

## Interventi urgenti per il contrasto al dissesto del Rio Cipollina (Asti)

*ai sensi del PR FESR 2021-2027 Priorità II Obiettivo RSO 2.4 Azione II.2IV.1 - BANDO 2023*



### Fascicolo 3 Relazione geologica e geotecnica

Rev. n.	Descrizione	Data	Redazione	Verifica	Approvazione
01	Progetto definitivo allegato all'istanza di finanziamento	Giugno 2023	AS		

#### GRUPPO DI LAVORO

Dott. for. Paolo Cielo  
Dott. for. Paolo Settembri  
Dott. for. Fabio Pesce  
Dott. for. Alberto Morera  
Dott. for. Hervé Blanc



ForTeA s.r.l. s.t.p.  
Via Traves, 43 – Torino  
Tel. +39 011 7491520  
[fortea@fortea.eu](mailto:fortea@fortea.eu)/[fortea@mypec.eu](mailto:fortea@mypec.eu)



Dott. geologo Andrea Scaglia

Via Maria Vittoria 24 - 10123 Torino  
[andrea.scaglia@fastwebnet.it](mailto:andrea.scaglia@fastwebnet.it)

## INDICE

PREMESSA .....	1
1) NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	1
2) LOCALIZZAZIONE – TIPOLOGIA INTERVENTI IN PROGETTO – VINCOLI D'ORDINE GEOLOGICO .....	2
3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO GENERALE .....	7
4) ASSETTO MORFOLOGICO E MODELLO GEOLOGICO STRATIGRAFICO ALLA SCALA DEI SITI D'INTERVENTO .....	9
4a) Assetto morfologico e geologico stratigrafico alla scala della linea di drenaggio interessata dagli interventi di sistemazione idraulica (tratto ABCE della planimetria di progetto) .....	9
4b) Assetto morfologico e geologico stratigrafico alla scala dei settori in cui sono in progetto ulteriori interventi di sistemazione (settori F,G,H,L della planimetria di progetto) .....	10
5) IDROGEOLOGIA E CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA.....	12
6) SISMICA .....	13
6a) Pericolosità sismica .....	13
6b) Sismicità storica .....	14
6c) Zonazione sismogenetica .....	16
6d) Accelerazione sismica attesa alla scala dell'area d'intervento ( linea di drenaggio interessata dagli interventi di sistemazione).....	16
6e) Accelerazione sismica attesa alla scala dell'area d'intervento (altri interventi in ambito di pendio) .....	19
7) PROCESSI DI DISSESTO GEOMORFOLOGICO .....	22
8) ASSETTO LITOTECNICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	25
8a) Livello litotecnico 1 (limi sabbiosi e sabbie limose).....	26
8b) Livello litotecnico 2 (sabbie limose dense con intercalati livelli cementati) .....	28
9) VERIFICHE ANALITICHE DI STABILITÀ GLOBALE .....	28
10) NOTE DI SINTESI E VALUTAZIONI CONCLUSIVE .....	31

---

## PREMESSA

Nel presente documento sono esposti i risultati dell'indagine geologica svolta a supporto del progetto relativo agli interventi di sistemazione idrogeologica, mediante opere di ingegneria naturalistica, del bacino idrografico del rio Cipollina, nell'ambito del territorio comunale di Asti e del "Parco Paleontologico della Riserva Naturale della Valli Andona, Botto e Grande".

In ottemperanza alla normativa vigente in materia di opere interagenti con il suolo e sottosuolo nonché alla legge regionale 08/09/1989 n°45, in quanto l'area è sottoposta a vincolo per scopi idrogeologici ai sensi del RDL 3267/1923, previa localizzazione dei siti d'intervento e definizione della vincolistica d'ordine geologico, sono stati definiti e presi in esame:

- elementi morfologici e geologici generali;
- assetto morfologico e litostratigrafico alla scala dei settori d'intervento;
- modello idrogeologico e circolazione idrica sotterranea;
- processi di dissesto geomorfologico legati alla dinamica di versante e torrentizia;
- caratteristiche sismiche;
- parametri geotecnici delle litofacies impegnate dalle opere di sistemazione idrogeologica in progetto.

Scopo dell'indagine, che si è articolata attraverso:

- acquisizione ed esame del repertorio cartografico di carattere geomorfologico generale e in materia di dissesti geomorfologici;
- sopralluoghi e rilievi geologici tradizionali;

è la verifica della fattibilità geologica/geotecnica delle opere in progetto e fornire indicazioni tecniche propedeutiche alle attività di progettazione.

## 1) NORMATIVA DI RIFERIMENTO

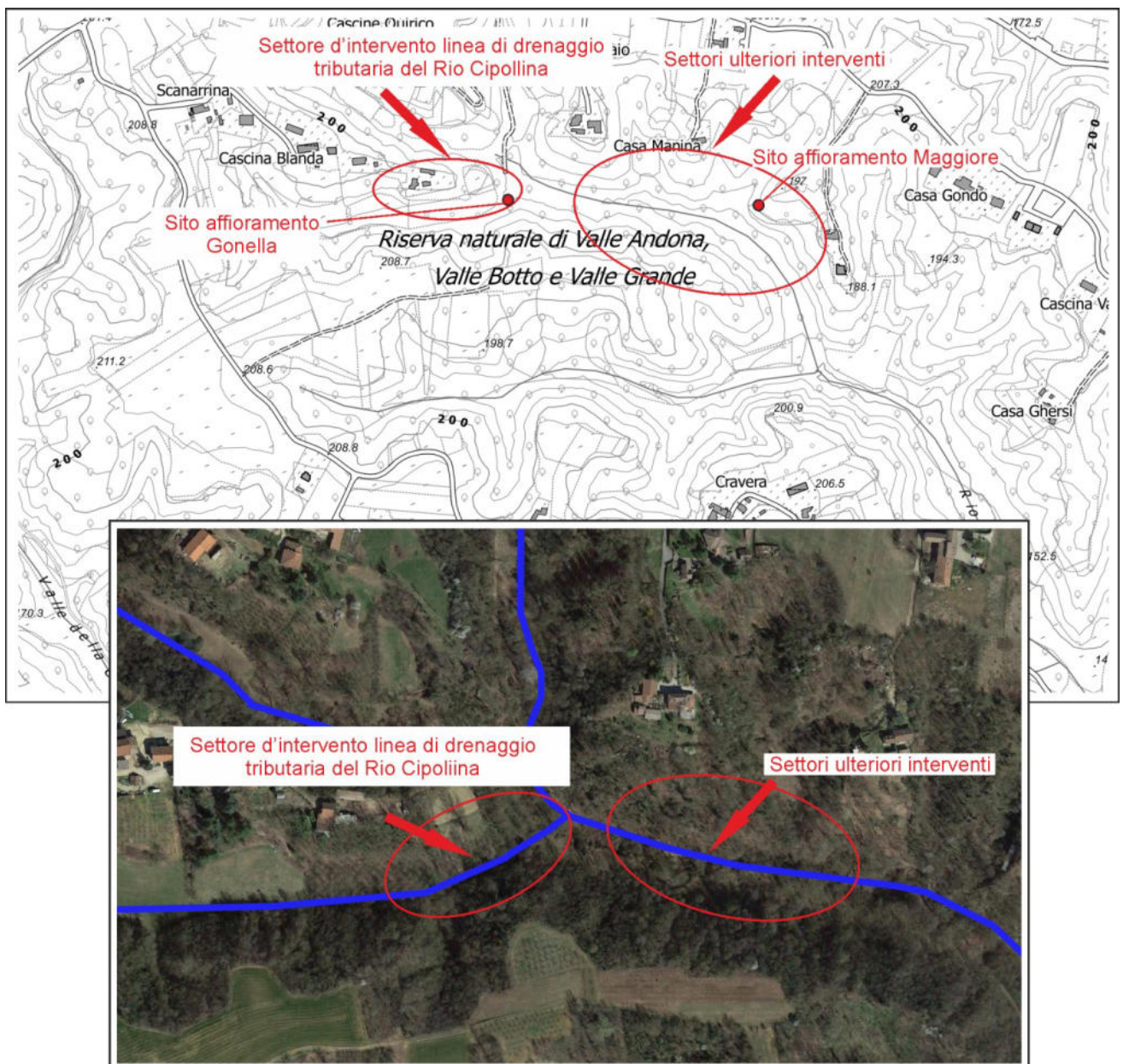
- D.G.R 30 dicembre 2019, n. 6-887. Presa d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte, di cui alla D.G.R. del 21 maggio 2014, n. 65.
- DM 17/01/2018 - Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018)".
- Nuova Classificazione sismica del Piemonte 12/02/2010.
- OPCM n 3274 del 20/03/2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

- L.R. 08/09/1989, n° 45 "Nuove norme per gli interventi da eseguire in aree sottoposte a vincolo per scopi idrogeologici - Abrogazione della L.R 12 Agosto 1981, n°27", essendo l'area in ambito di vincolo idrogeologico ai sensi del RDL 3267/1923".

## 2) LOCALIZZAZIONE – TIPOLOGIA INTERVENTI IN PROGETTO – VINCOLI D'ORDINE GEOLOGICO

I siti d'intervento si localizzano in prossimità della zona di testata del bacino idrografico del Rio Cipollina, 3,5 km circa a ovest del concentrico urbano di Asti (cfr. fig. seguente). Più precisamente, riguardano la linea di drenaggio secondaria (tributaria di destra dell'asta principale) nei pressi dell'affioramento fossilifero "Gonella" e un tratto della vallecola percorsa dall'asta principale del Rio Cipollina.

Fig. 1) Localizzazione dei settori principali d'intervento su cartografia BDTRE alla scala 1:10.00 e su ripresa aerea alla scala 1: 5.000.

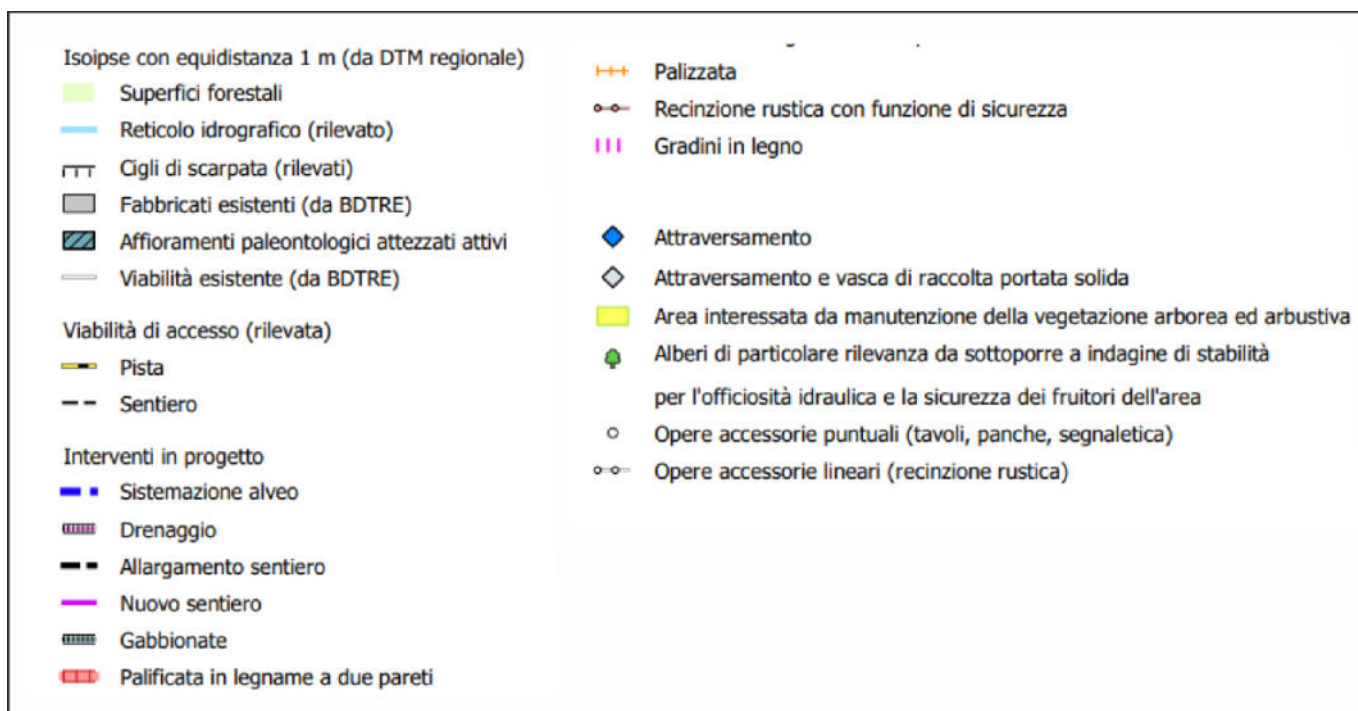
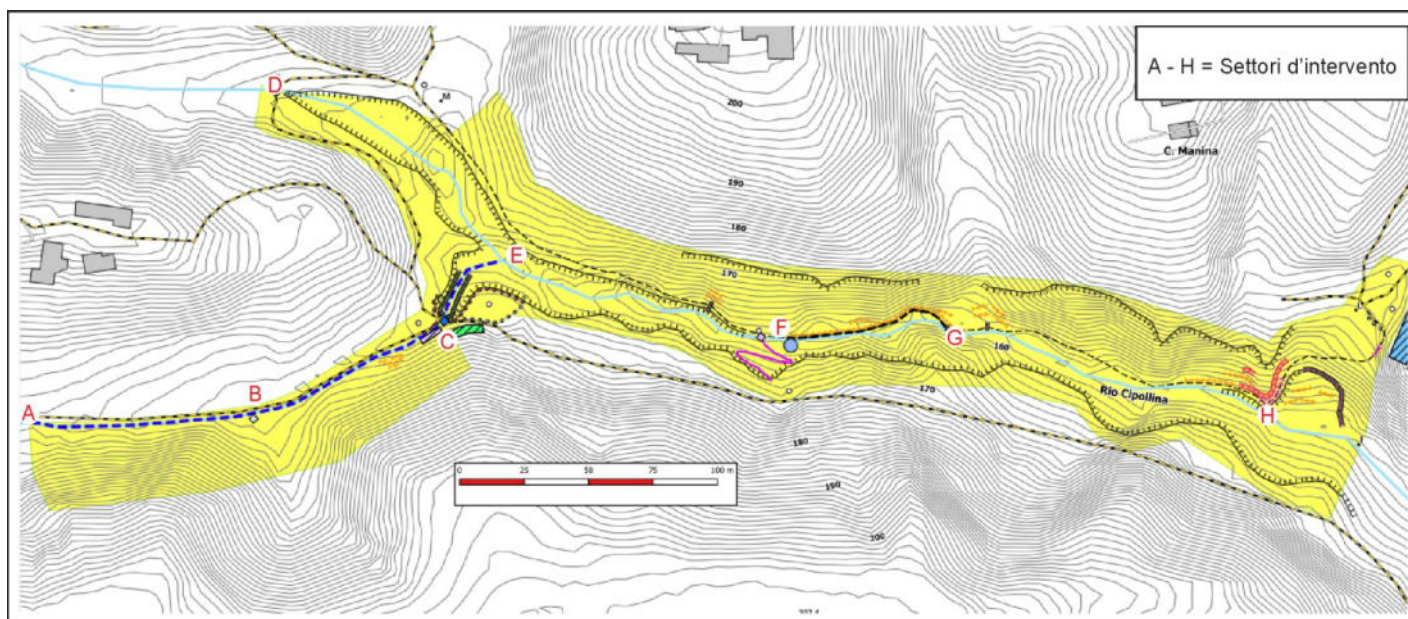


Sono in progetto opere di sistemazione idraulica del fosso e delle relative sponde di un tratto di una linea di drenaggio tributaria di destra del rio Cipollina, unitamente a opere di contenimento e di drenaggio al piede del pendio, sul fianco orografico sinistro della vallecola incisa dall'asta principale del Rio Cipollina, lungo cui decorre il sentiero che conduce al geosito fossilifero attrezzato (affioramento con strati a "Isognomon").

