



# COMUNE DI INCUDINE

Provincia di Brescia

## INTERVENTI INTEGRATI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO E DI TUTELA E RECUPERO DEGLI ECOSISTEMI E DELLA BIODIVERSITA' NEL FIUME OGLIO

CUP: B88H25000930002

CODICE ODSM ID 6344025 – D.G.R. 14 LUGLIO 2025, NXII/4736

### ALLEGATO B Relazione Geologica



**IL SINDACO**  
**IL RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO**  
**DIEGO CARLI**

**PROFESSIONISTI INCARICATI**  
**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**  
**CO&SA ENGINEERING S.R.L. TECHNOLOGY AND CONSULTING**  
Pavia - 27100, Via Enrica Malcovati n.° 2, Tel. 0382/22708, e-mail: coesasrl.pavia@gmail.com  
Tecnici Responsabili:

Ing. LUIGI BALDINI, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pavia al n.°944 - Direttore Tecnico  
Arch. STEFANIA PAREI, iscritta all'Ordine degli Architetti della Provincia di Pavia al n.° 1008 sez. A  
Geom. ELIO FERRARI, iscritto all'Albo del Collegio dei Geometri della Provincia di Pavia al n.° 1974  
Geom. TERESA GRASSO, iscritto all'Albo del Collegio dei Geometri della Provincia di Pavia al n.° 4357  
Arch. VERONICA REALE, iscritta all'Ordine degli Architetti della Provincia di Pavia al n.° 1269 sez. A

#### RELAZIONE GEOLOGICA ED IDRAULICA:

Dott. Geol. GILBERTO ZAINA, iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi della Lombardia al n.° 916  
Darfo Boario Terme (BS) - 25047, Via Albera n.° 3, Tel. 339-3078674, e-mail: gilbertozaina@geasncservizi.com

#### RILIEVO TOPOGRAFICO:

**STUDIO TECNICO SALVETTI**  
Malonno (BS) - 25040, Via IV Novembre n.° 60, Tel. 0364-657012, e-mail: info@studiotecnicosalvetti.it  
Geom. OMAR SALVETTI, iscritto all'Albo del Collegio dei Geometri della Provincia di Brescia al n.° 4819

DATA ELABORAZIONE:  
GENNAIO 2026

AGGIORNAMENTI

RAPPRESENTAZIONE

---

RIFERIMENTO  
CO&SA S.R.L.  
01/2026

CIG: B90220FF62

# INTERVENTI INTEGRATI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO E DI TUTELA E RECUPERO DEGLI ECOSISTEMI E DELLA BIODIVERSITÀ DEL FIUME OGlio

---

Relazione Geologica

---

Committente:  
Comune di Incudine  
Via Sandro Pertini, n. 40  
Incudine (BS)

---

DICEMBRE 2025

---

Dott. Geol.  
Gilberto Zaina

**Geo.Te.C.**

Geologia Tecnica Camuna  
Studio Associato Alberti F., Carleschi G., Zaina G.  
Via Albera, 3 - Darfo Boario Terme (BS)  
tel./fax: 0364 533637

---

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Premessa.....  | 2  |
| 2     | Ubicazione.....  | 4  |
| 3     | Quadro geologico .....   | 5  |
| 4     | Le criticità idrauliche .....  | 7  |
| 4.1   | Il Piano di Assetto Idrogeologico – PAI .....                                    | 7  |
| 4.2   | Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.....                                  | 8  |
| 4.2.1 | Mappe della pericolosità per esondazione .....                                   | 9  |
| 4.2.2 | Le mappe del rischio.....  | 10 |
| 5     | Aspetti geomorfologici di dettaglio .....  | 14 |
| 5.1   | Quadro geomorfologico .....  | 14 |
| 5.2   | Tratto fra il Ponte del Municipio e la Valle del Fossato .....                   | 14 |
| 5.3   | Tratto fra Valle del Catello e confluenza Valle Moriana .....                    | 16 |
| 5.4   | La Val Moriana e la sua confluenza in Oglio .....                                | 16 |
| 6     | Indagini geognostiche.....   | 18 |
| 6.1   | Depositi in alveo: aspetti granulometrici .....                                  | 19 |
| 6.2   | Indagini sismiche.....   | 20 |
| 6.2.1 | Indagine tipo Re.Mi. ....  | 20 |
| 6.2.2 | Indagine tipo MASW.....  | 21 |
| 7     | Interpretazione dei risultati .....  | 22 |
| 7.1   | Quadro stratigrafico.....  | 22 |
| 7.2   | Aspetti geotecnici.....  | 23 |
| 7.2.1 | Caratterizzazione alluvioni attuale -recenti.....                                | 23 |
| 7.2.2 | Caratterizzazione depositi del materasso alluvionale e depositi di conoide ..... | 23 |
| 7.2.3 | Categoria di sottosuolo .....  | 27 |
| 7.2.4 | Aspetti idrogeologici .....  | 28 |
| 8     | Il modello geologico tecnico .....   | 29 |
| 9     | Aspetti di pericolosità sismica (ai sensi del D.M. 14/01/2008) .....             | 30 |
| 9.1   | La pericolosità sismica di base .....  | 30 |
| 9.2   | Risposta sismica locale .....  | 31 |
| 9.2.1 | Condizioni topografiche .....  | 31 |
| 9.2.2 | Categoria di sottosuolo .....  | 31 |
| 9.3   | Amplificazione litologica .....  | 32 |
| 9.3.2 | Amplificazione stratigrafica.....  | 33 |
| 9.3.3 | Fenomeni di liquefazione .....   | 34 |
| 10    | Conclusioni .....  | 35 |

## 1 Premessa

Il tratto di fondovalle della Valcamonica all'altezza dell'abitato di Incudine (BS) è interessabile da processi legati alla dinamica torrentizia del Fiume Oglio: la pericolosità del settore è ribadita nella CARTA DEL DISSESTO del PAI – Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Po e nella CARTA DEL RISCHIO del PGRA – Piano di Gestione del Rischio Idraulico. Lungo il tratto di corso d'acqua sono presenti opere di regimazione idraulica che, come sottolineato nello studio *ESONDAZIONE E DISSESTI MORFOLOGICI DI CARATTERE FLUVIO-TORRENTIZIO LUNGO IL FIUME OGlio DA PONTE DI LEGNO AD INCUDINE* redatto nel settembre 2008 per conto della Comunità Montana della Valle Camonica, risultano a tratti insufficienti per la completa difesa idraulica delle aree.

Come riportato in *D.g.r. 14 luglio 2025 - n. XII/4736 Piano Lombardia (l.r. 9/2020): programma 2025/2027 di interventi urgenti e prioritari per la difesa del suolo e la mitigazione dei rischi idrogeologici del territorio e approvazione del relativo schema di disposizioni tecnico amministrative*, il Comune di Incudine (BS) è risultato destinatario del finanziamento per la realizzazione degli **INTERVENTI INTEGRATI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO E DI TUTELA E RECUPERO DEGLI ECOSISTEMI E DELLA BIODIVERSITÀ DEL FIUME OGlio**. Nella presente relazione idraulica, redatta su incarico dell'Amministrazione Comunale di Incudine (*Determinazione del RSLP n. 95 del 03/11/2025 – CIG: B90220FF62*) è analizzata la pericolosità idraulica del Fiume Oglio ed indicate le possibili linee d'intervento per la mitigazione del rischio delle aree a margine del tratto di alveo posto a valle del Ponte del Municipio.

Lo studio è redatto in accordo con i contenuti di:

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (D.M. del 17 gennaio 2018 del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti)

- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio secondo i criteri della D.G.R. 30 Novembre 2011 – n. IX/2616 (Piano di governo del Territorio-Studio Geologico). *D.G.R. 19 giugno 2017 - n. X/6738*
- Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell'autorità di bacino del Fiume Po
- *ISPRA Manuali e linee guida 82/2012 - Proposta metodologica per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità e di rischio/ della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi da alluvioni (Decreto Legislativo n. 49/2010).*
- *Piano di Gestione dei Rischi di Alluvioni – PGRA (2015);*
- *Autorità di Bacino del Fiume Po. Piano per la valutazione e la gestione del rischio alluvioni (art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010 – Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale (MARZO 2016)*
- *Legge Regionale 15 marzo 2016, n. 4 – Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua.*

La *fase di indagine* ha previsto il rilievo geologico diretto mediante pedonamento delle aree d'intervento e di un loro intorno significativo.

Nella *fase di analisi* sono stati considerati gli aspetti vincolistici e di criticità, valutati gli aspetti di pericolosità geologica e, sulla base dell'interpretazione dei risultati delle indagini geognostiche, valutata l'interferenza dell'intervento in progetto con il quadro stratigrafico, idrogeologico e geologico tecnico.

L'indagine è comprensiva dei seguenti allegati riportati a fine testo:

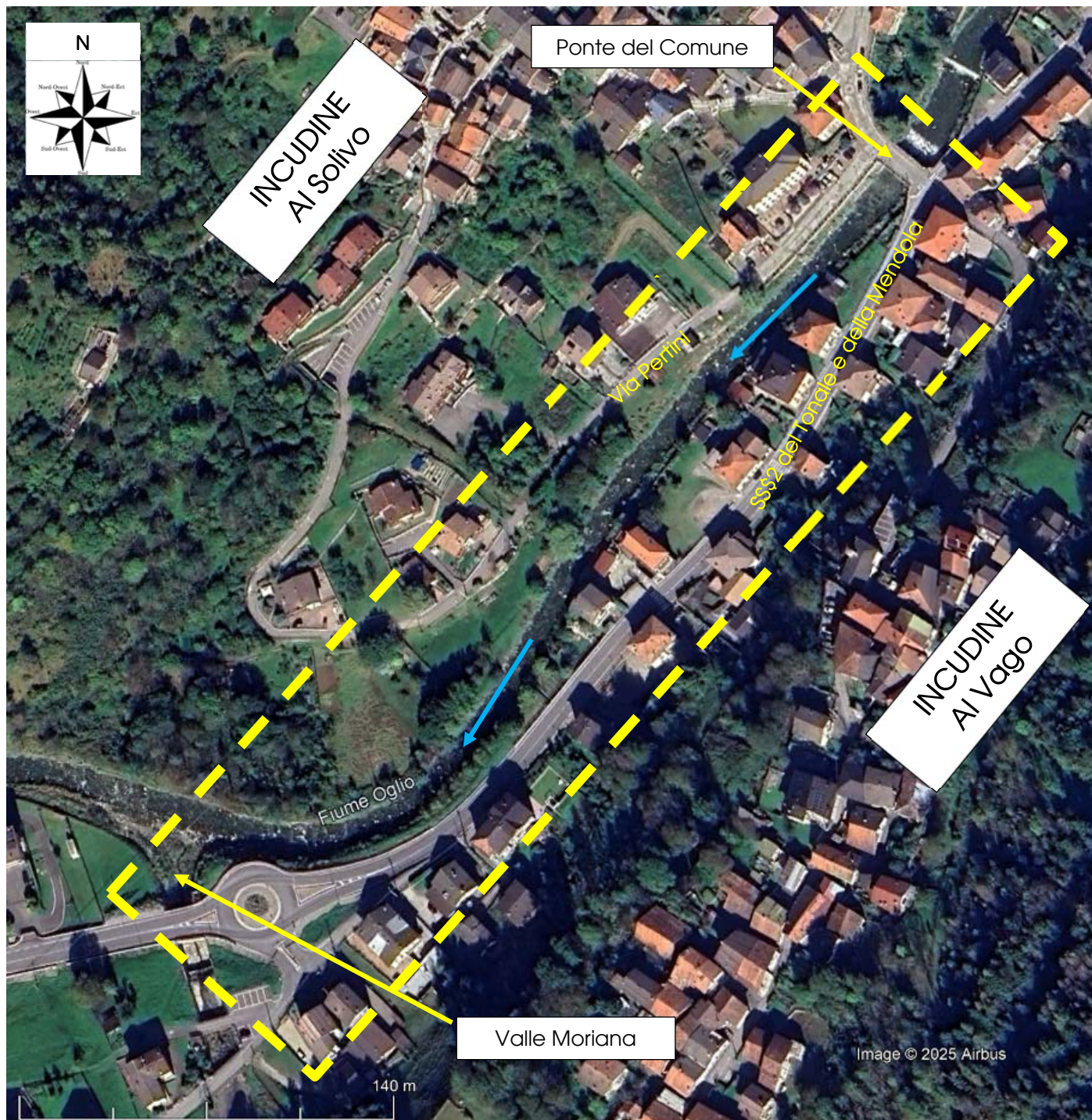


1. *Ubicazione – Scala 1:10.000*
2. *Carta geologica e geomorfologica di dettaglio – Scala 1:1.00*

## 2 Ubicazione

Il tratto di Fiume Oglio interessato dai lavori in oggetto si sviluppa nel tratto di fondovalle compreso tra il Ponte del Comune ed il settore sud - occidentale dell'abitato di Incudine, alla confluenza del torrente Valle Moriana in sinistra idrografica.

Di seguito si riporta l'estratto della Ortofoto (volo 2025) riportata in *Google earth*.





### 3 Quadro geologico

In accordo a quanto riportato nel *FOGLIO 41 – Ponte di Legno* della *Carta geologica d'Italia* alla scala 1:50.000, il tratto di versante destro della Valle Camonica all'altezza di Incudine è impostato nel substrato roccioso metamorfico con litotipi appartenenti alla *FALDA ORTLES – CAMPO/Unità di Pejo* rappresentati da:

- **Paragneiss a banbe (OMP):** *paragneiss a bande a grana media o fine, a scistosità più o meno marcata con muscovite, spesso granatiferi, talora con sillimanite fibrolitica, andalusite e cloritoide (Formazione della Punta di Pietra Rossa). Nel tratto inferiore del versante prevalgono i Paragneiss sillimanitici (OPM<sub>b</sub>) rappresentati da paragneiss e micascisti, in cui è comune la sillimanite di carattere regionale.*
- **Metapegmatiti (OPE):** pegmatiti e ortogneiss pegmatiodi a grana medio-grollosana, in corpi allungati.



I paragneiss, che alle quote medio inferiori dei versanti affiorano diffusamente nei tratti maggiormente acclivi o lungo le incisioni torrentizie, si presentano fratturati ed alterati per la presenza di lineamenti tettonici collegati alla Linea del Tonale che passa sul versante sinistro all'altezza del tratto inferiore della Valle Moriana.

Più generalmente gli affioramenti rocciosi sono limitati ed il substrato risulta mascherato da una coltre detritica riconducibile a depositi glaciali (talora rimobilizzati) frammisti a depositi di versante; nei settori medio inferiori dei fianchi della valle prevalgono i depositi eluvio – colluviali legati alla degradazione dei versanti ed all'alterazione in sito degli ammassi rocciosi e dei depositi glaciali.

In corrispondenza dello sbocco dei tributari laterali, al raccordo fra i versanti ed il fondovalle, sono presenti i depositi di conoide che non si esclude, come nei loro settori più distali, possano essere interdigitali con le alluvioni di fondovalle. Lungo il versante destro le conoidi alluvionali (dei torrenti Valle del Castello e della del Fossato) sono pressoché coalescenti mentre lungo il versante sinistro le conoidi alluvionali sono limitate alla Valle Moriana.

