

# autostrade // per l'italia

AUTOSTRADA A23: UDINE - TARVISIO

## LAVORI DI RIPRISTINO DEL PONTE SUL RIO GLAGNÒ Progressiva km. 67+212

(Opera 23.09.0199.0.1e2)

CUP: - CIG: - Codice progetto 0 5 1 9

## PROGETTO ESECUTIVO LOTTO 2

Codice elaborato

PE R 17

Scala

Emissione

Data 14.08.2022

Redatto StN

Controllato A.N.

Approvato A.N.

Titolo elaborato

Relazione geologica-geotecnica

Nome file

Cartiglio relazioni LOTTO 2.dwg

Firme

PROGETTISTA

dott. ing. Alberto Novarin

CONSULENTI SPECIALISTICI

dott. geol. David Pomarè Montin

dott.ssa geol. Cristina Gerdol



COMMITTENTE:

Autostrade per l'Italia SpA

Documento sottoscritto digitalmente

Stampa conforme all'elaborato firmato digitalmente

Rev.	Data	Redatto	Controllato	Approvato	Oggetto revisione
01					
02					
03					
04					
05					



Studio Novarin s.a.s.

via Daniele Manin, 10 - 33100 Udine - ☎ 0432 421013 - ✉ studio@novarin.net

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO DELLO STUDIO NOVARIN. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PUNITO A NORMA DI LEGGE.  
THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF STUDIO NOVARIN. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW.

**AUTOSTRADA A/23  
PALMANOVA - UDINE -TARVISIO - PK 67+212  
INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE SUL RIO  
GLAGNO'  
PROGETTO ESECUTIVO**

PROVINCIA DI UDINE

COMUNE DI MOGGIO UDINESE



Elaborato da

DOTT. GEOL. DAVID POMARÈ MONTIN  
DAVID.POMARE@IGS-GEO.COM  
+39 3409644172



DOTT.SSA GEOL. CRISTINA GERDOL  
CRISTINA.GERDOL@IGS-GEO.COM  
+39 3462102234



REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
RO	25/09/2020	EMISSIONE	MB-FB-MN	DP	DP

**COMMITTENTE**

AUTOSTRADE PER L'ITALIA SPA

**PROGETTISTA**

STUDIO NOVARIN S.A.S.  
DOTT. ING. ALBERTO NOVARIN

## SOMMARIO

1. PREMESSA.....	2
2. MODELLO GEOLOGICO.....	3
2.1 RIFERIMENTI GEOGRAFICI E VINCOLI.....	3
2.2 CENNI GEOMORFOLOGICI E CONDIZIONI DI STABILITÀ.....	9
2.3 DINAMICHE FLUVIALI.....	9
2.4 ASPETTI LITOLOGICI.....	11
2.5 IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA.....	13
3. INDAGINI.....	13
3.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO.....	14
3.2 PROVE SPT.....	15
3.3 PROVE DI PERMEABILITÀ LEFRANC.....	15
3.4 INDAGINE SIMSICA MASW.....	16
3.5 INDAGINI SISMICHE PASSIVE HVSR.....	16
3.6 TOMOGRAFIA ELETTRICA.....	18
4. PROGETTAZIONE SISMICA.....	19
5. ASPETTI GEOLOGICO-TECNICI PRELIMINARI.....	22
5.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DI MASSIMA.....	22
6. ASPETTI GEOTECNICI APPLICATIVI.....	23
6.1 LA TECNICA DEL JET-GROUTING.....	23
6.2 INDICAZIONI ALLA LUCE DELLE ANALISI CONDOTTE.....	23
7. CONCLUSIONI.....	24

ALLEGATI				
° Z	1	INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO	SCALA	1:5 000
	2	CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA		1:1000
	3	PROFILO GEOLOGICO-GEOTECNICO E SEZIONI GEOLOGICHE-GEOTECNICHE		1:300 - 1:200
	4	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA		-

## I. PREMESSA

La presente relazione, richiesta da Autostrade per l'Italia S.p.A, costituisce parte integrante del progetto esecutivo per la messa in sicurezza idraulica del viadotto dell'autostrada A23 collocato alla confluenza del rio Glagnò nel Fiume Fella (sponda destra) in prossimità dell'area di servizio di Campiolo, in corrispondenza della progressiva km 67+200 della A23, nel comune di Moggio Udinese. In particolare, le opere in progetto consistono nella realizzazione di n.5 pennelli a ridosso della scogliera esistente lungo la sponda destra del Fella e di operazioni di jet grouting a consolidamento dei terreni di fondazione delle pile del viadotto della A23.

Scopo del presente elaborato è quello di approfondire gli aspetti geologici, geomorfologici, idrologici, nonché di definire un modello geologico-tecnico e sismico fondamentale ai fini progettuali.

A seguito di un attento studio "a tavolino", nell'area interessata dai lavori in oggetto e nei suoi intorno è stato effettuato un rilievo geologico di dettaglio, compresa l'individuazione degli elementi morfologici ed idrogeologici.

Per la definizione del modello geologico, dei parametri geotecnici e sismici, si è fatto riferimento alla campagna di indagini condotta nell'ambito dello stesso progetto da parte di Technosoil, su incarico di Autostrade per l'Italia S.p.A. La campagna comprende:

- **n.3 sondaggi a carotaggio continuo** spinti fino alla profondità di 20.0 m dal p.c (S1 e S2) e fino a 15.0 m dal p.c. (S3);
- **prove in foro di tipo SPT** (*Standard Penetration Test*) effettuate durante la perforazione dei sondaggi mediante campionatore Raymond;
- **prove di permeabilità di tipo Lefranc**, all'interno dei fori di sondaggio;
- **n.1 analisi multicanale delle onde di superficie (MASW)** con stendimento da 48.0 m e distanza di 2.0 m, doppio scoppio esterno allo stendimento, per la valutazione del profilo verticale delle velocità delle onde di taglio (calcolo  $V_{Seq}$ );
- **n.3 indagini sismiche passive HVSR** per la valutazione delle caratteristiche dinamiche del sito dal punto di vista sismico (calcolo frequenza di risonanza del sito);
- **n.1 tomografia elettrica di resistività (ERT)**, tramite uno stendimento di 48 elettrodi spazati 3 m, per un totale di 141 m, al fine di evidenziare variazioni i valori di resistività entro una sezione esplorativa con profondità massima di 40 m circa dal piano campagna.

Come indicato NTC 18, si ritiene che il modello del sottosuolo verrà confermato e perfezionato seguendo il principio "osservazionale" in fase esecutiva.

La principale normativa di riferimento è la seguente:

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», pubblicato in Supplemento Ordinario alla "Gazzetta Ufficiale" n. 42 del 20 febbraio 2018 - Serie generale).
- Ministero Delle Infrastrutture e Dei Trasporti - Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 (GU Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5).
- Circ. Reg. 05.04.2000 n.9 "Indirizzi in materia di prescrizioni tecniche da osservare per la realizzazione di opere pubbliche e private".
- O.P.C.M 20 marzo 2003, n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".
- Circ. Min. LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".



- Eurocodice 8 (1998).
- DL 18 aprile 2016, n. 50. Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture.
- D.Lgs. n.56/2017 "Disposizioni integrative e correttive al D.Lgs. n.50/2016";
- D.P.R. 510/2010 n. 207. Regolamento di esecuzione ed attuazione del D.L. 12/4/2006 n. 163 recante "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE".

## 2. MODELLO GEOLOGICO

### 2.1 Riferimenti geografici e vincoli

L'area in esame si colloca a sud dell'abitato di Campiolo, in comune di Moggio Udinese (UD), lungo il greto fluviale del Fiume Fella, in destra idrografica, in prossimità della confluenza con il Rio Glagnò. Con riferimento alla viabilità A23 (Palmanova-Udine-Tarvisio), l'area di intervento si colloca all'altezza della progressiva km 67+200, a valle dell'area di servizio di Campiolo.

Di seguito vengono riportate le coordinate medie dell'area di intervento e si rimanda all'**Allegato 1** per l'inquadramento topografico in scala 1:5 000.

#### Riferimenti geografici del sito:

quota	coordinate	latitudine	longitudine
282 m s.l.m.	Geografiche (ED 50)	46.397964°	13.167159°
	Geografiche (WGS 84)	46.397089°	13.166176°



**Figura 1.** Inquadramento geografico dell'area di studio (ortofoto 2012).

L'area di intervento risulta esterna alle perimetrazioni del PAI<sup>1</sup> (Fig.2-3), per le pericolosità geologica e valanghiva, nonché alle zone di attenzione di cui all'art. 5 delle NT dello stesso Piano. Nella cartografia del "Progetto IFFI<sup>2</sup>", infine, l'area non risulta soggetta a frane di alcun tipo.

Va però ravvisata la presenza, nel versante opposto in sinistra idrografica, di diverse aree classificate nelle tavole PAI come a "pericolosità geologica molto elevata – P4" e "pericolosità geologica elevata – P3" (Fig. 2), e riprese dal PTCP e dalla cartografia del "Progetto IFFI<sup>3</sup>" con ugual perimetro.

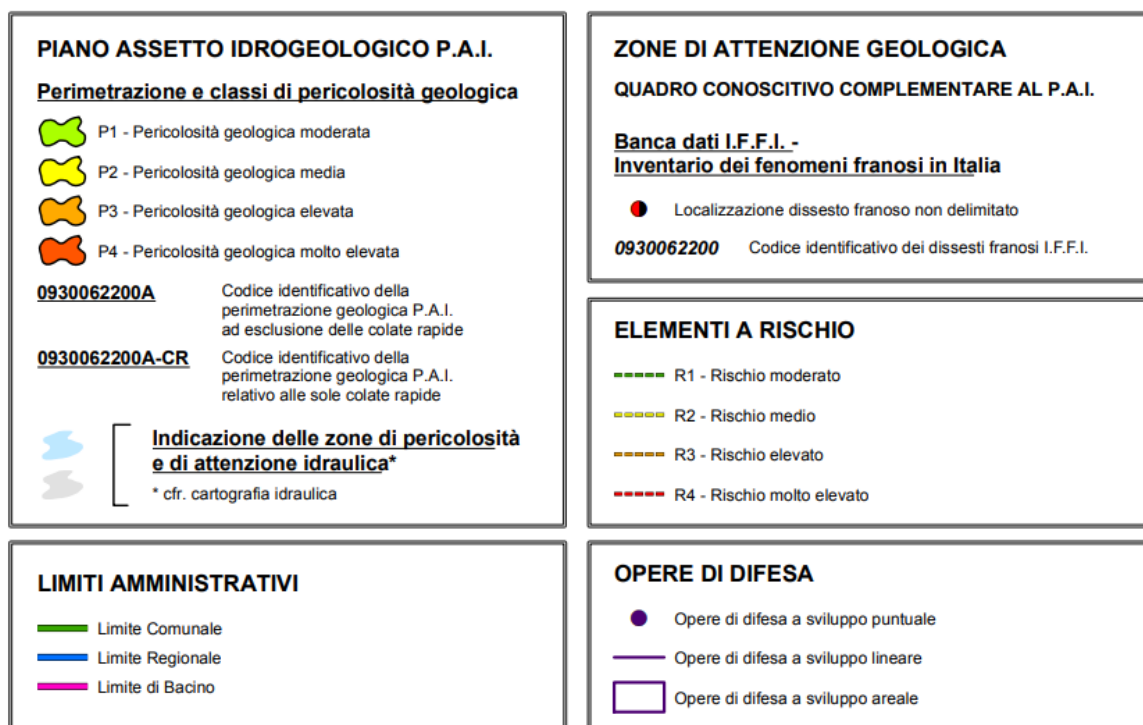
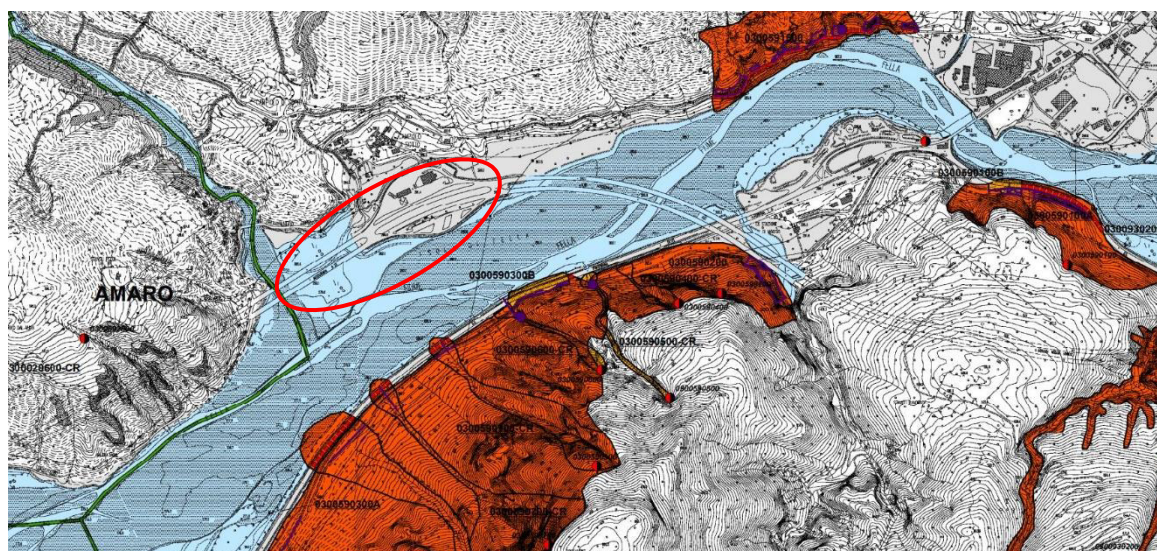


Figura 2. Estratto fuori scala della Carta della pericolosità geologica – Comune di Moggio Udinese – Tavola 8 di 8.

<sup>1</sup> Progetto di Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del Fella.

<sup>2</sup> Progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

<sup>3</sup> Progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.