In dettaglio gli interventi in progetto consistono in:

- sistemazione linea di drenaggio presso l'affioramento Gonella (tratto A B C E cfr. fig. 2) comportante, previa rimozione dei residui della precedente sistemazione (canaletta in calcestruzzo), il risezionamento del fosso/alveo per un tratto con sviluppo lineare di 70 m circa a monte dell'attraversamento, presso l'affioramento fossilifero dismesso. Verrà attribuita al fosso una sezione a geometria trapezia, di idonee dimensioni per il regolare deflusso delle acque. Localmente verranno realizzate, alla base del versante, delle palizzate in legname di contenimento, onde evitare che i detriti dilavati dalle acque meteoriche riempiano il fondo della linea di drenaggio. Realizzazione di una vasca di sedimentazione in calcestruzzo con impronta di 15 mq circa nel punto intermedio del tratto d'asta a monte dell'attraversamento della pista per l'affioramento Gonella. A monte della vasca non si eseguirà risezionamento ma soltanto la pulizia del fosso. Nel tratto di fossato a valle dell'attraversamento, sino alla confluenza (tratto di circa 25 m) con l'asta principale del Rio Cipollina, verrà attuata una protezione del fondo e delle relative sponde mediante gabbioni con ciottoli.
  - realizzazione di palificate in legname a doppia parete, di palizzate e di drenaggi con funzione stabilizzatrice della coltre detritica superficiale in più settori (tratti FG e H cfr. fig. 2) a tergo del sentiero che si articola sul fianco sinistro della vallecola incisa dall'asta principale del rio Cipollina;
  - apertura di una nuova traccia di sentiero in sponda destra del Rio Cipollina (cfr. fig.2);
  - manutenzione straordinaria della vegetazione ai fini della sicurezza sia idraulica che di fruizione dell'area. Verranno rimossi gli alberi in alveo costituenti ostacolo al regolare deflusso delle acque e abbattuti quelli a rischio di caduta, lungo un tratto d'asta con sviluppo complessivo di circa 1000 m.
-

Fig. 2) Localizzazione interventi (estratto planimetria di progetto, alla scala 1:3.000)

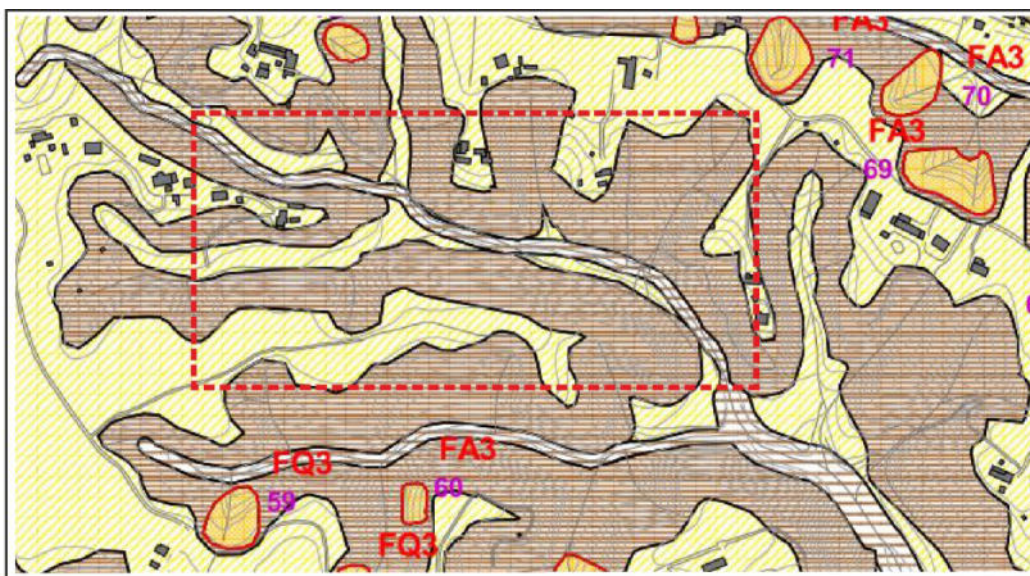


In merito alla vincolistica d'ordine geologico tecnico, i siti d'intervento rientrano in:

- Classe III (III a1 e III a2) della "Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzo urbanistico" a supporto della variante d'adeguamento al PAI del PRGC, ovvero in "Settori a pericolosità geomorfologica elevata con forti limitazioni urbanistiche". Più precisamente, gran parte dell'area d'intervento (regimazione idraulica asta rio) è ascritta alla Classe IIIa2 (aree inedificate o parzialmente edificate interessate da fenomeni d'erosione ad elevata energia e con altezze idrometriche maggiori di 0,40 m ... omissis ... aree inondabili e/o soggette a erosione torrentizia

interessate prevalentemente da processi prevalentemente lineari a intensità media/moderata; fasce della larghezza di 10 m lungo le sponde dei rii minori ... omissis). I siti su cui verranno realizzate le opere di ingegneria naturalistica (palificate e drenaggi) rientrano in Classe III a1 (aree inedificate ubicate nei versanti collinari caratterizzati da condizioni geomorfologiche poco favorevoli).

Fig. 3) Estratto "Carta di sintesi delle pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzo urbanistico" a supporto del PRGC vigente. Scala 1:10.000



#### Classe II - Settori a pericolosità geomorfologica moderata, con moderate limitazioni urbanistiche

Porzioni di territorio nelle quali, considerate le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica, gli interventi sono subordinati a consigli tecnici esplicitati a livello di norme d'attuazione ispirate al D.M. 14.01.2008 e realizzabili a livello di progetto esecutivo, esclusivamente nell'ambito del singolo lotto edificatorio o dell'intorno significativo circostante. Tali interventi non dovranno in alcun modo incidere negativamente sulle aree limitrofe, né condizionarne la propensione all'edificabilità.



CLASSE IIa - aree collinari caratterizzate da morfologia poco acclive e da condizioni di stabilità complessivamente buone.

#### Classe III - Settori a pericolosità geomorfologica elevata, con forti limitazioni urbanistiche

Porzioni di territorio nelle quali gli elementi di pericolosità geomorfologica e di rischio, derivanti questi ultimi dall'urbanizzazione dell'area, sono tali da impedire l'utilizzo qualora inedificate, richiedendo, viceversa, la previsione d'interventi di riassetto territoriale a tutela del patrimonio esistente.



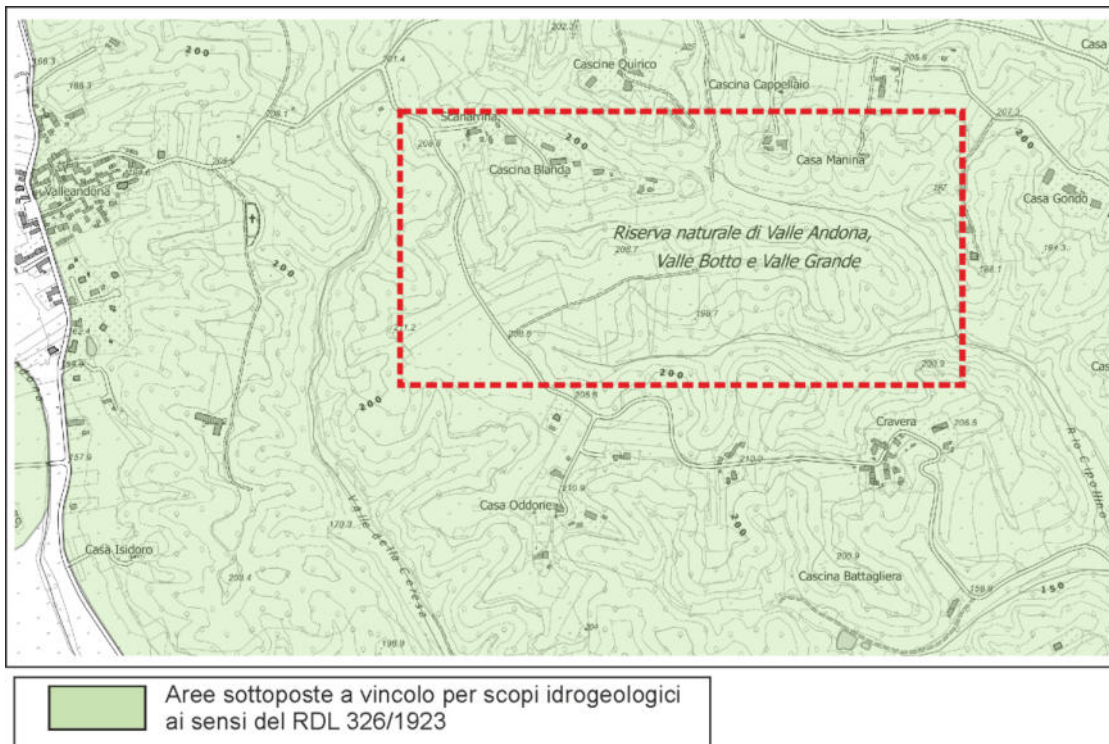
CLASSE IIIa1 - aree inedificate, ubicate nei versanti collinari caratterizzati da condizioni geomorfologiche poco favorevoli, ad elevata propensione al dissesto, inidonee a nuovi insediamenti.



CLASSE IIIa2 - aree inedificate o parzialmente edificate interessate da fenomeni d'esondazione a elevata energia e con altezze idrometriche maggiori di 0,4 m; aree di pertinenza fluviale, aree inondabili con intensità del processo: da molto elevata (Aree EeA) a elevata (Aree EbA) a media/elevata (Aree Eb\*A); aree ricomprese in Fascia A e in Fascia B individuate nel PAI per le quali il rischio di natura idraulica è stato considerato ineliminabile, inidonee a nuovi insediamenti; aree inondabili e/o soggette a erosione torrentizia interessate da processi prevalentemente lineari ad intensità media/moderata "EmL"; fasce della larghezza di 10 m lungo le sponde dei rii minori.

- ambito sottoposto a vincolo per scopi idrogeologici ai sensi del RDL 30/12/1923 n°3267. Gli interventi di modificazione e trasformazione d'uso del suolo sono normati dalla L.R 08/07/1989 n°45 e dal D.D. n. 368 del 07.02.2018. A tal riguardo le opere in progetto rientrano nella categoria "a" della L.R. n°45 in quanto le superfici impegnate e i volumi di movimento terra sono inferiori rispettivamente a 5.000 mq e 2.500 mc.

Fig. 4) Trasposizione shape file relativo alla perimetrazione delle aree sottoposte a vincolo idrogeologico per scopi idrogeologici ai sensi del RDL 3267/1923



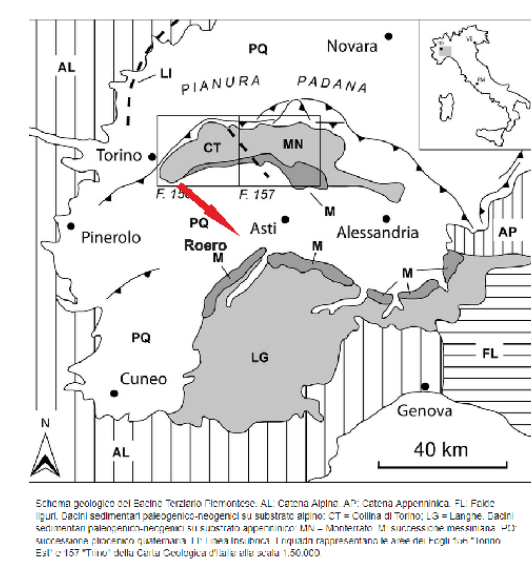


### 3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO GENERALE

I sistemi collinari dell'Astigiano e del basso Monferrato sono caratterizzati dall'alternanza di rilievi, relativamente poco elevati, delimitati da versanti mediamente acclivi, con fondi valle incisi, stretti e allungati.

Dal punto di vista geologico strutturale l'area è impostata sulla potente sequenza sedimentaria marina, prevalentemente terrigena, di età pliocenica, depositatasi nel corso delle fasi di chiusura del "Bacino Terziario Ligure Piemontese (BTL)", golfo marino instauratosi, a inizio Eocene, a seguito delle principali fasi orogenetiche alpine.