L'abitato di Incudine si sviluppa quasi interamente nello stretto fondovalle a ridosso del Fiume Oglio, nel settore compreso fra il Ponte Salto del Lupo (a est a quota 937.2 m s.l.m.) e la confluenza della Valle Moriana (a sud a quota 900.1 m s.l.m.); l'alveo del Fiume Oglio è impostato direttamente nelle alluvioni legate alle sue fasi deposizionali, costituiti da ciottoli e ghiaia mediamente addensati.

La forte antropizzazione che ha interessato le aree di fondovalle con il conseguente sviluppo urbanistico di Incudine ha portato alla realizzazione di rilevati in terra e livellamenti della superficie topografica mascherando gli aspetti morfologici originari.



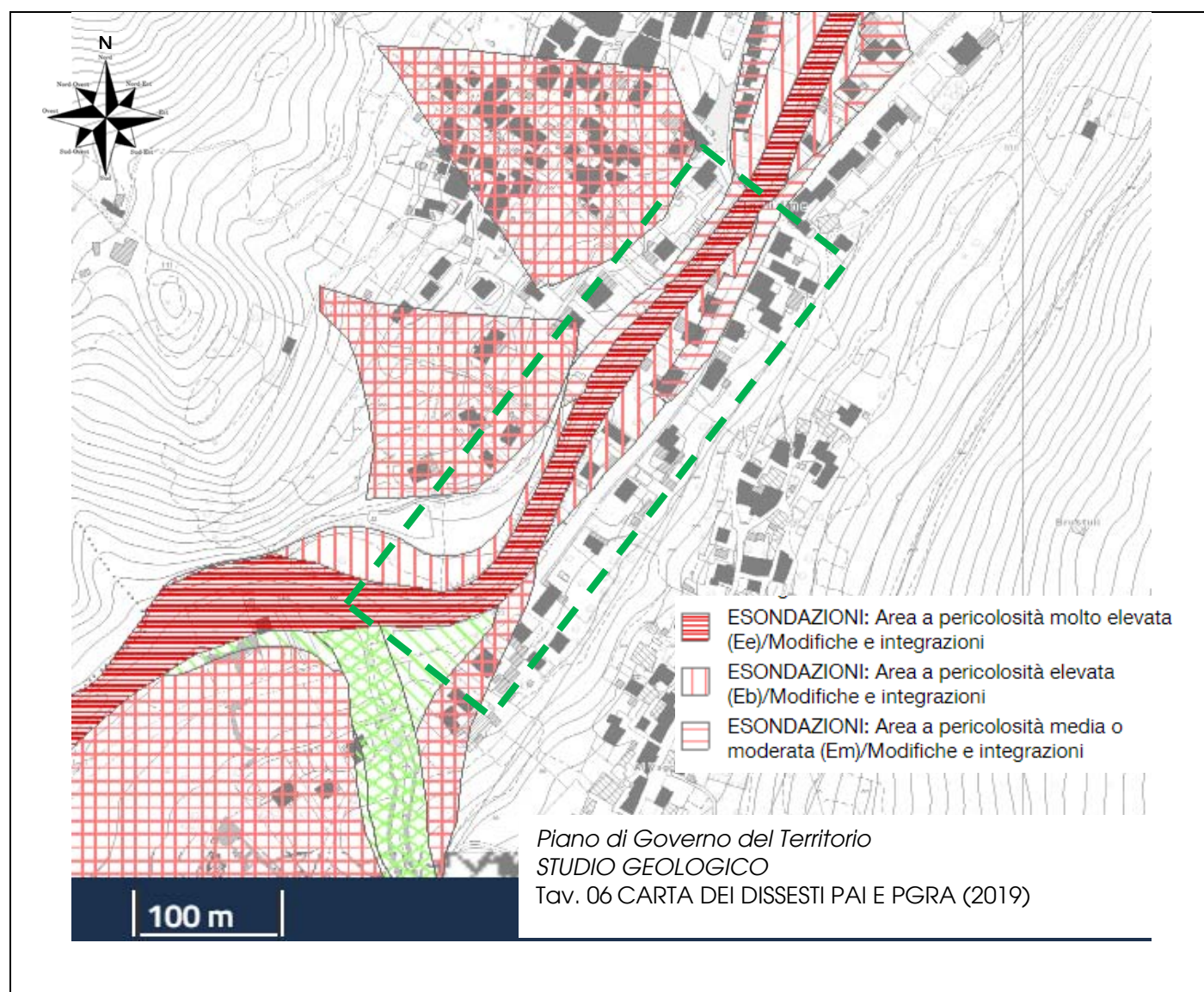
## 4 Le criticità idrauliche

La pericolosità delle aree è stata valutata nell'ambito dello studio ESONDAZIONE E DISSESTI MORFOLOGICI DI CARATTERE FLUVIO-TORRENTIZIO LUNGO IL FIUME OGlio DA PONTE DI LEGNO AD INCUDINE (2008); la stessa è stata recepita nella CARTA DEL DISSESTO del Piano di Assetto Idrogeologico del PAI e nel Piano Gestione del Rischio Alluvionale (PGRA) dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Di seguito sono sinteticamente illustrati i risultati ottenuti, i significati delle perimetrazioni ed i vincoli.

### 4.1 Il Piano di Assetto Idrogeologico – PAI

Le condizioni di pericolosità idraulica legate alle possibilità di esondazione del Fiume Oglio sono illustrate nell'*Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici - Delimitazione delle aree in dissesto* del PAI come pubblicata nel Geoportale della Regione Lombardia di cui di seguito si riporta un estratto: all'altezza del settore in esame, le aree di fondovalle all'altezza dell'abitato di Incudine ricadono in ambiti perimetrati **Ee** e **Eb** rispettivamente a pericolosità molto elevata e elevata per fenomeni di esondazioni.



Per tali aree vigono le limitazioni introdotte dall'art. 9 delle NTA:



## PAI – Piano Di Assetto Idrogeologico

### NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE

#### Titolo I – Norme per l'assetto della rete idrografica e dei versanti

##### *Art. 9. Limitazioni alle attività di trasformazione e d'uso del suolo derivanti dalle condizioni di dissesto idraulico e idrogeologico*

.....

5. Fatto salvo quanto previsto dall'art. 3 ter del D.L. 12 ottobre 2000, n. 279, convertito in L. 11 dicembre 2000, n. 365, nelle aree Ee sono esclusivamente consentiti:
- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
  - gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo degli edifici, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457;
  - gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo;
  - gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche e di interesse pubblico e di restauro e di risanamento conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;
  - i cambiamenti delle destinazioni colturali, purché non interessanti una fascia di ampiezza di 4 m dal ciglio della sponda ai sensi del R.D. 523/1904;
  - gli interventi volti alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;
  - le opere di difesa, di sistemazione idraulica e di monitoraggio dei fenomeni;
  - la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili e relativi impianti, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto delle condizioni idrauliche presenti;
  - l'ampliamento o la ristrutturazione degli impianti di trattamento delle acque reflue;
  - l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti già autorizzate ai sensi del D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22 (o per le quali sia stata presentata comunicazione di inizio attività, nel rispetto delle norme tecniche e dei requisiti specificati all'art. 31 dello stesso D.Lgs. 22/1997) alla data di entrata in vigore del Piano, limitatamente alla durata dell'autorizzazione stessa. Tale autorizzazione può essere rinnovata fino ad esaurimento della capacità residua derivante dalla autorizzazione originaria per le discariche e fino al termine della vita tecnica per gli impianti a tecnologia complessa, previo studio di compatibilità validato dall'Autorità competente. Alla scadenza devono essere effettuate le operazioni di messa in sicurezza e ripristino del sito, così come definite all'art. 6 del suddetto decreto legislativo.
6. Nelle aree Eb, oltre agli interventi di cui al precedente comma 5, sono consentiti:
- gli interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla lettera d) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457, senza aumenti di superficie e volume;
  - gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti per adeguamento igienico funzionale;
  - la realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue;
  - il completamento degli esistenti impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti a tecnologia complessa, quand'esso risultasse indispensabile per il raggiungimento dell'autonomia degli ambiti territoriali ottimali così come individuati dalla pianificazione regionale e provinciale; i relativi interventi di completamento sono subordinati a uno studio di compatibilità con il presente Piano validato dall'Autorità di bacino, anche sulla base di quanto previsto all'art. 19 bis.

6bis. Nelle aree Em compete alle Regioni e agli Enti locali, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti, tenuto anche conto delle indicazioni dei programmi di previsione e prevenzione ai sensi della L. 24 febbraio 1992, n. 225. Gli interventi ammissibili devono in ogni caso essere soggetti ad uno studio di compatibilità con le condizioni del dissesto validato dall'Autorità competente.

## 4.2 Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

Nell'ambito del Piano Gestione Rischio Alluvioni - PGRA 2022 (che recepisce la Direttiva 2007/60/CE finalizzata alla redazione di mappe di **pericolosità** e del **rischio** da alluvione in accordo ai contenuti Decreto Legislativo n. 49 del 23 febbraio 2010 di "Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione

dei rischi di alluvioni”) sono state definite le aree potenzialmente raggiungibili dalle acque di esondazione dei corsi d’acqua in occasione di eventi alluvionali. La definizione ha considerato i seguenti SCENARI D’EVENTO, definiti in funzione delle portate di piena associate a diversi tempi di ritorno (TR):

- alluvioni frequenti (TR = 20 - 50 anni).
- alluvioni poco frequenti (TR = 100 - 200 anni);
- alluvioni rare (TR = 500 anni);

La distribuzione delle aree allagabili illustrata nelle mappe di pericolosità è alla base della definizione delle mappe di rischio.

#### 4.2.1 Mappe della pericolosità per esondazione

Nelle mappe di pericolosità sono riportate le perimetrazioni delle aree allagabili definite come:

- AREE P3/H aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti;
- AREE P2/M aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti;
- AREE P1/L aree potenzialmente interessate da alluvioni rare.

Per il territorio comunale di Incudine (BS) le aree allagabili sono riferire ad ambiti territoriali appartenenti al **Reticolo secondario collinare e montano (RSCM)** con distinzioni degli scenari secondo il seguente schema:

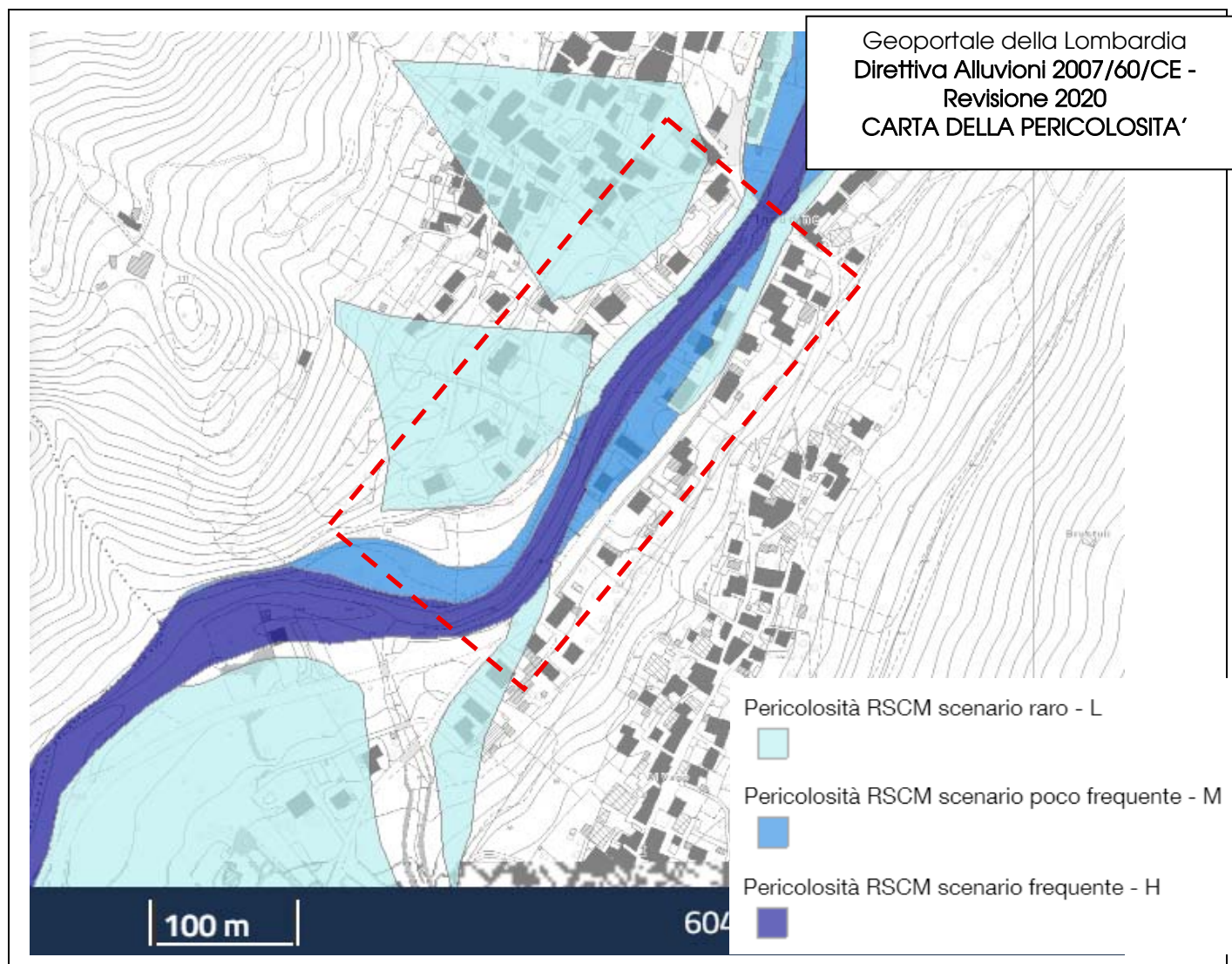
| PGRA | AMBITO   | SCENARI   |                  |
|------|--|---|------------------|
|      | RSCM<br>Reticolo<br>secondario<br>collinare e<br>montano | Aree<br>potenzialmente<br>interessate da<br>alluvioni | H frequenti      |
|      |  |   | M poco frequenti |
|      |  |   | L rare           |

In accordo ai contenuti di Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po così come integrate dalla Variante adottata in data 7 dicembre 2016 con Deliberazione n. 5 dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del Fiume Po, le mappe di pericolosità e rischio contenute nel PGRA rappresentano un aggiornamento e integrazione del quadro conoscitivo rappresentato negli Elaborati del PAI.

Le perimetrazioni della pericolosità messe in evidenza nel PGRA sono coincidenti con quanto riportato nella Carta dei dissesti del PAI considerando le seguenti correlazioni fra le definizioni proposte:

| PAI                                  |                  | PGRA  |  |
|--------------------------------------|------------------|---|--|
| Tipologia dei fenomeni idrogeologici |                  | Ambiti  |  |
| Trasporto di massa sui conoidi       |                  | RSCM<br>Reticolo secondario collinare e montano | Aree potenzialmente interessate da alluvioni |
| PERICOLOSITÀ                         |                  | SCENARI   |  |
| Ee                                   | molto elevata    | P3/H  | frequenti                                    |
| Eb                                   | elevata          | P2/M  | poco frequenti                               |
| Em                                   | media o moderata | P1/L  | rare   |

Attenendosi alla perimetrazione riportata nel PAI ed alla correlazione delle definizioni in precedenza illustrate, la perimetrazione della pericolosità riporta nel PGRA è di seguito illustrata:



#### 4.2.2 Le mappe del rischio

Nelle mappe di rischio è indicata la distribuzione delle condizioni di RISCHIO che, in accordo con i contenuti del DPCM 1998, è definito dalla seguente relazione:

$$R = P \times E \times V$$

Dove:

- P pericolosità o probabilità di accadimento di un evento alluvionale di data intensità in un intervallo temporale prefissato e su una determinata area;
- E valore degli elementi a rischio (intesi come persone, beni, patrimonio culturale ed ambientale ecc.) presenti nell'area alluvionabile;
- V vulnerabilità degli elementi a rischio, è il grado di perdita o danno associato a un elemento o a un gruppo di elementi a rischio risultante dal verificarsi di un fenomeno naturale di una data magnitudo.

