22 | 22 | 17 |
| | SPT-05 | 15.00÷15.45 | Punta aperta | 10-8-9 | 17 | 17 | 12 |
| | SPT-06 | 18.00÷18.45 | Punta aperta | 12-10-13 | 23 | 23 | 15 |
| | SPT-07 | 21.00÷21.45 | Punta aperta | 10-13-12 | 25 | 25 | 16 |
| | SPT-08 | 24.00÷24.45 | Punta aperta | 15-18-24 | 42 | 42 | 25 |
| | SPT-09 | 27.00÷27.45 | Punta aperta | 14-16-19 | 35 | 35 | 20 |
| | SPT-10 | 30.00÷30.45 | Punta aperta | 12-10-14 | 24 | 24 | 13 |
| | SPT-11 | 33.00÷33.45 | Punta aperta | 19-22-24 | 46 | 46 | 24 |

-Sintesi risultati prove SPT sondaggio SN02_PZ-

| SINTESI PROVE SPT - SONDAGGIO SN03_PZ | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------|---|------------------|-----------------|---------------------------------|
| SIGLA SONDAGGIO | SIGLA PROVA SPT | PROFONDITA' DI PROVA (m da p.c.) | CAMPIONAT. UTILIZZATO | NUMERO DI COLPI (N ₁ -N ₂ -N ₃) | N _{SPT} | N ₆₀ | (N ₁) ₆₀ |
| SN03_PZ | SPT-01 | 3.00÷3.45 | Punta aperta | 18-25-30 | 55 | 47 | 63 |
| | SPT-02 | 6.00÷6.45 | Punta aperta | 18-21-24 | 45 | 43 | 46 |
| | SPT-03 | 9.00÷9.45 | Punta aperta | 21-24-27 | 51 | 51 | 48 |
| | SPT-04 | 12.00÷12.45 | Punta aperta | 15-19-22 | 41 | 41 | 35 |
| | SPT-05 | 15.00÷15.45 | Punta aperta | 24-20-22 | 42 | 42 | 33 |
| | SPT-06 | 18.00÷18.45 | Punta aperta | 22-23-23 | 46 | 46 | 34 |

-Sintesi risultati prove SPT sondaggio SN03_PZ-

Prove di permeabilità tipo Lefranc in foro di sondaggio

Per le prove di permeabilità di tipo Lefranc eseguite nei tre sondaggi è stata impiegata la metodologia a carico sostante, ottenendo i risultati che seguono:

| SINTESI RISULTATI PROVE LEFRANC | | | | | |
|---------------------------------|--------|-------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| SONDAGGIO | PROVA | TIPOLOGIA | PROFONDITA' (m da p.c.) | k (m/s) | k (cm/s) |
| SN01_DH | LFC-01 | a carico costante | 7.50÷8.00 | 4.38E-05 | 4.38E-03 |
| | LFC-02 | a carico costante | 13.50÷14.00 | 4.77E-05 | 4.77E-03 |
| SN02_PZ | LFC-01 | a carico costante | 9.00÷9.50 | >2.60E-04 | >2.60E-02 |
| | LFC-02 | a carico costante | 21.00÷21.50 | >2.47E-04 | >2.47E-02 |
| SN03_PZ | LFC-01 | a carico costante | 6.00÷6.50 | 4.32E-05 | 4.32E-03 |
| | LFC-02 | a carico costante | 12.00÷12.50 | >4.61E-04 | >4.61E-02 |

- Sintesi risultati prove di permeabilità Lefranc eseguite-

Prove di carico su piastra

Eseguite come quelle del 2021 per il progetto di fattibilità tecnica economica e già descritte nei capitoli precedenti, le prove di carico su piastra hanno avuto lo scopo di valutare le caratteristiche di deformazione, in particolare la compressibilità, del sottosuolo coinvolto nella realizzazione della nuova viabilità SS38.

I cicli di carico-scarico-ricarico attuati nelle prove sono i seguenti:

| SCHEMA DI CARICO | | | |
|---|--|---|--|
| Tipologia di terreno | Ciclo di carico (N/mm ²) (kPa) | Ciclo di ricarico (N/mm ²) (kPa) | Intervallo di calcolo modulo di compressibilità (N/mm ²) (kPa) |
| Terreno di sottofondo e strati del rilevato | 0.02-0.05-0.10-0.15-0.20 20-50-100-150-200 | 0.05-0.10-0.15 20-50-150 | 0.05÷0.15 50÷150 |
| Strato di base | 0.02-0.05-0.15-0.25-0.35 20-50-150-250-350 | 0.05-0.15-0.25 20-50-150-250 | 0.15÷0.25 150÷250 |
| Strato di supporto | 0.02-0.05-0.15-0.25-0.35-0.45 20-50-150-250-350-450 | 0.02-0.05-0.15-0.25-0.35 20-50-150-250-350 | 0.25÷0.35 250÷350 |