Fig. 5) Schema geologico del I Bacino Terziario Ligure- Piemontese (BTL)



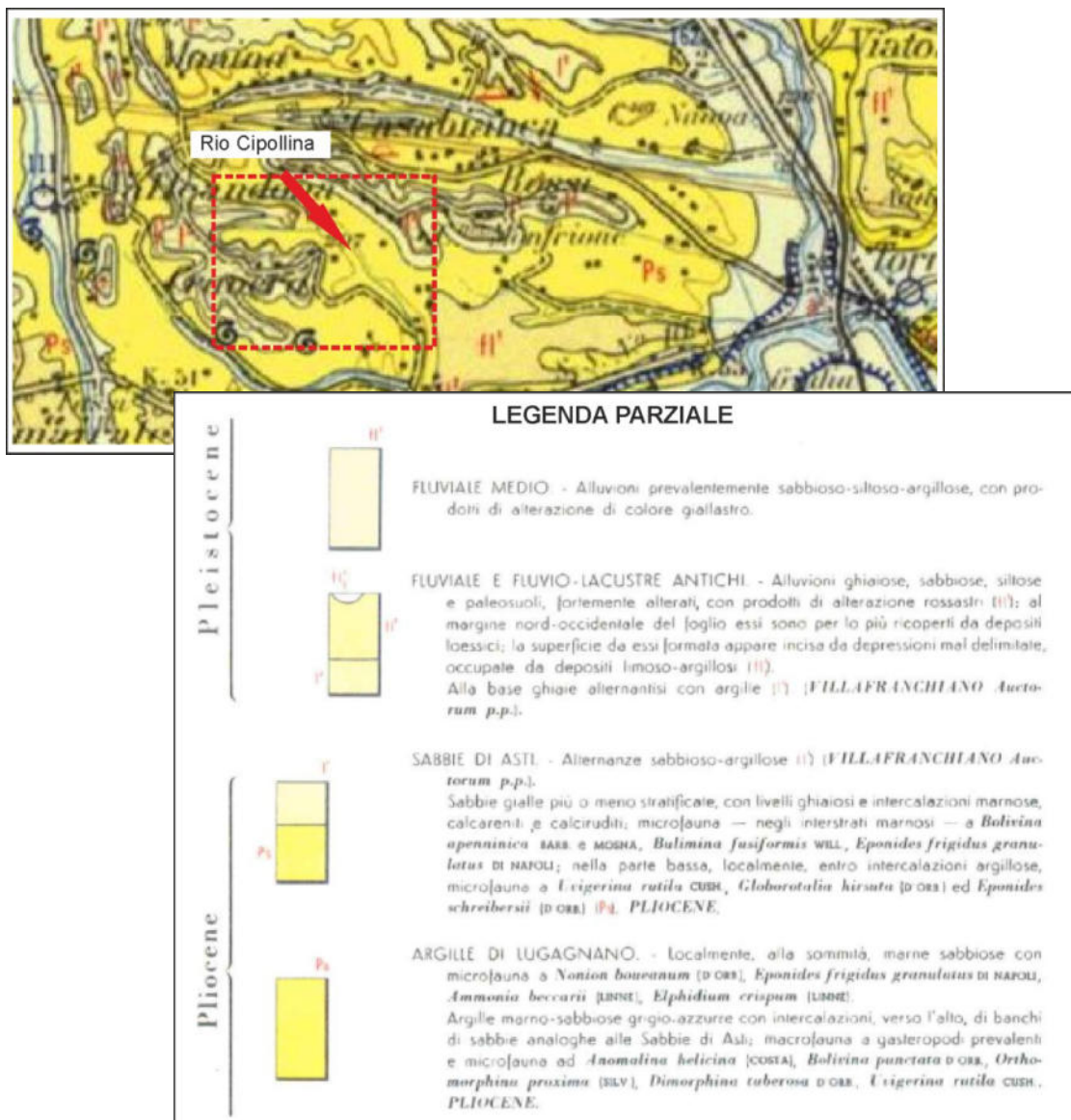
Tale successione di sedimenti, che a seguito del sollevamento iniziato nel corso dell'orogenesi alpina e protrattosi sino al Quaternario (Olocene), ha formato i rilievi collinari della zona e, più in generale, dell'intero Astigiano e Monferrato, risulta deformata da elementi tettonici a estensione plurichilometrica, quali pieghe a elevata lunghezza d'onda e inflessioni in corrispondenza di faglie con direzione prevalentemente NE-SW e NW-SE, che hanno compensato il sollevamento differenziale del settore rispetto alle zone limitrofe.

Più precisamente, l'area rientra nel fianco meridionale dell'ampia struttura a sinclinale, formatasi per effetto della convergenza delle catene alpine e appenniniche, caratterizzata da asse orientato ovest-est e nord est-sud ovest, le cui estremità nord e sud sono rappresentate rispettivamente dai sistemi collinari di Torino - Monferrato e delle Langhe.

Con specifico riferimento ai settori d'intervento, essi rientrano in prossimità della zona di testata del bacino imbrifero del Rio Cipollina, tra le quote 190 e 160 m s.l.m., caratterizzato da una superficie complessiva di 2,7 Km<sup>2</sup> (con sezione di chiusura alla confluenza con il "Rio della Valle Ceresa") e da un III ordine di gerarchizzazione secondo il criterio di Stralher.

In merito agli aspetti propriamente geolitologici, il corpo dei rilievi collinari e le incisioni delle vallecole della zona sono modellati in livelli sabbiosi cui si alternano bancate di calcareniti della formazione pliocenica in facies astiana (Ps), come riportato sul "F° 69 Asti della Carta Geologica d'Italia" (cfr. figura seguente) di cui nella figura seguente si riporta l'estratto.

Fig. 6) Estratto "F° 69 Asti" della Carta Geologica d'Italia. (ingrandimento alla scala 1:50.000)



In superficie si distribuiscono terreni eluvio colluviali derivanti dalla degradazione fisica dei sottostanti termini litologici della formazione pliocenica, il cui spessore varia in relazione allo specifico ambito morfologico. Gli spessori maggiori dei detriti eluvio colluviali si registrano ai piedi dei versanti, nel settore di raccordo con il fondovalle. In asse all'asta principale dei rii che attraversano la zona localmente si sviluppano depositi alluvionali limosi sabbiosi che si giustappongono ai detriti eluvio colluviali in rapporti di parziale e reciproca sovrapposizione tra loro.

#### 4) ASSETTO MORFOLOGICO E MODELLO GEOLOGICO STRATIGRAFICO ALLA SCALA DEI SITI D'INTERVENTO

##### 4a) Assetto morfologico e geologico stratigrafico alla scala della linea di drenaggio interessata dagli interventi di sistemazione idraulica (tratto ABCE della planimetria di progetto)

Il tratto d'alveo della linea di drenaggio tributaria di destra del rio Cipollina, con sviluppo lineare di 200 m circa, lungo cui verranno realizzati gli interventi di sistemazione idrogeologica in progetto, rientra nella fascia altimetrica compresa tra le quote 180 e 160 m s.l.m., sul relativo fianco orografico destro del bacino idrografico. L'alveo, con larghezza e profondità media della sezione rispettivamente di 0,80 m e 0,50 m circa (cfr. foto 1 della figura seguente), nel tratto relativamente più a monte risulta debolmente inciso e lambisce il piede del versante destro. A valle dell'attraversamento della pista che conduce al geosito fossilifero Gonella, la sezione d'alveo risulta sensibilmente più incisa e delimitata da sponde con altezza di circa 3,50 m rispetto alla quota del fondo scorrevole (cfr. foto 2 della seguente figura).

Fig. 7) Riprese fotografiche di un tratto della linea di drenaggio e cartografia BDTRE con sovrapposizione curve di livello ricavate in ambiente GIS da Modello Digitale Altimetrico Regionale (scala 1:10.000)

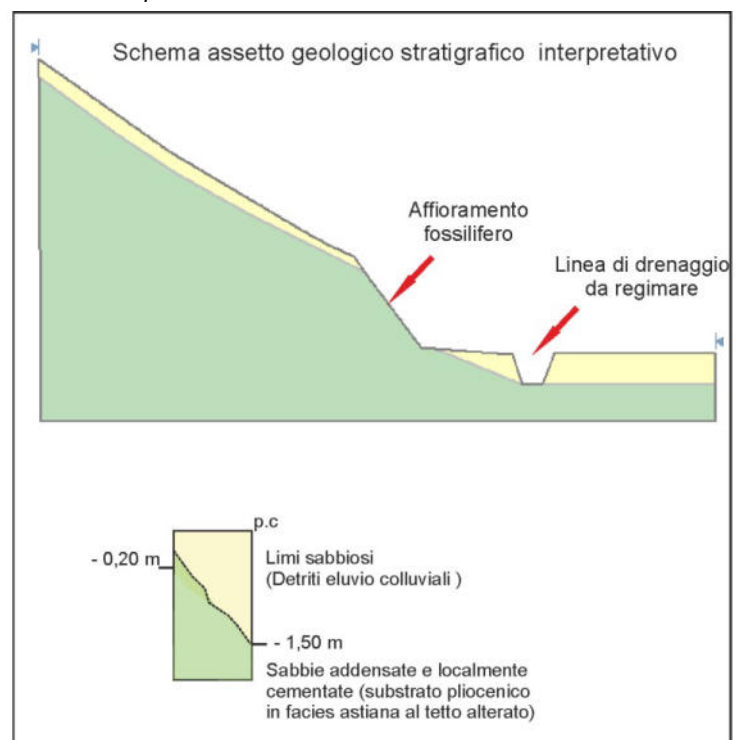


Sotto il profilo prettamente geologico, nell'ambito sotteso dalla linea di drenaggio, tenuto conto di quanto riscontrato in sezioni d'affioramento situate nell'immediato intorno, si distribuisce in superficie una coltre detritico eluvio colluviale formata da limi sabbiosi con spessore variabile da alcuni decimetri a 1,50 m circa (cfr. fig. 8), sovrapposta a sabbie giallastre bruno chiaro della facies astiana della successione pliocenica (Pliocene medio superiore); ovvero l'assetto geologico stratigrafico delle aree d'intervento è così schematizzabile:

- da p.c. a - 0,20 m/ - 1,50 m circa = limi sabbiosi (livello stratigrafico 1);
- da - 0,20/ - 1,50 m = sabbie gialle, arenarie e calcareniti con livelli fossiliferi (livello stratigrafico 2).

È inteso che gli spessori maggiori dei detriti eluvio colluviali si sviluppano al piede del pendio, in corrispondenza della zona di raccordo con il fossato della linea di drenaggio, a eccezione dei settori interessati da fenomeni d'erosione spondale o dei tratti d'acclività elevata in corrispondenza dei quali il substrato in facies astiana subaffiora.

Fig. 8) Ripresa fotografica dell'affioramento fossilifero dismesso in cui è esposto il substrato Pliocenico in facies astiane e profilo geologico schematico interpretativo del settore.



#### 4b) Assetto morfologico e geologico stratigrafico alla scala dei settori in cui sono in progetto ulteriori interventi di sistemazione (settori F,G,H,L della planimetria di progetto)

Gli altri siti d'intervento, in cui verranno realizzate opere d'ingegneria naturalistica (in prevalenza palificate a doppia parete e palizzate) e drenaggi, corrispondono a settori di pendio sul fianco orografico sinistro della vallecola principale del rio Cipollina, nella fascia altimetrica compresa tra le quote 155 e 165 m s.l.m. circa, a tergo del sentiero che porta al geosito fossilifero (affioramento attrezzato in cui sono presenti strati a "Isognomon"). I valori medi di pendenza dei tratti di versante interessati sono dell'ordine 20°.

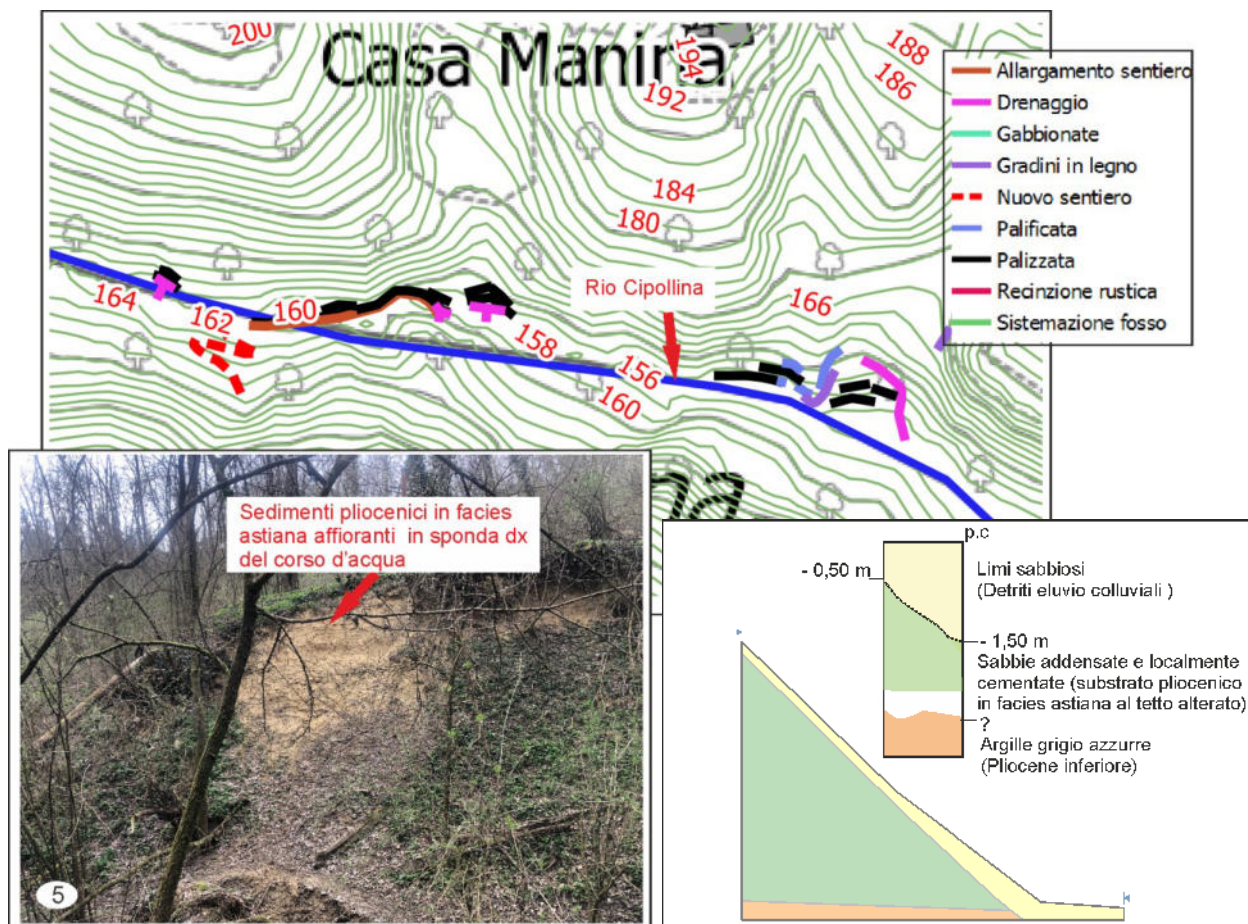
Per quanto riguarda il nuovo di sentiero in progetto, esso si articolerà tra le quote 160 e 170 m s.l.m., lungo un tratto di pendio che delimita in destra orografica l'alveo del Rio Cipollina.