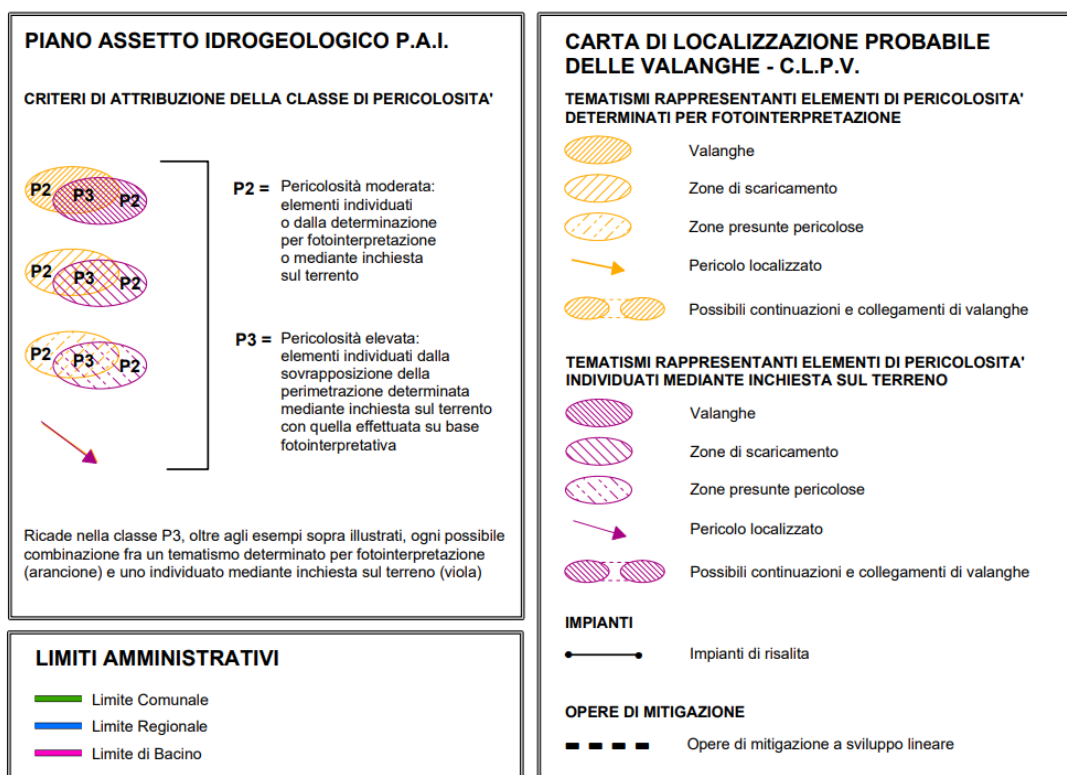
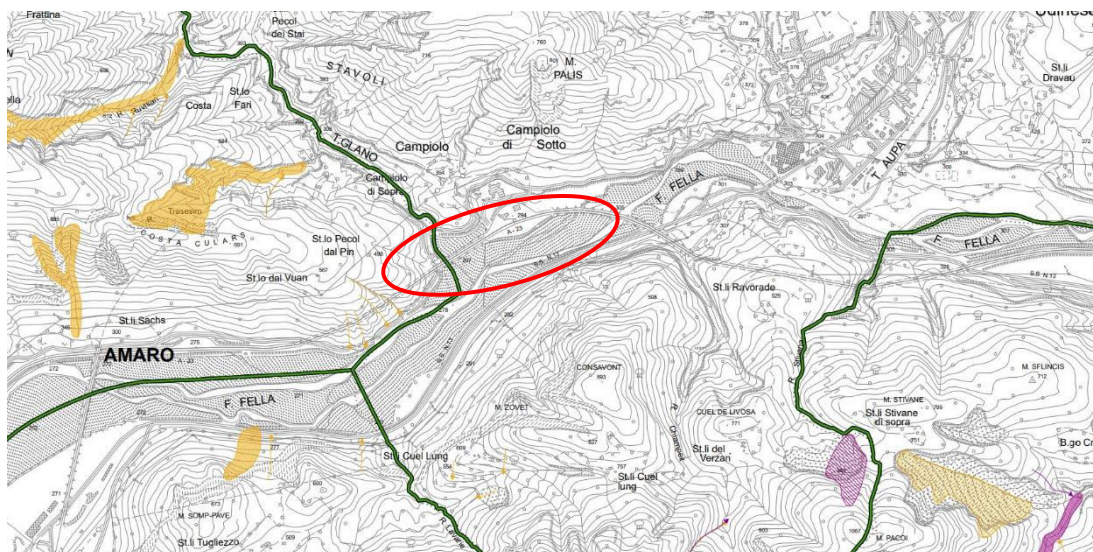
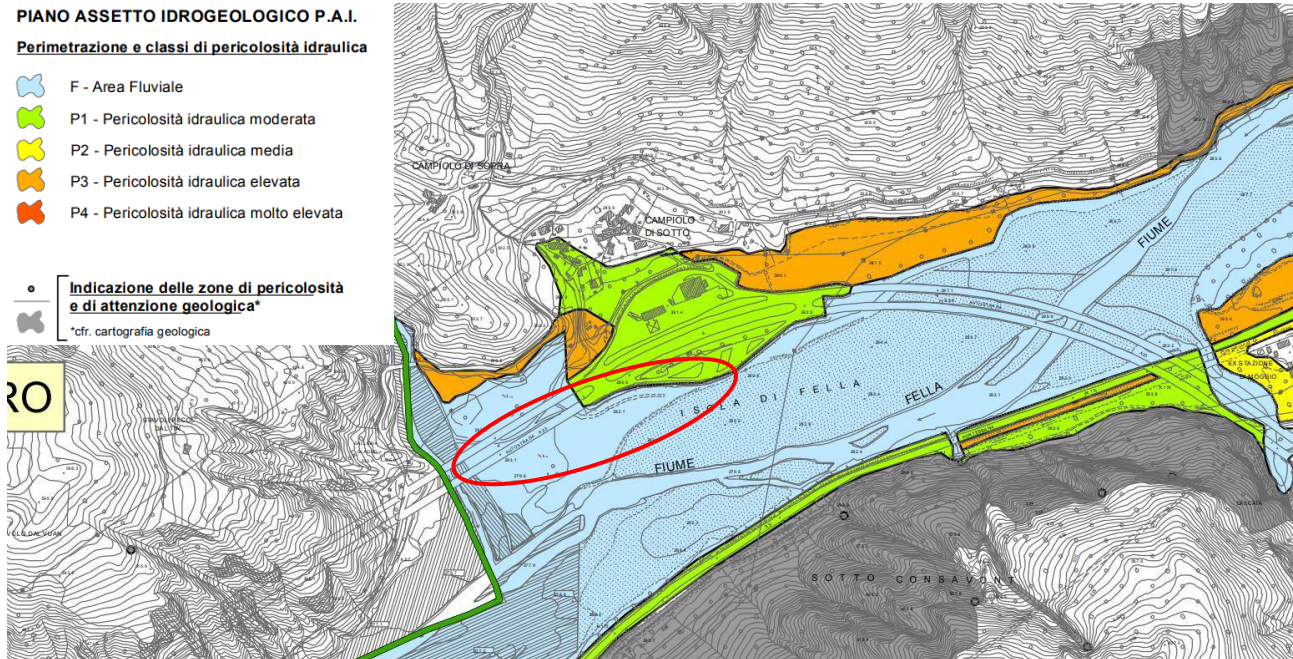


Figura 3. Estratto fuori scala della Carta della Pericolosità da Valanga – Comune di Moggio Udinese (UD) – Tavola 2 di 2.

In merito alla pericolosità idraulica, l'area oggetto di intervento rientra in **area fluviale F** e parzialmente anche in un'area perimetrata con grado di **pericolosità idraulica moderata P1** (Fig.4). Infine, il sito si trova in prossimità di aree perimetrata con grado di **pericolosità idraulica elevata P3**.



**Figura 4:** Estratto fuori scala della Carta della Pricolosità Idraulica – PAI del bacino idrografico del Fiume Fella – Tavola 7.

Gli interventi ricadenti entro **aree a pericolosità idraulica P1** sono disciplinati dagli **art. 8 e 12** delle norme di Attuazione del PAI, al Titolo II. Per completezza si riporta anche l'art.10 relativo alle aree a pericolosità elevata P3 data la significativa vicinanza al sito di indagine. Si riportano di seguito gli articoli citati.

**“ART. 8 – Disposizioni comuni per le aree a pericolosità idraulica, geologica, valanghiva e per le zone di attenzione**

1. Le Amministrazioni comunali non possono rilasciare concessioni, autorizzazioni, permessi di costruire od equivalenti, previsti dalle norme vigenti, in contrasto con il Piano.
2. Possono essere portati a conclusione tutti i piani e gli interventi i cui provvedimenti di approvazione, autorizzazione, concessione, permessi di costruire od equivalenti previsti dalle norme vigenti, siano stati rilasciati prima della pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale dell'avvenuta adozione del presente Piano, fatti salvi gli effetti delle misure di salvaguardia precedentemente in vigore.
3. Nelle aree classificate pericolose e nelle zone di attenzione, ad eccezione degli interventi di mitigazione della pericolosità e del rischio, di tutela della pubblica incolumità e di quelli previsti dal Piano di bacino, è vietato, in rapporto alla specifica natura e tipologia di pericolo individuata:
  - a. eseguire scavi o abbassamenti del piano di campagna in grado di compromettere la stabilità delle fondazioni degli argini, ovvero dei versanti soggetti a fenomeni franosi;
  - b. realizzare tombinature dei corsi d'acqua;
  - c. realizzare interventi che favoriscano l'infiltrazione delle acque nelle aree franose;
  - d. costituire, indurre a formare vie preferenziali di veicolazione di portate solide o liquide;
  - e. realizzare in presenza di fenomeni di colamento rapido (CR) interventi che incrementino la vulnerabilità della struttura, quali aperture sul lato esposto al flusso;
  - f. realizzare locali interrati o seminterrati nelle aree a pericolosità idraulica o da colamento rapido.



4. Al fine di non incrementare le condizioni di rischio nelle aree fluviali e in quelle pericolose, fermo restando quanto stabilito al comma precedente ed in rapporto alla specifica natura e tipologia di pericolo individuata, tutti i nuovi interventi, opere, attività consentiti dal Piano o autorizzati dopo la sua approvazione, devono essere tali da:

- a. mantenere le condizioni esistenti di funzionalità idraulica o migliorarle, agevolare e comunque non impedire il normale deflusso delle acque;
- b. non aumentare le condizioni di pericolo dell'area interessata nonché a valle o a monte della stessa;
- c. non ridurre complessivamente i volumi invasabili delle aree interessate tenendo conto dei principi dell'invarianza idraulica e favorire, se possibile, la creazione di nuove aree di libera esondazione;
- d. minimizzare le interferenze, anche temporanee, con le strutture di difesa idraulica, geologica o valanghiva.

5. Tutte le opere di mitigazione della pericolosità e del rischio devono prevedere il piano di manutenzione.

6. Tutti gli interventi consentiti dal presente Titolo non devono pregiudicare la definitiva sistemazione né la realizzazione degli altri interventi previsti dalla pianificazione di bacino vigente."

#### **"ART. 12 – Disciplina degli interventi nelle aree classificate a pericolosità moderata P1**

La pianificazione urbanistica e territoriale disciplina l'uso del territorio, le nuove costruzioni, i mutamenti di destinazione d'uso, la realizzazione di nuove infrastrutture e gli interventi sul patrimonio edilizio esistente nel rispetto dei criteri e delle indicazioni generali del presente Piano conformandosi allo stesso.

#### **"ART. 10 – Disciplina degli interventi nelle aree classificate a pericolosità elevata P3**

1. Nelle aree classificate a pericolosità elevata P3, possono essere consentiti tutti gli interventi di cui alle aree P4, nonché i seguenti:

- a. interventi di restauro, risanamento conservativo e ristrutturazione di opere pubbliche o di interesse pubblico qualora non comportino mutamento della destinazione d'uso;
- b. interventi di restauro, risanamento conservativo e ristrutturazione di infrastrutture ed edifici, qualora non comportino aumento delle unità abitative o del carico insediativo;
- c. ampliamento degli edifici esistenti, purché non comportino mutamento della destinazione d'uso, né incremento di superficie e di volume superiore al 10% del volume e della superficie totale, così come risultanti alla data di adozione del Progetto di Piano (7 ottobre 2004), e purché siano anche compatibili con la pericolosità del fenomeno;
- d. realizzazione di locali accessori di modesta entità a servizio degli edifici esistenti;
- e. realizzazione di attrezzature e strutture mobili o provvisorie non destinate al pernottamento di persone per la fruizione del tempo libero o dell'ambiente naturale, a condizione che siano compatibili con le previsioni dei piani di protezione civile, che non ostacolino il libero deflusso delle acque e purché non localizzate in aree interessate da fenomeni di caduta massi;
- f. realizzazione o ampliamento di infrastrutture viarie, ferroviarie e di trasporto pubblico nonché ciclopeditoni, non diversamente localizzabili o non delocalizzabili ovvero mancanti di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili, purché non comportino l'incremento delle condizioni di pericolosità e non compromettano la possibilità di realizzazione degli interventi di mitigazione della pericolosità o del rischio; in particolare gli interventi di realizzazione di nuove infrastrutture stradali devono anche essere compatibili con le previsioni dei piani di protezione civile ove esistenti;
- g. realizzazione di nuovi impianti di depurazione delle acque reflue urbane ove non diversamente localizzabili, purché dotati degli opportuni accorgimenti tecnico-costruttivi

e gestionali idonei anche ad impedire il rilascio nell'ambiente circostante di sostanze o materiali per effetto dell'evento che genera la situazione di pericolosità.

2. Gli elaborati progettuali degli interventi di cui al comma 1 devono essere corredati da una relazione tecnica che tenga conto in modo approfondito della tipologia di pericolo, redatta da un tecnico laureato abilitato, se prevista dalla normativa di settore. Le indicazioni contenute nella suddetta relazione devono essere integralmente recepite nel progetto delle opere di cui si prevede l'esecuzione.

Per le **aree fluviali** valgono le disposizioni di cui all'art. 13 delle norme di Attuazione del PAI, che ne disciplinano gli interventi:

#### **“ART. 13 – Disciplina delle aree fluviali**

1. Nelle aree fluviali, richiamate le disposizioni di cui all'art. 8, sono escluse tutte quelle attività e/o utilizzazioni che diminuiscono la sicurezza idraulica e, in particolare, quelle che possono:

- a. determinare riduzione della capacità di invaso e di deflusso del corpo idrico fluente;
- b. interferire con la morfologia in atto e/o prevedibile del corpo idrico fluente;
- c. generare situazioni di pericolosità in caso di sradicamento e/o trascinamento di strutture e/o vegetazione da parte delle acque.

2. Le coltivazioni arboree o pluriennali con strutture di sostegno fisso, esistenti alla data di adozione del presente Piano (01.12.2012) e i nuovi impianti sono ammessi, previa autorizzazione della Regione competente, se gli stessi non recano ostacolo al deflusso delle acque e all'evoluzione morfologica del corso d'acqua e rispondono ai criteri di compatibilità idraulica. Il rinnovo per completare il ciclo produttivo in atto al momento della scadenza dell'autorizzazione potrà essere consentito in deroga (se opportunamente motivato).

3. Nelle aree fluviali, gli interventi di qualsiasi tipo devono tener conto della necessità di mantenere, compatibilmente con la funzione alla quale detti interventi devono assolvere, l'assetto morfodinamico del corso d'acqua. Ciò al fine di non indurre a valle condizioni di pericolosità. Nelle aree fluviali è consentita, previa acquisizione dell'autorizzazione idraulica della Regione e nel rispetto dei criteri di cui al comma 1:

- a. la realizzazione degli interventi finalizzati alla navigazione, compresa anche la nautica da diporto;
- b. la realizzazione, ampliamento o manutenzione delle opere di raccolta, regolazione, trattamento, presa e restituzione dell'acqua;
- c. la realizzazione, ampliamento o manutenzione di strutture a rete e di opere di attraversamento stradale, ciclopedonale e ferroviario. Le nuove opere vanno realizzate a quote compatibili con i livelli idrometrici propri della piena di riferimento tenuto conto del relativo franco di sicurezza;
- d. l'installazione di attrezzature e strutture, purché di trascurabile ingombro, funzionali all'utilizzo agricolo dei suoli nelle aree fluviali.”

Alla luce di quanto riportato, le opere in progetto sono compatibili con il quadro normativo vigente, in quanto eventuali variazioni al regime idraulico sono finalizzate alla salvaguardia delle opere legate all'infrastruttura A23.

## 2.2 Cenni geomorfologici e condizioni di stabilità

L'area in esame si colloca a sud dell'abitato di Campiolo, in comune di Moggio Udinese (UD), lungo il greto fluviale del Fiume Fella, in destra idrografica, in prossimità della confluenza con il Rio Glagnò.