-Schema di carico e intervallo calcolo dei moduli-

I risultati ottenuti sono stati:

| PROVE DI CARICO SU PIASTRA | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------------------------|-------------------|--------------|------------------------------|--------------------------------------|
| TRINCEA ESPLORATIVA | SIGLA PROVA | PROFONDITA' (m da p.c.) | INTERVALLO DI CALCOLO (kPa) | CICLO DI CARICO | | | CICLO DI RICARICO | | | GRADO DI COSTIPAMENTO (M_p/M'_d) |
| | | | | M_d (MPa) | E_d (MPa) | k_s (kg/cm ³) | M'_d (MPa) | E'_d (MPa) | k'_s (kg/cm ³) | |
| PE01 | PLT-01 | 0.50 | 150÷250 | 18.00 | 12.86 | 6.15 | 548.00 | 392.00 | 187.00 | 0.03 |
| PE02 | PLT-01 | 0.50 | | 3.91 | 2.80 | 1.34 | 93.42 | 66.77 | 31.91 | 0.04 |
| PE03 | PLT-01 | 0.50 | | 15.04 | 10.75 | 5.14 | 99.79 | 71.32 | 34.09 | 0.15 |
| PE04 | PLT-01 | 0.50 | | 20.47 | 14.63 | 6.99 | 70.82 | 50.62 | 24.19 | 0.29 |
| PE05 | PLT-01 | 0.50 | | 15.06 | 10.77 | 5.15 | 199.59 | 142.65 | 68.18 | 0.08 |

- Sintesi risultati prove di carico su piastra eseguite -

7 RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEL SOTTOSUOLO

In chiave litostratigrafica la successione delle litologie presenti al di sotto del tracciato della SS38 di cui alla presente progettazione è rappresentata (vedi Carta geologica e Profilo geologico stratigrafico) da due successioni deposizionali abbastanza simili dal punto di vista litotecnico ma distinte in quanto ad ambienti di sedimentazione, fenomenologie ed energia.

La prima successione interessa la porzione di viabilità che sarà realizzata in rilevato, quindi dalla rotatoria che andrà a sostituire l'incrocio tra la SS38 e la via Europa fino alla rotatoria posta in corrispondenza dell'attraversamento con passaggio a livello della SS38 lungo la linea ferroviaria Sondrio – Tirano, che costituisce il presupposto principale per la realizzazione di questo progetto.

Una successione diversa può essere ricostruita per il tratto in viadotto del nuovo tracciato viario.

Nella stratigrafia sottostante il rilevato sono identificabili, al di sotto di un primo strato superficiale di circa due metri di terreno alterato, aerato e rimaneggiato che spesso è stato sostituito da materiali di riporto entrati a far parte delle opere di urbanizzazione primaria, i tipi litologici che seguono:

A) GHIAIE SABBIOSE MEDIAMENTE ADDENSATE, oppure SABBIE LIMOSE DEBOLMENTE GHIAIOSE, MEDIAMENTE ADDENSATA. Questo livello, che in sostanza è costituito da ghiaie, ciottoli e sabbie prevalenti mediamente addensate, con una percentuale secondaria di limi e sabbie fini, ha uno spessore variabile più volte lungo il tracciato che va dai 5 ai 17 metri. Esso comprende anche lenti di sabbie limose da moderatamente a mediamente addensate prive di scheletro grossolano. Man mano che ci si avvicina all'inizio del tratto in viadotto lo spessore di questo primo strato si riduce fino ai valori minimi di circa 5-6 metri. L'età della messa in posto di questo primo livello è il Quaternario (recente ed attuale), con clasti che però possono essere anche molto antichi in quanto derivano dal disfacimento dei versanti prospicienti il fondovalle del F. Adda, dove affiorano rocce metamorfiche anche assai vecchie. L'addensamento del litotipo può derivare sia dalla varietà della distribuzione granulometrica, che concorre a ridurre la quantità dei vuoti, ma anche dall'azione dei