In merito all'assetto geologico stratigrafico alla scala dei siti d'intervento, analogamente a quanto si riscontra per il settore descritto nel paragrafo precedente, esso risulta caratterizzato dallo sviluppo in superficie di terreni eluvio colluviali (limi sabbiosi con spessore variabile da alcuni decimetri a 1,50 m circa) sovrapposti alle sabbie gialle e bruno chiaro della facies astiana (Pliocene superiore) che, con l'approfondimento, passano alle argille grigio azzurre della facies piacentiana (Pliocene inferiore). Queste ultime subaffiorano a quota 160 m s.l.m. circa in corrispondenza dell'alveo dell'asta principale del rio Cipollina e a lato del sentiero che conduce all'affioramento fossilifero; schematicamente la situazione è la seguente:

- da p.c. a - 0,50 m/- 1,50 m circa = limi sabbiosi (livello stratigrafico 1);
- da - 0,50/-1,50 m = sabbie gialle, arenarie e calcareniti (livello stratigrafico 2).

È inteso che gli spessori maggiori dei detriti eluvio colluviali si registrano al piede della zona di raccordo con l'alveo del rio Cipollina, a eccezione dei settori interessati da fenomeni d'erosione spondale o dei tratti acclività elevata in corrispondenza dei quali il substrato in facies astiana sub affiora.

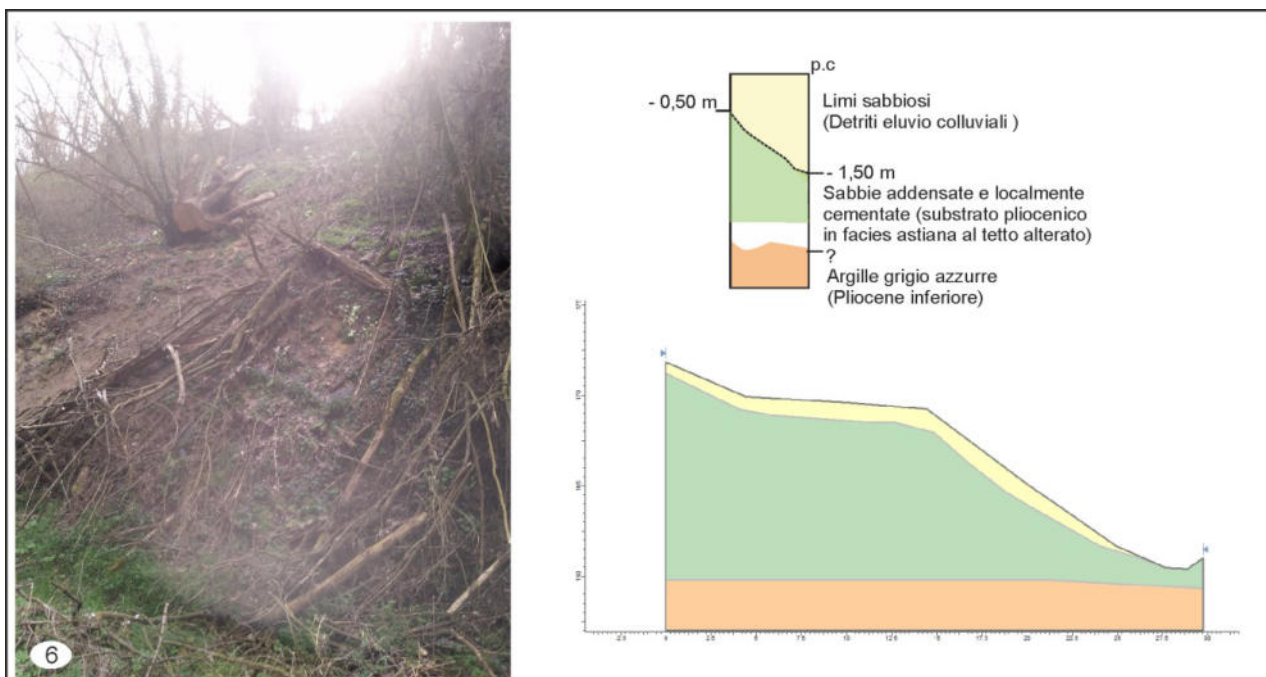
Fig. 9) Cartografia BDTRE con sovrapposizione curve di livello ricavate in ambiente GIS da Modello Digitale Altimetrico Regionale (scala 1:10.000), ripresa fotografica e sezione che illustrano l'assetto stratigrafico di riferimento del settore



Da ultimo, per quanto riguarda il settore su cui verrà realizzato un nuovo tratto di sentiero compreso tra le quote 160 m e 170 m s.l.m. sul fianco orografico destro della vallecchia del Rio Cipollina, caratterizzato da acclività dell'ordine di 30° (cfr. sezione seguente), l'assetto stratigrafico è così schematizzato:

- da p.c. a - 0,50 m/ - 1,50 m circa = limi sabbiosi (livello stratigrafico 1);
- da - 0,50/ -1,50 m = sabbie gialle, arenarie e calcareniti (livello stratigrafico 2).

Fig. 10) Ripresa fotografica del fianco orografico destro del rio Cipollina in corrispondenza di cui verrà realizzato il nuovo sentiero e relativa sezione trasversale



## 5) IDROGEOLOGIA E CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

I termini litologici della zona sono caratterizzati da permeabilità per porosità variabile in funzione sia della granulometria che del grado di addensamento. In generale, i detriti delle copertura eluvio colluviale (livello stratigrafico 1), essendo formati da limi sabbiosi poco addensati, sono dotati di coefficiente di permeabilità medio ( $10^{-2} > K > 10^{-3}$  m/s), relativamente maggiore rispetto alle litofacies stratigraficamente sottostanti che formano la successione pliocenica; infatti queste ultime, trattandosi in prevalenza di sabbie costipate e molto addensate nonché di calcareniti cementate (sabbia a cemento calcareo), sono contraddistinte da valori bassi del coefficiente di permeabilità (K), in genere dell'ordine di  $10^{-5}$  m/s e  $10^{-4}$  m/s, sensibilmente inferiori ai terreni della coltre eluvio colluviale; tuttavia, nella sequenza pliocenica sono presenti, anche con una certa frequenza, intercalazioni francamente sabbiose, poco costipate e debolmente cementate, dotate di conducibilità idraulica medio elevata, che possono costituire acquiferi particolarmente produttivi.

Tab 1) Valori indicativi dei coefficienti di permeabilità dei principali tipi di terre

Terreni	Permeabilità (m/s)	Grado di permeabilità relativa
Ghiaie	$K > 10^{-2}$	Alto
Sabbie	$10^{-2} > K > 10^{-4}$	Medio
Sabbie fini, silts	$10^{-4} > K > 10^{-9}$	Basso
argille	$10^{-9} > K$	Impermeabile

L'assetto idrogeologico, oltre a riflettere le caratteristiche di permeabilità dei terreni, è strettamente relazionato allo specifico contesto morfologico. In letteratura, per quanto riguarda i "rilievi dell'astigiano", sono note falde in pressione ospitate nei livelli sabbiosi poco addensati e confinati dalle bancate di calcareniti e sabbie cementate. Inoltre una cospicua circolazione idrica nel sottosuolo si realizza, per infiltrazione diretta e percolazione delle acque meteoriche, all'interno della coltre eluvio colluviale e negli orizzonti più superficiali del sottostante "substrato pliocenico" alterato, comportante la creazione di un fronte di saturazione a regime transitorio con moto di filtrazione conforme alla direzione d'immersione del pendio.

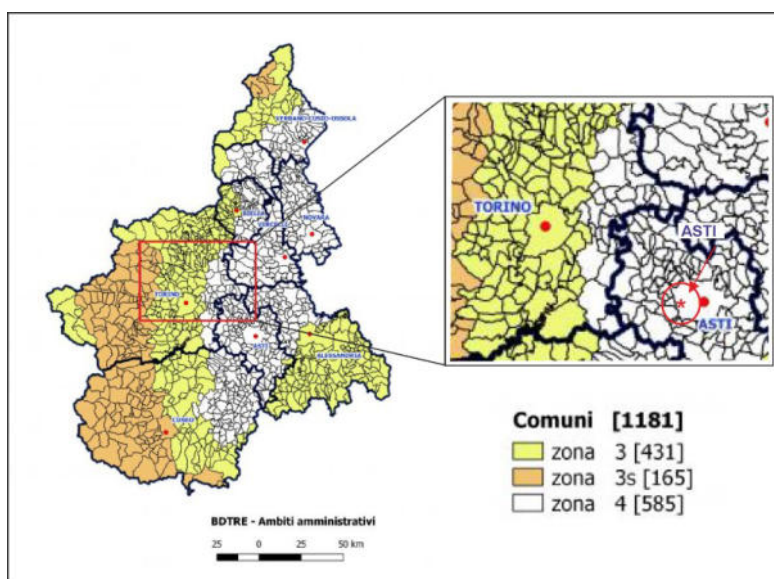
Nella zona sono comunque presenti emergenze idriche e risorgive, in particolare al piede del fianco orografico sinistro dell'incisione valliva del rio Cipollina, lungo il sentiero che conduce al geosito fossilifero attrezzato (affioramento con strati a "Isognomon").

## 6) SISMICA

### 6a) Pericolosità sismica

Il settore in esame, e più in generale il territorio comunale di Asti, rientrano in Zona 4 (pericolosità sismica media bassa) secondo l' "Aggiornamento della Classificazione sismica del territorio regionale" approvata da parte della Giunta Regionale il 30 dicembre 2019.

Fig. 11) Riclassificazione sismica della regione Piemonte (2019)



Nelle tabelle seguenti sono indicati i parametri sulla base dei quali viene attuata la zonazione sismica a scala nazionale e della Regione Piemonte, ossia i valori di accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag) con tempo di ritorno  $T_r = 475$  anni.

Tab. 2) Valori accelerazione sismica

CRITERI NAZIONALI		Zone Piemonte	
ZONE	PGA 475 (ag)	ZONE	PGA 475 (ag)
1	$0,25g < ag \leq 0,35g$	3s	$0,125g < ag \leq 0,150g$
2	$0,15g < ag \leq 0,25g$	3	$0,05g < ag \leq 0,125g$
3	$0,05g < ag \leq 0,15g$	4	$\leq 0,05g$
4	$\leq 0,05g$		

## 6b) Sismicità storica

Di seguito si riporta la sintesi delle informazioni riguardanti gli eventi tellurici che hanno interessato il territorio comunale di Asti, e il suo significativo intorno, desunte dal database macrosismico del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 V.40 per la finestra temporale 1000 - 2020 (INGV 2022), visionabile sul geoportale INGV (Istituto nazionale Geofisica Vulcanologia). Con riferimento alla tabella seguente si rimarca che le abbreviazioni Int = intensità in sito e MW = magnitudo momento.

Tab. 3) Cronologia eventi tellurici riguardanti il territorio comunale di Asti (da CPTI 15 V40 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani)

### Asti



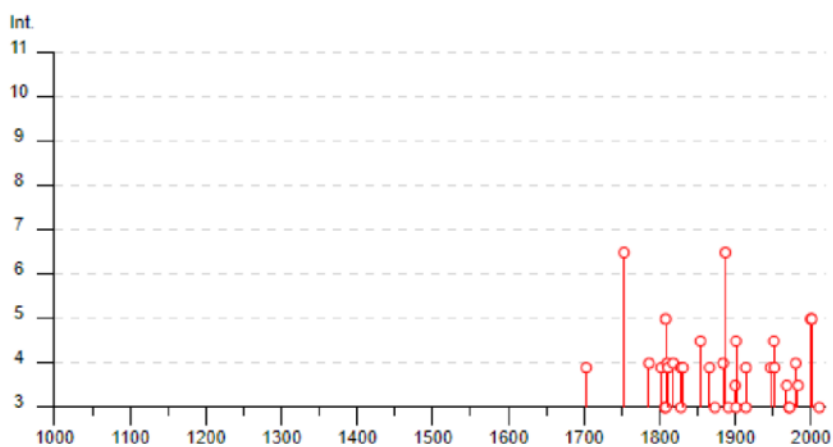
PlaceID	IT_07260
Coordinate (lat, lon)	44.899, 8.208
Comune (ISTAT 2015)	Asti
Provincia	Asti
Regione	Piemonte
Numero di eventi riportati	38

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1703	12	21	21			Piemonte-Liguria	3	4	3.70
6-7	1753	03	09	13	15		Val Chisone	16	6-7	5.16
4	1786	11	24	06	45		Langhe	26	5	4.29
F	1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	94	8	5.60
3	1807	09	05	01	30		Liguria occidentale	10	5-6	4.81
5	1808	04	02	16	43		Val Pellice	105	8	5.64
3	1808	04	02	20	15		Val Pellice	15	7	5.02
4	1810	12	25	00	45		Pianura emiliana	33	6	5.06
F	1811	07	15	22	44		Modenese-Reggiano	19	6-7	5.13
4	1818	02	23	18	10		Liguria occidentale	45	7	5.32
F	1828	10	09	02	20		Oltrepò Pavese	110	8	5.72
3	1828	10	10	01	30		Oltrepò Pavese	18		
F	1831	05	26	10	30		Liguria occidentale	33	8	5.56