La combinazione di E e V rappresenta il danno potenziale D.

Attenendosi alla classificazione riportata nella Tab. 8.15 del Manuale ISPRA, la classificazione del rischio si basa sulle seguenti definizioni:

| CLASSE | RISCHIO           | DESCRIZIONE  |
|--------|-------------------|--|
| R1     | moderato o nullo; | Per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali  |
| R2     | medio             | Per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche   |
| R3     | elevato           | Per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale |
| R4     | molto elevato     | Per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socioeconomiche  |

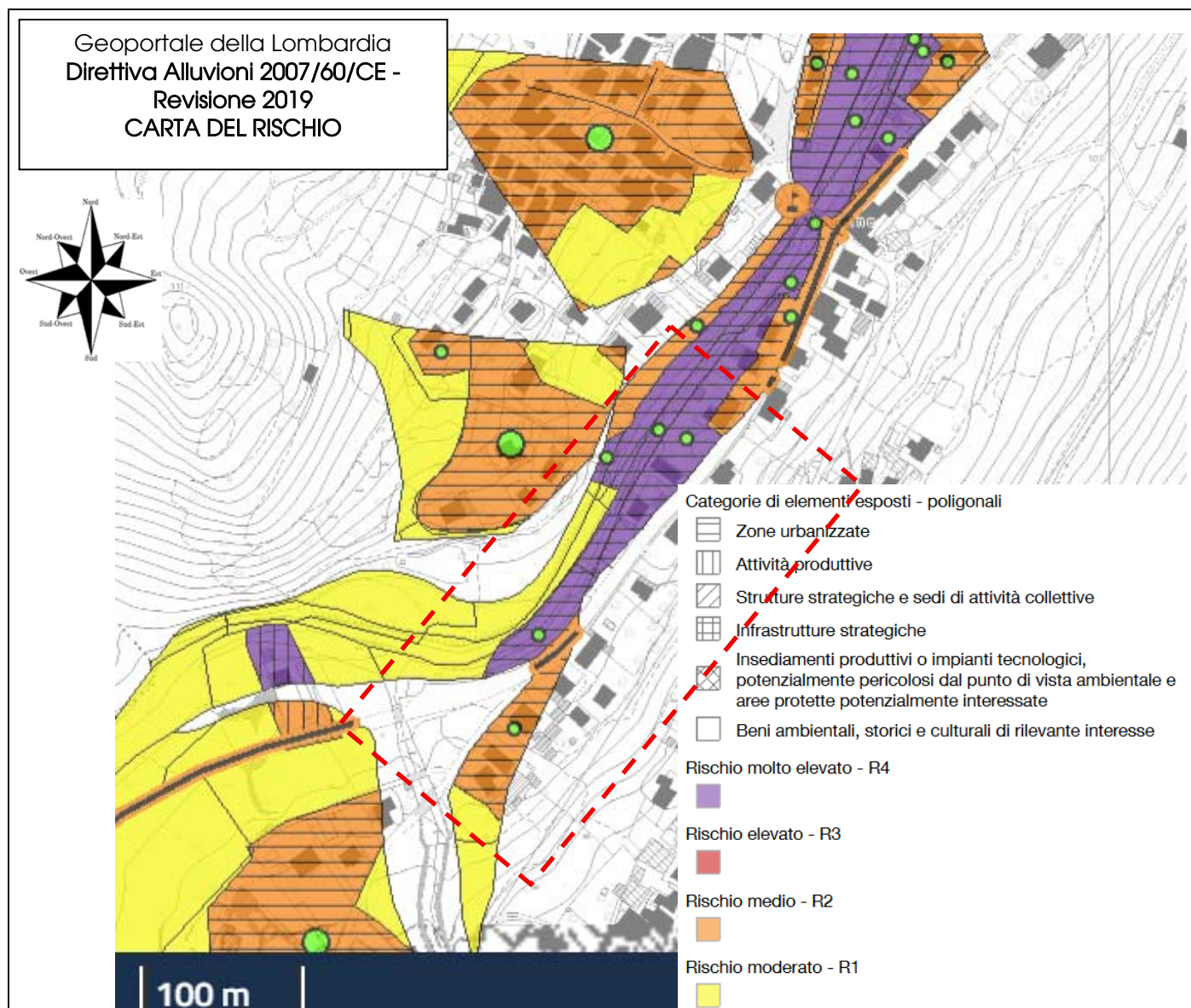
Le categorie di elementi esposti che la Direttiva 2007/60/CE, il D. Lgs. 49/2010 e gli indirizzi operativi del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare (MATM) hanno chiesto di classificare sono:

- zone urbanizzate (residenziale, produttivo, commerciale);
- strutture strategiche e sedi di attività collettive (ospedali, scuole, attività turistiche);
- infrastrutture strategiche principali (vie di comunicazione stradali e ferroviarie, dighe, porti e aeroporti);
- insediamenti produttivi o impianti tecnologici potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale (impianti allegato I D.L. 59/2005, aziende a rischio di incidente rilevante, depuratori, inceneritori, discariche);
- beni culturali vincolati;
- aree per l'estrazione delle risorse idropotabili.

Per la definizione del rischio è stata utilizzata la matrice per la valutazione del rischio (R) in base alle classi di pericolosità (H) e alle classi di elementi a rischio (E) riportata nella D.g.r. n. IX/2616 del 30/11/2011.

|    | H1 | H2 | H3 | H4 | H5 |
|----|----|----|----|----|----|
| E1 | R1 | R1 | R1 | R1 | R2 |
| E2 | R1 | R1 | R2 | R2 | R3 |
| E3 | R1 | R2 | R2 | R3 | R4 |
| E4 | R1 | R2 | R3 | R4 | R4 |





Per le aree poste nel fondovalle del Fiume Oglio, le condizioni di pericolosità riportate ribadiscono le perimetrazioni indicate nella Carta dei Disastri del PAI - Piano di Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume PO: tali ambiti sono indicati quali aree coinvolgibili da processi di tipo fluvio-torrentizio legati all'evoluzione del corso d'acqua di fondovalle.

Il quadro della pericolosità e del rischio idraulico illustrato nella documentazione citata nei precedenti paragrafi deriva da analisi idrauliche redatte sulla base dell'assetto idraulico del Fiume Oglio **ante** la realizzazione delle Vasche di Laminazione (realizzate nel 2010) a monte del ponte SS42 - via S. Pertini: le vasche di laminazione hanno un duplice effetto sul deflusso delle portate di piena del Fiume Oglio nell'abitato di Incudine, riducendone sia il contributo solido (con processi deposizionali) sia i tempi di corrivazione (effetto di laminazione che rallenta la piena di circa 20').

L'efficacia delle opere realizzate è legata al mantenimento in efficienza delle vasche, che può essere garantita da costanti e regolari svasi che garantiscano i volumi d'invaso di progetto.



Il recente adeguamento della sezione idraulica del ponte del Municipio che ha previsto l'abbassamento del fondo e la regolarizzazione del profilo (interventi del 2010) risulta comunque insufficiente a garantire il deflusso delle portate di massima piena attese.

Per tanto le opere realizzate nel 2010 hanno limitato il problema di eventuali rigurgiti della corrente all'altezza del manufatto che forma una strettoia improvvisa per il passaggio della piena con conseguente esondazioni e deflusso delle acque nei terreni a valle senza risolverli: la sezione idraulica è stata aumentata ma la strettoia legata alla luce troppo ridotta del ponte permane.

Nonostante gli interventi realizzati nel tratto superiore del Fiume Oglio, le condizioni di pericolosità nel tratto inferiore (a valle del ponte) permangono per la presenza di limitate opere di regimazione con limitati franchi idraulici. In destra idrografica le opere di regimazione sono assenti o interessano tratti limitati.

## 5 Aspetti geomorfologici di dettaglio

I sopralluoghi e le valutazioni condotte nel presente studio si concentrano alla porzione di territorio comunale posta a quote prossime all'alveo del Fiume Oglio e comprendente l'abitato nel tratto fra il ponte del Municipio e la confluenza della Valle Moriana in sinistra idrografica. Gli elementi geomorfologici significativi individuati durante il sopralluogo condotto lungo il tratto di Fiume Oglio sono riportati nell'Allegato n. 2 – CARTA GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO a fine testo.

### 5.1 Quadro geomorfologico

Il fondovalle camuno, che nel settore compreso fra il ponte Salto del Lupo ed il limite orientale dell'abitato raggiunge ampiezze di 130-140 m, all'altezza del Ponte del Municipio di Incudine subisce un brusco restringimento all'altezza del ponte comunale a quota 911.4 m s.l.m. con larghezze dell'ordine di 50-60 m che si mantengono costanti fino alla confluenza con la Valle Moriana. L'asta presenta direzione NE-SO prevalente: all'altezza della confluenza della Valle Moriana si rileva una brusca variazione verso ovest imposta dalla conoide alluvionale.

Nel corso degli anni l'alveo del Fiume Oglio è stato oggetto di successivi interventi di regimazione idraulica che hanno portato alla realizzazione di argini artificiali lungo l'intero tratto d'asta compreso all'interno dell'abitato. Gli argini, essendo stati realizzati in fasi successive, non sono tra loro omogenei ma comprendono le seguenti tipologie:

- muri d'argine in calcestruzzo rivestiti in pietrame;
- muri in calcestruzzo;
- scogliere con blocchi ciclopici intasati in terra o ammorsati nel calcestruzzo.

Gli interventi più recenti relativi al 2010 hanno previsto la realizzazione di vasche di laminazione nel settore compreso fra il ponte Salto del Lupo ed il margine nord-orientale dell'abitato e la sistemazione idraulica del tratto di alveo all'altezza del ponte comunale a quota 911.4 m s.l.m.

La sezione libera del ponte è stata ridimensionata mediante abbassamento del fondo e regolazione del profilo. Le opere hanno compreso la sottofondazione delle spalle del ponte realizzate con muri in calcestruzzo rivestito in pietrame ed il rifacimento del fondo dell'alveo mediante un solettone in blocchi cementati.

### 5.2 Tratto fra il Ponte del Municipio e la Valle del Fossato

In sinistra idrografica nel settore pianeggiante compreso fra il muro d'argine e la SS 42 (realizzata a quote superiori) è presente un'area residenziale con quota prossima a quella dell'alveo del Fiume Oglio. A protezione dei fabbricati in passato è stato realizzato un muro d'argine in calcestruzzo e pietrame con altezza media di 2 m impostato direttamente sul ciglio naturale della sponda del corso d'acqua senza fondazione. Alla base del muro d'argine allo scopo di contenere i fenomeni erosivi conseguenti alla ridefinizione del fondo sono presenti opere di difesa semplicemente accatastando in modo disordinato blocchi di varie dimensioni.

L'accumulo detritico alla base del muro d'argine costituisce un elemento di forte criticità per il tratto di corso d'acqua e per le opere esistenti:

- i blocchi avendo dimensione ridotta possono essere facilmente mobilizzabili in occasione di una piena andando così ad incrementare il trasporto solido;
- l'accumulo disordinato occupa una buona parte della sezione trasversale dell'Oglio riducendo la sezione idraulica utile in occasione di eventi di piena;
- i massi accatastati in modo disordinato permettono alle acque del Fiume Oglio di infiltrarsi tra i blocchi raggiungendo la base del muro d'argine privo di fondazione: le acque erodono progressivamente la sponda asportando la frazione più fine dei terreni alla base del muro che non avendo più l'adeguato appoggio al piede si lesiona e si frattura perdendo la sua funzione di protezione delle aree retrostanti.

Lungo il muro d'argine sono presenti n. 6 aperture e/o accessi privati e diretti all'alveo dell'Oglio che favoriscono l'allagamento delle aree (deprese) retrostanti l'argine che dovranno essere chiuse dando continuità al muro d'argine.

Di seguito si riporta una sezione trasversale caratteristica del tratto di alveo compreso fra via, ricostruita attraverso un rilievo strumentale condotto nelle aree d'interesse.



Sponda sinistra



Sponda destra

La stessa tipologia di argine descritta precedentemente (muro con blocchi accatastati al piede) è stata realizzata in destra idrografica nel settore compreso fra il ponte comunale e la Valle del Fossato per poi lasciar posto ad una scogliera rinverdita realizzata con massi ciclopici intasati in terra.

La scogliera si allunga per circa 85-90 m raggiungendo la confluenza della Valle del Castello al margine sud-occidentale dell'abitato di Incudine.



Sponda destra



### 5.3 Tratto fra Valle del Catello e confluenza Valle Moriana

A SW della Valle del Castello la sponda destra dell'Oglio è naturale, impostata nelle alluvioni di fondovalle; la ridotta altezza delle sponde favorisce l'esondazione della piena in destra idrografica con l'inondazione delle aree prative a quote prossime all'alveo.



In sinistra idrografica dal ponte fino alla confluenza della Valle Moriana i muri d'argine proseguono con alternanza di argini in pietrame e cls e muri in pietrame a secco che non essendo raccordati fra loro ma semplicemente accostati sono soggetti a possibili "scollamenti" in occasione di eventi di piena.

Alla base dei muri d'argine, come per il tratto più a monte, le opere di difesa spondale sono rappresentate dall'accumulo disordinato di blocchi di varie dimensioni costituendo un elemento di forte criticità per il tratto di corso d'acqua come illustrato precedentemente.

La rotatoria della SS42 realizzata recentemente all'altezza della confluenza della Val Moriana, ha occupato l'intera sede stradale preesistente e le aree a NNW invadendo la porzione superiore della scarpata che insisteva sull'alveo del Fiume Oglio: la scarpata è stata ripristinata con la formazione di una scarpata stradale sostenuta alla base da un muro in cls rivestito in pietrame.

### 5.4 La Val Moriana e la sua confluenza in Oglio

A valle dell'abitato di Incudine, in sinistra idrografica confluisce in Oglio la Valle Moriana, una valle laterale che nel tempo ha formato un'ampia conoide alluvionale che si estende dal limite inferiore di Incudine in direzione SW, spostando il tracciato dell'Oglio verso la base del versante destro.

Un elemento che può incrementare la pericolosità idraulica del tratto di Fiume Oglio è rappresentata dalla confluenza della Valle Moriana in sinistra idrografica. In relazione alle caratteristiche morfologiche del bacino ed alle testimonianze storiche, l'impluvio Valle Moriana rappresenta un canale lungo il quale possono defluire colate detritico fangose che raggiungono i settori apicali e mediani della conoide. Seppur le colate detritiche tendano a fermarsi nei settori superiori una parte del materiale detritico preso in carico dalla corrente raggiunge periodicamente l'area di confluenza con il Fiume Oglio intasando l'alveo del corso d'acqua principale. Progressivamente il deflusso idrico dell'Oglio viene spinto verso N-NW, obbligato tra scarpata d'erosione naturale destra ed il materiale alluvionale della Valle Moriana. La strozzatura del Fiume Oglio, in occasione di eventi alluvionali, si ripercuote con rigurgiti nel settore di monte e possibile tracimazione delle acque dagli argini con allagamenti delle aree edificate in sinistra idrografica.