L'andamento morfologico della valle è direttamente connesso con l'assetto tettonico dell'area. I versanti in destra e in sinistra idrografica sono interessati dalla presenza di sovrascorrimenti nord vergenti legati alla Linea della Val Resia, struttura che dalla valle omonima prosegue a ovest attraverso la Sella di Tugliezzo per esaurirsi all'altezza di Carnia. Essa provoca l'accavallamento delle dolomie della Formazione del Monticello su quelle della Dolomia Principale (versante sinistro) e accavallamenti all'interno della Dolomia Principale (versante destro).

La morfologia della valle è stata successivamente modellata dall'azione fluviale, la quale agisce tutt'ora con marcate dinamiche erosive: nel sito in esame in particolare, si riscontra lungo la sponda destra un marcato arretramento dell'orlo di scarpata fluviale, occorso negli ultimi anni. In **Allegato 2** è cartografato l'andamento dell'orlo di scarpata attivo alla situazione attuale. In fase di sopralluogo è stata riscontrata anche la presenza di un'incisione attiva lungo il terrazzo alluvionale recente, sviluppata in direzione nord-sud tra la pila n.5 e n.6 (**Fig.5**), connessa all'asse di drenaggio di un affluente destro del Fella.

Le criticità rilevate pertanto sono unicamente connesse alle dinamiche fluviali. In particolare si evidenzia, a seguito dell'accumulo di detriti lungo l'asse dell'alveo, la generale prevalenza del regime erosivo su quello deposizionale in destra idrografica, con interessamento delle pile del viadotto oggetto di intervento. Le dinamiche fluviali sono meglio descritte oltre.

## 2.3 Dinamiche fluviali

Allo stato attuale, in prossimità del sito di intervento, la corrente del Fella tende erodere in particolar modo la sponda destra, determinando accentuati fenomeni di retrogressione dell'orlo di scarpata attivo, proprio in corrispondenza delle pile del viadotto della A23. Tali dinamiche andrebbero correlate alla presenza di un'ingente quantità di materiale lungo l'asse dell'alveo, e al conseguente andamento meandriforme. Le pile risultano collocate sia lungo l'orlo di terrazzo attivo del Fella che in alveo, alla confluenza con il Rio Glagnò. Il flusso principale del Rio Glagnò scorre infatti quasi completamente tra la coppia delle pile n.2 e n.3, determinando accentuati fenomeni erosivi alla base delle stesse.

Di seguito si illustrano le situazioni più critiche che interessano le pile del viadotto A23 (si veda **Fig.5** per l'ubicazione e la denominazione delle pile).



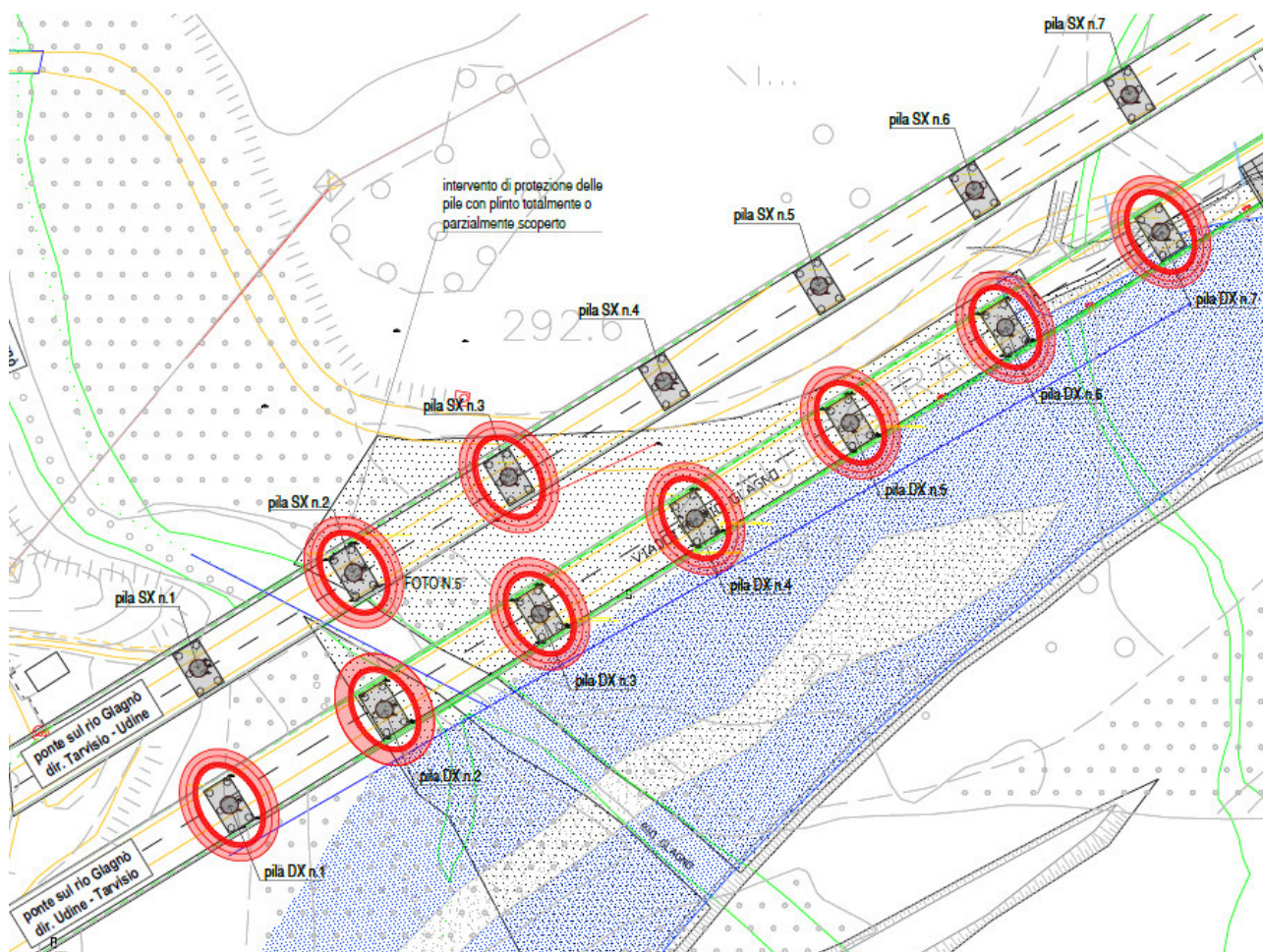


Figura 5. Estratto di planimetria di progetto con indicazione della numerazione delle pile e del flusso principale del Rio Glagnò e del Fiume Fella.



Figura 6. Illustrazione della seconda coppia di pile, partendo dalla galleria ad ovest. Si nota come esse siano interamente collocate lungo il flusso del Rio Glagnò.





Figura 7. Illustrazione di alcune pile del viadotto poste lungo le direttrici fluviali del Fella e del Glagnò.

Per approfondimenti si rimanda alla Relazione Idraulica allegata al progetto, comprendente un modello bidimensionale morfodinamico ed uno idrodinamico a fondo mobile.

## 2.4 Aspetti litologici

Dal punto di vista geologico, nell'area affiorano depositi fluviali legati all'azione del Fiume Fella, i quali possono essere distinti in: depositi di alveo mobile attuale e depositi di terrazzo fluviale recente. Il substrato roccioso affiora in prossimità dei rilievi che delimitano le sponde vallive del Rio Glagnò.

Di seguito vengono brevemente descritte le litologie presenti e cartografate in **Allegato 2**.

### Depositi d'alveo mobile attuale

Si tratta di strati di ghiaie e ciottoli eterometrici da sub-angolari a sub-arrotondati, intercalati a strati sabbioso-ghiaiosi con ciottoli a granulometria più fine. La maggiore dimensione dei grani testimonia eventi con correnti idriche a maggior energia; diversamente, la presenza di sabbie e limi è indice di fasi deposizionali a corrente lenta. Presentano uno spessore medio rappresentativo di un paio di metri, come meglio illustrato nelle sezioni geologiche allegate (**Ail.3**). Tali depositi presentano un'alta permeabilità, nell'ordine di  $10^{-4}$  m/s.

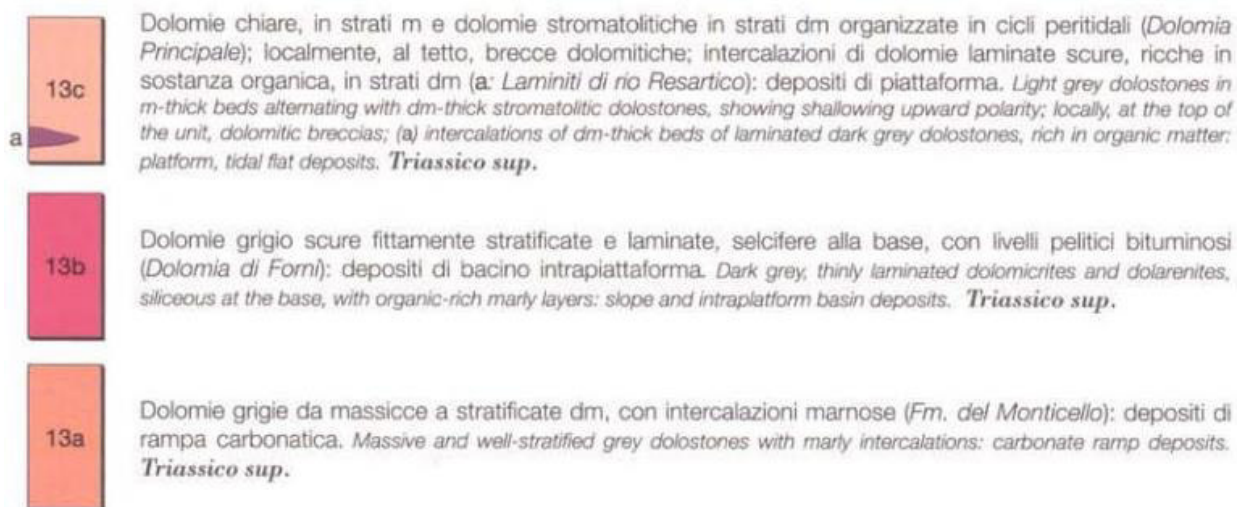
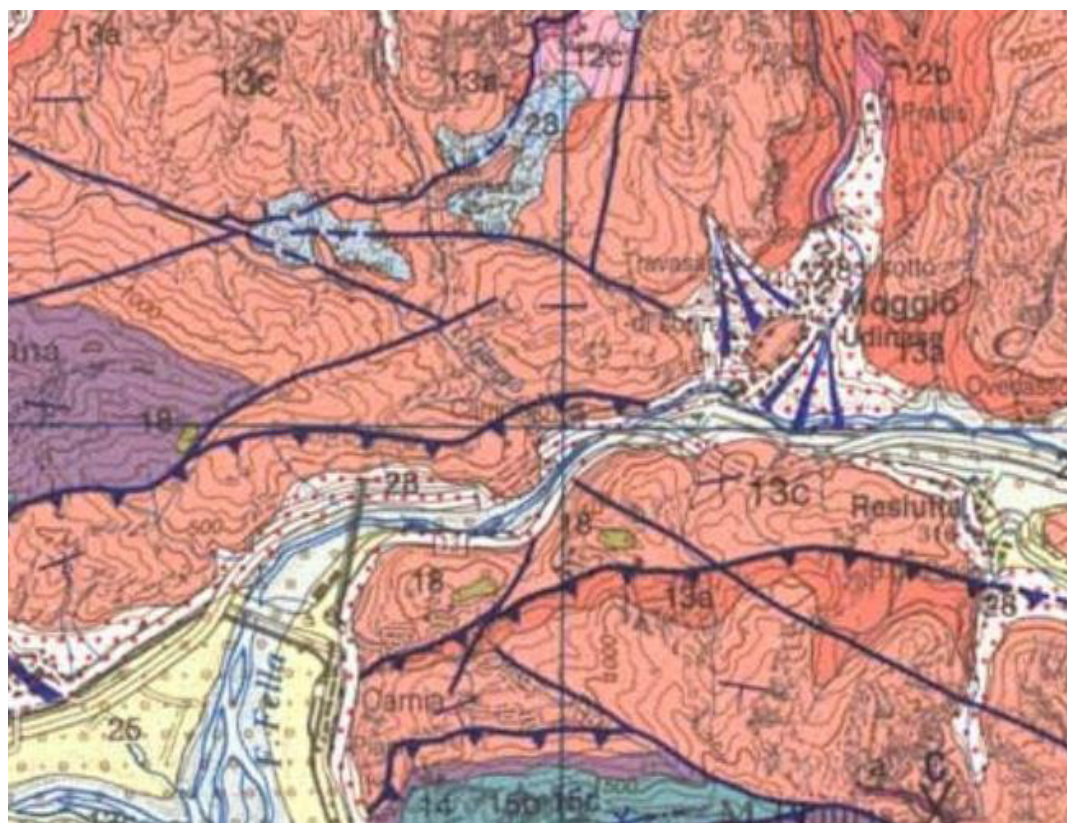
### Depositi di terrazzo fluviale recente

Si tratta di depositi analoghi ai precedenti per granulometria ma relativi a fasi deposizionali recenti e non attuali. Tali depositi presentano pertanto maggior contenuto di matrice e un grado di addensamento maggiore. Tali caratteristiche rendono più facilmente distinguibili le embriciature, utili a ricostruire le dinamiche fluviale trascorse. Tali depositi presentano una permeabilità media, nell'ordine di  $10^{-5}$  m/s, come evidenziato dalle prove Lefranc eseguite. Le prove hanno altresì evidenziato locali valori bassi, fino a  $10^{-7}$  m/s, che si ritiene vadano attribuiti a lenti fini e coesive. Pur considerando

la generale eterogeneità sia verticale che laterale del deposito, dalle indagini eseguite è possibile individuare un significativo aumento dei livelli più fini e coesivi a partire da circa 9 m dal piano di indagine. E' probabile la presenza di trovanti, correlati ad eventi di piena passati; tale indicazione andrà tenuta in considerazione specialmente per l'intervento mediante jet grouting.

### **Substrato roccioso affiorante/sub-affiorante**

Le rocce del substrato roccioso appartengono alla Formazione della Dolomia Principale (Triassico superiore) e sono rappresentate da dolomie chiare, in strati metrici e dolomie stromatolitiche in strati decimetrici organizzate in cicli peritidali. Localmente, al tetto, breccie dolomitiche, intercalazioni di dolomie laminate scure, ricche in sostanza organica, in strati decimetrici. Il substrato affiora in prossimità dei rilievi che delimitano le sponde vallive del Rio Glagnò, talora ricoperto da esigui spessori di coltre eluviale.



**Figura 8:** Estratto fuori scala della Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia 1 50:000.



## 2.5 Idrografia ed idrogeologia

La rete idrografica superficiale è costituita dal Fiume Fella che scorre in direzione NNE-SSW. Il Fella nasce nei pressi di Malborghetto Valbruna e attraversa la Val Canale ed il Canal del Ferro per confluire poi nel Tagliamento nei pressi di Portis di Venzone, costituendone il principale tributario. Nell'area in esame riceve le acque del Rio Glagnò, il quale ha andamento NNW-SSE. Sono poi presenti affluenti minori a carattere intermittente che scendono dai versanti sia in destra che in sinistra idrografica.