4-5	1854 12 29 01 45	Liguria occidentale	86	7-8	5.72
F	1866 09 22 14 40	Piemonte centro-meridionale	13	4-5	4.38
3	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	64	6-7	5.26
4	1884 11 27 22 15	Alpi Cozie	63	6-7	5.17
6-7	1887 02 23 05 21 5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3	1891 06 07 01 06 1	Valle d'Ilhasi	403	8-9	5.87
3-4	1900 12 30 23 36 2	Alto Monferrato	36	5	4.35
4-5	1901 05 25 03 59 2	Piemonte centro-meridionale	35	5	4.50
3	1901 10 30 14 49 5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
NF	1913 12 07 01 28	Valle Scrivia	56	5	4.57
F	1914 10 26 03 43 2	Torinese	63	7	5.24
3	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
F	1947 02 17 00 12 3	Alpi Cozie	283	5-6	4.74
4-5	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5.17
F	1952 08 22 02 25 3	Lomellina	21	4	4.11
2	1960 03 23 23 10	Vallese	178	7	5.00
3-4	1968 04 18 19 38 1	Liguria occidentale	51	7-8	4.93
3	1971 07 15 01 33 2	Parmense	228	8	5.51
3	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	1980 01 05 14 32 2	Torinese	120	6-7	4.82
3-4	1983 11 09 16 29 5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1993 07 17 10 34 5	Liguria occidentale	336	5	4.34
5	2000 08 21 17 14	Monferrato	595	6	4.94
5	2001 07 18 22 47 1	Monferrato	253	5	4.23
3	2011 07 25 12 31 2	Torinese	105	5	4.67

Fig. 12) Diagramma con riportati gli eventi tellurici riguardanti il territorio di Asti con intensità  $\geq 4$  (da CPTI 15 v240 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani)

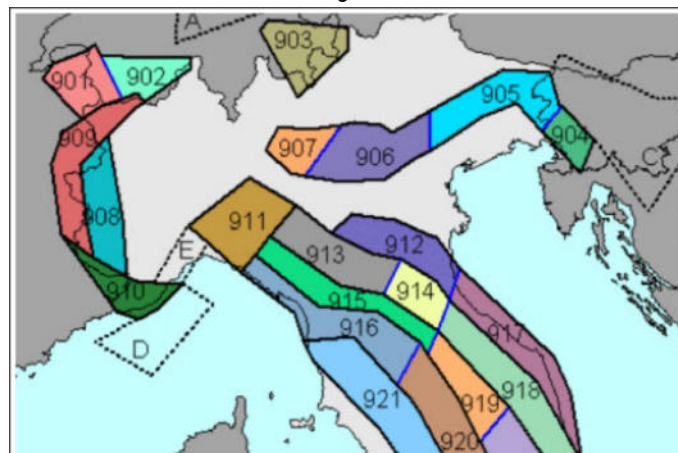


### 6c) Zonazione sismogenetica

Il territorio piemontese è sede di attività sismica generalmente modesta in termini d'intensità, ma elevata come frequenza. Da nord verso sud, si individua con il codice 902 una prima zona sismogenetica, coincidente con il Vallese (Zonazione Sismogenetica ZS9. Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica. Ordinanza PCM 20/03/2003 n. 3274). Il maggior numero di terremoti si distribuisce prevalentemente lungo l'arco alpino occidentale, secondo due direttrici principali identificate come Zone 908 e 909. La zona 908 decorre lungo l'arco alpino nella sua parte interna. La zona 909 risulta più dispersa e segue l'allineamento dei massicci cristallini esterni.

Il territorio comunale di Asti, come quello della Provincia, è esterno alle zone sismogenetiche.

Fig. 13) Mappa della Zonazione sismogenetica e tabella con valori della magnitudo max associata alle zone sismogenetiche



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

### 6d) Accelerazione sismica attesa alla scala dell'area d'intervento (linea di drenaggio interessata dagli interventi di sistemazione)

L'accelerazione massima attesa al sito è stata determinata, in corrispondenza del punto d'attraversamento idraulico della pista che conduce all'affioramento fossilifero Gonella, mediante specifico software in conformità al DM.17/01/2018 (approccio "sito dipendente"), assumendo le seguenti ipotesi:

- Latitudine e longitudine del sito di intervento in valori decimali (ED 50), risultano rispettivamente corrispondenti a 44,913529 e 8,13745;

- Classe d'uso I ("Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.") cui corrisponde, secondo le tabelle di normativa, un coefficiente d'uso ( $C_u$ )= 0,7.
- Vita Nominale (Numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere utilizzata). ( $V_N$ )  $\geq$  50 anni.
- Periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = V_N * C_u = 50 * 0,70 = 35$  anni.
- Coefficiente di amplificazione Topografica ( $S_t$ ) Tenuto conto dello specifico il sito rientra nella categoria T1 delle tabelle di normativa del DM 17/01/2018 cui corrisponde un'amplificazione topografica  $S_t$  pari a 1,0.
- Categoria del "profilo di suolo". In assenza di specifiche prove geofisiche atte alla determinazione del valore medio della velocità equivalente ( $V_{Seq}$ ), a favore della cautela il sottosuolo dell'area è stato ascritto alla Categoria C del profilo di suolo simico di normativa. ("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.).

Dall'elaborazione effettuata, il cui tabulato è riportato nella pagina seguente, risulta un'accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di riferimento rigido  $a_g = 0,038$  per tempi di ritorno ( $T_r$ ) = 332 anni (SLV: stato limite salvaguardia vita, per fondazioni e pendii).

Tenuto conto che, nello specifico caso, i fattori d'amplificazione stratigrafica e topografica sono rispettivamente  $S_s = 1,5$  e  $S_t = 1,0$ , si ottengono per lo Stato Limite salvaguardia vita (SLV) i seguenti parametri sismici:

- accelerazione massima attesa al sito ( $a_{max}$ ) =  $S_s * S_t * a_g * g = 1,5 * 1,0 * 0,038 * g = 0,057 * g$  (0,56 m/sec<sup>2</sup>);
- coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ( $\beta$ ) = 0,20;
- coefficienti sismici orizzontale ( $K_h$ )=  $(a_{max}/g) * \beta = 0,057 * 0,20 = 0,011$  e verticale ( $K_v$ )= $K_h/2 = 0,0011/2 = 0,0006$ .

Di seguito si riporta il tabulato di calcolo dei parametri spettrali e dell'accelerazione sismica attesa al sito per tutti gli stati limite previsti dalla normativa del DM 17/01/2018.

Tab. 4) Calcolo accelerazione massima attesa al sito e coefficienti sismici (settore linea di drenaggio)

Parametri sismici				
Tipo di elaborazione: Fondazioni e Stabilità dei pendii				
Muro rigido: 0				
Sito in esame.				
latitudine: 44,913529				
longitudine: 8,13745				
Classe: 1				
Vita nominale: 50				
Siti di riferimento				
Sito 1	ID: 14465	Lat: 44,9148	Lon: 8,1258	Distanza: 928,463
Sito 2	ID: 14466	Lat: 44,9179	Lon: 8,1962	Distanza: 4651,689

Sito 3	ID: 14688	Lat: 44,8680	Lon: 8,2006	Distanza: 7099,079
Sito 4	ID: 14687	Lat: 44,8649	Lon: 8,1303	Distanza: 5441,143
<b>Parametri sismici</b>				
Categoria sottosuolo:		C		
Categoria topografica:		T1		
Periodo di riferimento:		35anni		
Coefficiente cu:		0,7		
<b>Operatività (SLO):</b>				
Probabilità di superamento:		81	%	
Tr:		30	[anni]	
ag:		0,017	g	
Fo:		2,623		
Tc*:		0,161	[s]	
<b>Danno (SLD):</b>				
Probabilità di superamento:		63	%	
Tr:		35	[anni]	
ag:		0,018	g	
Fo:		2,616		
Tc*:		0,168	[s]	
<b>Salvaguardia della vita (SLV):</b>				
Probabilità di superamento:		10	%	
Tr:		332	[anni]	
ag:		0,038	g	
Fo:		2,696		
Tc*:		0,267	[s]	
<b>Prevenzione dal collasso (SLC):</b>				
Probabilità di superamento:		5	%	
Tr:		682	[anni]	
ag:		0,045	g	
Fo:		2,737		
Tc*:		0,297	[s]	
<b>Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii</b>				
<b>SLO:</b>				
Ss:		1,500		
Cc:		1,920		
St:		1,000		
Kh:		0,005		
Kv:		0,003		
Amax:		0,250		
Beta:		0,200		
<b>SLD:</b>				
Ss:		1,500		
Cc:		1,890		
St:		1,000		
Kh:		0,005		
Kv:		0,003		
Amax:		0,266		
Beta:		0,200		
<b>SLV:</b>				
Ss:		1,500		
Cc:		1,620		
St:		1,000		

Kh:	0,011
Kv:	0,006
Amax:	0,555
Beta:	0,200
SLC:	
Ss:	1,500
Cc:	1,570
St:	1,000
Kh:	0,013
Kv:	0,007
Amax:	0,662
Beta:	0,200

### 6e) Accelerazione sismica attesa alla scala dell'area d'intervento (altri interventi in ambito di pendio)

Per i siti in cui verranno realizzati gli altri interventi, l'accelerazione massima attesa al sito è stata determinata considerando un'amplificazione topografica  $T2 = 1,2$  in quanto localizzati in ambito di pendio. La categoria inerente alla tipologia di costruzione e la classe di suolo sismico sono le stesse considerate per gli interventi sulla linea di drenaggio. Più precisamente i parametri considerati sono:

- Latitudine e longitudine del sito di intervento (è stato considerato il baricentro del tracciato stradale) in valori decimali (ED 50), risultano rispettivamente corrispondenti a 44,91296 e 8,138588;
- Classe d'uso I ("Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.") cui corrisponde, secondo le tabelle di normativa un coefficiente d'uso ( $C_u$ )= 0,7.
- Vita Nominale (Numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere utilizzata). ( $V_N$ )  $\geq 50$  anni.
- Periodo di riferimento per l'azione sismica  $VR = V_N * C_u = 50 * 0,70 = 35$  anni.
- Coefficiente di amplificazione Topografica (St) Tenuto conto dello specifico il sito rientra nella categoria T1 delle tabelle di normativa del DM 17/01/2018 cui corrisponde un'amplificazione topografica St pari a 1,0.
- Categoria del "profilo di suolo". In assenza di specifiche prove geofisiche atte alla determinazione del valore medio della velocità equivalente ( $V_{Seq}$ ), a favore della cautela il sottosuolo dell'area è stato ascritto alla Categoria C del profilo di suolo sismico di normativa. ("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.).

Su tali basi si perviene a un'accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di riferimento rigido  $a_g = 0,038$  per tempi di ritorno ( $T_r$ ) = 332 anni (SLV: stato limite salvaguardia vita, per fondazioni e pendii).

Tenuto conto che, nello specifico caso, i fattori d'amplificazione stratigrafica e topografica sono rispettivamente  $S_s = 1,5$  e  $S_t = 1,2$ , si ottengono per lo Stato Limite salvaguardia vita (SLV) i seguenti parametri sismici:

- accelerazione massima attesa al sito ( $a_{max}$ ) =  $S_s * S_t * a_g * g = 1,5 * 1,2 * 0,038 * g = 0,0684 * g$  (0,67 m/sec<sup>2</sup>);
- coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ( $\beta$ ) = 0,20;

- coefficienti sismici orizzontale ( $K_h$ )=  $(a \max/g) \cdot \beta = 0,0684 \cdot 0,20 = 0,014$  e verticale ( $K_v$ )= $K_h/2 = 0,0014/2 = 0,0007$ .

Di seguito si riporta il tabulato di calcolo dei parametri spettrali e dell'accelerazione sismica attesa al sito per tutti gli stati limite previsti dalla normativa del DM 17/01/2018.

Tab. 5) Calcolo accelerazione massima attesa al sito e coefficienti sismici (settori fianco orografico sinistro della vallecola del rio Cipollina)

Parametri sismici				
Tipo di elaborazione:		Stabilità dei pendii		
Muro rigido:		0		
Sito in esame.				
latitudine:		44,91296		
longitudine:		8,138588		
Classe:		1		
Vita nominale:		50		
Siti di riferimento				
Sito 1	ID: 14465	Lat: 44,9148	Lon: 8,1258	Distanza: 1027,614
Sito 2	ID: 14466	Lat: 44,9179	Lon: 8,1962	Distanza: 4569,758
Sito 3	ID: 14688	Lat: 44,8680	Lon: 8,2006	Distanza: 6991,162
Sito 4	ID: 14687	Lat: 44,8649	Lon: 8,1303	Distanza: 5388,373
Parametri sismici				
Categoria sottosuolo:		C		
Categoria topografica:		T2		
Periodo di riferimento:		35anni		
Coefficiente $c_u$ :		0,7		
Operatività (SLO):				
Probabilità di superamento:		81	%	
Tr:		30	[anni]	
ag:		0,017 g		
Fo:		2,622		
Tc*:		0,161	[s]	
Danno (SLD):				
Probabilità di superamento:		63	%	
Tr:		35	[anni]	
ag:		0,018 g		
Fo:		2,616		
Tc*:		0,168	[s]	
Salvaguardia della vita (SLV):				
Probabilità di superamento:		10	%	
Tr:		332	[anni]	
ag:		0,038 g		
Fo:		2,696		
Tc*:		0,267	[s]	
Prevenzione dal collasso (SLC):				
Probabilità di superamento:		5	%	
Tr:		682	[anni]	
ag:		0,045 g		

Fo:	2,737
Tc*:	0,297 [s]
<i>Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii</i>	
<u>SLO:</u>	
Ss:	1,500
Cc:	1,920
St:	1,200
Kh:	0,006
Kv:	0,003
Amax:	0,300
Beta:	0,200
<u>SLD:</u>	
Ss:	1,500
Cc:	1,890
St:	1,200
Kh:	0,007
Kv:	0,003
Amax:	0,319
Beta:	0,200
<u>SLV:</u>	
Ss:	1,500
Cc:	1,620
St:	1,200
Kh:	0,014
Kv:	0,007
Amax:	0,666
Beta:	0,200
<u>SLC:</u>	
Ss:	1,500
Cc:	1,570
St:	1,200
Kh:	0,016
Kv:	0,008
Amax:	0,794
Beta:	0,200

## 7) PROCESSI DI DISSESTO GEOMORFOLOGICO

Ai fini della definizione del quadro conoscitivo dei processi di dissesto di carattere geomorfologico riguardanti sia la dinamica di versante che quella torrentizia, nell'ambito dei settori in esame, è stato fatto riferimento al repertorio cartografico ufficiale in materia, rappresentato da:

- Cartografia SIFraP (Sistema Informativo Frane in Piemonte);
- "Carta geomorfologica e dei dissesti" a supporto del PRGC vigente d'adeguamento al PAI (Piano Assetto Idrogeologico);

i cui estratti sono riportati nelle figure seguenti.