La Pericolosità idraulica della Val Moriana è da mettere in relazione alla possibilità che si verifichino fenomeni di esondazione e deposizione di colate detritico-fangose lungo le aree di conoide. L'assetto attuale dell'alveo consente di garantire il deflusso delle portate all'interno dell'alveo fino alla SS 42 dove la possibilità di esondazione potrebbe facilmente interessare la sede stradale e le aree a valle di essa. L'analisi della pericolosità è stata trattata all'interno del progetto *"Perimetrazione e zonazione della pericolosità e del rischio"*

da frana nei "siti a rischio" in adempimento alla legge 267/98", definendo le aree a rischio per possibili esondazioni nelle aree di conoide.



La presenza di opere di trattenuta (briglia) e di regimazione nel settore superiore della conoide consente di affermare come le porzioni distali della conoide possano essere raggiunte dalle sole acque di rilascio a seguito del deposito del materiale detritico.

Dall'esame della documentazione sopra citata, il valore della portata liquida è assunta pari a  $20.35 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Al fine di considerare il contributo del trasporto in sospensione per erosione della corrente sul materiale detritico deposto a monte della SS 42, a favore della sicurezza, è stato ritenuto opportuno incrementare la portata di piena raggiungendo un valore di  $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

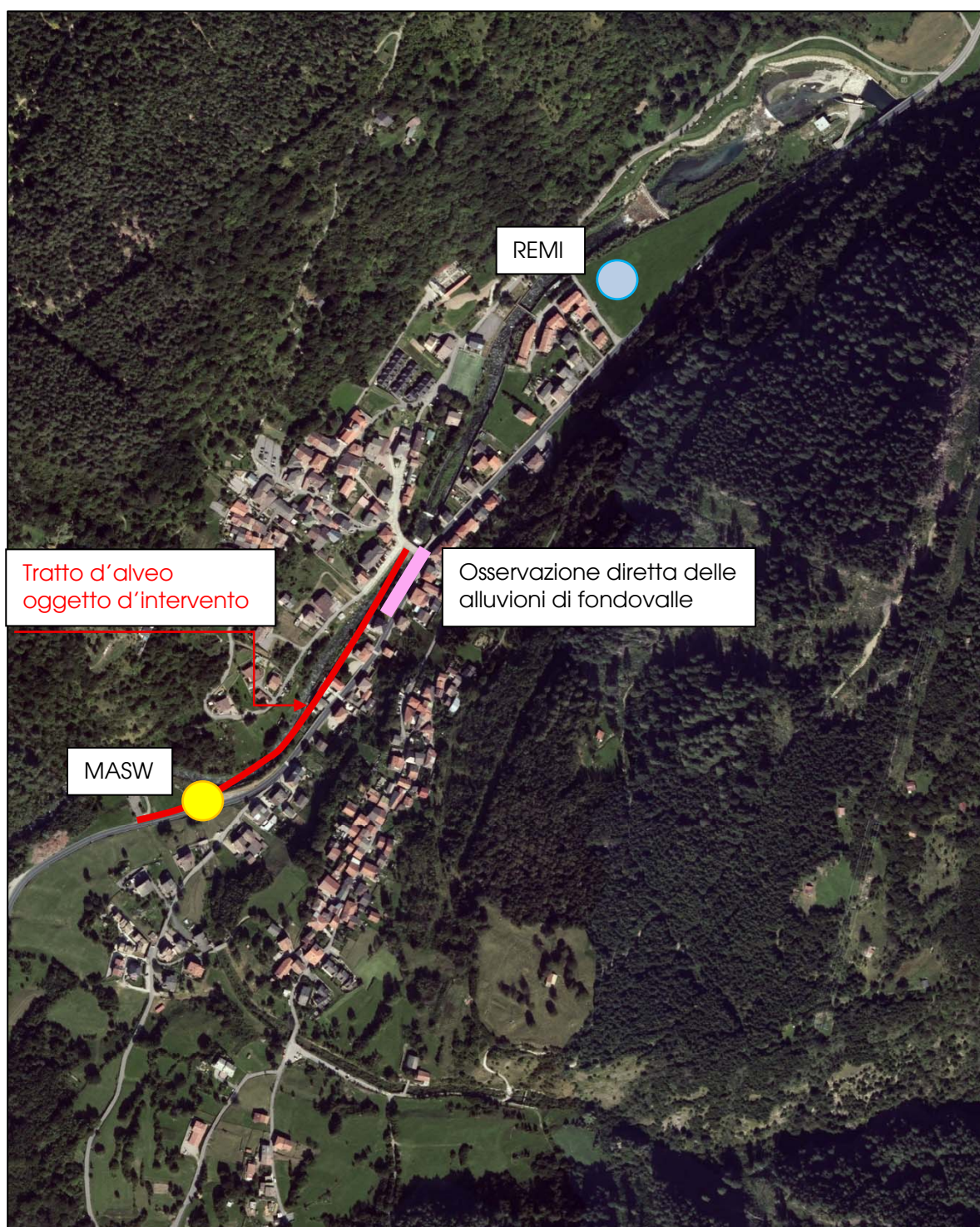
In occasione della realizzazione della rotatoria è stato previsto il rifacimento del tombotto di attraversamento della SS 42 del corso d'acqua adeguando la sezione idraulica agli eventi attesi per un TR di 200 anni e garantendo lo smaltimento della massima piena attesa che si riversa in Oglio depositando il materiale detritico con strozzatura e/o sbarramento dell'asta principale e conseguenti esondazioni a monte e in destra idrografica.



## 6 Indagini geognostiche

Valutato le dimensioni e l'importanza del progetto, la ricostruzione del quadro stratigrafico e la caratterizzazione geologico tecnica dei terreni d'imposta delle fondazioni delle nuove opere di difesa, è stata effettuata sulla base del ricostruito quadro morfologico del territorio ed il confronto con risultati di indagini geognostiche pregresse condotte in ambiti geomorfologicamente analoghi del territorio comunale.

In particolare, ci si è avvalsi dell'osservazione diretta dei terreni presenti in alveo e di indagini sismiche TIPO REMI o MASW realizzate in ambiti geologicamente rappresentativi. L'ubicazione delle indagini è riportata nella seguente immagine mentre i risultati sono illustrati nei paragrafi seguenti.





## 6.1 Depositi in alveo: aspetti granulometrici

Attenendosi al quadro geologico generale descritto nei paragrafi precedenti il tratto di Fiume Oglio all'altezza dell'abitato di Incudine si sviluppa interamente all'interno delle alluvioni di fondovalle caratterizzate da depositi grossolani.



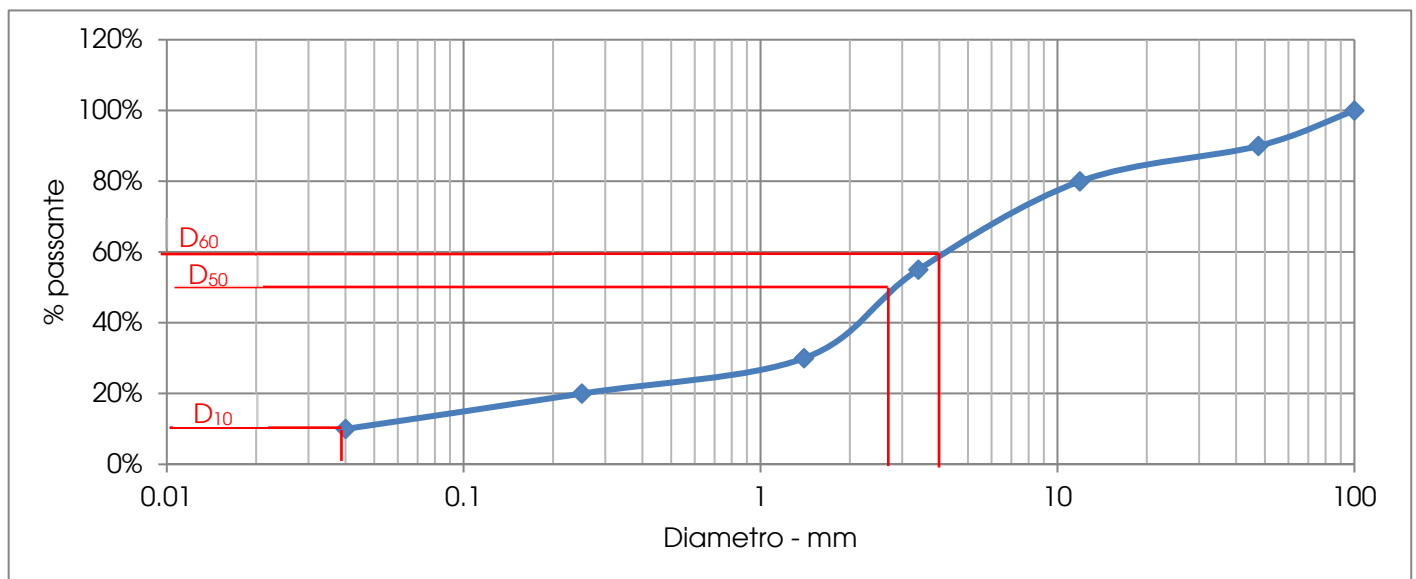
Le caratteristiche tessiturali e granulometriche dei depositi alluvionali sono state direttamente osservate sul fronte di scavo aperto alla base del muro d'argine in sinistra idrografica all'altezza del ponte di Incudine (911.4 m s.l.m.) in occasione degli interventi di regimazione idraulica del 2010.

I terreni sono rappresentati da blocchi e ciottoli prevalenti immersi in matrice sabbiosa. I clasti si presentano smussati, sub arrotondati. Il deposito è caotico, privo di tessitura interna e con grado di addensamento nullo.

La distribuzione granulometrica dei terreni è riportata nella seguente tabella:

In accordo alle percentuali sopra riportate nel diagramma seguente è illustrata la distribuzione granulometrica della sola matrice (escluso blocchi e ciottoli):

|                         | Blocchi | Ciottoli | Ghiaia |      | Sabbia |       |      | Limo |
|-------------------------|---------|----------|--------|------|--------|-------|------|------|
| D <sub>medio</sub> (mm) | 200     | 100      | 47.5   | 11.9 | 3.4    | 1.4   | 0.25 | 0.04 |
| %                       | 10      | 10       | Grossa | Fine | Grossa | Media | Fine | -    |
|                         |         |          | 10     | 25   | 25     | 10    | 10   |      |

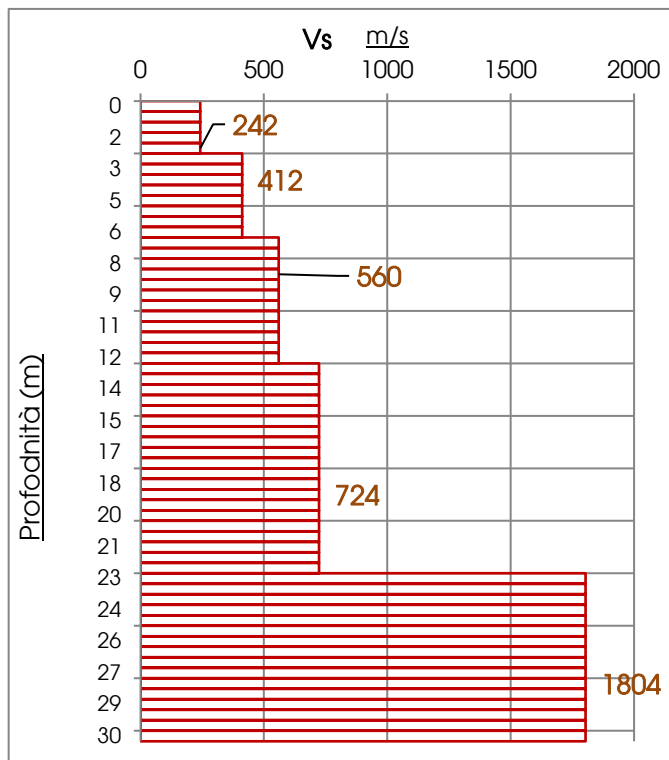


## 6.2 Indagini sismiche

Mediante l'indagine sismica a rifrazione viene diagrammato l'andamento delle onde di taglio ( $V_s$ ) secondo un rapporto profondità/velocità. In questo modo è possibile ricostruire un modello del terreno che, se opportunamente correlata, può essere tradotto in una successione stratigrafica e geologico tecnica. L'analisi del sottosuolo mediante le tecniche che utilizzano le onde di superficie consente di evidenziare, (dove presenti) al contrario di quanto avviene con la rifrazione le inversioni di velocità consentendo così di esacerbare situazioni anomale e delicate dal punto di vista prettamente geotecnico (strati più lenti al di sotto di strati più veloci e quindi ad elevata rigidità).

### 6.2.1 Indagine tipo Re.Mi.

Nell'ambito degli approfondimenti sismici condotti nello studio geologico a supporto del PGT di Incudine, nelle aree di fondovalle site al margine NE dell'abitato, è stata condotta un'indagine sismica TIPO REMI i cui risultati sono riportati nel seguente grafico, dove è rappresentata la distribuzione delle velocità di propagazione delle onde sismiche S ( $V_s$ ) nel sottosuolo.



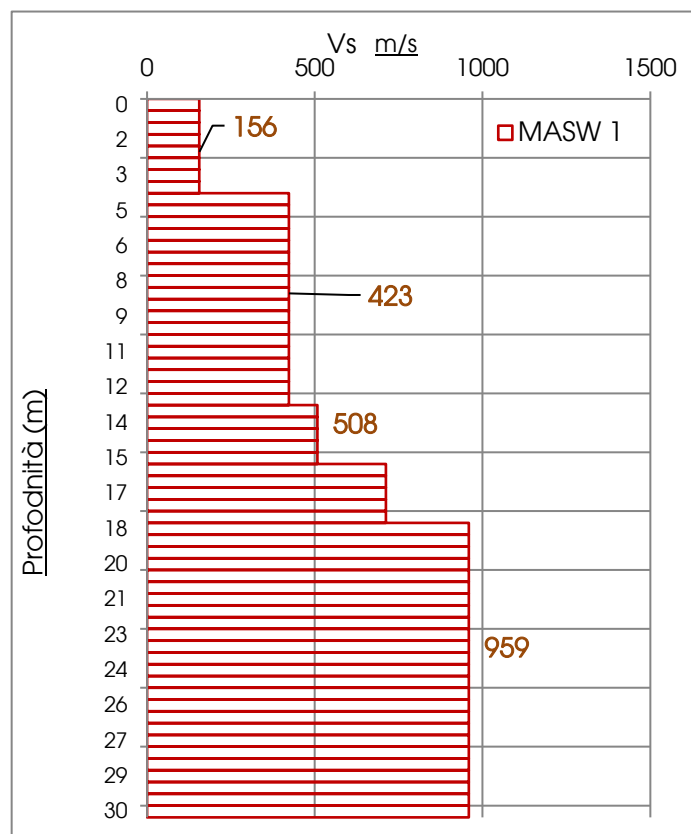
| Orizz. | Spessore | Profondità | $V_s$ |
|--------|----------|------------|-------|
|        | m        | m          | m/s   |
| A      | 2.0      | 2.0        | 242   |
| B      | 4.0      | 6.0        | 412   |
| C      | 6.0      | 12.0       | 560   |
| D      | 15.9     | 21.9       | 724   |
| E      | 8.1      | 30.0       | 1804  |

L'indagine ha permesso la ricostruzione della distribuzione delle velocità di propagazione delle onde  $V_s$  sulla verticale fino a 30 m di profondità: i risultati (rappresentati nel diagramma) evidenziano un generale progressivo incremento delle velocità con la profondità.