È presente una falda freatica superficiale connessa al livello idrico del Fiume Fella: durante l'esecuzione dei sondaggi la profondità della falda è stata riscontrata alle seguenti profondità: -2.40, -2.62 e -2.95 m dal p.c., a testimonianza del carattere disperdente del Fiume.

Dal punto di vista idrogeologico, il substrato risulta essere, nel suo insieme, mediamente permeabile, con presenza però anche di locali valori minori, nell'ordine di  $10^{-6}$ - $10^{-7}$  m/s, interpretati come lenti maggiormente coesive. Le prove di permeabilità di tipo Lefranc condotte in sito in corrispondenza dei fori di sondaggio hanno fornito valori di conducibilità idraulica **k** variabili da  $10^7$  m/sec a  $10^{-5}$  m/sec. Si nota una diminuzione del grado di permeabilità dei depositi a partire da -9.00 m dal p.c.. Tale variazione è correlabile con un lieve aumento della percentuale di matrice fine presente nei depositi.

## 3. INDAGINI

Per la definizione del modello geologico, dei parametri geotecnici e sismici, si è fatto riferimento alla campagna di indagini condotta nell'ambito dello stesso progetto da parte di Technosoil. La campagna comprende:

- **n.3 sondaggi a carotaggio continuo** spinti fino alla profondità di 20.0 m dal p.c (S1 e S2) e fino a 15.0 m dal p.c. (S3);
- **prove in foro di tipo SPT** (*Standard Penetration Test*) effettuate durante la perforazione dei sondaggi mediante campionatore Raymond;
- **prove di permeabilità di tipo Lefranc**, all'interno dei fori di sondaggio;
- **n.1 analisi multicanale delle onde di superficie (MASW)** con stendimento da 48.0 m e distanza di 2.0 m, doppio scoppio esterno allo stendimento, per la valutazione del profilo verticale delle velocità delle onde di taglio (calcolo  $V_{Seq}$ );
- **n.3 indagini sismiche passive HVSr** per la valutazione delle caratteristiche dinamiche del sito dal punto di vista sismico (calcolo frequenza di risonanza del sito);
- **n.1 tomografia elettrica di resistività (ERT)**, tramite uno stendimento di 48 elettrodi spazati 3 m, per un totale di 141 m, al fine di evidenziare variazioni i valori di resistività entro una sezione esplorativa con profondità massima di 40 m circa dal piano campagna.



LEGENDA :



SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO



INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW



Indagine sismica passiva HVS



Tomografia di resistività elettrica

Figura 9. Ubicazione delle indagini geognostiche eseguite.

### 3.1 Sondaggi a carotaggio continuo

Tra i giorni 2 e 4 luglio 2020 sono stati eseguiti n.3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo ubicati come in **Figura 9**. Di seguito si riporta una schematizzazione della stratigrafia dei sondaggi.

#### Sondaggio: S1:

Profondità dal p.c.	Descrizione delle litologie attraversate
da 0.00 m a 20.00 m	Ghiaia eterometrica, molto addensata e ciottoli, con sabbia limosa debolmente argillosa di colore grigio chiaro avana. I clasti, poligenici, hanno $\phi$ max > 10 cm, forma prevalentemente ovoidale sub-arrotondata e arrotondata e in sub-ordine sub-angolare. Da circa 10,0 mt dal p.c. si evidenzia un aumento della matrice, mentre da circa 16,0 mt dal p.c., nella stessa si osserva un aumento della frazione argillosa ed il colore assume sfumature avana.
NOTE	Il livello di falda è stato rilevato a -2,62 mt dal p.c. il 3/7/20

#### Sondaggio: S2:

Profondità dal p.c.	Descrizione delle litologie attraversate
da 0.00 m a 20.00 m	Ghiaia eterometrica, molto addensata e ciottoli, con sabbia limosa debolmente argillosa di colore grigio chiaro avana. I clasti, poligenici, hanno $\phi$ max > 10 cm, forma prevalentemente ovoidale sub-arrotondata e arrotondata e in sub-ordine sub-angolare. Da circa 7,6 mt dal p.c. nella matrice si osserva un aumento della frazione argilloso limosa. A varie altezze si rilevano livelli decimetrici e pluridecimetrici argillosi limosi debolmente sabbiosi con inclusi. A circa 17,35 mt dal p.c. si evidenzia un livelletto di circa 2 cm di spessore limoso di colore marone.
NOTE	Il livello di falda è stato rilevato a -2,40 mt dal p.c. il 4/7/20

#### Sondaggio: S3:

Profondità dal p.c.	Descrizione delle litologie attraversate
da 0.00 m a 15.00 m	Ghiaia eterometrica, molto addensata e ciottoli, con sabbia limosa debolmente argillosa di colore grigio

	chiaro avana. I clasti, poligenici, hanno $\phi$ max 10 cm, forma prevalentemente ovoidale sub-arrotondata e arrotondata e in sub-ordine sub-angolare. Da 3,00 a 4,5 mt dal p.c. è presente un blocco arenitico di colore marroncino grigiastro. Da 10,0 a 10,5 e da 14,8 a 15,0 mt dal p.c. sono presenti livelletti argillosi limosi debolmente sabbiosi con inclusi.
<b>NOTE</b>	Il livello di falda è stato rilevato a -2,95 mt dal p.c. il 4/7/20

### 3.2 Prove SPT

Di seguito vengono schematizzati i risultati delle prove SPT effettuate nei fori di sondaggio.

S1		S2		S3	
Profondità (m)	Nr. Colpi	Profondità (m)	Nr. Colpi	Profondità (m)	Nr. Colpi
3.15	50	3.15	50	2.85	14
3.30	50	3.30	50	3.00	16
3.45	50	3.45	50	3.15	50
6.15	16	6.15	16	6.15	29
6.30	50	6.30	50	6.30	50
6.45	50	6.45	50	6.45	50
9.15	50	9.15	34	9.15	50
9.30	50	9.30	50	9.30	50
9.45	50	9.45	50	9.45	50
12.15	45	12.15	36	12.15	50
12.30	33	12.30	33	12.30	50
12.45	32	12.45	38	12.45	50
15.15	50	15.15	28		
15.30	50	15.30	33		
15.45	50	15.45	50		
18.15	50	18.15	35		
18.30	50	18.30	50		
18.45	50	18.45	50		

Si fa notare l'elevato numero di prove SPT andate a rifiuto, la maggior parte delle quali a causa della presenza di ciottoli e blocchi rocciosi.

### 3.3 Prove di permeabilità Lefranc

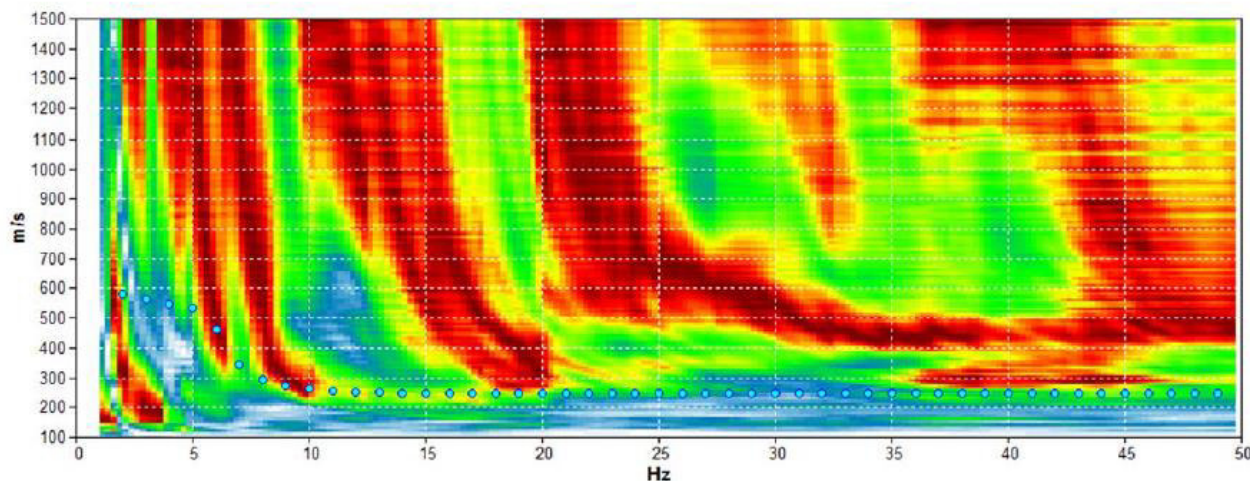
Le prove di permeabilità di tipo Lefranc condotte in sito in corrispondenza dei fori di sondaggio hanno fornito valori di conducibilità idraulica  $k$  variabili da  $10^7$  m/sec a  $10^{-5}$  m/sec. Si nota una diminuzione del grado di permeabilità dei depositi a partire da -9.00 m dal p.c.. Tale variazione è correlabile con un lieve aumento della percentuale di matrice fine presente nei depositi. Di seguito si schematizzano i valori di permeabilità ottenuti per ciascun foro di sondaggio.

S1		S2		S3	
Profondità (m dal p.c.)	Conducibilità idraulica (m/sec)	Profondità (m dal p.c.)	Conducibilità idraulica (m/sec)	Profondità (m dal p.c.)	Conducibilità idraulica (m/sec)
7.00 - 7.50	$1.4 \cdot 10^{-5}$	7.10 - 7.80	$4.4 \cdot 10^{-5}$	7.10 - 7.50	$4.4 \cdot 10^{-5}$
9.00 - 10.00	$1.3 \cdot 10^{-6}$	9.60 - 10.00	$4.1 \cdot 10^{-7}$	8.40 - 9.00	$1.3 \cdot 10^{-5}$

### 3.4 Indagine sismica MASW

L'indagine sismica MASW effettuata in sito (ubicata come illustrato in **Figura 9**) ha fornito un valore di **Vs,eq** pari a **341 m/sec**, permettendo di classificare il sottosuolo nella categoria C, così come definita dalle NTC2018.

Le seguenti immagini illustrano sinteticamente i risultati ottenuti dalle elaborazioni condotte.



**Figura 10.** Spettro di velocità e picking della curva di dispersione delle onde di superficie.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
16.70	16.70	260	0.42
20.70	4.00	467	0.42
24.90	4.20	575	0.42
inf.	inf.	650	0.42

**Vs\_eq(0.0-30.0)=341m/s**

**Figura 11.** Profilo sismo-stratigrafico con profondità degli strati, spessori, velocità delle onde di taglio S, rapporto di Poisson e valore di Vs,eq.

### 3.5 indagini sismiche passive HVSR

Le misure del microtremore ambientale mediante tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) eseguite in sito e ubicate come in **Figura 9**, hanno fornito valori di picco nel rapporto HV alle seguenti frequenze e con le seguenti ampiezze:

ID Indagine	F0 fondamentale [Hz]	A0
HV1	2.34	8.54
HV2	3.13	3.80
HV3	20.7	-

## HV1 RIO GLAGNO, HV1 RIO GLAGNO

Strumento: TE3-0088/01-14

Formato dati: 16 bit

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 18/06/20 11:49:43 Fine registrazione: 18/06/20 12:19:43

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00".

Analizzato 62% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

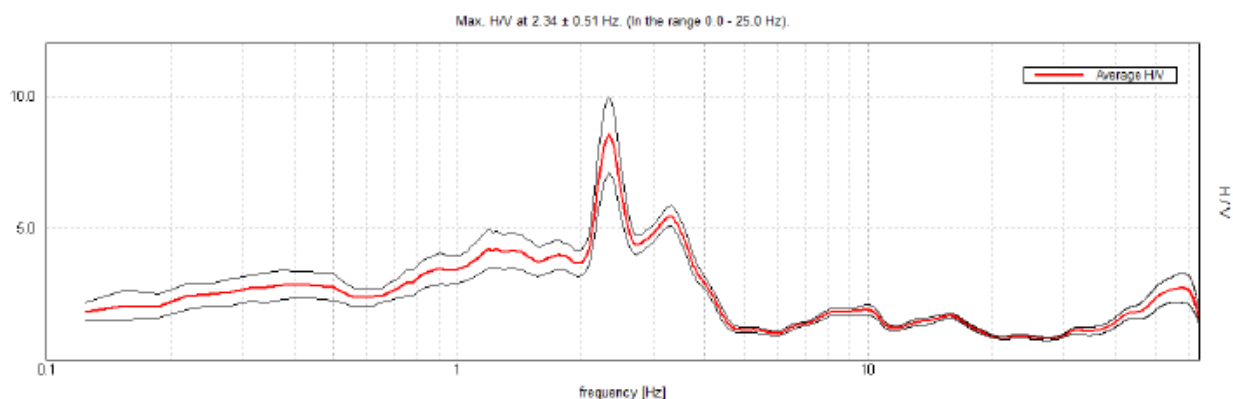


Figura 12. Rapporto spettrale HV 1.

## HV 2 RIO GLAGNÒ, HV 2 RIO GLAGNÒ

Strumento: TE3-0088/01-14

Formato dati: 16 bit

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 18/06/20 12:22:18 Fine registrazione: 18/06/20 12:52:18

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00".

Analizzato 87% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

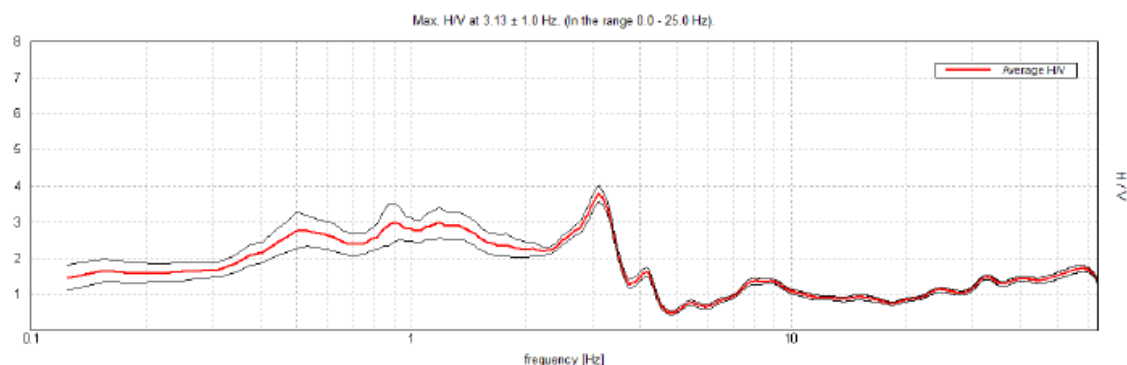


Figura 13. Rapporto spettrale HV 2.



