






**S.S. 38 - LOTTO 4: VARIANTE DI TIRANO DALLO SVINCOLO DI STAZZONA (COMPRESO) ALLO SVINCOLO DI LOVERO (CON COLLEGAMENTO ALLA DOGANA DI POSCHIAVO)**

**S.S. 38 - LOTTO 4: NODO DI TIRANO -  
TRATTA "A" (SVINCOLO DI BIANZONE - SVINCOLO LA GANDA)  
E TRATTA "B" (SVINCOLO LA GANDA - CAMPONE IN TIRANO),  
AI SENSI DEL PROTOCOLLO D'INTESA DEL 05/11/2007**

**PROGETTO ESECUTIVO**

 <p><b>STUDIO CORONA</b></p>	 <p><b>Ing. Valerio Bajetti</b> Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</p>	<p><b>ING. RENATO DEL PRETE</b></p> <p><b>Ing. Renato Del Prete</b> Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</p>	 <p><b>Arch. Nicoletta Frattini</b> Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</p>	 <p><b>Ing. Gabriele Incecchi</b> Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</p>
	<p><b>Ing. Renato Vaira</b> (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)</p>	 <p><b>Prof. Ing. Matteo Ranieri</b> Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</p>	<p><b>SETAC Srl</b> Servizi &amp; Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni</p> <p><b>Prof. Ing. Luigi Monterisi</b> Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</p>	<p><b>ARKE' INGENGERIA s.r.l.</b> Via Immacolata Conc. Trapani n. 2 - 70124 Bari</p> <p><b>Ing. Gioacchino Angarano</b> Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</p>

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	GEOLOGO	IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
			
Dott. Ing. Giancarlo LUONGO	Ing. Valerio BAJETTI	Dott. Geol. Francesco AMANTIA SCUDERIP	Ing. Gaetano RANIERI

<b>BA 01</b>	<b>GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA</b> BA - GEOLOGIA Relazione Geologica
--------------	---

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG.	BA02-P00GE00GEORE02_A.dwg		
<b>M</b>   <b>1324</b> <b>E</b> <b>1801</b>	CODICE ELAB. <b>P00GE00GEORE01</b>	<b>B</b>	

<b>C</b>					
<b>B</b>	REVISIONE PER ISTRUTTORIA ANAS	FEBBRAIO 2020	DOTT. F. AMANTIA	PROF. ING. VITTORIO RANIERI	ING. VALERIO BAJETTI
<b>A</b>	EMISSIONE	FEBBRAIO 2019	DOTT. F. AMANTIA	PROF. ING. VITTORIO RANIERI	ING. VALERIO BAJETTI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

**"S.S. 38 – LOTTO 4: NODO DI TIRANO  
TRATTA "A" (SVINCOLO DI BIANZONE – SVINCOLO LA GANDA)  
E TRATTA "B" (SVINCOLO LA GANDA – CAMPONE IN TIRANO)**

# **RELAZIONE GEOLOGICA**

## INDICE

1. PREMESSA .....	5
2. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	6
2.1. AREE IN DISSESTO.....	7
2.2. CONOIDI DI DEIEZIONE .....	8
3. SISMICITA' DEL TERRITORIO.....	10
4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE STRUTTURALI.....	12
5. INDAGINI EFFETTUATE.....	17
5.1 INDAGINI DEL 2002 .....	17
5.1.1. Sondaggi geognostici.....	18
5.1.2. Pozzetti esplorativi con prove di carico su piastra .....	19
5.1.3. Prove di permeabilità in foro.....	19
5.1.4. Prove pressiometriche .....	20
5.1.5. Prove dilatometriche .....	20
5.1.6. Prove Standard Penetration Test.....	21
5.1.7. Traverse sismiche a rifrazione .....	23
5.1.8. Analisi geotecniche su campioni di roccia .....	23
5.1.9. Analisi geotecniche su campioni di terre .....	24
5.2. INDAGINI DEL 2009.....	26
5.2.1. Sondaggi geognostici.....	27
5.2.2. Pozzetti esplorativi .....	30
5.2.3. Prove di carico su piastra.....	31
5.2.4. Prove di Permeabilità Lefranc .....	32
5.2.5. Prove Pressiometriche .....	33
5.2.6. Prove dilatometriche .....	33
5.2.7. Prove Standard Penetration Test.....	34