Il substrato sismico di riferimento ( $V_s > 800$  m/s) è stato riscontrato a circa 22 m di profondità.

## 6.2.2 Indagine tipo MASW

A suppoorto della realizzazione della rotatoria di Incudine, nelle aree di conoide della Valle Moriana comprese fra l'originario tracciato della SS 42 e la sponda sinistra del Fiume Oglio, a quota 905.0 m s.l.m., è stata condotta un'indagine Tipo MASW, i cui risultati sono riassunti nel grafico riportato di seguito, dove sulla verticale è visualizzata la distribuzione delle velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ).



| Orizz. | Spessore | Profondità | $V_s$ |
|--------|----------|------------|-------|
|        | m        | m          | m/s   |
| 1      | 3.6      | 3.6        | 156   |
| 2      | 9.1      | 12.7       | 423   |
| 3      | 2.5      | 15.2       | 508   |
| 4      | 2.3      | 17.5       | 712   |
| 5      | 12.5     | 30.0       | 959   |

L'indagine ha permesso la ricostruzione della distribuzione delle velocità di propagazione delle onde  $V_s$  sulla verticale fino a 30 m di profondità: i risultati (rappresentati nel diagramma) evidenziano un generale progressivo incremento delle velocità con la profondità.

Il substrato sismico di riferimento ( $V_s > 800$  m/s) è stato riscontrato a circa 17.5 m di profondità.

## 7 Interpretazione dei risultati

L'interpretazione e la correlazione dei risultati delle indagini geognostiche (rilievo geologico, osservazione diretta delle alluvioni e indagini sismiche) hanno permesso di ricostruire il quadro stratigrafico del settore e la caratterizzazione geotecnica degli orizzonti riconosciuti.

### 7.1 Quadro stratigrafico

Le aree in esame sono ubicate nel fondovalle occupato dalle alluvioni grossolane del Fiume Oglio all'interno delle quali si distingue un orizzonte superficiale creato con potenza dell'ordine di 2.0 m che ricopre il materasso alluvionale più addensato e caratterizzato da velocità Vs comprese fra 400 e 560 m/s. I depositi alluvionali appoggiano direttamente sull'orizzonte regolitico del substrato roccioso (Vs dell'ordine di 700 m/s) caratterizzato da micascisti da mediamente a molto fratturati.

| AREE DI FONDOVALLE |               |                                    |  |           |
|--------------------|---------------|------------------------------------|--|-----------|
| Orizzonte          | Spessore<br>m | Natura                             | Descrizione litologica                                   | Vs<br>m/s |
| A                  | 2.0           | Depositi alluvionali recenti       | Sabbia medio-grossolana con ghiaia e ciottoli            | 241       |
| B                  | 4.0           | Depositi del materasso alluvionale | Blocchi e ciottoli immersi in matrice sabbioso ghiaiosa  | 412       |
| C                  | 6.0           |                                    |  | 560       |
| D                  | 9.9           | Substrato roccioso                 | Paragneiss e micascisti da mediamente a molto fratturati | 724       |
| E                  | ---           |                                    | Paragneiss e micascisti poco fratturati                  | 1804      |

All'altezza della confluenza della Valle Moriana la stratigrafia risulta più complessa per gli apporti detritici legati all'evoluzione della valle laterale con depositi caratterizzati da terreni medio-grossolani con prevalenza di ciottoli e ghiaia immersi in sabbia limosa con potenza complessiva dell'ordine dei 10-14 m; il grado di addensamento dei depositi migliora con la profondità come dimostra il graduale aumento delle velocità sismiche registrate dalla MASW. Nel fondovalle i depositi di conoide possono essere interdigitali ed in parte sovrapposti alle alluvioni più antiche del Fiume Oglio (corrispondenti all'orizzonte 3 caratterizzato da Vs= 508 m/s.). L'indagine MASW è stata realizzata all'interno di un ampio piazzale sterrato compreso fra la sponda del Fiume Oglio e la SS 42 impostato su una colmata con materiale detritico sciolto che ha livellato la quota del piano campagna. Il rilevato che raggiunge potenza massima dell'ordine dei 4 - 4.5 m si estende fino a raggiungere la base del muro d'argine dell'Oglio.

| AREE DI CONOIDE |               |                     |  |           |
|-----------------|---------------|---------------------|--|-----------|
| Orizzonte       | Spessore<br>m | Natura              | Descrizione litologica                                   | Vs<br>m/s |
| 1               | 1.0-3.6       | Terreni di riporto  | Sabbia medio-grossolana con ghiaia e ciottoli            | 156       |
| 2               | 8-10          | Conoide alluvionale | Blocchi e ciottoli immersi in matrice sabbioso ghiaiosa  | 423       |
| 3               | 2-3           | Alluvioni antiche   |  | 508       |
| 4               | 2.3           | substrato           | Paragneiss e micascisti da mediamente a molto fratturati | 712       |
| 5               | ---           |                     | Paragneiss e Micascisti poco fratturati                  | 959       |



I terreni alluvionali sono sede di deflussi idrici alimentati direttamente dall'Oglio mentre non si escludono altri apporti idrici lungo le aree di conoide dei corsi d'acqua laterali.

## 7.2 Aspetti geotecnici

Per la caratterizzazione dell'orizzonte superficiale delle alluvioni (alluvioni attuali in alveo e recenti), osservate lungo il fronte di scavo all'altezza del ponte del municipio, si è fatto riferimento alla distribuzione granulometrica ricostruita della sola matrice dalla quale è possibile valutare l'angolo di attrito ed il peso di volume dei terreni.

Attraverso l'analisi dei valori delle Vs ottenuti dalle indagini sismiche consultate, attenendosi alle correlazioni disponibili in letteratura ritenute maggiormente significative per il contesto geologico e la tipologia di terreni, è stato possibile ricavare i parametri geotecnici dei diversi orizzonti detritici riconosciuti ed interessanti dalle attività in progetto. La caratterizzazione geotecnica attraverso i valori di Vs è stata condotta anche per le alluvioni recenti/attuali confrontando i valori ottenuti.

### 7.2.1 Caratterizzazione alluvioni attuale -recenti

Il comportamento meccanico dei terreni granulari non a supporto clastico come nel caso in esame, è legato al comportamento della matrice composta dai termini con diametro inferiore o uguale alla ghiaia.

Attenendosi alla curva granulometrica sopra riportata è possibile definire i diametri dei grani corrispondenti al 10, 50 e 60% di passante rispettivamente indicati come  $D_{10}$ ,  $D_{50}$  e  $D_{60}$ , che risultano pari a:

$$D_{10} = 0.03 \text{ mm}$$

$$D_{50} = 2.7 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 3.2 \text{ mm}$$

Dai quali è possibile definire il *coefficiente di uniformità* ( $C_u$ ) espresso come:

$$C_u = D_{60}/D_{10} = 106.1$$

E l'indice di composizione granulometrica (IGS):

$$IGS = D_{50}/C_u = 0.025.$$

L'angolo di attrito della matrice può essere valutato utilizzando l'equazione (Simonini – 2008).

$$\phi = 38 + 1.55 \log(IGS) = 38 - 2.5 = 35.5^\circ$$

Alla luce delle osservazioni dirette dei siti e delle incertezze introdotte nella valutazione della componente granulometrica, agli orizzonti superficiali della coltre alluvionale presente in sito è possibile assegnare un valore dell'angolo di attrito ( $\phi'$ ) compreso fra 34 e 36° ed un peso specifico ( $\gamma'$ ) pari a 19 kN/m<sup>3</sup>.

### 7.2.2 Caratterizzazione depositi del materasso alluvionale e depositi di conoide

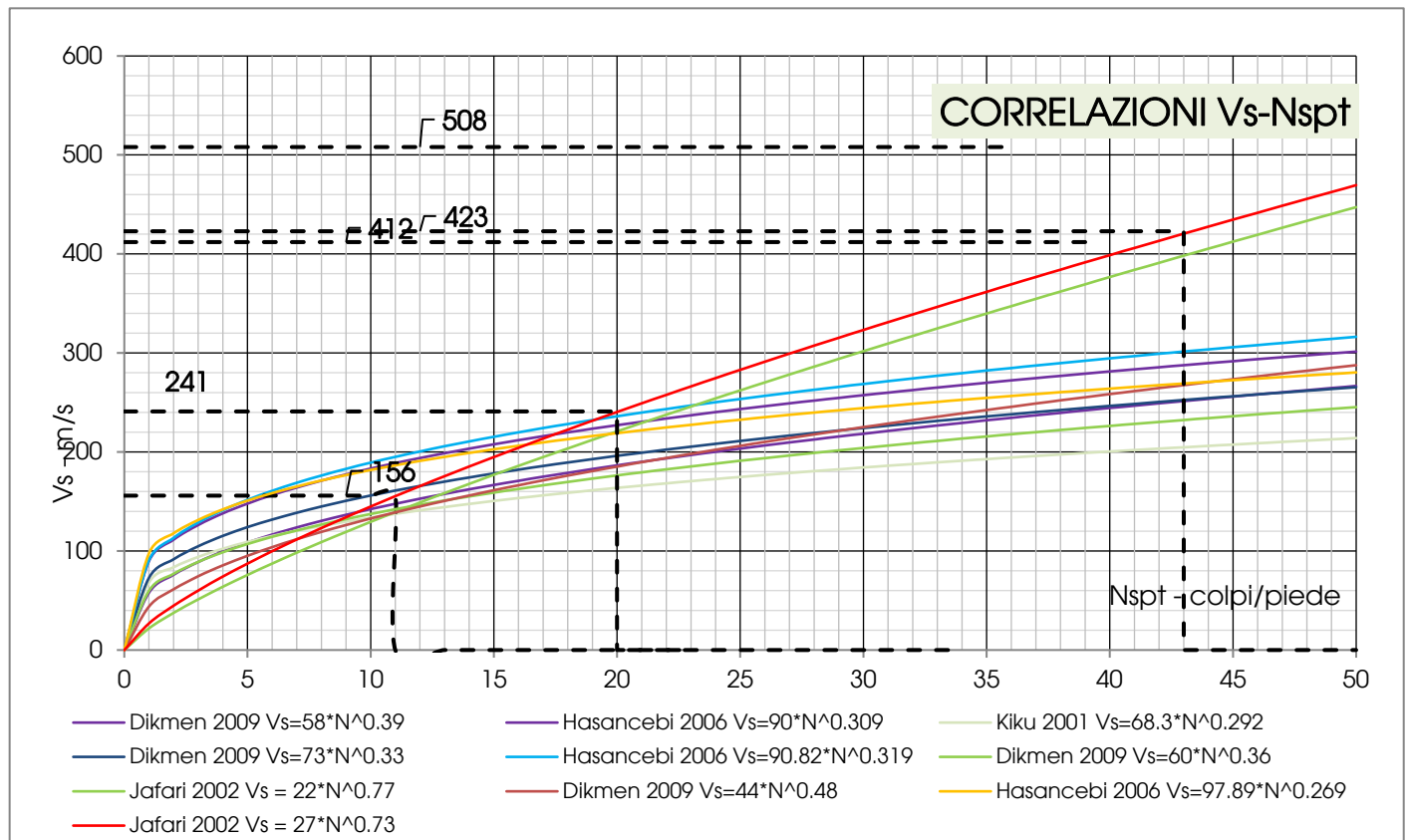
Per la caratterizzazione geotecnica degli orizzonti si è fatto riferimento ai valori della Vs ottenute dalle indagini sismiche a disposizione. La linea Re.Mi. realizzata a N-E di Incudine ha permesso la caratterizzazione delle alluvioni del fondovalle mentre la MASW, realizzata sul fianco destro della Valle Moriana, a ridosso della scarpa dell'Oglio, ha permesso la caratterizzazione della porzione più distale della conoide e delle alluvioni più antiche.

#### 7.2.2.1 Elaborazioni dati sismici

Nelle seguenti tabelle si riportano le correlazioni utilizzate per definire i parametri geotecnici e fisici mediante i valori delle velocità sismiche:

| n  | Correlazione   | Autore                        |
|----|--|-------------------------------|
| 1  | $\gamma = 4.3 \times V_s^{0.25} \text{ (1)}$   | Keceli 2012                   |
| 2  | $\gamma_{sat} = 8.32 \times LOG(V_s) - 1.18 \times LOG(z) - 0.53 \text{ (2)}$                              | Mayne 2001                    |
| 3  | $V_s = 90.82 \times N^{0.319} \text{ (3)}$   | Hasancebi 2006                |
| 4  | $V_s = 22 \times N^{0.77} \text{ (4)}$   | Jafari, 2002                  |
| 5  | $\varphi' = 27,1 + 0,3N_{1(60)} - 0,00054N_{1(60)}^{(5)}$  | Wolff (1989)                  |
| 6  | $\varphi' = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{12.2 + 20.3 \frac{\sigma'_v}{98.1}} \right)^{0.34} \text{ (6)}$ | Schmertmann (1975)            |
| 7  | $\varphi_{max} = 3.9 \times V_{s1}^{0.44} ; \varphi_{min} = 3.9 \times V_{s1}^{0.44} - 0.62 \text{ (7)}$   | Mayne (2014)                  |
| 8  | $D_r = 21 \times (N_{spt} / (0.7 + \sigma'_v / 98))^{0.5} \text{ (8)}$                                     | Meyerof (1957) <sup>(c)</sup> |
| 9  | $E = 2G_0(1+\nu) \text{ (9)}$  |                               |
| 10 | $G_0 = \gamma / g V_s^2 \text{ (10)}$  |                               |
| 11 | $\sigma_p^1 = 0.107 \times V_s^{1.47} \text{ (11)}$  | Mayne 1998                    |

Nel seguente grafico sono riportate le curve di correlazione  $V_s/N_{SPT}$  disponibili in letteratura: rimanendo a favore della sicurezza sono individuate come curve di riferimento quelle che delimitano l'insieme l'estremo superiore del grafico.



Dalle correlazioni sopra citate per i gli orizzonti sono stati ottenuti i seguenti valori di  $N_{SPT}$ :

| ORIZZONTI | DESCRIZIONE               | $V_s$<br>(m/s) | $N_{SPT}$ - da $V_s$<br>(colpi/piede) |
|-----------|---------------------------|----------------|---------------------------------------|
| A         | Alluvioni recenti/attuali | 241            | 20                                    |
| B         | Materasso alluvionale     | 412            | 42                                    |
| 2         | Deposti di conoide        | 423            | 43                                    |
| C/3       | Alluvioni antiche         | 508            | 50                                    |
| 1         | Rilevato non addensato    | 156            | 11                                    |

Per gli orizzonti caratterizzati da  $V_s$  superiori a 500 m/s le correlazioni perdono di significato.

Per le alluvioni antiche, caratterizzate da valori di  $V_s$  poco superiori a 500 m/s viene assegnato un valore di  $N_{SPT}$  pari a 50 colpi/piede.

#### 7.2.2.2 Elaborazione dei dati $N_{spt}$

I valori di  $N_{SPT}$  riportati nella precedente tabella rappresentano i valori grezzi ottenuti durante l'esecuzione della prova penetrometrica: il loro utilizzo ai fini geotecnici ne richiede l'elaborazione finalizzata alla normalizzazione del dato, intesa come standardizzazione dei valori considerando la presenza di falda e la profondità di prova.