## HV3 RIO GLAGNÒ

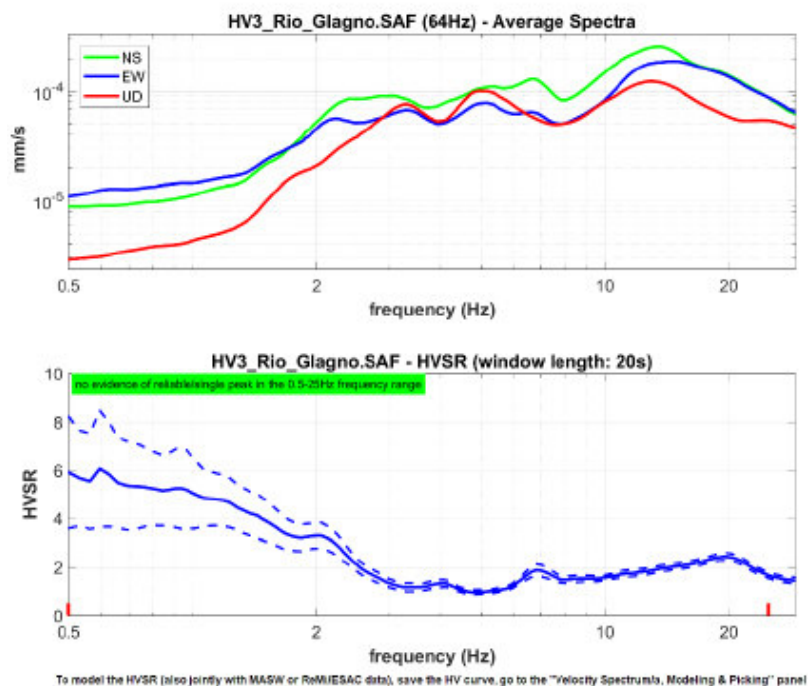


Figura 14. Tre componenti del rapporto HV e curva del HVSr -SITO 3

### 3.6 Tomografia elettrica

Il giorno 20 luglio 2020 è stato eseguito uno stendimento geoelettrico di lunghezza complessiva pari a 141 m. Sono stati impiegati n. 48 elettrodi, equi-spaziati di 3 m e disposti lungo il greto alluvionale del fiume Fella, a circa una decina di metri dal suo corso attuale. La tipologia di acquisizione adottata è quella di tipo "Wenner-Schlumberger", in virtù della miglior risoluzione verticale e del miglior rapporto segnale/rumore.

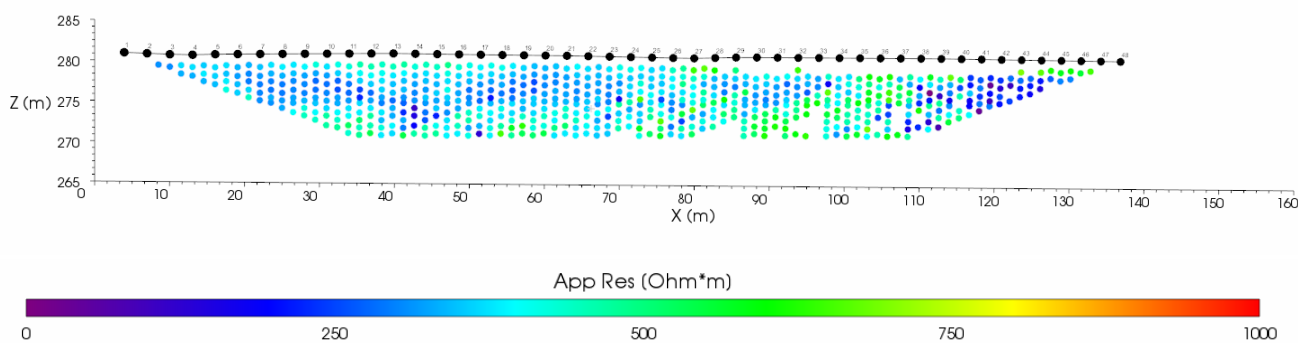
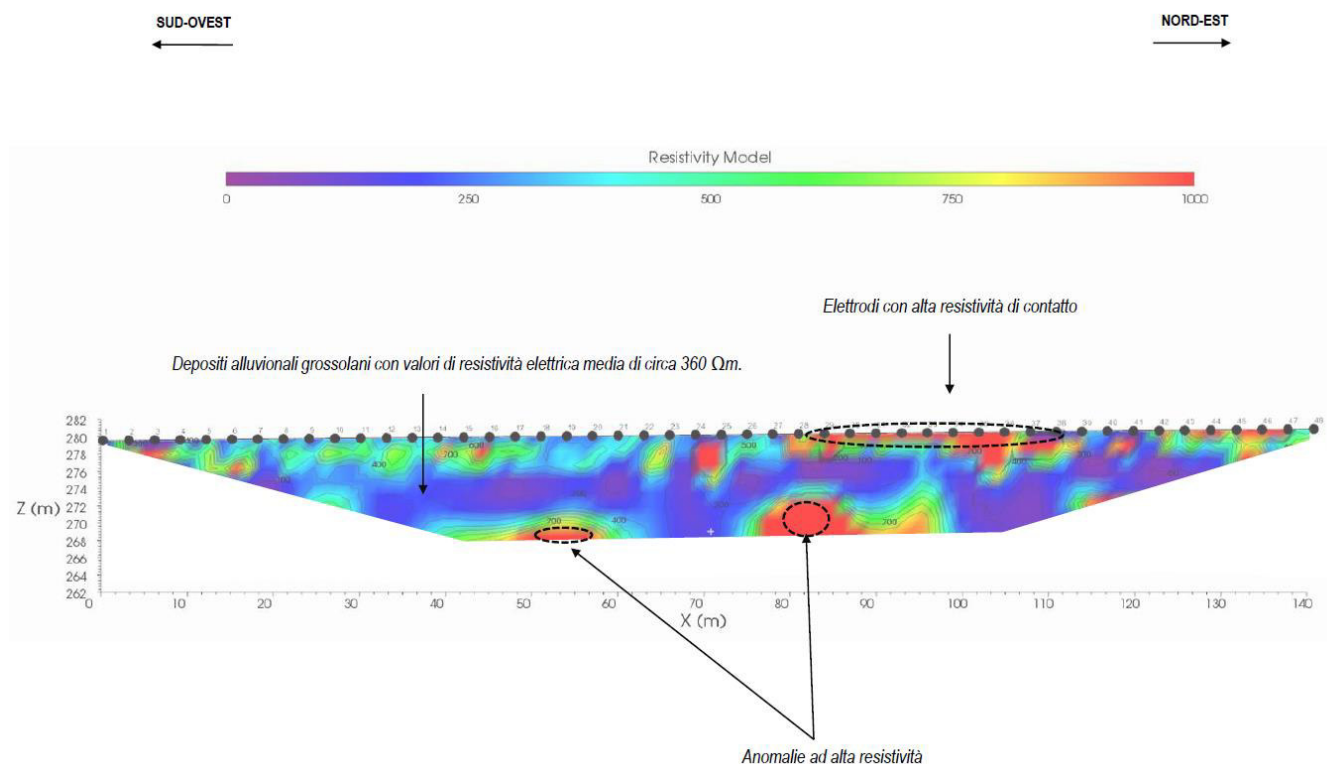


Figura 15. Pseudosezione con valori di resistività apparente misurati con geometria di tipo "Wenner-Schlumberger": 684 misure.

Il profilo di resistività elettrica riproduce il modello di resistività reale del terreno ottenuto dall'inversione dei valori di resistività apparente misurati in campagna. Va fatto notare che gli estremi del profilo (in basso a dx e in basso a sx) sono meno attendibili rispetto alle porzioni centrali e superficiali della sezione, coperte da un maggior numero di misure (si veda in Figura 15 la distribuzione spaziale delle misure).





**Figura 16.** Profilo di resistività elettrica ed interpretazione stratigrafica.

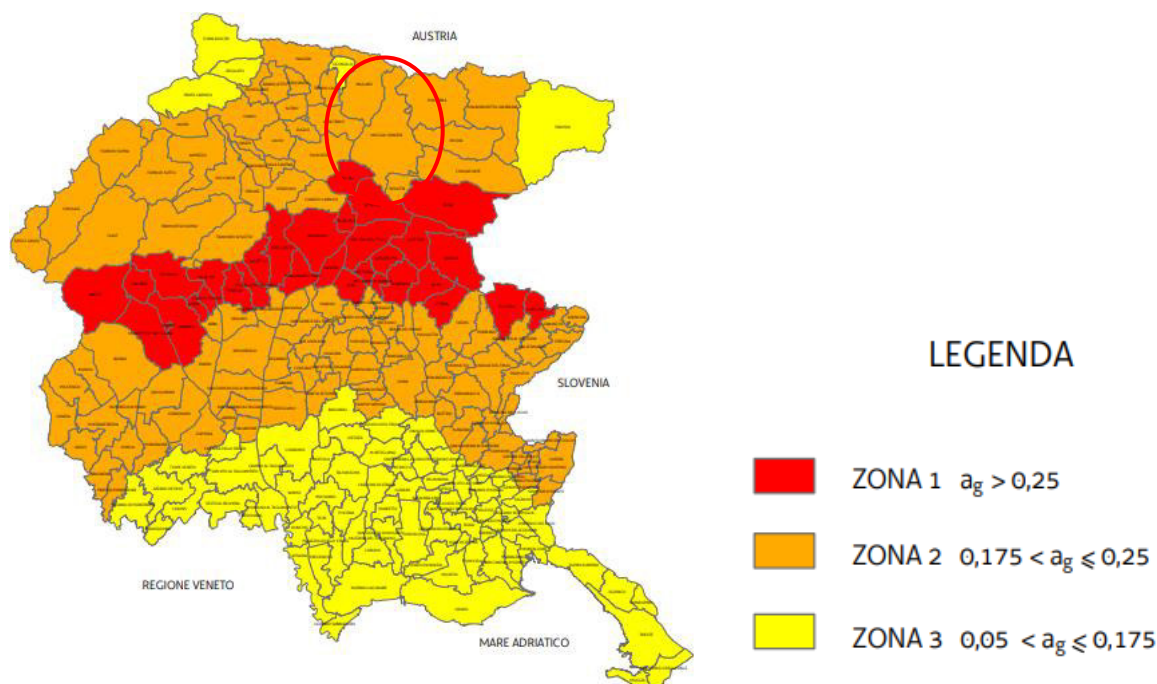
Le risultanze dell'indagine hanno messo in evidenza valori di resistività medi di circa 360  $\Omega\text{m}$ , riferibili a depositi detritici grossolani da poco a mediamente addensati. A causa delle alte resistività di contatto riscontrate già in fase di acquisizione in alcuni elettrodi (data la presenza di ciottoli e ghiaie asciutte e porose in superficie), la risultante tomografia ha messo in luce due anomalie ad alta resistività anche in profondità. Al netto di ciò, si può affermare che la porzione di sottosuolo indagata risulta abbastanza omogenea dal punto di vista della resistività elettrica.

## 4. PROGETTAZIONE SISMICA

La normativa in materia di classificazione sismica del territorio nazionale (OPCM n. 3274/2003<sup>4</sup>) e il recepimento a livello regionale (DGR 845/2010<sup>5</sup>) inseriscono il Comune di Moggio Udinese (UD) in **zona sismica 2** ( $0.175 < a_g \leq 0.25$ ) (**Figura 17**).

<sup>4</sup> Ordinanza n. 3274 del 20.03.2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri (*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*).

<sup>5</sup> D.G.R. 845 del 6/5/2010 "classificazione delle zone sismiche e indicazione delle aree di alta e bassa sismicità".



**Figura 17.** Estratto (fuori scala) della Classificazione sismica del territorio del Friuli Venezia Giulia (da Allegato alla Delibera della Giunta Regionale n.845 del 6 maggio 2010, B.U.R. n. 20 del 19 maggio 2010).

La natura dei depositi permette di escludere fenomeni di liquefazione in occasione di eventuali eventi sismici. Dal punto di vista morfologico la stessa zona non risulta prossima a orli di scarpate tali da determinare un'amplificazione locale degli effetti sismici.

In merito all'Ordinanza n. 3519/2006<sup>6</sup> la tratta di progetto risulta compresa tra punti con accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2 delle NTC 18)) di  $a_g = 0.225 - 0.250$  g (cod. ID 8542, 8543, 8321 e 8320) (**Figura 18**).

Sito	ID	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Distanza (m)
1	8542	46,3844	13,1280	3406,357
2	8543	46,3846	13,2003	2933,235
3	8321	46,4346	13,2000	4745,097
4	8320	46,4344	13,1277	5048,281

<sup>6</sup> Ordinanza n. 3519 del 28.04.2006 della Presidenza del Consiglio dei Ministri (*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*).

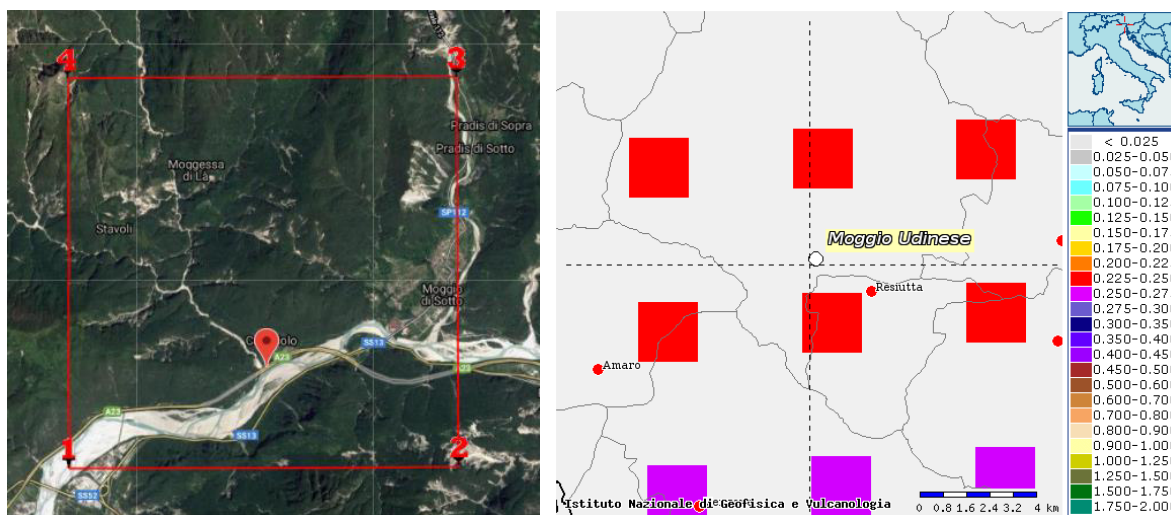


Figura 18: Vertici della maglia di appartenenza (Ag) in riferimento all'Ordinanza n. 3519/2006.

Per la caratterizzazione sismica del sito si è fatto riferimento all'approccio semplificato contemplato dalle nuove NTC 18 §3.2.2, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ , definendo in particolare il valore di  $V_{s,eq}$ . I valori di  $V_s$  sono stati ottenuti da dati bibliografici in possesso dallo scrivente e dalla consultazione di indagini pregresse svolte in aree limitrofe a quella in esame. In ottemperanza alla normativa vigente (DM 17/01/2018), i terreni di fondazione possono essere inseriti, cautelativamente, considerando lo stato di fratturazione dell'ammasso conglomeratico, nella **categoria di sottosuolo C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*) e, per quanto riguarda le condizioni topografiche, nella **categoria T1** (*inclinazione media  $i < 15^\circ$* ).

Categoria di sottosuolo	C
Categoria topografica	T1

Di seguito vengono riportati stati limite, parametri e coefficienti sismici riferiti a costruzioni di **Classe IV –  $C_u = 2$**  (*Affollamento normale. Assenza di funzioni pubbliche e sociali [...]*) e di Vita nominale  $V_N$  pari a 50 anni, come definiti dalle NTC 2018 per il tratto iniziale e il tratto finale. La Vita nominale deve comunque essere stabilita in fase progettuale ed i valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati in Tab. 2.4.I al § 2.4.1 delle NTC 18 (per costruzioni con livelli di prestazioni ordinari in valore minimo è di 50 anni).

Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	60	0.093	2.455	0.260
Danno (SLD)	101	0.121	2.419	0.279
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.324	2.406	0.346
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.428	2.408	0.367
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.028	0.044	0.112	0.462
kv	0.014	0.022	0.056	0.231
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	1.364	1.783	3.912	4.533
Beta	0.200	0.240	0.280	1.000

## 5. ASPETTI GEOLOGICO-TECNICI PRELIMINARI

### 5.1 Caratterizzazione geotecnica di massima

Per la definizione del modello geotecnico del sito, sono state analizzate le risultanze delle prove SPT, unitamente alle carote di risulta dei sondaggi, alle risultanze delle indagini geofisiche e alle prove di permeabilità.

S1		S2		S3	
Profondità (m)	Nr. Colpi	Profondità (m)	Nr. Colpi	Profondità (m)	Nr. Colpi
3.15	50	3.15	50	2.85	14
3.30	50	3.30	50	3.00	16
3.45	50	3.45	50	3.15	50
6.15	16	6.15	16	6.15	29
6.30	50	6.30	50	6.30	50
6.45	50	6.45	50	6.45	50
9.15	50	9.15	34	9.15	50
9.30	50	9.30	50	9.30	50
9.45	50	9.45	50	9.45	50
12.15	45	12.15	36	12.15	50
12.30	33	12.30	33	12.30	50
12.45	32	12.45	38	12.45	50
15.15	50	15.15	28		
15.30	50	15.30	33		
15.45	50	15.45	50		
18.15	50	18.15	35		
18.30	50	18.30	50		
18.45	50	18.45	50		

Tabella 1. Valori numero di colpi SPT per ciascun sondaggio.

Visto l'elevato numero di prove SPT andate a rifiuto, la maggior parte delle quali a causa della presenza di ciottoli e blocchi rocciosi, non è stato possibile ricavare dei parametri geotecnici attendibili per ciascun singolo strato indagato (e di conseguenza calcolarne la media). È stata perciò fatta una stima dei parametri medi rappresentativi considerando un unico strato (da -0.00 m a -20.00 m) sulla base del numero di colpi di SPT < 50 (valori evidenziati in arancio in tabella) e sulle informazioni ricavate dalle altre indagini elencate nei precedenti capitoli.

#### Parametri geotecnici rappresentativi:

Da 0.00 a 20.00 m		Depositi fluviali (di alveo mobile attuale e di terrazzo recente)
Angolo d'attrito interno	$\phi'$	35°
Coesione eff.	$C'$	5 kPa
Densità relativa	$D_r$	≈ 75.00 %
Peso di volume	$\gamma$	≈ 18.50 kN/m <sup>3</sup>
Modulo Edometrico	$E_{ed}$	35 MPa
NSPT medio	$N_{spt}$	≈ 40

## 6. ASPETTI GEOTECNICI APPLICATIVI

### 6.1 La tecnica del Jet-Grouting

La tecnologia Jet-Grouting consiste sostanzialmente nell'iniezione ad altissima pressione di miscela cementizia nel terreno da sottoporre a trattamento. Attraverso il jet-grouting il terreno in sito viene disgregato, rimescolato e combinato con le miscele cementizie, allo scopo di ottenere il prodotto strutturalmente desiderato.

In particolare, la realizzazione di un volume di terreno consolidato con Jet-Grouting richiede la modificazione del "fabric" strutturale del suolo, l'evacuazione di un "refluo" di lavorazione e l'introduzione in sito di un legante (miscela cementizia) per la costituzione del terreno consolidato.

Le fasi di lavorazione della tecnica e l'attrezzatura utilizzata sono:

- 1) perforazione di un foro di piccolo diametro (100÷200 mm) fino all'estremità del trattamento desiderato
- 2) iniezione con pompe ad altissima pressione della miscela cementizia fluida attraverso una o più valvole d'iniezione posizionate sul "monitor" all'estremità della batteria di aste di perforazione
- 3) estrazione lenta delle aste con simultanea rotazione angolare delle stesse, a formare il volume di terreno consolidato desiderato (colonna, pannello, ecc.).

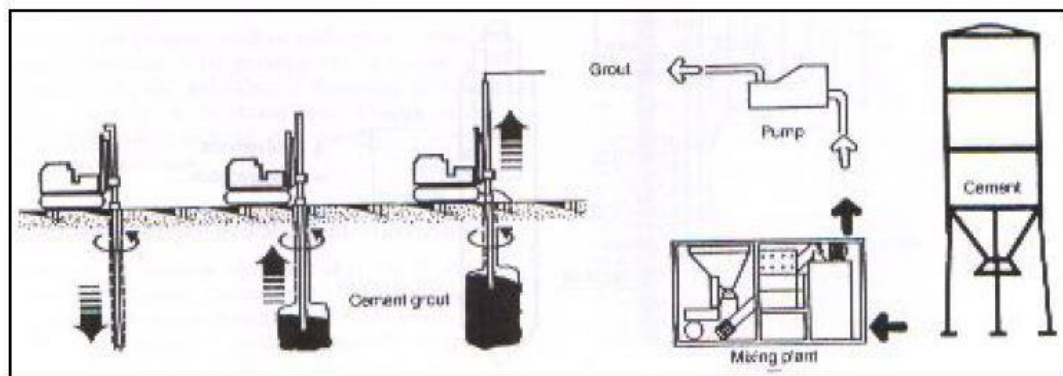


Figura 19. Attrezzature e fasi di realizzazione di colonne di terreno consolidato (da Morey & Harris)

Durante il processo di iniezione il fango in eccesso derivante dall'inserimento della miscela fluida nel terreno fuoriesce liberamente dal suolo. Qualora ciò non avvenga si incorre nel rischio della fratturazione del terreno. La forma, le dimensioni, la composizione e le caratteristiche meccaniche del volume di terreno consolidato, dipendono sostanzialmente da:

- natura e caratteristiche meccaniche e strutturali del terreno naturale in sito
- caratteristiche della miscela cementizia di iniezione
- modalità e parametri di iniezione.

Relativamente alle modalità di iniezione si possono distinguere tre tecnologie j.g., rispettivamente denominate monofluido, bifluido e trifluido in funzione del numero dei materiali iniettati: la sofisticazione tecnologica dei metodi bifluido e trifluido rispetto al metodo base (monofluido) è mirata a incrementare la distanza e l'intensità di penetrazione della cementazione all'intorno del foro.

### 6.2 Indicazioni alla luce delle analisi condotte

Sulla base di ricerche bibliografiche si possono stimare i *range* di parametri meccanici riportati nella seguente tabella per i terreni trattati:



Litologia	Coesione [kg/cm <sup>2</sup> ]	Modulo E [kg/cm <sup>2</sup> ]
Ghiaie pulite	> 300	200.000
Ghiaie sabbiose	200 ÷ 300	150.000
Sabbie pulite	200 ÷ 300	100.000
Sabbie debolmente argillose	40 ÷ 75	80.000
Sabbie limose	40 ÷ 80	25.000
Pozzolane	40 ÷ 80	nd

Tab. 2 - Valori di parametri meccanici in vari materiali trattati con Jet-Grouting (da Lamberti e Botto)

È evidente che le condizioni di partenza migliori per l'ottenimento dei massimi risultati in termini di dimensioni delle colonne e caratteristiche meccaniche delle stesse sono rappresentate dai terreni di natura ghiaiosa e sabbiosa: si stima pertanto opportuno l'intervento in progetto in considerazione del contesto geologico definito. Tale tesi è supportata inoltre dal fatto che le perforazioni di piccolo diametro previste per la realizzazione dei jet permettono l'attraversamento di blocchi lapidei.

Il limite di questa tecnica consiste nell'impossibilità di armare la struttura di sottofondazione, se non con immissione di un solo tubo in acciaio al centro, che però non permette di delegare alla struttura nessuna funzione di tipo flessionale.

Nel caso specifico si consiglia l'utilizzo del sistema monofluido per le seguenti ragioni:

- non c'è la necessità di allontanare depositi fini mediante getti di aria o fluido;
- permette l'utilizzo di colonne di piccole dimensioni (tipicamente 0.5-0.6m, possibile anche minori);
- nel sottosuolo è già presente acqua corrente, per cui la miscela iniettata viene dilavata;
- meno costoso per installazione del cantiere e costo delle attrezzature;
- nei livelli di terreno poco addensato non si rischia di perdere fluido in pressione con conseguente erosione;

Per contro va attentamente valutato il refluentamento della miscela iniettata, in quanto il mancato refluentamento può portare a sollevamenti a causa delle alte pressioni, con conseguente idrofratturazione.

Per questo motivo, e vista la possibile presenza di trovanti e di un cambio stratigrafico, si consiglia la presenza di un geologo in fase esecutiva, specie se l'intervento dovrà essere condotto senza interruzione del traffico autostradale.

## 7. CONCLUSIONI

La presente relazione definisce il modello geologico-geotecnico del sito in cui si inseriscono la realizzazione di n.5 pennelli a ridosso della scogliera esistente lungo la sponda destra del Fella e le operazioni di consolidamento mediante jet grouting a consolidamento dei terreni di fondazione delle pile del viadotto della A23. Gli esiti delle indagini sono stati correlati tra loro, ed interpretati in relazione ai rilievi geologici-geomorfologici condotti. Gli aspetti sopra descritti sono sintetizzati nella carta geologica-geomorfologica allegata (AII.2) e nelle sezioni geologiche e geotecniche (AII.3), a cui si rimanda.

In estrema sintesi, nonostante la spiccata variabilità dei depositi, il modello geotecnico è piuttosto semplice, e prevede un unico livello dalle caratteristiche meccaniche raggruppabili, oltre a un livello superficiale meno addensato costituito da depositi mobilitati o mobilitabili. Vanno segnalati, ai fini pratici in relazione alle operazioni di jet grouting, l'aumento della percentuale di fini a partire da 9 m dal piano di indagine e la possibile presenza di trovanti. E' ovunque presente una falda libera, con livello coincidente circa con quello del Fiume Fella, che ammette una falda in regime disperdente. In relazione alle opere in massi da scogliera da realizzarsi, non si evidenziano problematiche a livello del piano di appoggio, se non la presenza di falda a quota superiore rispetto quella di fondo scavo.

Preso in considerazione quanto detto, viste tutte le caratteristiche geologiche, idrogeologiche del sito, non si riscontrano specifiche pregiudiziali di carattere geologico alla realizzazione degli interventi in oggetto, fatte salve le prescrizioni sopra riportate e di cui dovrà tener conto in modo particolare la relazione di progetto, come prescritta al Cap.6 del DM 17/01/2018.

L'intervento è compatibile con le caratteristiche geologiche e idrogeologiche del sito, non interagendo negativamente né direttamente né indirettamente in alcun modo con le opere in progetto e le aree limitrofe, secondo quanto previsto dalla normativa vigente. L'intervento apporterà un significativo miglioramento della stabilità dei luoghi.

Si consiglia altresì:

- di seguire tutte le indicazioni descritte nel presente lavoro;
- di verificare, in corso d'opera a cura della Direzione Lavori, l'omogeneità delle caratteristiche geologiche-geotecniche adottate, adeguando eventualmente le previsioni di progetto;
- di realizzare dei piani di imposta adeguati su cui impostare le opere in massi in progetto, e di verificare la stabilità globale dei pennelli, anche in considerazione delle pressioni neutre e delle azioni di progetto.