5.2.8.	Indagine sismica .....	35
5.2.9.	Analisi geotecniche di laboratorio.....	35
5.3.	INDAGINI GEOGNOSTICHE FEBBRAIO 2019 .....	37
5.3.1.	Sondaggi geognostici.....	37
5.3.2.	Pozzetti esplorativi .....	39
5.3.3.	Prove di carico su piastra .....	39
5.3.4.	Prove di Permeabilità Lefranc .....	39
5.3.5.	Prove Standard Penetration Test .....	40
5.3.6.	Indagine sismica .....	41
5.3.7.	Analisi geotecniche di laboratorio.....	42
	6. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE.....	44
6.1.	DEPOSITI QUATERNARI .....	44
6.2.	DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI .....	44
6.3.	DEPOSITI ALLUVIONALI STABILIZZATI .....	45
6.4.	DEPOSITI DI CONOIDE .....	45
6.5.	COLTRE DETRITICO – COLLUVIALE .....	46
6.6.	MORENE.....	46
6.7.	BASAMENTO CRISTALLINO.....	46
	7. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE.....	49
7.1	COMPLESSI IDROGEOLOGICI.....	49
7.1.1	Complesso idrogeologico 1° - Depositi alluvionali.....	50
7.1.2	Complesso idrogeologico 2° - Depositi quaternari .....	50
7.1.3	Complesso idrogeologico 3° - Depositi detritici .....	50
7.1.4	Complesso idrogeologico 4° – Rocce di basamento cristallino .....	51
7.2.	PROVE DI PERMEABILITÀ E DATI PIEZOMETRICI .....	51
7.2.1.	Censimento dei punti d'acqua .....	53
7.3.	MODELLO IDROGEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	53
7.4.	IMPATTO IDROGEOLOGICO DELL'OPERA .....	54

8. ANALISI GEOLOGICO-TECNICA DEL TRACCIATO.....	56
8.1. DA INIZIO LOTTO ÷ Progr. 0+420 .....	56
8.2. Progr. 0+420 ÷ Progr. 0+880 (VIADOTTO SULL'ADDA).....	56
8.3. Progr. 0+880 ÷ Progr. 4+325 .....	56
8.4. Progr. 4+375 ÷ Progr. 4+880 (GALLERIA ARTIFICIALE).....	57
8.5. Progr. 4+880 ÷ Progr. 5+140 .....	57
8.6. Progr. 5+140 ÷ Progr. 6+105 (GALLERIA NATURALE IL DOSSO).....	58
8.6.1 Imbocco W .....	58
8.6.2 Progr. 5+310 ÷ Progr. 6+035 .....	58
8.6.3 Imbocco Est.....	58
8.7. Progr. 6+105 ÷ FINE LOTTO .....	59
9. OPERE PRINCIPALI .....	60
9.1. PONTE SUL FIUME ADDA A STAZZONA .....	60
9.2. PONTE SUL FIUME ADDA A TIRANO .....	61