#### 7.2.2.3 Correzione per falda

Per i terreni immersi in falda, i valori di  $N_{spt}$  superiori a 15 devono essere corretti secondo la seguente equazione:

$$N_{corr} = 15 + \frac{(N_{SPT} - 15)}{2}$$

#### 7.2.2.4 Normalizzazione

In accordo a quanto proposto da *Skempton* (1986), il processo di *normalizzazione* consente di uniformare i risultati ad un'energia di prova standardizzata al 60% ( $N_{60}$ ) ed è ottenibile moltiplicando il valore grezzo di  $N_{SPT}$  per una serie di fattori di correzione:

$$N_{60} = N_{SPT} \times C_E \times C_B \times C_S \times C_R$$

Nella seguente tabella sono riportati i significati dei fattori di correzione ed i valori assegnati in accordo alle tabelle riportate in *PROVE GEOTECNICHE IN SITU - Alberto Bruschi (2010)*:

|         | Descrizione della correzione | Valore adottato |
|---------|------------------------------|-----------------|
| $C_E =$ | Rapporto di energia          | 65%             |
| $C_B =$ | Diametro del foro            | 1.0             |
| $C_S =$ | Metodo di campionamento      | 1.0             |
| $C_R =$ | Lunghezza delle aste         | 3-4 m   0.75    |
|         |                              | 4-6 m   0.85    |
|         |                              | 6-10 m   0.95   |
|         |                              | >10 m   1.00    |

Il valore di  $N_{60}$  ottenuto è successivamente normalizzato in funzione della *pressione litostatica efficace* del punto di prova (stimata sulla base dei valori dei pesi specifici). La correzione è ottenuta moltiplicando il valore della singola prova per il fattore  $C_N$  espresso come segue:

$$C_N = \sqrt{\frac{98.1}{\sigma_v^1}}$$

Il valore di  $\sigma_v$  è valutato in maniera speditiva considerando la profondità di prova ed il peso di volume degli orizzonti riconosciuti -  $\gamma'$ , calcolato attenendosi alla relazione proposta da *Bruschi* (2005):

$$\gamma = 0.0011 \times N_{60}^3 - 0.0528 \times N_{60}^2 + 0.9464 \times N_{60} + 12.855$$

Il valore di  $N_{SPT}$  normalizzato risulta pertanto espresso dalla seguente relazione:

$$N_{1(60)} = C_N \times N_{60}$$

Considerando il quadro stratigrafico descritto i risultati ottenuti mediante la normalizzazione dei valori di  $N_{SPT}$  espressa dalle precedenti formule sono riportati nelle seguenti tabelle:

| DEPOSITI ALLUVIONALI |       |          |             |           |           |       |            | Bruschi          |       |       |          |       |             |
|----------------------|-------|----------|-------------|-----------|-----------|-------|------------|------------------|-------|-------|----------|-------|-------------|
|                      |       |          |             |           |           |       |            | N <sub>SPT</sub> |       |       |          |       |             |
| n                    | Quota | Spessore | Prof. media | $\gamma'$ | $D_R$ (%) | falda | $\sigma_v$ | N <sub>SPT</sub> | Corr. | $C_R$ | $N_{60}$ | $C_N$ | $N_{1(60)}$ |
|                      | m slm | m        | (m)         | (kN/m³)   | Mey. (57) |       | (kPa)      |                  | Falda |       |          |       |             |
|                      | 906   |          |             |           |           |       |            |                  |       |       |          |       |             |
| A                    | 904.0 | 2.00     | 1.0         | 17.5      | 100.2     |       | 17.5       | 20.0             | 17.5  | 0.75  | 13.1     | 1.50  | 19.7        |



|   |       |      |      |      |       |  |       |      |      |      |      |      |      |
|---|-------|------|------|------|-------|--|-------|------|------|------|------|------|------|
| B | 900.0 | 4.00 | 4.0  | 18.5 | 101.1 |  | 109.0 | 42.0 | 28.5 | 0.75 | 21.4 | 0.95 | 20.3 |
| C | 891.0 | 9.00 | 10.5 | 19.0 | 90.6  |  | 196.8 | 50.0 | 32.5 | 0.95 | 30.9 | 0.71 | 21.8 |

## DEPOSITI DI CONOIDE

| Bruschi |       |          |             |         |                    |       |                 | N <sub>SPT</sub> |       |                |                 |                |                    |
|---------|-------|----------|-------------|---------|--------------------|-------|-----------------|------------------|-------|----------------|-----------------|----------------|--------------------|
| n       | Quota | Spessore | Prof. media | γ'      | D <sub>R</sub> (%) | falda | σ' <sub>v</sub> | N <sub>SPT</sub> | Corr. | C <sub>R</sub> | N <sub>60</sub> | C <sub>N</sub> | N <sub>1(60)</sub> |
|         | m slm | m        | (m)         | (kN/m³) | Mey. (57)          |       | (kPa)           |                  | Falda |                |                 |                |                    |
|         | 905   |          |             |         |                    |       |                 |                  |       |                |                 |                |                    |
| 1       | 902.4 | 3.60     | 1.8         | 17.0    | 69.2               |       | 30.6            | 11.0             | 30.6  | 0.75           | 23.0            | 1.50           | 34.4               |
| 2       | 894.9 | 9.10     | 8.2         | 18.5    | 81.4               |       | 212.0           | 43.0             | 29.0  | 0.95           | 27.6            | 0.68           | 18.7               |

|      |   |
|------|---|
| 3.0  | N <sub>SPT</sub> da Prove penetrometriche           |
| 3.0  | N <sub>SPT</sub> da correlazione Vs penetrometriche |
| 18.5 | da BRUSCHI, 2005                                    |
| 16.5 | Stimato   |
| 1.50 | C <sub>N</sub> non può essere superiore a 1.5       |

$$g = 0.0011 \cdot N_{60}^3 - 0.0528 \cdot N_{60}^2 + 0.9464 \cdot N_{60} + 12.855$$

### 7.2.2.5 Correlazioni SPT

Nei seguenti paragrafi, sono descritte le metodologie utilizzate per la correlazione dei dati N<sub>SPT</sub> con i parametri geotecnici (angolo di attrito - φ'; coesione - c; coesione efficace - c<sub>u</sub>) degli orizzonti individuati.

I valori di angolo d'attrito efficace (φ') sono stati valutati con le seguenti relazioni:

#### 1. Schmertmann (1975)

La correlazione proposta da Schmertmann si esprime come:

$$\varphi' = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{12.2 + 20.3 \frac{\sigma'_v}{98.1}} \right)^{0.34} \quad \text{dove:}$$

φ' = angolo d'attrito efficace (°)  
N<sub>60</sub> = valore di N<sub>SPT</sub> corretto per un'efficienza del 60% (-) σ'<sub>v</sub> = sforzo efficace (kPa)

#### 2. Hatanaka & Uchida (1996)

La correlazione proposta da Hatanaka & Uchida si esprime come:

$$\varphi' = 20 + \sqrt{15.4 \cdot N_{1(60)}} \quad \text{dove}$$

φ' = angolo d'attrito efficace (°)  
N<sub>1(60)</sub> = valore di N<sub>60</sub> normalizzato per la pressione litostatica (-)

#### 3. Wolff (1989)

La correlazione proposta da Wolff si esprime come:

$$\varphi' = 27,1 + 0,3N_{1(60)} - 0,00054N_{1(60)}$$

I risultati dell'elaborazione dati sono riportati nelle seguenti tabelle.

| DEPOSITI ALLUVIONALI |       |             |         |                    |          |            |            |          |            |              |      |
|----------------------|-------|-------------|---------|--------------------|----------|------------|------------|----------|------------|--------------|------|
|                      | Quota | Prof. media | γ'      | D <sub>R</sub> (%) | φ'       | φ'         | φ'         | φ' medio | Percentile | dev standard | φ'k  |
|                      | m slm | (m)         | (kN/m³) | Mey. (57)          | SCH (75) | H. U. (96) | Wolff (89) | MEDIA    | 5%         |              |      |
| A                    | 904.0 | 1.0         | 17.5    | 126.9              | 43.2     | 37.4       | 32.8       | 37.8     | 33.3       | 5.2          | 29.2 |
| B                    | 900.0 | 4.0         | 18.5    | 125.4              | 40.3     | 37.7       | 33.0       | 37.0     | 33.4       | 3.7          | 30.9 |
| C                    | 891.0 | 10.5        | 19.5    | 125.5              | 39.8     | 38.4       | 33.4       | 37.2     | 33.9       | 3.4          | 31.6 |

| DEPOSITI DI CONOIDE |       |             |         |                    |          |            |            |          |            |              |      |
|---------------------|-------|-------------|---------|--------------------|----------|------------|------------|----------|------------|--------------|------|
|                     | Quota | Prof. media | γ'      | D <sub>R</sub> (%) | φ'       | φ'         | φ'         | φ' medio | Percentile | dev standard | φ'k  |
|                     | m slm | (m)         | (kN/m³) | Mey. (57)          | SCH (75) | H. U. (96) | Wolff (89) | MEDIA    | 5%         |              |      |
| 1                   | 902.4 | 1.8         | 17.0    | 131.7              | 47.1     | 43.0       | 36.8       | 42.3     | 37.4       | 5.2          | 33.8 |
| 2                   | 894.9 | 8.2         | 18.5    | 123.8              | 38.1     | 37.0       | 32.5       | 35.9     | 33.0       | 3.0          | 31.0 |

Per valori caratteristici dei parametri di resistenza al taglio del terreno s'intendono quei valori associati alla probabilità di non superamento pari a 5% (frattile 5%) e sono calcolati mediante le seguenti espressioni:

$\phi'_k = \phi'_m (1 + X_{V_\phi})$  valore caratteristico dell'angolo di attrito interno

$c'_k = c'_m (1 + X_{V_c})$  valore caratteristico della coesione

In cui:  $\phi'_m$  e  $c'_m$  valori medi statistici

$V_\phi$  e  $V_c$  coefficienti di variazione, definiti come rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori. Nella progettazione geotecnica, in coerenza con gli Eurocodici, la scelta dei valori dei parametri deriva da una stima cautelativa, effettuata dal progettista, del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato. Come riportato nella seguente tabella, la scelta dei VALORI DI PROGETTO dei parametri geotecnici è funzione del VOLUME DI TERRENO COINVOLTO e delle CARATTERISTICHE DI RIGIDEZZA DELLA STRUTTURA:

| VOLUME DI TERRENO<br>SIGNIFICATIVO                                      | STRUTTURA      | PARAMETRI GEOTECNICI |  |
|---|----------------|----------------------|--|
| ELEVATO<br>(ad es. frana, fondazioni<br>superficiali)                   | RIGIDA         | VALORI MEDI          | - Media statistica<br>- Media spaziale<br>- Media probabilistica |
| MODESTI<br>(ad. es. terreno di base di un palo,<br>scorrimento di muri) | BASSA RIGIDITÀ | VALORI MINIMI        |  |

### 7.2.3 Categoria di sottosuolo

In accordo con i contenuti delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018 e del paragrafo C 3.2.2 de "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008", valutata la tipologia di intervento in progetto e le condizioni geologiche dei siti, la definizione della categoria di sottosuolo sismico è stata effettuata in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$  - m/s) definita dalla seguente espressione:

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

dove:

$h_i$  spessore in metri dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nel sottosuolo;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio;

N numero strati nell'ambito;

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

Sulla base del profilo sismico ottenuto dalle indagini sismiche la categoria di suolo risulta essere la seguente:

| $V_{s,eq}$<br>(m/s) | CATEGORIA DI<br>SUOLO | DEPOSITI ALLUVIONALI DI FONDOVALLE - ReMi   |
|---------------------|-----------------------|---|
| 517                 | <b>B</b>              | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,eq}</math> compresi fra 360-800 m/s.</i> |

| $V_{s,eq}$<br>(m/s) | CATEGORIA DI<br>SUOLO | DEPOSITI DI CONOIDE ALLUVIONALE VALLE MORIANA - MASW   |
|---------------------|-----------------------|--|
| 332                 | <b>E</b>              | <i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibile a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i> |

Attualmente l'orizzonte 1 rappresentato da terreno di riporto non costipato e presente al momento delle realizzazione della MASW è stato sostituito con il rilevato stradale della rotatoria opportunamente rullato e costipato: è possibile per tanto considerare il sito rientrando nella categoria di suolo di fondazione B caratterizzato da valori di  $V_s$  minimi poco superiori (360 m/s) rispetto a quella calcolate (332 m/s).

#### 7.2.4 Aspetti idrogeologici


All'interno degli orizzonti superficiali sono presenti deflussi idrici direttamente legati al Fiume Oglio con soggiacenza regolata dalla quota idrica del corso d'acqua oltre ad apporti laterali lungo le conoidi alluvionali. In concomitanza dei eventi meteorici importanti la falda può innalzarsi saturando i terreni.



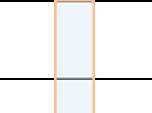
## 8 Il modello geologico tecnico

Attenendosi ai risultati delle indagini geognostiche consultate è stato possibile ricostruire il quadro stratigrafico delle aree illustrato di seguito e distinguendo due settori:

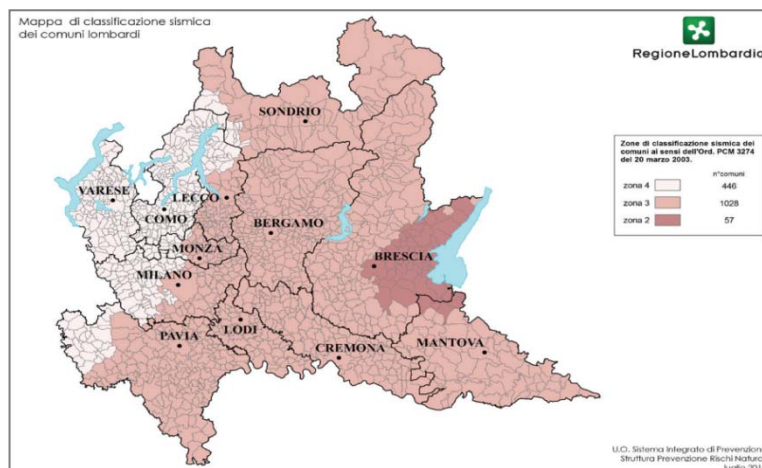
- tratto superiore compreso fra il ponte del Municipio ed il limite inferiore dell'abitato in sinistra idrografica impostato all'interno delle alluvioni di fondovalle; il tratto comprende anche la sponda destra idrografica fino a quota 901 m s.l.m. oltrepassando la confluenza della Valle Moriana.

| Orizz. | Spess.<br>(m) | Descrizione   | Vs<br>(m/s) | Peso di<br>volume<br>$\gamma$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | Angolo<br>d'attrito<br>$\phi'$<br>° | Coesione<br>c<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | Falda<br>(m<br>da<br>p.c.) | Fondazioni<br>(prof.<br>media da<br>p.c.)   |
|--------|---------------|---|-------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|---|
| A      | 2             | Sabbia medio grossolana con ghiaia e ciottoli   | 241         | 17.5  | 30-34                               | 0.0                                   | -2.0                       |  |
| B      | 4             | Blocchi e ciottoli immersi in matrice sabbioso ghiaiosa.  | 412         | 18.5  | 30.9                                | 0.0                                   |                            | -2.0  |
| C      | 6             | Blocchi e ciottoli immersi in matrice sabbioso ghiaiosa. L'orizzonte mostra un buon grado di addensamento | 508         | 19.5  | 31.6                                | 0.0                                   |                            |   |
| D      | 3-10          | Paragneiss e micascisti con medio-alto grado di fratturazione (regolite)                                  | 712-724     |   |                                     |                                       |                            |   |

- tratto di sponda sinistra dell'Oglio compreso all'interno della conoide della Valle Moriana che si estende dal limite inferiore dell'abitato in direzione SW.

| Orizz. | Spess.<br>(m) | Descrizione   | Vs<br>(m/s) | Peso di<br>volume<br>$\gamma$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | Angolo<br>d'attrito<br>$\phi'$<br>° | Coesione<br>c<br>(kN/m <sup>2</sup> ) | Falda<br>(m<br>da<br>p.c.) | Fondazioni<br>(prof.<br>media da<br>p.c.)   |
|--------|---------------|---|-------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|---|
| 1      | 3-4           | Rilevato stradale   | 241         | 17.0  | 33.8                                | 0.0                                   | -2.0                       |  |
| 2      | 8-10          | Blocchi e ciottoli immersi in matrice sabbioso ghiaiosa.  | 423         | 18.5  | 31.0                                | 0.0                                   |                            |   |
| 3      | 2-3           | Blocchi e ciottoli immersi in matrice sabbioso ghiaiosa. L'orizzonte mostra un buon grado di addensamento | 508         | 19.5  | 31.6                                | 0.0                                   |                            | -4 -7   |
| 4      | 3-10          | Paragneiss e micascisti con medio-alto grado di fratturazione (regolite)                                  | 720         |   |                                     |                                       |                            |   |

## 9 Aspetti di pericolosità sismica (ai sensi del D.M. 14/01/2008)



Come indicato nella D.g.r. 28 dicembre 2023 - n. XII/1717 - Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) di cui alla D.g.r. 11 luglio 2014 n. X/2129, il Comune di Incudine ricade in ZONA SISMICA 3 con accelerazione massima su substrato rigido ( $a_{gmax}$ ) - con probabilità di superamento pari a 10% in 50 anni pari - a  $0,068927 \text{ m/s}^2$ .