Per quanto riguarda la dinamica di versante, sia la cartografia SIFraP che la documentazione di PRGC non segnalano, negli ambiti in esame (linea di drenaggio lungo cui sono previsti gli interventi di regimazione idraulica e settori di pendio in cui sono in progetto gli altri interventi), fenomeni di dissesto morfologico. Su entrambi i documenti cartografici è indicato un areale in frana alla testata del bacino idrografico sul relativo fianco orografico sinistro. È altresì vero che, secondo la Banca Dati Regionale in materia di fenomeni gravitativi, ovvero la "Carta dei settori potenzialmente fluidificabili per processi di saturazione dei terreni di copertura", gran parte dei versanti rientranti nel bacino idrografico è suscettibile a frane superficiali.

Fig. 14) Trasposizione su base BDTRE al 10.000, shape files degli areali in frana desunti dalla banca dati SIFraP

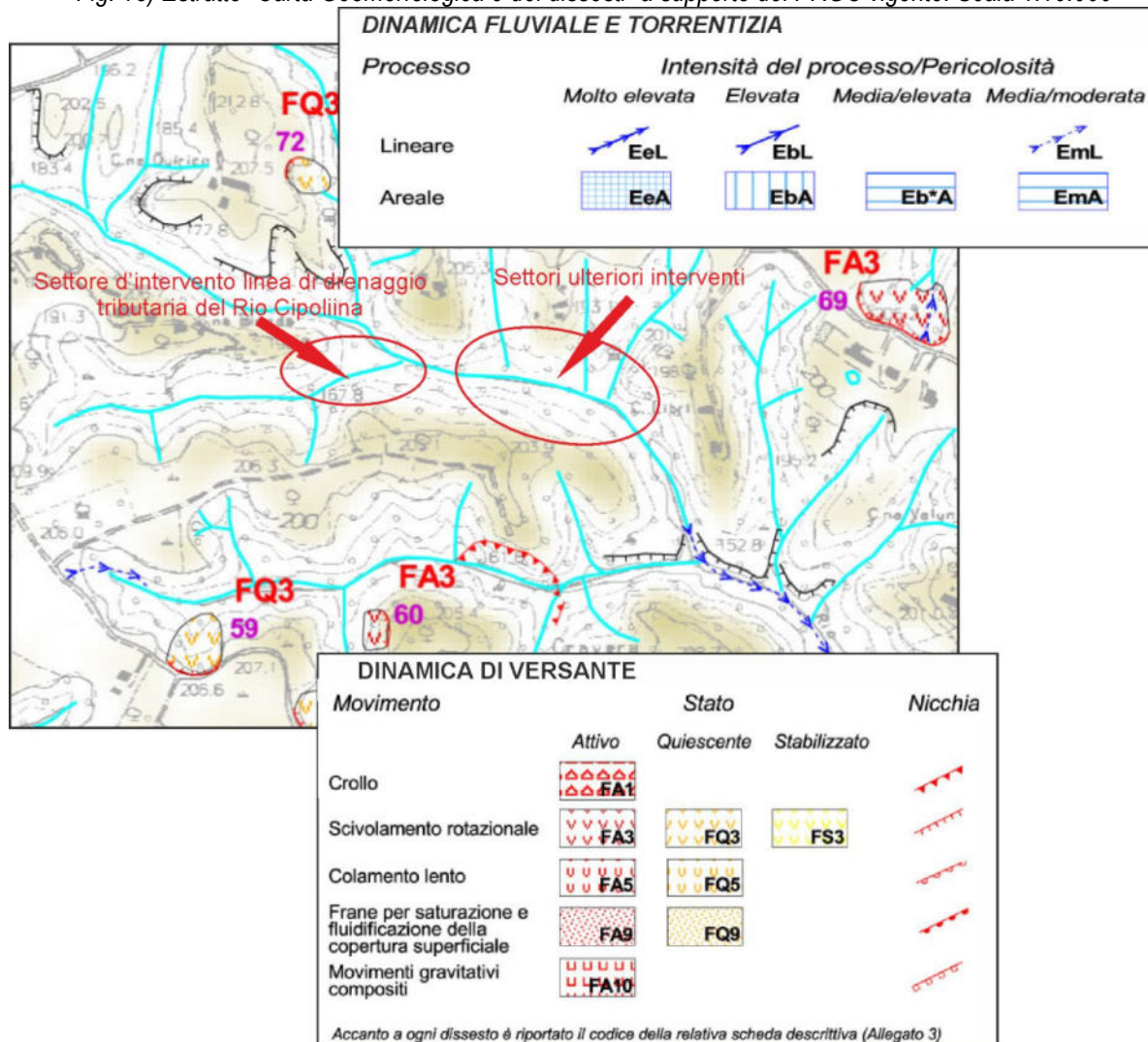


In merito alla dinamica del reticolo idrografico, sulla "Carta geomorfologica e dei dissesti" a supporto del PRGC vigente sono segnalati processi lineari di media - elevata intensità (EmI), verosimilmente correlabili a fenomeni



erosivi laterali e di fondo, sul tratto d'asta del Rio Cipollina nel tratto relativamente più a valle dei settori presi in esame nel presente studio (cfr. figura seguente).

Fig. 15) Estratto "Carta Geomorfológica e dei dissesti" a supporto del PRGC vigente. Scala 1:10.000



Nel corso dei rilievi in loco si è riscontrata un'intrinseca suscettibilità dei settori di pendio in cui sono modellati i fianchi delle vallecole, verso processi di dissesto coinvolgenti la copertura detritica eluvio colluviale (frane superficiali).

Inoltre, in corrispondenza delle scarpate a forte acclività in cui affiorano le sabbie plioceniche cementate della facies astiana (incisione del rio Cipollina), il relativo ciglio sommitale subisce fenomeni di arretramento attraverso l'azione combinata di:

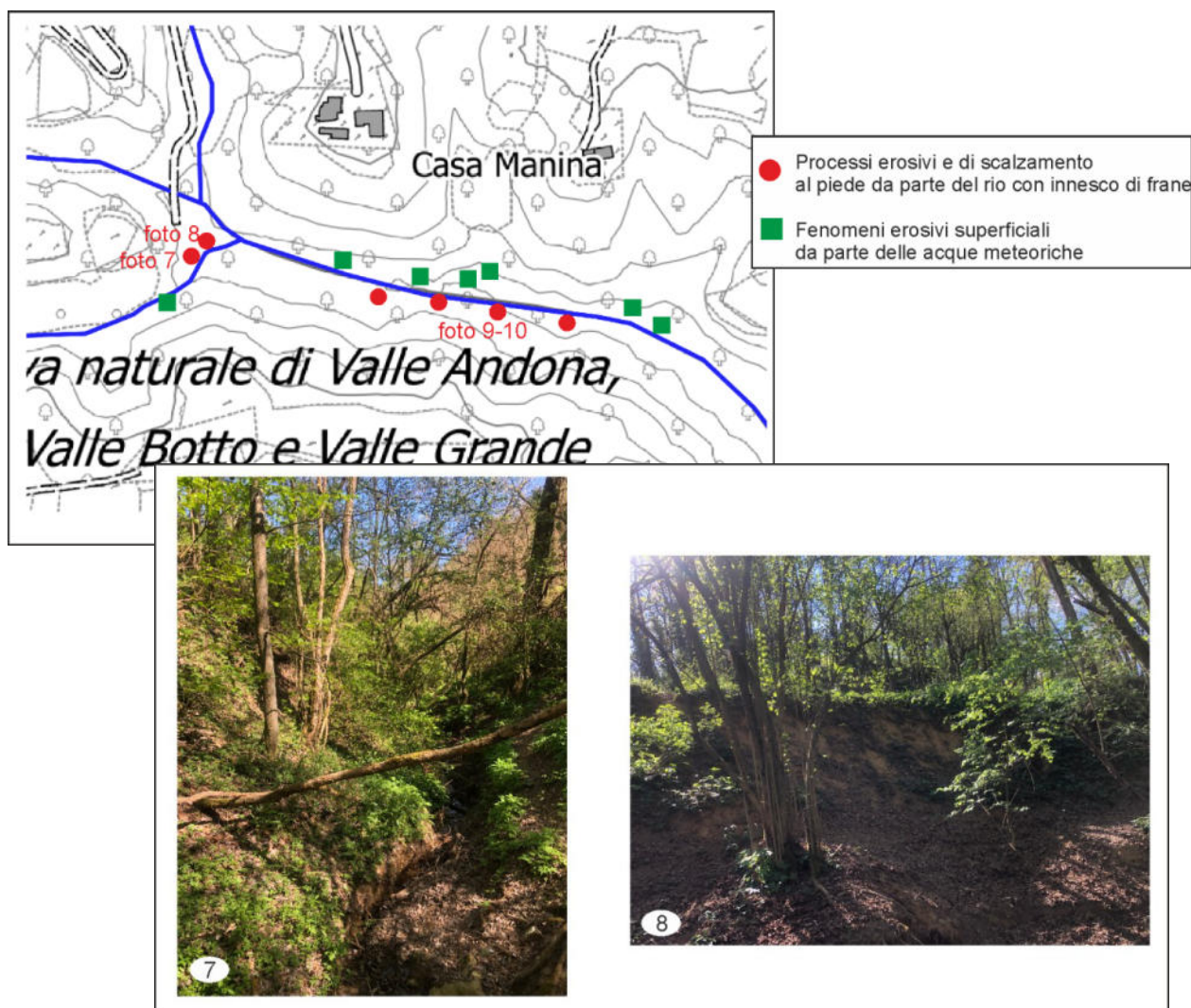
- crolli/distacchi di lame e masse siltoso sabbiose cementate, di varia cubatura, per riduzione dei legami intergranulari e per la formazione di fratture subverticali parallele all'orientazione del fronte (*Soil Fall - Varnes 1978*);

- asportazione della matrice più fine per dilavamento ed erosione a opera delle acque meteoriche.

Nel tratto d'asta immediatamente a valle dell'attraversamento della pista nei pressi del sito fossilifero Gonella, la sponda sinistra è soggetta a evidenti segni d'arretramento del ciglio per fenomeni d'erosione laterale da parte della linea di drenaggio. In corrispondenza della vallecchia incisa dall'asta principale del Rio Cipollina, lungo il cui fianco orografico sinistro si articola il sentiero che conduce al geosito fossilifero attrezzato (affioramento fossilifero con strati a "Isognomon"), sono numerosi i fenomeni erosivi di fondo e di scalzamento al piede delle sponde con innesco di frane e microfrane in sponda destra (cfr. fig.16) .

Lungo il fianco orografico sinistro a tergo del sentiero che conduce all'affioramento fossilifero attrezzato (geosito con strati a "Isognom") si rilevano locali fenomeni erosivi e di dilavamento ai danni della coltre detritica eluvio colluviale da parte delle acque meteoriche (cfr. figura seguente).

Fig. 16) Localizzazione processi di dissesto su base topografica BDTRE ingrandita al 5.000. Erosioni laterali lungo la linea di drenaggio tributaria del Rio Cipollina (Foto 7- 8) a valle dell'attraversamento della pista per il sito Gonella. Dissesti per scalzamento al piede lungo l'asta principale del Rio Cipollina (foto 9 - 10) in sponda destra





## 8) ASSETTO LITOTECNICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Alla specifica situazione stratigrafica si correla un modello litotecnico caratterizzato da due specifici livelli differenziati in termini di stato di addensamento/compattezza e di valori dei parametri di resistenza al taglio e deformabilità.

Tab. 6) Sintesi assetto litotecnico dell'area

<b>Livello litotecnico</b>	<b>Caratteristiche litologiche</b>	<b>Profondità</b>
Livello litotecnico 1	Limi sabbiosi e sabbie fini limose con al tetto terreno vegetale (detriti eluvio colluviali e substrato alterato*)	Da p.c. a – 0,20/-1,50 m circa
Livello litotecnico 2	Sabbie e sabbie fini addensate con intercalati livelli sabbiosi cementati (substrato)	Da – 0,20/-1,50 m circa

\* Lungo l'interfaccia con i sovrastanti detriti eluvio colluviali, il substrato (successione pliocenica) localmente si presenta alterato e fratturato per spessori variabili da alcuni decimetri a un metro circa. Dal punto di vista tale litozona è stata accorpata al livello litotecnico 1.

La stima dei parametri geotecnici dei terreni che costituiscono i livelli litotecnici individuati (Livelli litotecnici 1 e 2) è stata basata sui dati di letteratura relativi a litofacies simili, tenuto conto di quanto riscontrato nel corso dei sopralluoghi effettuati. Inoltre, allo scopo di affinare i valori dei parametri geotecnici, sono state svolte verifiche analitiche di stabilità per back analysis (a ritroso) su una sezione ricavata da elaborazione del Modello digitale Regionale DTM.

\*\*\*

Si puntualizza che i valori caratteristici ( $X_k$ ) non sono stati valutati mediante elaborazioni geostatiche bensì attraverso una stima ragionata e cautelativa; più precisamente, nello specifico caso si è fatto riferimento a valori prossimi a quelli medi in quanto la normativa del DM 17/01/2018 (NTC 2018) e la relativa circolare esplicativa, consentono tale approssimazione qualora, nello "stato limite" considerato, sia coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità (verifiche di stabilità pendii).