*Trieste, 25 Settembre 2020*

*Per IGS srl:*

*Dott. Geol. David Pomarè Montin*



*Dott.ssa Geol. Cristina Gerdol*





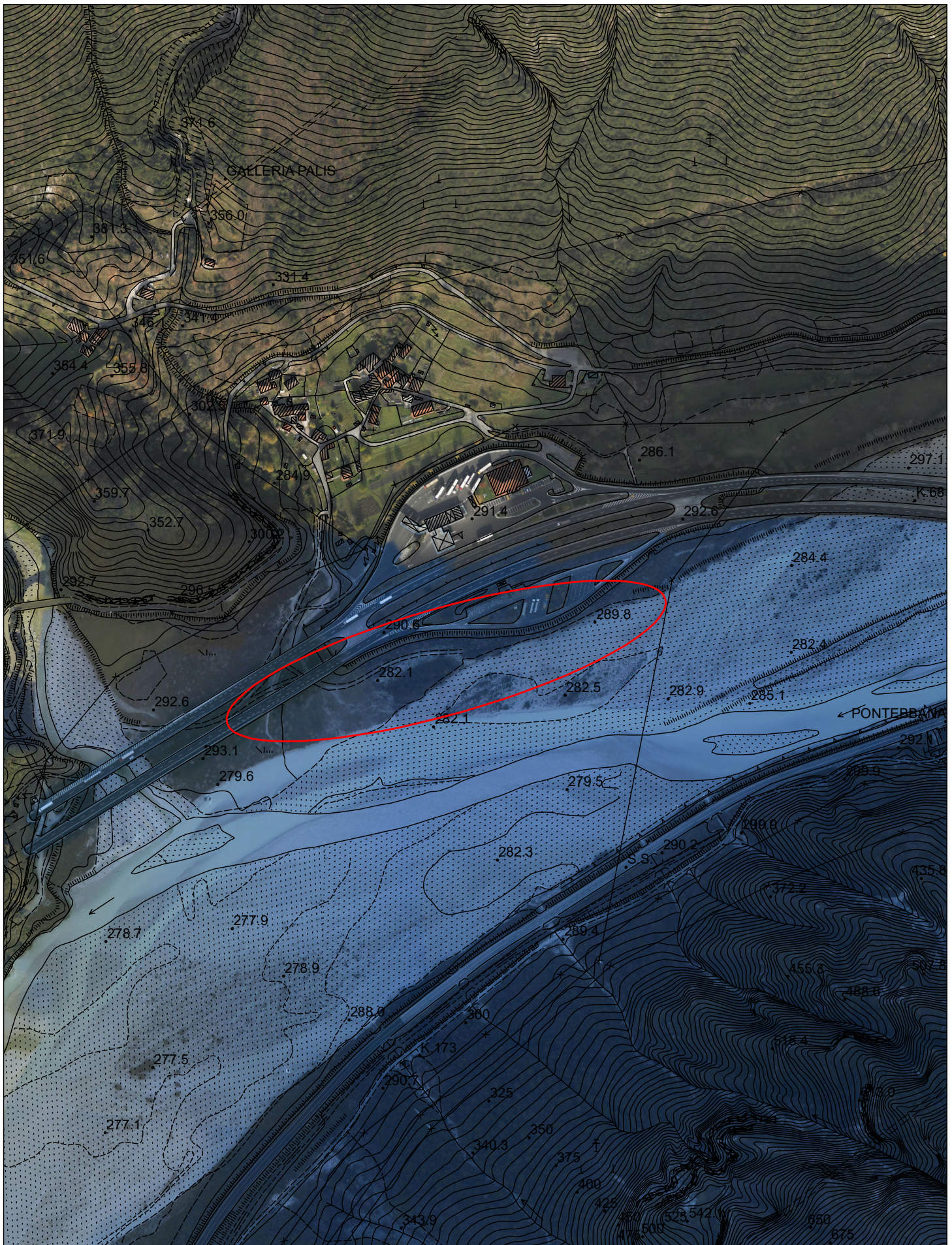


ALLEGATO 1  
INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO

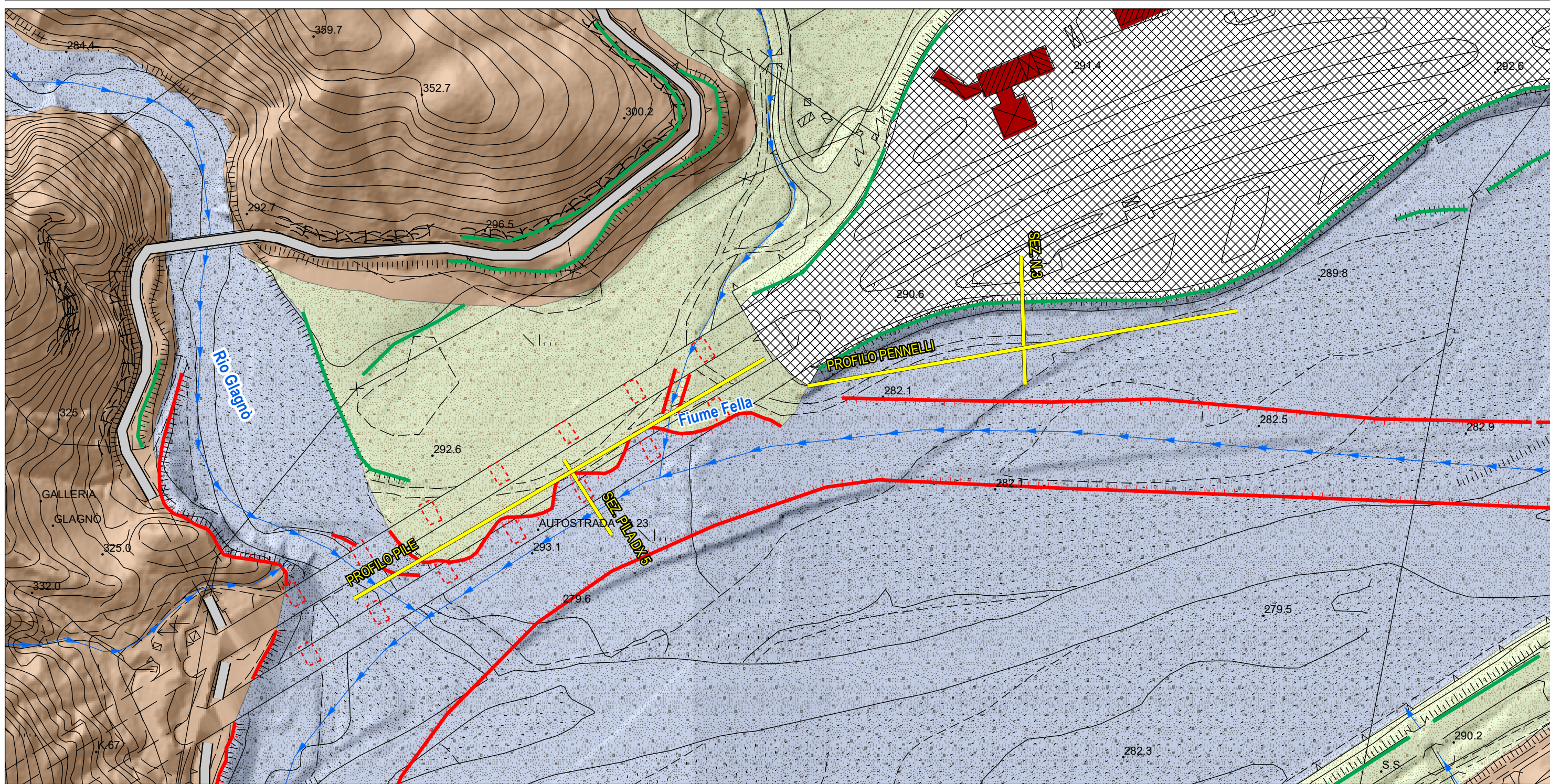
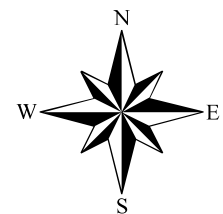
Base cartografica ortofoto e CTRN: elementi 032153 Moggio Udinese, 049021 Carnia,  
049034 Stazione di Moggio Udinese e 032142 Moggessa

Scala 1: 5 000





0 50 100 150 200  
m














**Legenda**

- |  |   |
|--|---|
|  Traccia di sezione geologica |  Edifici               |
|  Strada                       |  Piloni autostrada A23 |

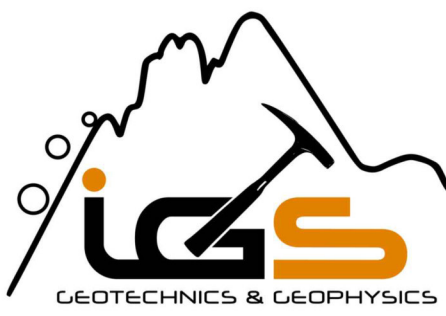
**Geomorfologia**

- |  |
|--|
|  Orlo morfologico attivo            |
|  Orlo morfologico inattivo          |
|  Asse di ruscellamento superficiale |

**Litologia**

- |   |  |
|---|--|
|  Depositi di alveo mobile attuale      |  Terreno di riporto |
|  Depositi di terrazzo fluviale recente |  |
|  Substrato affiorante/sub-affiorante   |  |



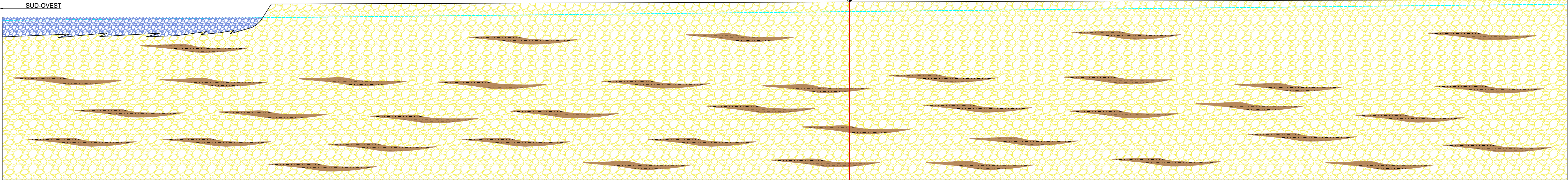


PROFILO GEOLOGICO PILE VIADOTTO STRADALE

Scala 1:300

SEZIONE GEOLOGICA PILA DX 5

NORD-EST

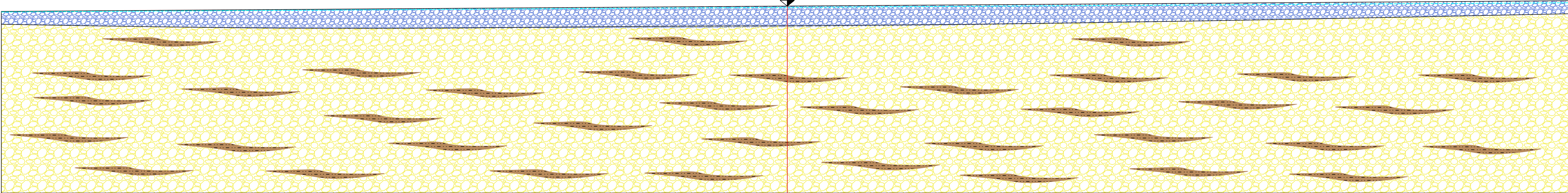


PROFILO GEOLOGICO PENNELLI

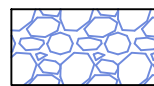
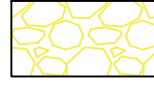

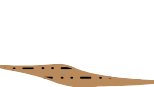

Scala 1:300

SEZIONE GEOLOGICA N.3 ASSE PENNELLO

NORD-EST

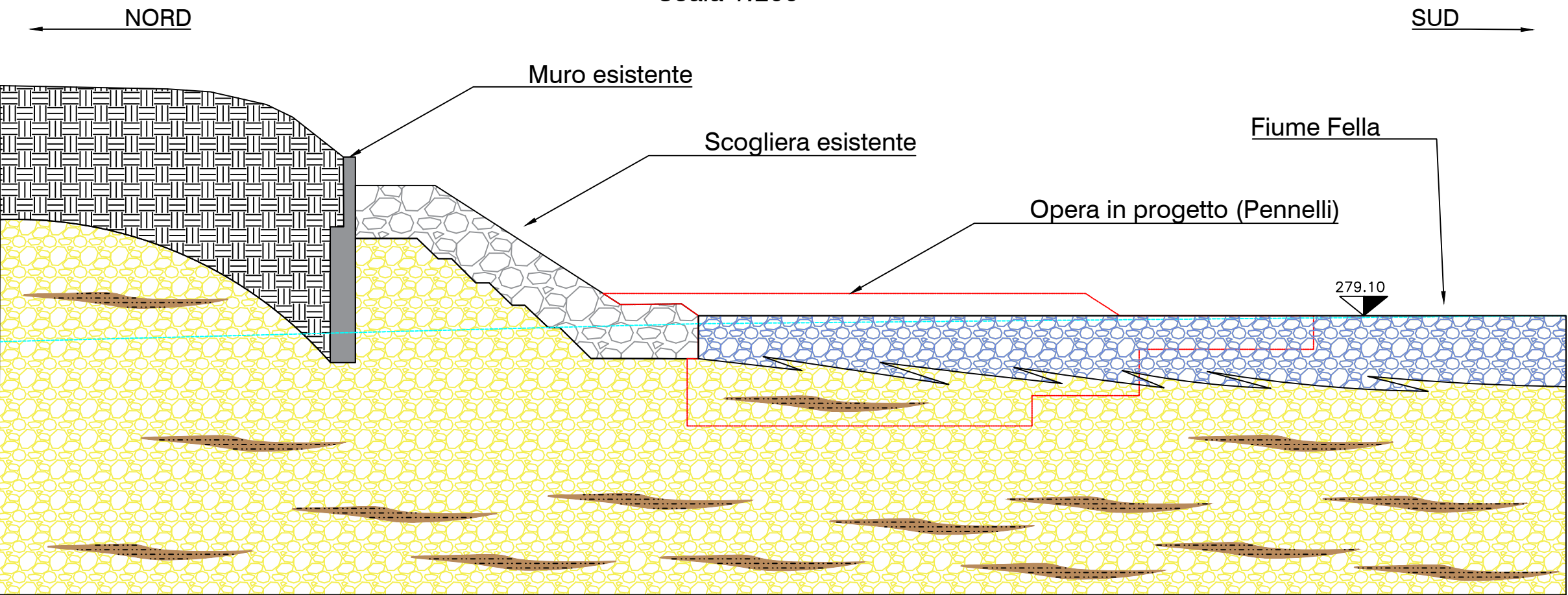


LEGENDA

-  Depositi di alveo mobile attuale
-  Depositi di terrazzo fluviale recente
-  Terreno di riporto
-  Livello di falda
-  Lente coesiva

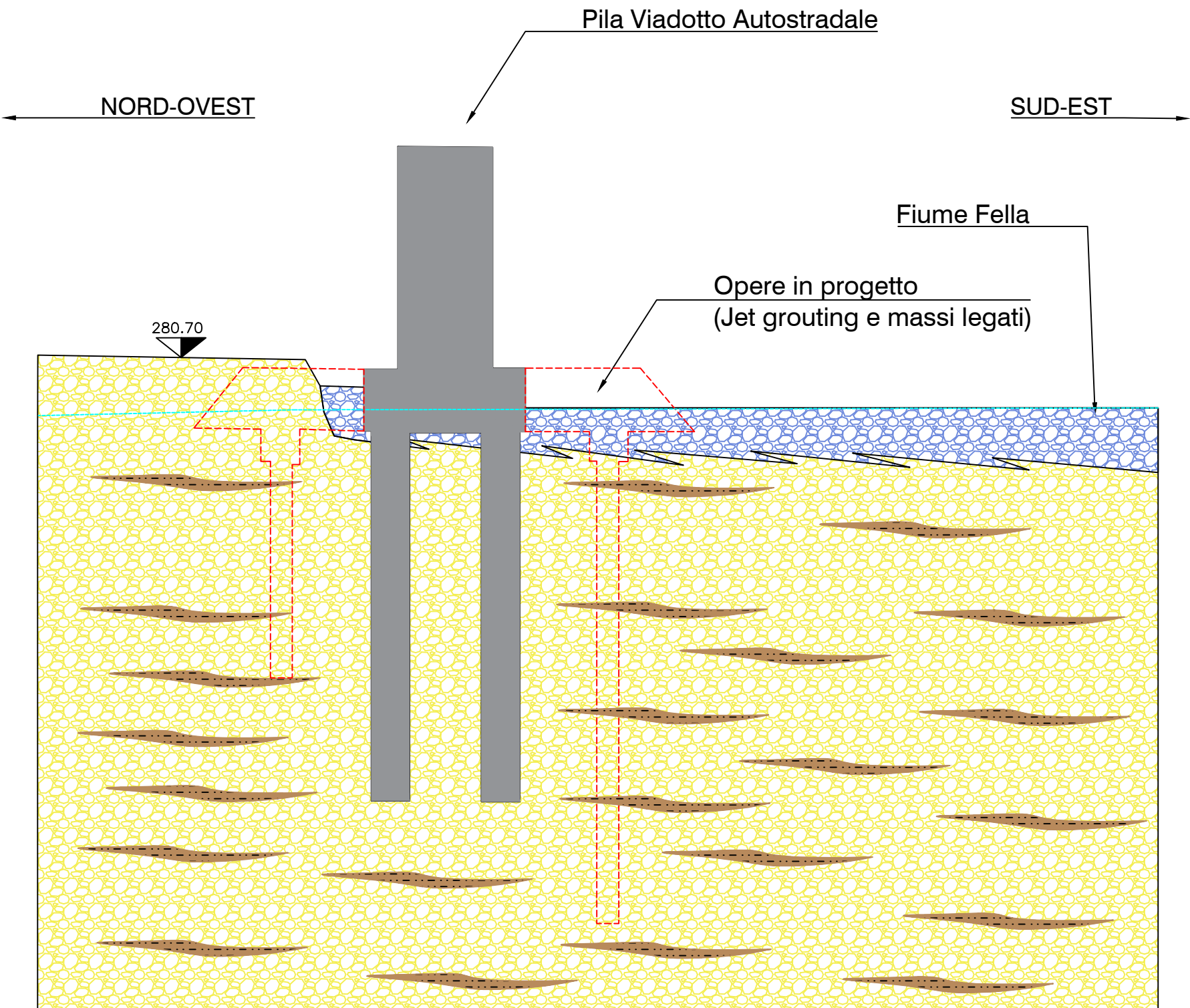
SEZIONE GEOLOGICA N.3 ASSE PENNELLO

Scala 1:200

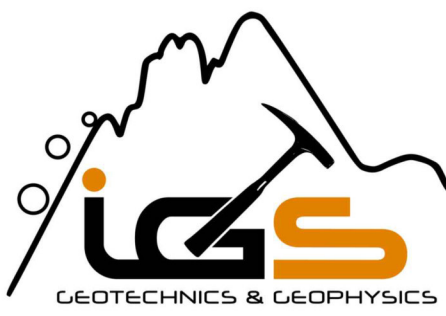


SEZIONE GEOLOGICA PILA DX 5

Scala 1:200



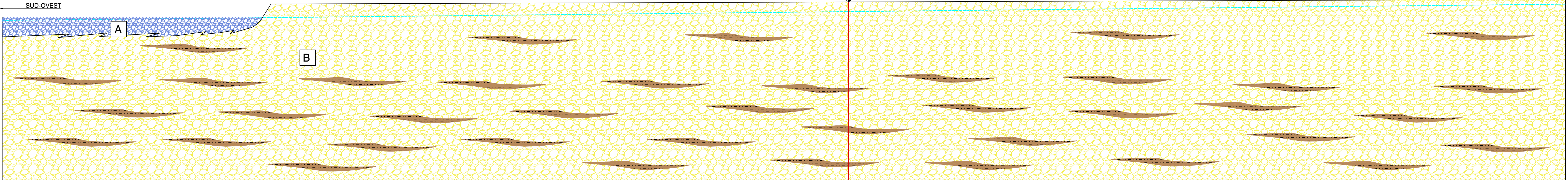




PROFILO GEOTECNICO PILE VIADOTTO STRADALE

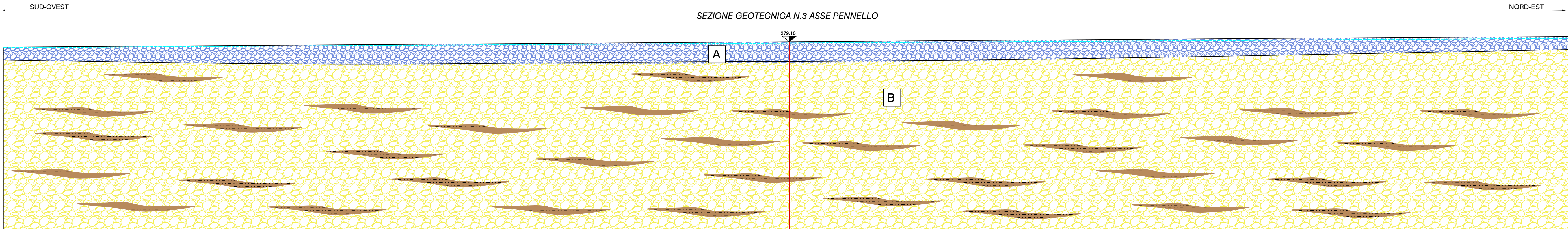
Scala 1:300 SEZIONE GEOTECNICA PILA DX 5