Di seguito vengono riportati gli elementi di pericolosità sismica di sito e di progetto, in accordo con la normativa di riferimento.

### 9.1 La pericolosità sismica di base

Le opere da realizzare rientrano nella CLASSE II della classificazione d'uso delle costruzioni proposta dalla normativa, alla quale corrisponde un COEFFICIENTE D'USO ( $C_U$ ) pari 1.0.

#### CLASSE D'USO II

Opere infrastrutturali

A tali tipologie di costruzione, in accordo con la tab. 2.4.I della Normativa di riferimento, è possibile attribuire un valore della VITA NOMINALE di  $V_N = 50$  (anni). Il periodo di riferimento per l'azione sismica ( $P_{VR}$ ) si ricava moltiplicando il valore della vita nominale ( $V_N$ ) per il coefficiente d'uso ( $C_U$ ), per cui:

| CLASSE D'USO | COEFFICIENTE D'USO ( $C_U$ ) | VITA NOMINALE ( $V_N$ ) | PERIODO DI RIFERIMENTO DELL'AZIONE SISMICA ( $P_{VR}$ ) |
|--------------|------------------------------|-------------------------|---|
| Classe II    | 1.0                          | 50 anni                 | 50 anni   |

La pericolosità sismica di base viene espressa mediante i seguenti parametri:

$a_g$  - accelerazione sismica massima di sito;

$F_0$  - valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  - periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale.

Per ogni sito, in funzione del periodo di riferimento ( $P_{VR}$ ), i valori di tali parametri sono riportati nella normativa ed espressi nei termini di probabilità di accadimento a cui viene fatto corrispondere un determinato Stato Limite.

#### Parametri sismici su sito di riferimento

| S.L.<br>Stato limite       | TR<br>Tempo ritorno<br>(anni) | $a_g$<br>( $\text{m/s}^2$ ) | $F_0$<br>(-) | $T_c^*$<br>(sec) |
|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|------------------|
| Operatività (SLO)          | 30                            | 0.025                       | 2.579        | 0.180            |
| Danno (SLD)                | 50                            | 0.031                       | 2.603        | 0.199            |
| Salvaguardia vita (SLV)    | 475                           | 0.062                       | 2.724        | 0.290            |
| Prevenzione collasso (SLC) | 975                           | 0.075                       | 2.774        | 0.305            |

## 9.2 Risposta sismica locale

Per la valutazione della risposta sismica locale (RSL) è stata condotta un'analisi sismica di II° livello avvalendosi dei risultati delle indagini condotte.

### 9.2.1 Condizioni topografiche

In accordo con i contenuti della Tab. 3.2.IV delle NTC18, come desunto dalla Carta Tecnica Comunale alla scala 1:2.000, la configurazione geometrica del territorio in esame può essere ricondotta alla **Categoria T1**, per la quale vale la seguente definizione ed il rispettivo valore massimo del coefficiente di amplificazione ( $S_r$ ):

| Cat. | Caratteristiche della superficie topografica   | $S_r$ |
|------|--|-------|
| T1   | pendii con inclinazione media $i < 15^\circ$ . | 1.0   |

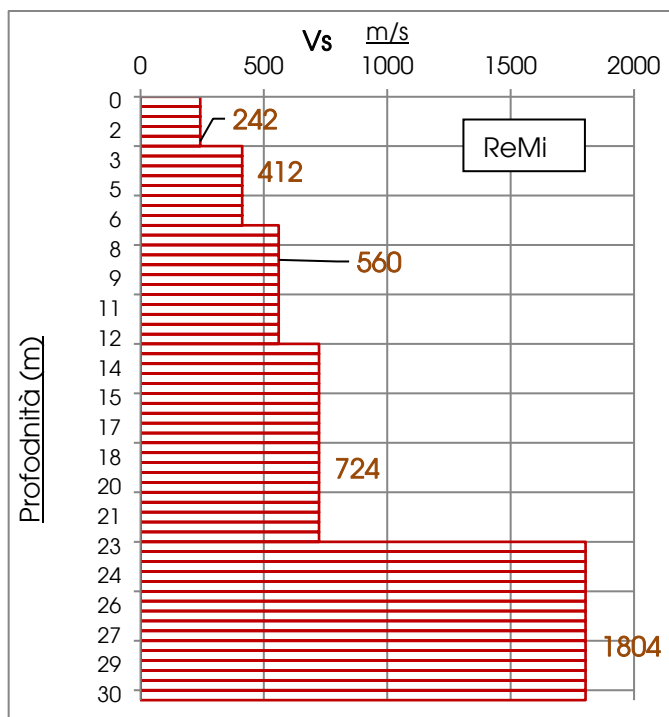
### 9.2.2 Categoria di sottosuolo

In accordo con i contenuti delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018 e del paragrafo C 3.2.2 de "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008", valutata la tipologia di intervento in progetto e le condizioni geologiche dei siti, la definizione della categoria di sottosuolo sismico è stata effettuata in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ( $V_{s,eq}$  m/s) definita dalla seguente espressione:

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

Dove:

- $h_i$  spessore in metri dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nel sottosuolo;
- $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio;
- N numero strati nell'ambito;
- H profondità del substrato, definito come la formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.



Attenendosi alla distribuzione nel sottosuolo delle  $V_s$  illustrata precedentemente (riassunti nel diagramma a margine relativo al Re.Mi.) e della quota del piano di fondazione dei muri d'argine (ipotizzata a partire da -2.0 m da p.c.) il valore di  $V_{s,eq}$  calcolato risulta pari a 583.6 m/s che consente di attribuire alle aree in esame un suolo sismico B.

| $V_{s,eq}$<br>(m/s)   | CATEGORIA DI SUOLO |
|---|--------------------|
| 583.6   | <b>B</b>           |
| Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi fra 360-800 m/s. |                    |



La stessa tipologia di suolo di fondazione viene considerata anche per le opere che verranno realizzate lungo l'area di conoide della Valle Moriana, considerando come le opere di fondazione dei muri d'argine non vengano impostate all'interno del rilevato stradale ma direttamente nei depositi di conoide; escludendo completamente i 3.6 m di materiale di riporto la  $V_{seq}$  risulta pari a 468.6 m/s rientrando nella categoria di suolo B.

## 9.3 Amplificazione litologica

Nella D.G.R. n. 2616/2011, per ogni comune viene indicato il valore di soglia del fattore di amplificazione locale, inteso come il valore oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa (a parità di suolo sismico e periodo di oscillazione) risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito. Al fine di valutare l'idoneità del fattore di amplificazione proposto per la modellazione sismica, la normativa prevede il confronto dei valori regionali dei fattori di amplificazione ( $F_a$ ) con il valore di  $F_a$  locale calcolato sulla base del quadro stratigrafico.

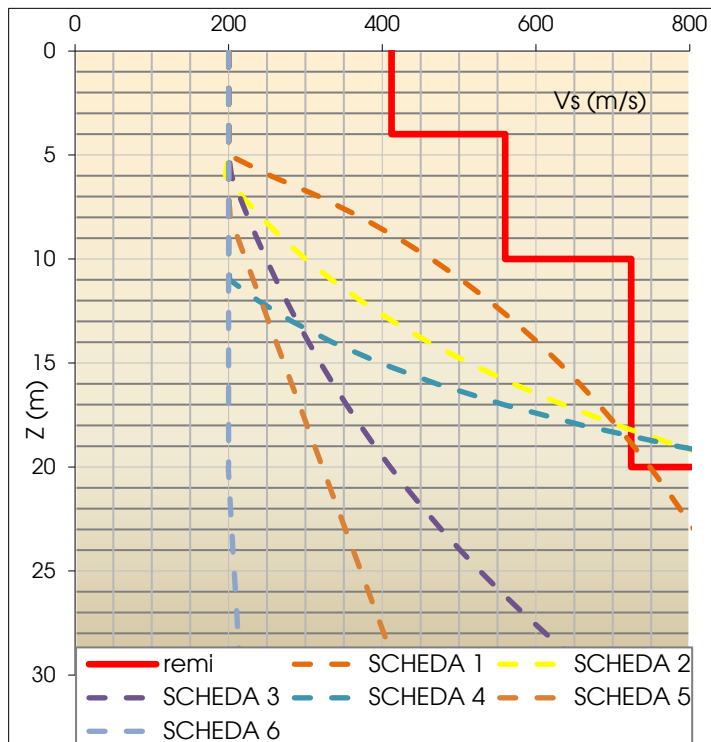
### 9.3.1.1 Il fattore di amplificazione di soglia definito da Regione Lombardia

Per il comune di Incudine, i valori soglia per periodi di oscillazione compreso fra 0,1 e 0,5 s (rappresentativo di fabbricati bassi, regolari e piuttosto rigidi, aventi altezza indicativamente inferiore a 5 piani), i valori di soglia per ogni tipologia di suolo sismico sono:

| Periodo di oscillazione (s)   | 0,1 - 0,5 |     |     |     |
|-------------------------------|-----------|-----|-----|-----|
| Categoria suolo di fondazione | B         | C   | D   | E   |
| <b>Fa - Valori Soglia</b>     | 1.4       | 1.8 | 2.2 | 1.9 |

### 9.3.1.2 Calcolo di $F_a$ locale

Per il calcolo del Fattore di amplificazione  $F_a$  locale per effetti litologici è stata adottata la procedura proposta da Regione Lombardia che prevede le seguenti fasi:



#### FASE 1 - Scelta della scheda di riferimento.

In funzione della granulometria prevalente del sito e del gradiente di velocità  $V_s$  con la profondità la normativa riporta n. 6 schede di riferimento. Come riportato nei paragrafi precedenti, la stratigrafia del sottosuolo dell'ambito in esame è costituita prevalentemente da sabbia ghiaiosa alternata a orizzonti di limo sabbiosi con ghiaia: la scelta della scheda di valutazione si è basata sul confronto fra il profilo di velocità delle onde S ed i profili delle  $V_s$  delle schede disponibili nell'ambito della normativa. Nel caso in esame, il modello geologico tecnico ed il profilo  $V_s/Z$  si adatta alla "SCHEDA n. 3 LIMOSO-ARGILLOSA TIPO 2" valida per terreni da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbiosi-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi a sabbie con limi debolmente argillosi.

#### FASE 2 - Determinazione del periodo proprio del sito (T)

Il valore di T (periodo proprio del sito espresso in secondi) è calcolato considerando il piano di posa e la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore delle velocità  $V_s$  è uguale o superiore a 800 m/s (nel caso in

esame, sulla base delle Vs con la profondità, è stata considerata pari a 30 m dal piano di fondazione) ed utilizzando la seguente relazione:

$$T(s) = \frac{4 \times \sum_{i=1,N} h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1,N} h_i \times V_{Si}}{\sum_{i=1,N} h_i} \right)} = 0.28 \text{ s}$$

Dove:

$h_i$  = spessore (m) dello strato i-esimo;

$V_{Si}$  = velocità (m/s) delle onde di taglio dello strato i-esimo;

N = numero strati.

### FASE 3 - Calcolo del valore di Fa

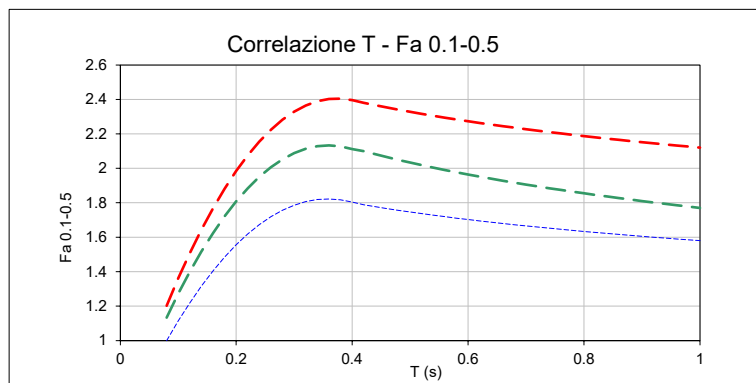


Attenendosi allo spessore degli orizzonti superficiali rappresentato nel diagramma Vs-Z(m), viene individuata la curva di correlazione T-Fa rappresentativa fra le tre proposte ed illustrate nel seguente grafico per il periodo compreso fra 0,1 e 0,5 s. Considerando l'orizzonte superficiale con spessore pari a 4,0 m e velocità medie superiori 250 m/s si ritiene idoneo adottare come riferimento la curva n. 3 (blu) da cui:

$T = 0.20 \text{ s}$

$Fa' = 1.56$

(1) Confronto con il valore di Fa di soglia



Il valore di Fa calcolato risulta superiore ai valori di soglia definiti per la categoria di suolo B (1.4 s) per il comune di Incudine. Per il dimensionamento sismico della struttura, la normativa di riferimento è insufficiente a considerare i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.

Si sceglie per tanto di declassare la categoria di suolo di fondazione da B a C.