### 8a) Livello litotecnico 1 (limi sabbiosi e sabbie limose)

Rispetto al sistema classificativo U.S.C.S dei suoli e delle terre (Unified Soil Classification System), i detriti eluvio colluviali che si distribuiscono superficialmente sono ascrivibili ai gruppi ML e SM (miscele di limi e sabbie). Il comportamento geotecnico è prevalentemente granulare, nonostante un minimo contributo alla resistenza al taglio sia operato anche da parte della coesione apparente (c) in presenza di umidità.

Mediante l'utilizzo del diagramma Navfac Manual si stima un angolo d'attrito interno compreso tra 25° e 27° correlando uno stato d'addensamento relativamente basso (densità relativa  $dr\%$  = inferiore al 25% trattandosi di detriti eluvio colluviali) ai gruppi ML - SM (cfr. figura seguente).

Il peso di volume ( $\gamma$ ) e il modulo di deformazione (E), tenuto conto dei dati di letteratura, sono valutati rispettivamente in 17 KN/mc e 3 MPa. Per quanto riguarda la coesione (c) in condizioni drenate, si considera un valore massimo dell'ordine di 3 KN/mq, definito sulla base dei risultati verifiche analitiche di stabilità per back analysis (cfr. fig.19).

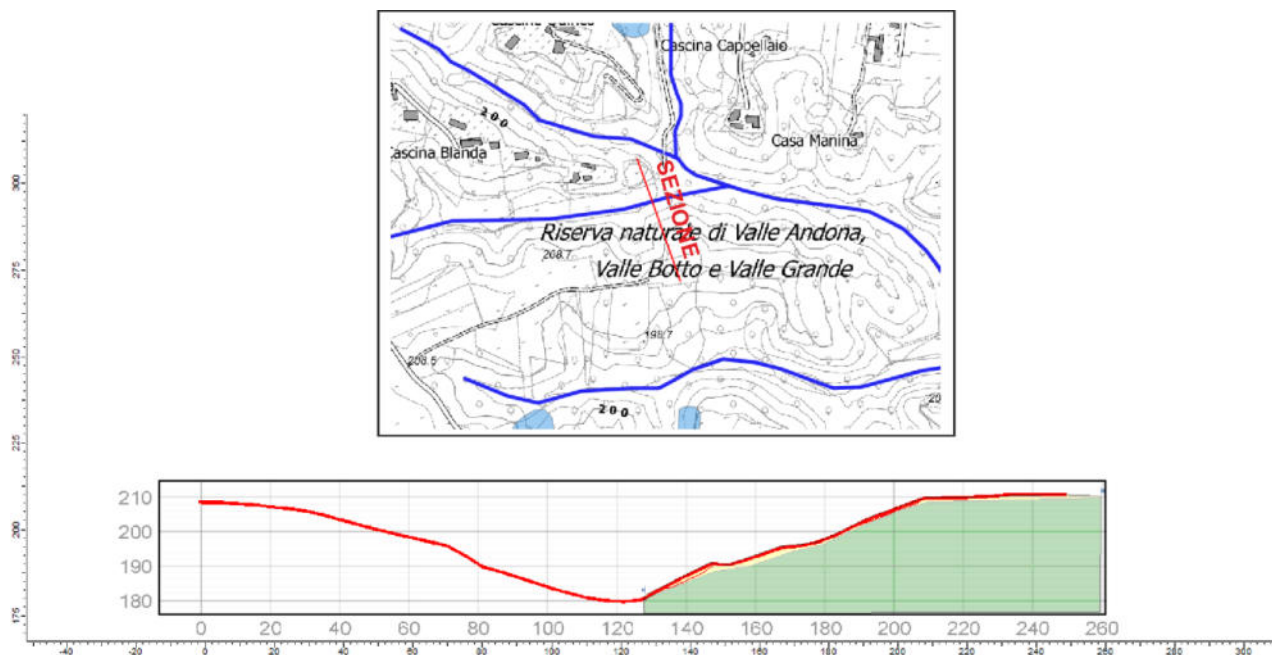
Fig.17) Classificazione USCS dei suoli e delle terre (Unified Soil Classification System) e diagramma Navfac Manual per la stima dell'angolo d'attrito interno

Major Divisions (1)	Letter (2)	Symbols		Name (6)	
		Letter (3)	Hatching (4) Color (5)		
Coarse-Grained Soils	Gravel and Gravelly Soils	GW		Red	Well-graded gravels or gravel-sand mixtures, little or no fines
		GP		Red	Poorly graded gravels or gravel-sand mixtures, little or no fines
		GM		Yellow	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures
		GC		Yellow	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures
	Sand and Sandy Soils	SW		Red	Well-graded sands or gravelly sands, little or no fines
		SP		Red	Poorly graded sands or gravelly sands, little or no fines
		SM		Yellow	Silty sands, sand-silt mixtures
		SC		Yellow	Clayey sands, sand-silt mixtures
Fine-Grained Soils	Sils and Clays LL < 50	ML		Green	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands or clayey silts with slight plasticity
		CL		Green	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays
		OL		Green	Organic silts and organic silt-clays of low plasticity
	Sils and Clays LL ≥ 50	MH		Blue	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts
		CH		Blue	Inorganic clays of high plasticity, fat clays
		OH		Blue	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts
Highly Organic Soils	Pt		Orange	Peat and other highly organic soils	



Mediante le verifiche analitiche di stabilità per back analysis, svolte sulla sezione di seguito riportata ricavata dal modello digitale regionale, sono stati ricercate le combinazioni dei valori dei parametri geotecnici dei due livelli litotecnici individuati, con cui si perviene a coefficienti di sicurezza  $f_s$  minimi per l'equilibrio geostatico (equilibrio limite valori di  $f_s$  prossimi a 1). I tratti di pendio considerati sono quelli a maggiore acclività.

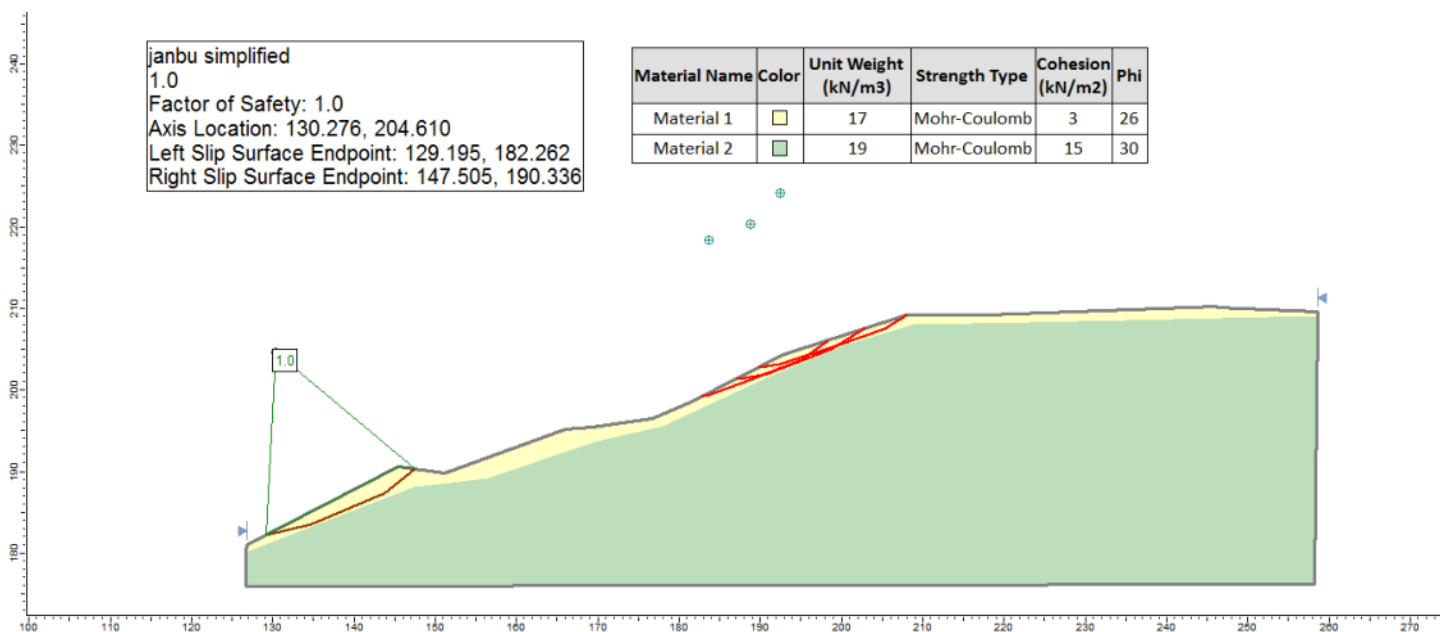
Fig.18) Sezione della vallecola ricavata dal modello digitale altimetrico della Regione



Il metodo analitico impiegato è l'equilibrio limite (LEM) con la soluzione analitica di Janbu, ipotizzando superfici di scorrimento a geometria poligonale con punti passanti in prossimità dell'interfaccia tra il substrato sabbioso arenaceo integro e i detriti eluvio colluviali (sabbie limose e limi sabbiosi), nonché all'interno di questi ultimi.

Le combinazioni di valori dei parametri geotecnici mediante cui si perviene ai valori d'equilibrio limite sono comparabili con quelli stimati sulla base dei dati di bibliografia.

Fig.19) Verifiche analitiche di stabilità per back analysis mediante cui è stata affinata la definizione dei valori dei parametri di resistenza a taglio



Su tali basi, i valori dei parametri geotecnici che meglio sembrano approssimare il comportamento geomeccanico dei detriti eluvio colluviali (livello litotecnico 1) sono riassunti nella tabella di seguito riportata.

Tab. 7) Valori caratteristici ( $X_k$ ) parametri geotecnici dei terreni del livello litotecnico 1

<b>Peso di volume (<math>\gamma_k</math>)</b>	<b>Coazione * (<math>c_k</math>)</b>	<b>Angolo d'attrito interno (<math>\phi_k</math>)</b>	<b>Modulo di deformazione (<math>E_k</math>)</b>
17 KN/mc	0- 3 KN/mq	26°	3 MPa

\* A riguardo della coazione efficace ( $c_k$ ) si raccomanda di considerare un valore nullo ( $c_k = 0$ ) per le eventuali verifiche delle opere di contenimento previste nel progetto (palificate doppie).

### 8b) Livello litotecnico 2 (sabbie limose dense con intercalati livelli cementati)

Le sabbie plioceniche cementate della facies astiana, dal punto di vista geotecnico sono in letteratura ascritte alle "rocce semicoerenti" (Barisone et al. 1982). Nell'insieme si tratta di sabbie fini limose e sabbie, molto addensate, con intercalati, a varie profondità, livelli calcarenitici cementati e altamente costipati (a dimostrazione dello stato di cementazione e d'addensamento caratterizzanti le sabbie plioceniche sono i fronti subverticali in cui sono modellati gli affioramenti visionabili del parco paleontologico). In termini di resistenza al taglio, l'angolo d'attrito interno ( $\phi$ ) e la coazione in condizioni drenate ( $c$ ), sono stimati rispettivamente in 30° e 15 KN/mq. Si ribadisce che non si tratta di coazione secondo l'accezione corrente in geotecnica (forza d'adesione nelle terre fini) bensì di uno stato di aggregazione indotto da cemento calcareo. Il modulo di deformazione è dell'ordine di 20 MPa.

Tab. 8) Valori caratteristici ( $X_k$ ) parametri geotecnici dei depositi del livello litotecnico 2

<b>Peso di volume (<math>\gamma_k</math>)</b>	<b>Coazione (<math>c_k</math>)</b>	<b>Angolo d'attrito interno (<math>\phi_k</math>)</b>	<b>Modulo di deformazione (<math>E_k</math>)</b>
19 KN/mc	15 KN/mq	30°	20 MPa

## 9) VERIFICHE ANALITICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Sono state svolte verifiche analitiche di stabilità globale delle palificate doppie che verranno realizzate sulla nuova traccia di sentiero (fianco orografico destro vallecola Rio Cipollina)

Pertanto, mediante apposito codice di calcolo, si è proceduto alle verifiche secondo il criterio degli stati limite SLV (DA-2 = A2+M2+R2) in conformità al DM 17/01/2018.

I dati d'ingresso al codice di calcolo sono:

- ⇒ valori caratteristici ( $X_k$ ) dei parametri geotecnici dei depositi detritici di copertura e del sottostante substrato;
- ⇒ accelerazione sismica  $a_g = 0,086 \text{ *g}$ ;

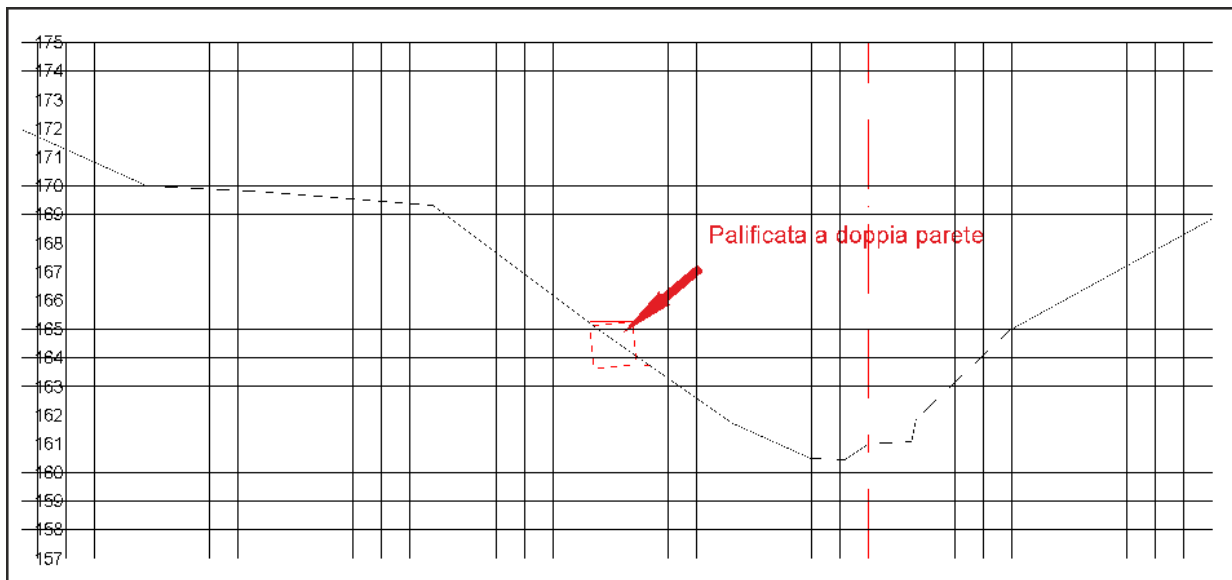
Il metodo analitico impiegato è l'equilibrio limite (LEM) con la soluzione di Janbu, ipotizzando superfici di scorrimento a geometria poligonale in presenza di sisma e non (condizioni statiche).