processi deposizionali fluviali di energia medio elevata. Dal punto di vista litotecnico questi materiali sono caratterizzabili dalla presenza di una componente granulare sabbiosa e ghiaiosa mista prevalente che forma uno scheletro solido portante, riempito da una matrice sabbiosa e limosa che contribuisce all'inglobamento completo dei clasti più grossolani. Nelle verticali penetrometriche il profilo di resistenza di questo primo livello superficiale ha andamento piuttosto variabile ma sostanzialmente dipendente dalla profondità, segno che l'incidenza del carico litostatico sull'avanzamento della punta è significativo e che il comportamento litotecnico del materiale è prevalentemente incoerente. Per quanto riguarda la significatività dei valori di resistenza rilevati con le DPSH e con le SPT fondo foro, la natura drenata del terreno rende del tutto rappresentativi i valori misurati. I valori medi rappresentativi del N-SPT fondo foro per questo primo livello vanno da $N_{spt30} = 8$ ai $N_{spt30} = 25$. Questo strato ha al suo interno il livello piezometrico freatico della falda, sia riferito al periodo di magra che a quello di morbida.

B) SABBIE GHIAIOSE DEBOLMENTE LIMOSE ADDENSATE, SABBIE GHIAIOSE MOLTO ADDENSATE:

questo secondo deposito si colloca alla base del livello A) ed inizia quindi a profondità dell'ordine dei 7 – 19 metri dal piano campagna. Tale profondità risulta variabile per gran parte del tratto in viadotto del tracciato della nuova SS38, ma avvicinandosi all'inizio del viadotto la sua profondità si riduce. Lo spessore di questo secondo strato non risulta definito perché nessuna delle indagini eseguite lungo il percorso della nuova SS38 lo ha attraversato per intero. Le penetrometrie dinamiche vi hanno fatto rifiuto. La natura di questo deposito è di nuovo fluviale e l'origine è analoga a quella del livello soprastante. In questo secondo macrolivello B) non ci sono variazioni granulometriche significative: la componente in sabbie e ciottoli rimane preponderante e la matrice limosa e sabbiosa fine diventa più compatta. Nella parte bassa del macrolivello, sporadicamente attraversata dalle verticali di sondaggio, la componente limosa diventa quasi assente e l'addensamento della componente grossolana aumenta. Dal punto di vista litotecnico questi materiali hanno una resistenza tipicamente ed esclusivamente granulare, quantitativamente da elevata a molto elevata, e possono essere rappresentati da valori di angolo di resistenza interna efficace, con un contributo della coesione efficace non derivabile dalle indagini a disposizione in quanto dalle resistenze penetrometriche misurate si possono correlare o la resistenza attrittiva o quella coeviva, ma non entrambe contemporaneamente. I valori medi rappresentativi del N-SPT fondo foro per questo secondo livello superano sempre i $N_{spt30} = 20-35$ e spesso hanno raggiunto il rifiuto strumentale della prova;

La stratigrafia sottostante il viadotto invece è caratterizzata da una elevata variabilità di tipi sedimentari che, però, differiscono in chiave litologica per aspetti secondari, quali la preponderanza di una classe granulometrica rispetto ad un'altra secondo la seguente descrizione:

C) GHIAIE SABBIOSE CON CIOTTOLI ADDENSATE, GHIAIE SABBIOSE E LIMOSE ADDENSATE, SABBIE GROSSOLANE DEBOLMENTE LIMOSE CON GHIAIE E CIOTTOLI ADDENSATE, SABBIE FINI LIMOSE CON GHIAIE E CIOTTOLI DA ADDENSATE A MOLTO ADDENSATE. Questo terzo deposito manifesta colonne stratigrafiche diverse per sfumature poco significative anche sulla breve distanza. Lo spessore del livello C nella zona del viadotto è di almeno 35 metri, pari alle verticali più profonde che sono state messe a disposizione dalla Stazione appaltante. Lo spessore complessivo è ignoto. La variabilità granulometrica sia verticale che orizzontale delle colonne ricostruite è tipica degli ambienti deposizionali di conoide, in cui prevale il trasporto di massa, l'alta energia ed anche l'abbondante disponibilità di materiale. In questo contesto non è significativo fare una distinzione litologica su base granulometrica o tessiturale, dato che ciò porterebbe a suddivisioni del sottosuolo di poco valore stratigrafico e paleoambientale. Dal punto di vista litotecnico questi materiali hanno una resistenza molto elevata dovuta sia alla compattezza della matrice, prevalentemente limosa o sabbiosa, sia all'addensamento dello scheletro granulare portante. Anche questo strato C) è ben rappresentato dalle prove SPT fondo foro, dalle verticali penetrometriche dinamiche DPSH e dai valori di angolo di resistenza interna efficace a loro correlabili.