NORD-EST



PROFILO GEOTECNICO PENNELLI

Scala 1:300 SEZIONE GEOTECNICA N.3 ASSE PENNELLO



LEGENDA

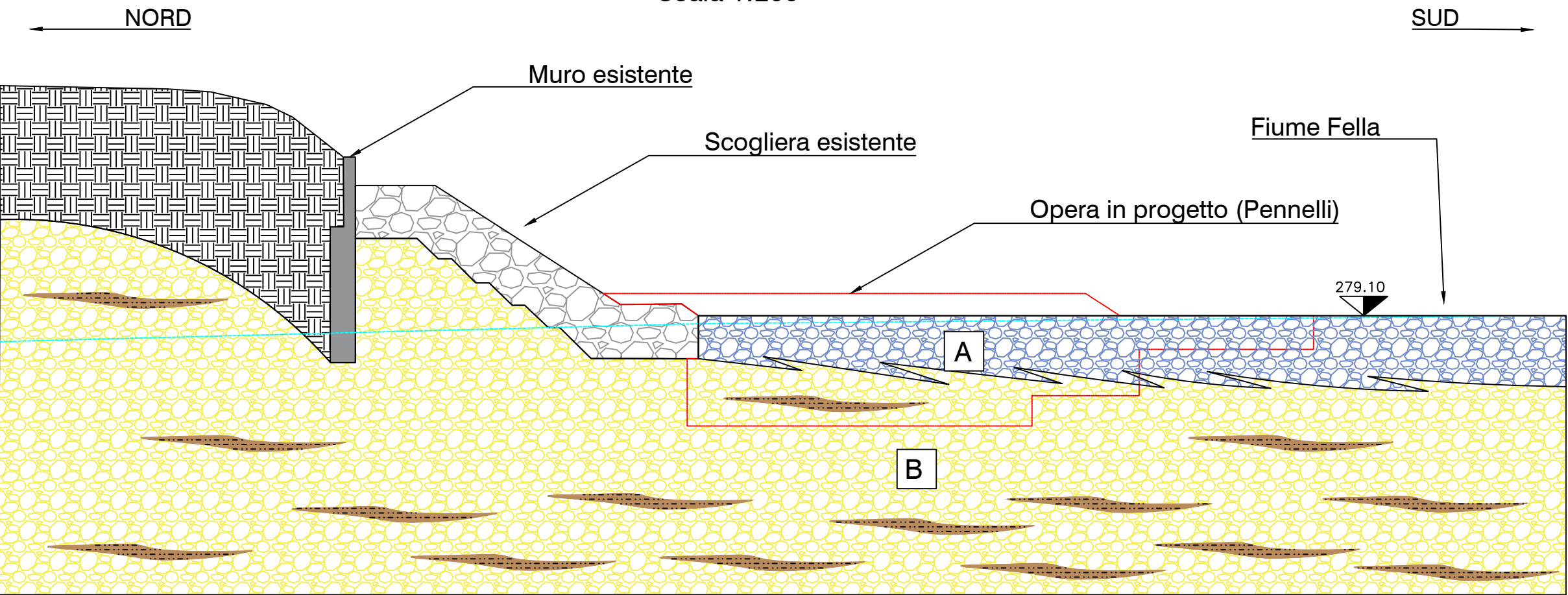
- Depositi di alveo mobile attuale
- Depositi di terrazzo fluviale recente
- Terreno di riporto
- Livello di falda
- Lente coesiva

A	Depositi di alveo mobile attuale		
Angolo di attrito interno	$\phi'$	35°	
Coesione efficace	C'	nulla - depositi incoerenti	
Densità relativa	Dr	65,00%	
Peso di volume	Y	18,00 kN/m³	
Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub>	30 MPa	
NSPT medio	Nspt	30	

B	Depositi di terrazzo fluviale recente		
Angolo di attrito interno	$\phi'$	35°	
Coesione efficace	C'	5 kPa	
Densità relativa	Dr	75,00%	
Peso di volume	Y	18,50 kN/m³	
Modulo Edometrico	E <sub>ed</sub>	35 MPa	
NSPT medio	Nspt	40	

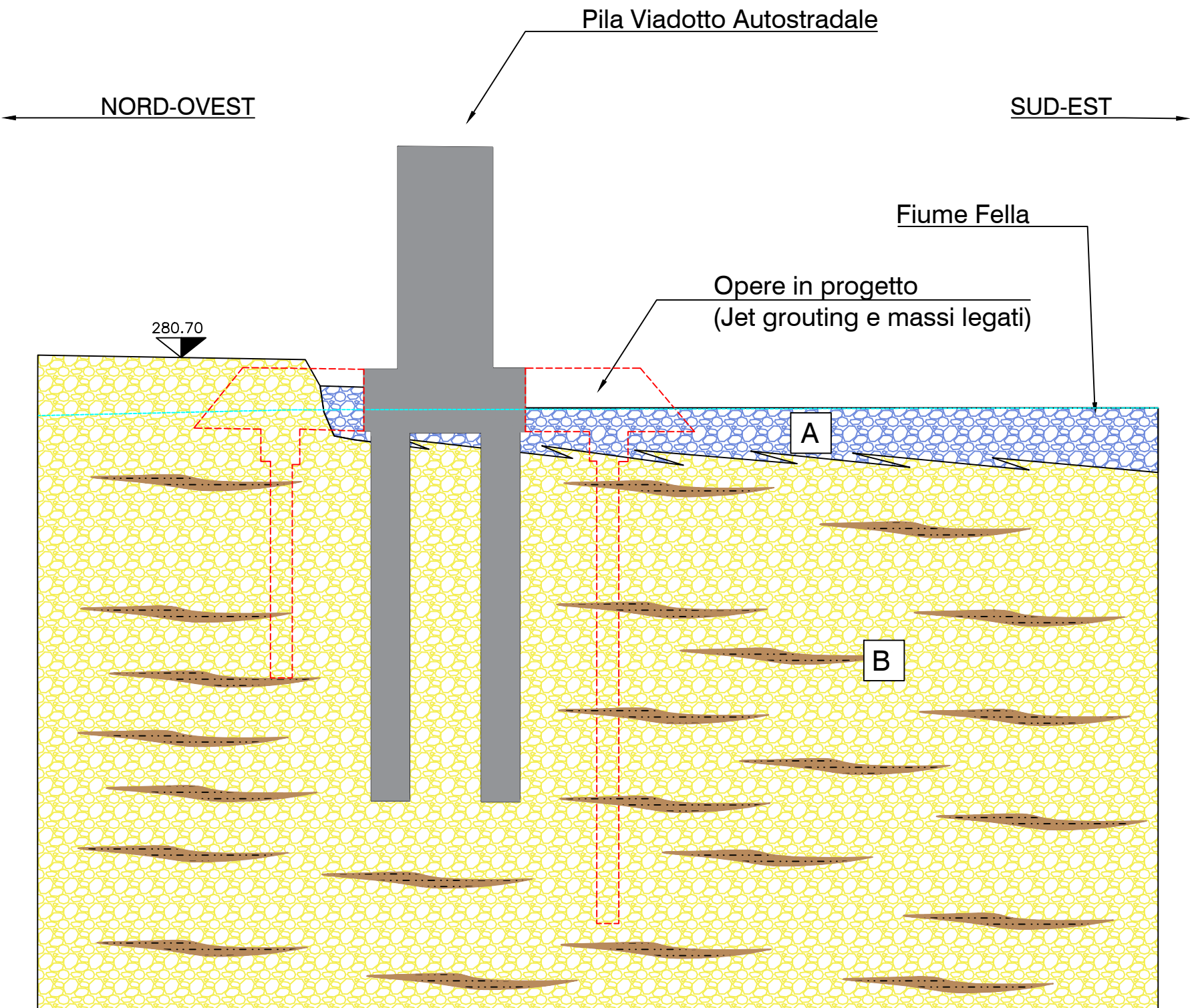
SEZIONE GEOLOGICA N.3 ASSE PENNELLO

Scala 1:200



SEZIONE GEOLOGICA PILA DX 5

Scala 1:200







**Foto 1:** Scogliera esistente e direzione di flusso del Fiume Fella con la relativi orli morfologici – Visuale da SW



**Foto 2:** Direzione di flusso del Fiume Fella ed ubicazione dei piloni dell'A23 – Visuale da NE.



**Foto 3:** Barra fluviale tra il Fiume Fella e la scogliera esistente – Visuale da Est.



**Foto 4:** Orli morfologici in corrispondenza dei piloni n.5 e n.6 di destra.





**Foto 5:** Orli morfologici in corrispondenza del pilone n.6 dx.



**Foto 6:** Orli morfologici in corrispondenza del pilone n.4 dx..



**Foto 7:** Erosione al piede del pilone n.2 dx.



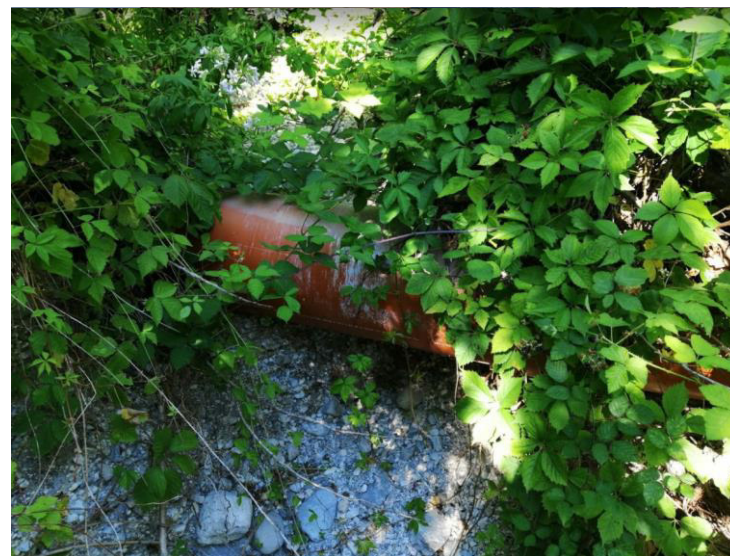
**Foto 8:** Stato attuale del pilone n.2 sx.



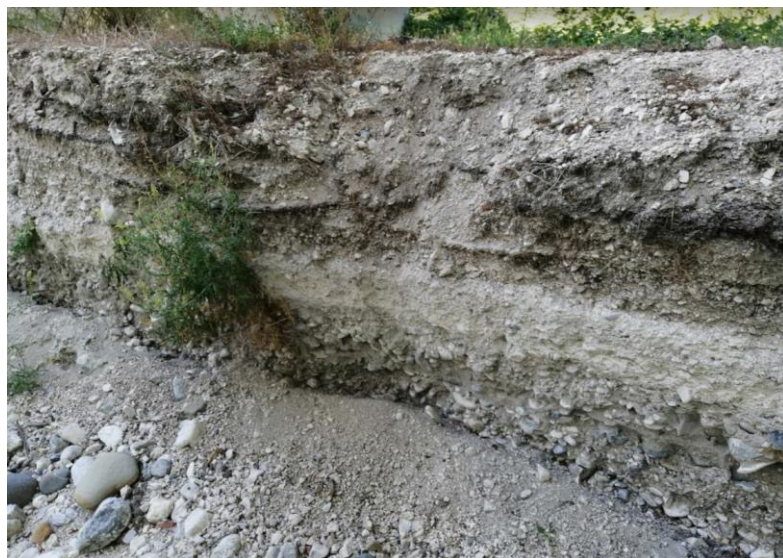


**Foto 9:** Orli morfologici attivi in corrispondenza del ruscellamento superficiale rilevato – Visuale da N-NE.

**Foto 10:** Tubazione per il drenaggio di ruscellamenti presenti in prossimità dell'area in foto 9.



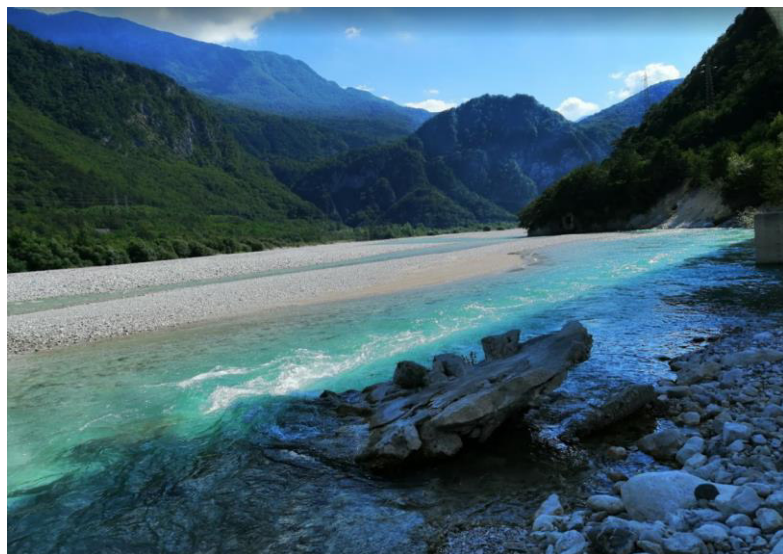
**Foto 11:** Dettaglio della stratigrafia presente nella scarpata in foto 9 – Depositi di terrazzo alluvionale recente.



**Foto 12:** Erosione della sponda destra del Fiume Fella in prossimità del pilone n.1 dx – Visuale da NE.







**Foto 13:** Materiale  
eroso in prossimità dei  
piloni dell'autostrada  
A23.

**Foto 14:** Orlo  
morfologico in  
prossimità del pilone  
n.3 dx – Visuale da  
NE.