Si rimarca che secondo il DM 17/01/2018, per le verifiche di stabilità globale dei pendii in condizioni sismiche su cui vengono realizzate nuove opere (cfr. *Corso Itinerante specialistico d'approfondimento sulle NTC 2018 – Ordine Geologici del Piemonte – 2018*), risulta che:

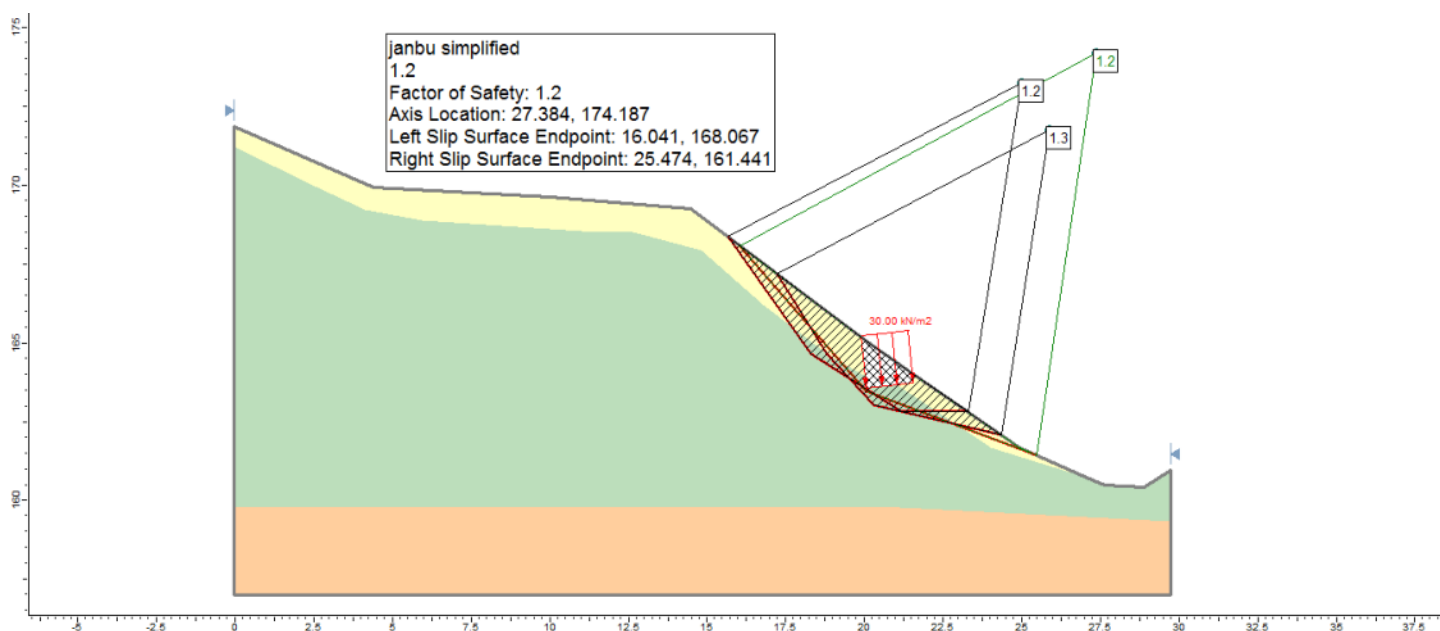
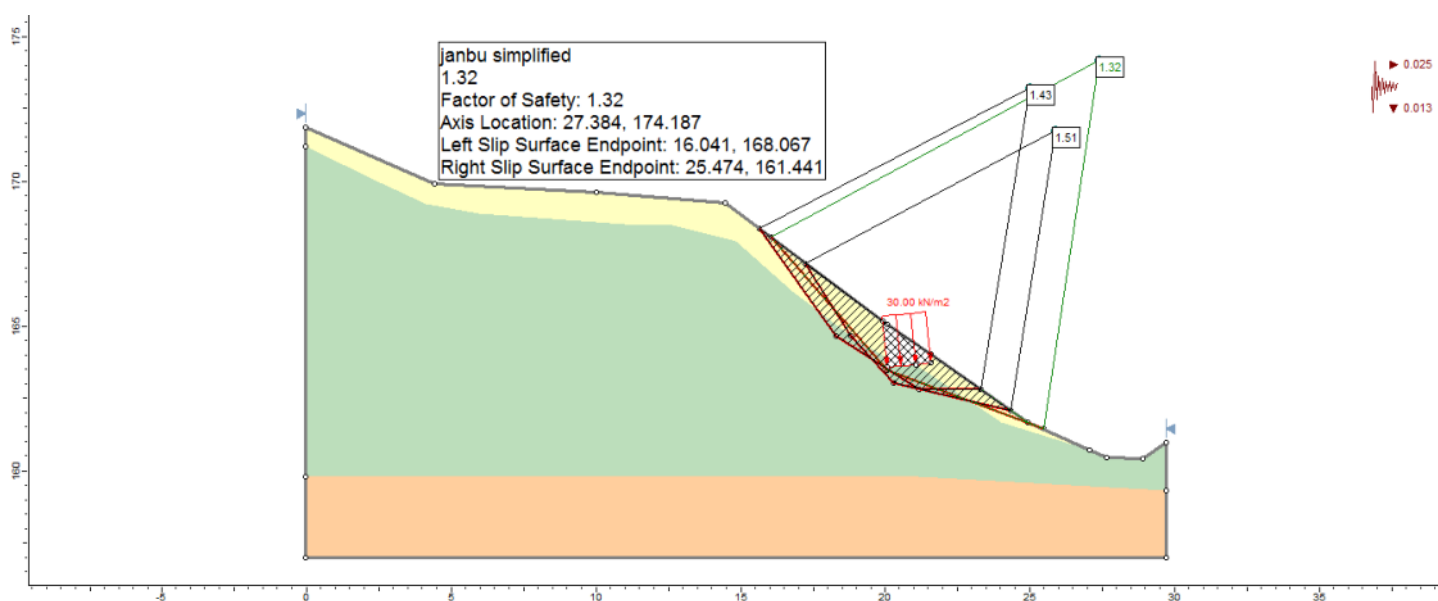
- ⇒ i valori dei parametri geotecnici e delle azioni (carichi) non vengono rispettivamente ridotti e amplificati con coefficienti di normativa, in quanto  $M2=M1$  ( $\gamma M2=1,0$ ) e  $A2=A1$  ( $\gamma A2=1,0$ );
- ⇒ la resistenza di progetto viene ridotta secondo il coefficiente  $\gamma_r = 1,2$ . (nello specifico caso è il software impiegato apporta automaticamente la riduzione al valore della resistenza, preimpostando il coefficiente  $\gamma_r = 1,2$ );
- ⇒ i coefficienti sismici orizzontali e verticali devono essere calcolati ponendo  $\beta = 0,38$ , pertanto, nello specifico caso,  $K_h = a_g/g * \beta = 0,0684 * 0,38 = 0,025$  e  $K_v = k_h/2 = (0,0684 * 0,38)/2 = 0,013$ .

Si puntualizza inoltre che secondo la procedura del DM 17/01/2018, ovvero "approccio 1 combinazione 2" ( $A2+M2+R2$ ), le condizioni di stabilità risultano verificate quando  $F_s \geq 1$  (con  $\gamma_r = 1,1$  per le condizioni statiche; con  $\gamma_r = 1,2$  per le condizioni dinamiche). I calcoli sono stati svolti impiegando la sezione di seguito riportata.

Fig. 20) Sezione ricavata da specifico rilievo realizzato dai progettisti



Su tali basi si perviene a coefficienti di sicurezza  $F_s$  maggiori dell'unità, a dimostrazione di condizioni di stabilità globale per superfici di scorrimento passanti alla base della palificata sia in condizioni statiche (fig.21) che dinamiche (fig. 22).

Fig. 21) Verifiche di stabilità in condizioni statiche.  $F_s$  superficie critica= 1,2Fig. 22) Verifiche di stabilità in condizioni dinamiche.  $F_s$  superficie critica=1,32.

Si rimarca che, in condizioni statiche, i valori dei coefficienti di sicurezza delle superfici critiche (superfici con coefficienti di sicurezza relativamente più bassi) in alcuni casi risultano sensibilmente inferiori rispetto ai coefficienti di sicurezza in condizioni sismiche, in quanto la combinazione A2+M2+R2 (Statica) risulta più penalizzante rispetto alla combinazione sismica, quando l'azione sismica ha valore relativamente ridotto. Infatti nello specifico caso risultano coefficienti  $F_s = 1,2$  in assenza di sisma, e  $F_s = 1,32$  in condizioni dinamiche.

È inteso che le condizioni di stabilità sono confermate in assenza di acqua ipogea. Con l'eventuale formazione di un fronte di saturazione nei detriti di copertura e nel tetto del substrato pliocenico alterato a seguito dell'infiltrazione delle acque meteoriche, i coefficienti di sicurezza ( $F_s$ ) subiscono un sensibile riduzione, sino a



evidenziare instabilità. Inoltre eventuali fenomeni erosivi al piede, da parte del rio, possono determinare variazione del profilo d'equilibrio con l'innescò di frane e arretramento del ciglio del pendio.

## 10) NOTE DI SINTESI E VALUTAZIONI CONCLUSIVE

Il settore di territorio in esame, dal punto di vista geomorfologico rientra nella zona di testata del bacino idrografico del rio Cipollina, caratterizzato da un fondovalle relativamente ristretto e delimitato da rilievi collinari con versanti ad acclività medio elevata. La zona di fondovalle e il corpo dei rilievi collinari sono modellati nella sequenza di sedimenti pliocenici in facies astiana (sabbie e sabbie cementate), passanti con l'approfondimento a argille e silts argillosi in facies piacentiana.

Dal punto di vista idrogeologico non è presente una falda freatica superficiale intesa quale orizzonte acquifero continuo e a regime costante; è altresì vero che localmente si forma saltuariamente un fronte di saturazione a regime temporaneo nell'ambito dei terreni di copertura.

In merito alla dinamica fluvio – torrentizia, l'asta principale del Rio Cipollina è soggetto a evidenti segni d'erosione di fondo e laterale. Il tratto della linea di drenaggio su cui verranno attuati gli interventi di sistemazione in progetto, tributaria di destra del Rio Cipollina, è interessato da fenomeni erosivi e locali processi di tracimazione nel corso di eventi meteorici intensi e prolungati, in ragione anche di una sezione idraulica insufficiente per la presenza di detriti di riempimento. Per quanto riguarda la dinamica di versante, le caratteristiche geomorfologiche intrinseche della zona rendono i pendii e le scarpate naturali suscettibili principalmente a fenomeni di frana coinvolgenti i terreni di copertura.

Per quanto riguarda gli aspetti propriamente litotecnici, alla situazione stratigrafica locale (detriti eluvio colluviali sovrapposti al substrato pliocenico) si correla un modello geotecnico contraddistinto da due litozone principali a comportamento differenziato in termini di parametri di resistenza al taglio e deformabilità (livelli litotecnici 1 e 2). I detriti eluvio colluviali (livello litotecnico 1), che si distribuiscono in superficie, sono caratterizzati da proprietà geotecniche relativamente inferiori rispetto ai sedimenti del substrato pliocenico (livello litotecnico 2), e registrano un drastico decadimento delle loro caratteristiche di resistenza al taglio quando imbibiti da parte delle acque meteoriche d'infiltrazione.

Per quanto riguarda gli aspetti sismici, l'accelerazione massima (ag) attesa su suolo rigido di riferimento in corrispondenza dei siti d'intervento per lo stato limite di salvaguardia vita (SLV- Per Fondazioni e pendii) risulta pari a 0,038\*g. Tenuto conto di un profilo di suolo sismico di "categoria C", di una "Classe d'uso I" delle opere in progetto, si stimano:

- per il settore in cui rientra la linea di drenaggio interessata dagli interventi di regimazione idraulica in progetto, un'accelerazione massima (ag) di  $0,057 \cdot g$  nell'ipotesi di un'amplificazione topografica  $T = 1,0$ ;
- per le zone di pendio in cui sono in progetto opere di contenimento mediante tecniche di ingegneria naturalistica, un'accelerazione massima (ag) di  $0,0684 \cdot g$  con un'amplificazione topografica  $T_2 = 1,2$ .

A livello prescrittivo si raccomanda che la base delle palificate a doppia parete, ove previste dalle ipotesi di progetto, sia attestata entro il substrato pliocenico compatto, in modo da oltrepassare l'interfaccia con i sovrastanti terreni detritico eluvio colluviali di copertura dotati di scarse proprietà geotecniche.

Gli interventi in progetto, mirati alla regimazione di un tratto della linea di drenaggio collaterale al Rio Cipollina e al miglioramento delle condizioni di stabilità di tratti di pendio, tenuto conto della loro entità (ridotte operazioni di movimento terra) e tipologia (opere di ingegneria naturalistica), non alterano l'assetto geomorfologico esistente e pertanto risultano compatibili con esso sia sotto l'aspetto sostanziale che formale, ai sensi della L.R. 08/09/1989 n°45.

\*\*\*

In conformità alla normativa vigente in materia, è necessario un controllo delle ipotesi geotecniche in fase esecutiva; pertanto, all'atto della realizzazione dei lavori di scavo per la realizzazione delle palificate e delle gabbionate in alveo, dovrà essere verificata la corrispondenza tra i dati esposti nella presente relazione con la reale situazione stratigrafica e litotecnica riscontrata.