7.1 VALUTAZIONI DELLA POSSIBILITA' DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

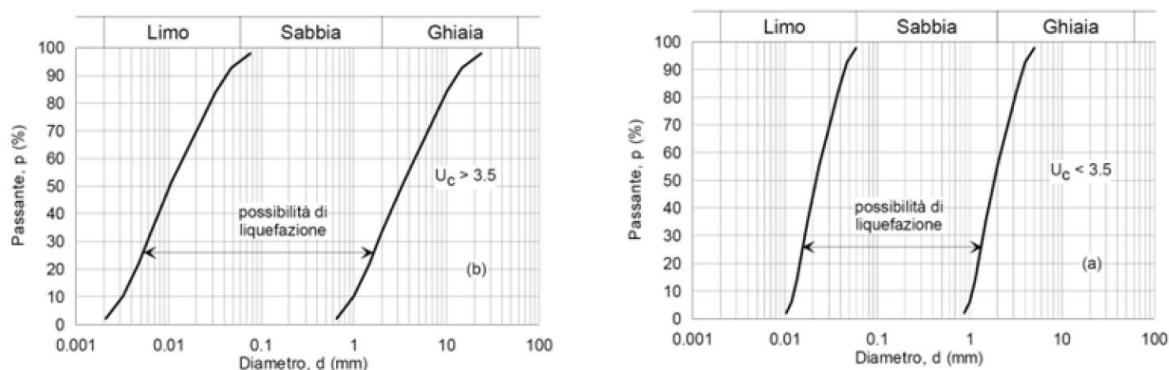
La possibilità di fenomeni di "liquefazione" è connessa con la presenza di sedimenti incoerenti sabbiosi monogranulari saturi in cui la sollecitazione sismica provoca una notevole ed improvvisa riduzione della resistenza al taglio fino a far assumere al materiale una condizione di fluidità non dissimile da quella di un liquido viscoso per il sorgere, in concomitanza con la propagazione delle onde sismiche, di pressioni interstiziali indotte.

La perdita della resistenza avviene nel caso in cui la pressione dell'acqua che riempie i pori interstiziali dei materiali uguaglia la pressione di confinamento, ovvero quando gli sforzi che si esercitano attraverso le particelle solide divengono nulli.

La diminuzione della resistenza, che è tanto maggiore quanto più la sabbia è sciolta e di granulometria omogenea, ha come conseguenza effetti di assestamento del terreno, in casi di depositi orizzontali o suborizzontali, o di scivolamento in caso di depositi acclivi.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. 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;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 9(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Per lo SLV la condizione 1) non risulta soddisfatta per la posizione sitospecifica del baricentro del viadotto (ritenuta la posizione più vulnerabile del progetto).

Le tessiture sedimentarie di quasi tutti i campioni di terreno analizzati in laboratorio e verificate mediante i carotaggi sono rappresentate da ghiaia sabbiosa prevalente, sabbia ghiaiosa, ghiaia, ghiaietto con ciottoli poligenici ed eterometrici prevalenti. Queste condizioni granulometriche soddisfano la condizione 4 in quanto la frazione limosa è quasi sempre o molto

scarso, la frazione sabbiosa ha una componente fine poco rappresentata, la componente ghiaiosa è frequentemente prevalente, anche con granulometrie centimetriche.

La presenza di vuoti di dimensioni mediamente grossolane se non addirittura molto grossolane configura situazioni in cui la velocità di fuga dei filetti liquidi verso l'alto in condizioni di addensamento rapido del terreno non può arrivare a valori tali da ottenere il sollevamento dei granuli.

Inoltre il confronto tra le resistenze penetrometriche rilevate mediante le numerosissime SPT fondo foro eseguite nei sondaggi, con le quali è stata confermata la presenza di un sottosuolo da addensato a molto addensato con scheletro granulare grossolano abbondante, e la soglia di resistenza meccanica associata al valore normativo del (N1)60 permette di riscontrare che esso è sempre superato, eccetto in isolati casi associati a rarissimi strati sottili che da soli non sono significativi nemmeno in condizioni idrogeologiche favorevoli alla liquefazione. Dunque anche la condizione 3 può ritenersi verificata.

Ciò porta a ritenere che l'innescò di fenomeni di liquefazione abbia probabilità molto modesta se non nulla per l'assenza delle condizioni granulometriche e meccaniche, fattori fondamentali per lo sviluppo del fenomeno temuto, anche in presenza di falda a profondità inferiore ai 15 m.

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'esame delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del sottosuolo ricavate dalle indagini consultate consente di concludere che l'opera risulta fattibile ai sensi delle normative regionali e nazionali, seppur con le indicazioni riportate in relazione.