### 9.3.2 Amplificazione stratigrafica

Per tale categoria C di sottosuolo, gli effetti di amplificazione stratigrafica indotti sono definiti dai rispettivi coefficienti  $S_s$  e  $C_c$  riportati nella tabella seguente.

| Categoria di sottosuolo | $S_s$   | $C_c$                  |
|-------------------------|---|------------------------|
| C                       | $1.00 \leq 1.70 - 0.60 \times F_0(a_g/g) \leq 1.50$ | $1.05 (T_c^*)^{-0.33}$ |

Per tale categoria di sottosuolo, nel sito in esame, gli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica indotti sono definiti dai rispettivi coefficienti riportati nella tabella seguente.

|                   | Suolo C                           |       |       |       |                           |       |        |       |
|-------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|--------|-------|
|                   | Stabilità dei Pendii e fondazioni |       |       |       | Muri di sostegno NCT 2018 |       |        |       |
|                   | SLO                               | SLD   | SLV   | SLC   | SLO                       | SLD   | SLV    | SLC   |
| $S_s$             | 1.50                              | 1.50  | 1.50  | 1.50  | 1.50                      | 1.50  | 1.50   | 1.50  |
| $C_c$             | 1.85                              | 1.79  | 1.58  | 1.55  | 1.85                      | 1.79  | 1.58   | 1.55  |
| $St$              | 1.00                              | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00                      | 1.00  | 1.00   | 1.00  |
| $kh$              | 0.007                             | 0.009 | 0.018 | 0.022 | 0.000                     | 0.022 | 0.035  | 0.000 |
| $kv$              | 0.004                             | 0.005 | 0.009 | 0.011 | ---                       | 0.011 | 0.018  | ---   |
| $A_{max} (m/s^2)$ | 0.366                             | 0.451 | 0.905 | 1.100 | 0.366                     | 0.451 | 0.905  | 1.100 |
| Beta              | 0.200                             | 0.200 | 0.200 | 0.200 | ---                       | 0.470 | 0.0308 | ---   |

### 9.3.3 Fenomeni di liquefazione

In accordo ai contenuti punto 7.11.3.4.2 delle NTC 2018, valutato come:

- a. le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g (0.98 m/s<sup>2</sup>)

la verifica a liquefazione può essere omessa.



## 10 Conclusioni

Per il tratto di corso a valle del ponte del municipio di Incudine, la pericolosità idraulica delle aree esterne all'alveo è da imputare a:

1. attraversamento stradale (ponte del municipio) a sezione ristretta: il superamento della criticità è oggetto di progettazione in corso;
2. sezioni d'alveo non idonee a supportare il deflusso delle portate di piena per gli aspetti geometrici:
  - a) larghezza;
  - b) altezze degli argini;
  - c) pendenze del fondo;
3. scabrosità del fondo alveo;
4. presenza di massi accatastati alla base dei muri d'argine di dimensione non idonea a resistere alla forza di trascinamento delle correnti;
5. presenza di aperture nell'argine in sinistra idraulica: il superamento della criticità è contemplato nel progetto MITIGAZIONE DEL RISCHIO ALLUVIONALE TRATTO SUPERIORE FIUME OGlio - LOTTO 3 redatto nel 2023 da Ing. F. Bongiovanni e ing. C. Catana per conto dell'Unione dei Comuni dell'Alta Valle Camonica.

Valutato il quadro morfologico e le condizioni di pericolosità evidenziate per il tratto di fondovalle e l'asta del Fiume Oglio, per la mitigazione dei rischi connessi agli aspetti idraulici in Comune di Incudine, si ritiene opportuno:

- lungo il tratto di Fiume Oglio a valle del ponte del Municipio, dovranno essere previsti interventi atti alla mitigazione del rischio compatibilmente con l'assetto morfologico ed urbanistico consolidato dei siti, preso atto delle opere di regimazione realizzate lungo il Fiume Oglio nel tratto a monte dell'abitato (vasche di sedimentazione). In questa sede si ritiene opportuno rimandare alla progettazione delle opere le valutazioni in merito all'efficacia delle stesse ed ad interventi di pulizia periodica l'efficienza nel tempo.
- L'intervento di adeguamento della sezione idraulica può essere realizzato mediante la realizzazione di un **selciato di fondo** a superficie liscia e la **rimozione dei blocchi presenti n alveo alla base dei muri d'argine** con contemporanea realizzazione di una **scogliera cementata a consolidamento/sottofondazione degli argini esistenti**.



- Le aperture presenti lungo la sponda sinistra, che facilitano infiltrazioni di acque e ristagno a tergo degli argini, dovranno essere chiuse definitivamente con la realizzazione di argini continui (vedasi progetto in corso).

- Gli argini esistenti e realizzati in tempi successivi dovranno essere raccordati e legati fra loro in modo adeguato per evitare infiltrazioni di acqua a tergo che porterebbero ad erosioni laterali oltre che alla base degli argini stessi.
- Realizzazione di un muro d'argine lungo il tratto di sponda compresa fra le confluenze della Valle del Fossato e Valle del Castello dove attualmente la sponda è in erosione attiva.
- Realizzazione di opere di contenimento nel tratto più a valle sia in destra che in sinistra idrografica lungo le aree di conide alluvionale della Valle Moriana.
- Pulizia con asportazione del materiale detritico legato al trasporto in massa lungo la Valle Moriana.

Al fine di limitare gli effetti di rigurgito legata all'ostruzione della sezione idraulica del Fiume Oglio all'altezza della confluenza della Val Moriana, si consiglia inoltre l'ampliamento in destra idrografica della sezione libera dell'alveo. Si ricorda comunque che l'area di divagazione della Valle Moriana, essendo soggetta ad un progressivo riempimento, dovrà essere periodicamente svuotata e ripristinata.

Nel paragrafo 8 è illustrato il quadro geologico, geologico tecnico ed idrogeologico desunto dalle attività d'indagine, sulla base dei quali dovranno essere dimensionati gli interventi previsti.

Nel paragrafo 9 sono riportati gli elementi di pericolosità sismica del settore ottenuti dall'analisi sismica di primo livello. Il suolo sismico di riferimento è la CATEGORIA B.

Alla luce dei risultati delle indagini condotte, la realizzazione dell'intervento dovrà attenersi alle seguenti indicazioni:

- le opere di fondazione delle nuove opere sono impostate nei depositi alluvionali, costituiti da ghiaia e ciottoli immersi in sabbie limo argillose con blocchi che possono raggiungere volume considerevole;
- non si esclude che, durante l'apertura degli scavi, possano verificarsi indesiderati fuori forma per la presenza di blocchi: si consiglia di procedere con l'approfondimento degli scavi ed il progressivo sostegno in avanzamento;
- i fronti di scavo previsti raggiungono altezze elevate ed i risultati delle indagini condotte non escludono la necessità di eseguire opere di contenimento di possibili scivolamenti o eventuali sagomature dei fronti stessi;
- le opere di sostegno dovranno essere definite e dimensionate considerando attentamente le condizioni di stabilità globale durante le fasi di avanzamento degli scavi;
- a monte dei fronti di scavo, non dovranno essere posizionati mezzi meccanici o materiali pesanti per evitare scivolamenti dei terreni;
- i fronti dovranno essere coperti e riparati dagli agenti atmosferici mediante l'utilizzo di opportuni teli;
- a tergo delle opere murarie contro terra dovranno essere realizzati opportuni sistemi per la raccolta e drenaggio delle acque sia superficiali che sotterranee;

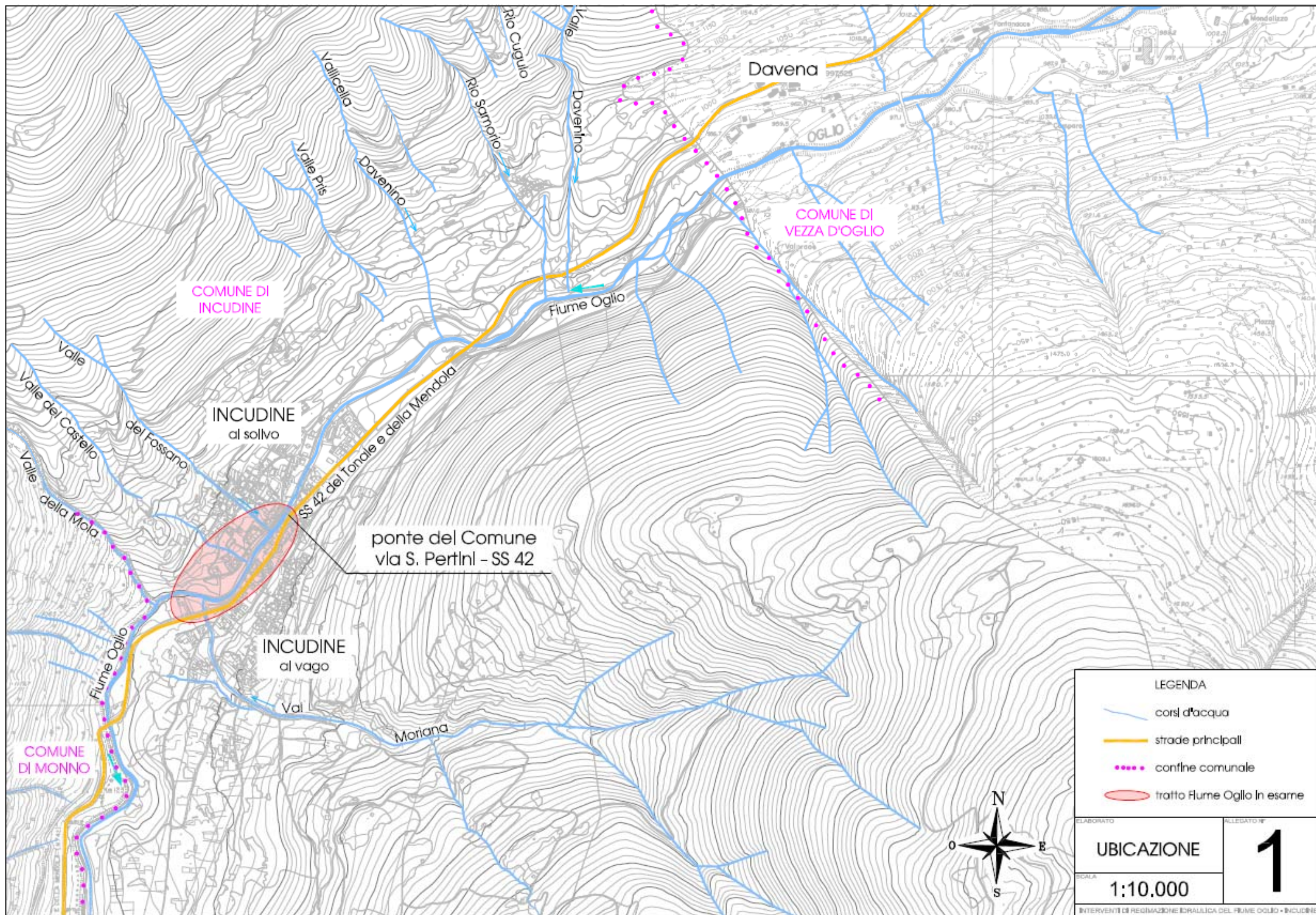
Valutata le modalità d'indagine adottate e le possibili criticità geologiche legate alla realizzazione dell'intervento nelle fasi di scavo si consiglia il sopralluogo del geologo per la verifica e/o conferma dei parametri geologico tecnici dei terreni.

Dott. geol. Gilberto Zaina

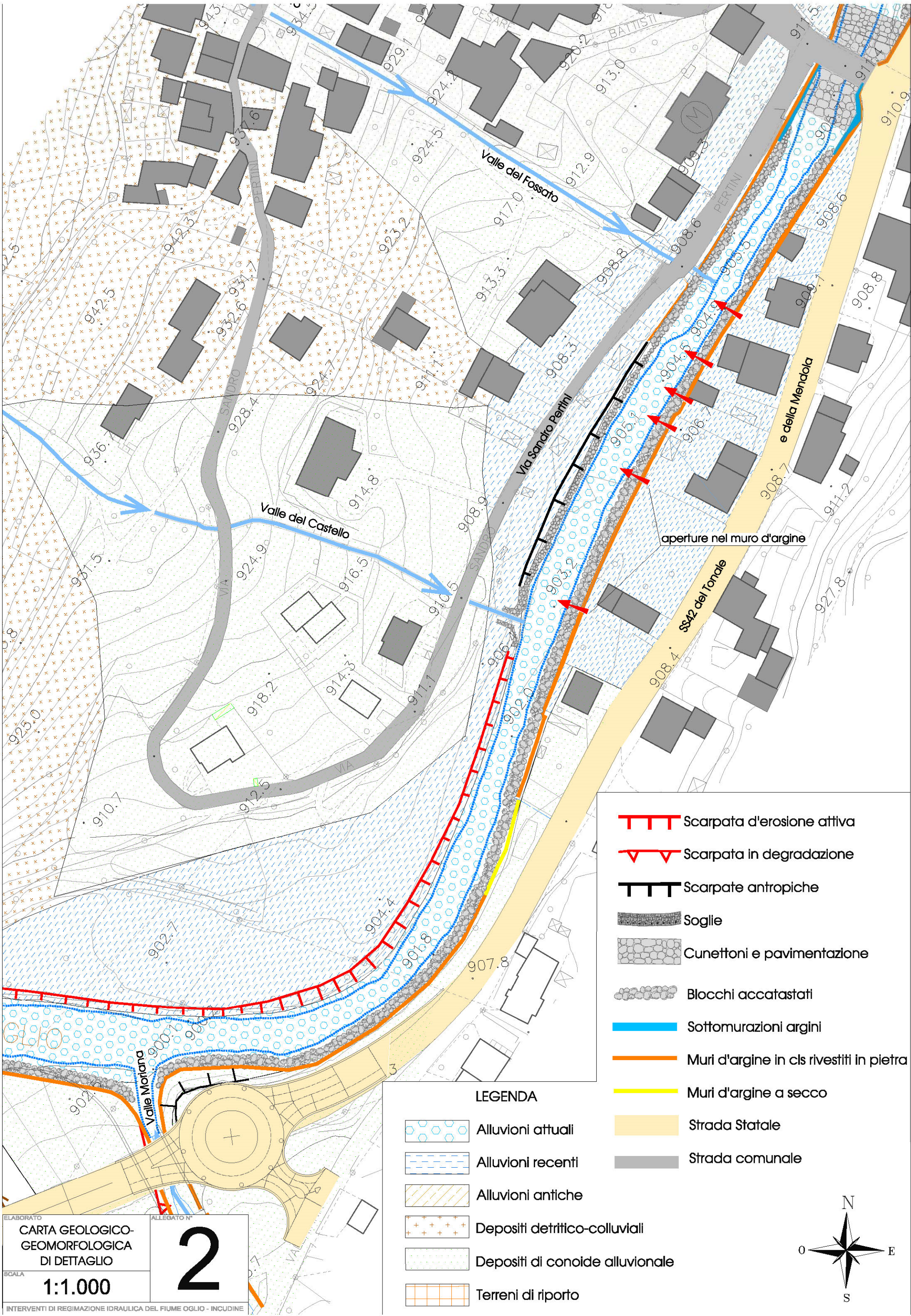
*(documento firmato digitalmente)*

Malonno (Brescia), dicembre 2025









- Scarpata d'erosione attiva
- Scarpata in degradazione
- Scarpate antropiche
- Soglie
- Cunettoni e pavimentazione
- Blocchi accatastati
- Sottomurazioni argini
- Muri d'argine in cls rivestiti in pietra
- Muri d'argine a secco
- Strada Statale
- Strada comunale

- LEGENDA
- Alluvioni attuali
  - Alluvioni recenti
  - Alluvioni antiche
  - Depositi detritico-colluviali
  - Depositi di conoide alluvionale
  - Terreni di riporto