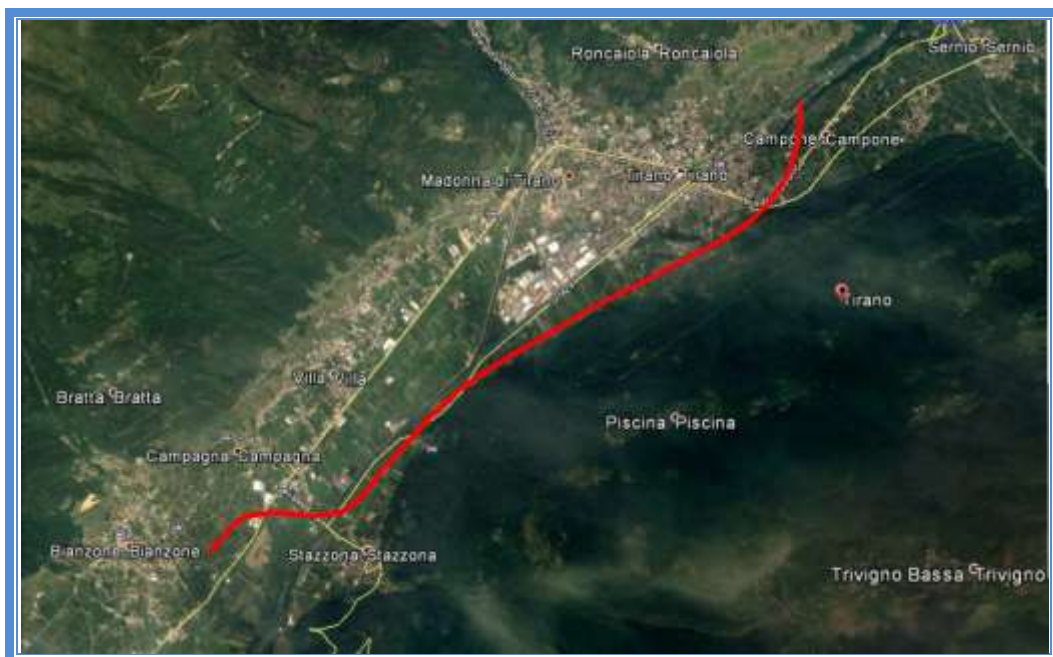
## 1. PREMESSA

Nel presente studio geologico vengono riportati ed integrati i dati e le notizie ricavabili dagli studi dei progetti preliminare e definitivo, ai quali si fa espresso riferimento e dei quali si riportano parti essenziali, al fine di definire con più dettaglio le caratteristiche geomorfologiche, geologiche e litologiche dei terreni che verranno interessati dal progetto "S.S. 38 – Lotto 4: Nodo di Tirano – Tratta "A" (Svincolo di Bianzone – Svincolo La Ganda) e Tratta "B" (Svincolo La Ganda – Campone in Tirano)".

La strada in progetto si snoda all'incirca in direzione SW – NE, quasi sempre in sinistra orografica del Fiume Adda, per una lunghezza di circa 6,5 Km, nel tratto compreso tra i comuni di Stazzona, Villa di Tirano e Tirano (Provincia di Sondrio); per la maggior parte il tracciato si sviluppa in sede naturale, prevalentemente in rilevato ed in minor misura a mezzacosta, sino alla galleria "Il Dosso", della lunghezza poco inferiore al km.

Nella Figura 1.1 è riportata l'ubicazione della strada in oggetto.

Figura 1 – Strada in progetto



Nei paragrafi successivi verranno sintetizzati i seguenti temi:

- caratteristiche geomorfologiche
- sismicità del territorio
- caratteristiche geologiche e strutturali
- indagini effettuate
- caratteristiche litologiche
- caratteristiche idrogeologiche
- analisi geologico-tecnica del tracciato

## 2. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'area in studio ricade all'interno di un tratto di territorio alpino i cui lineamenti geomorfologici risentono dell'azione modellatrice esercitata dagli agenti meteorici ed in particolare dall'acqua e dai ghiacciai; tale evoluzione geomorfologica si è instaurata sulla morfologia derivata dai fenomeni tettonici, come i lineamenti vallivi della "*Linea Insubrica*".

Si tratta, quindi, di una morfologia relativamente giovane, nel cui ambito la valle principale, come quella del Fiume Adda, risale a poco più di circa sei milioni di anni, laddove il mare occupava quella che attualmente è chiamata pianura padana.

Il notevole abbassamento del livello del bacino mediterraneo provocò l'abbassamento del "punto di base" dei corsi d'acqua, il cui profilo di equilibrio si modificò radicalmente, instaurando una nuova fase di violenta erosione, durante la quale i corsi d'acqua erosero ed incisero fortemente le valli alpine.

All'erosione fluviale seguì quella glaciale, avvenuta molte migliaia di anni fa, in cui tutto il territorio fu ricoperto dai ghiacci ed i ghiacciai modellarono le valli fluviali spingendosi ripetutamente sino alle zone di pianura.

La valle del Fiume Adda fu quindi anch'essa modellata dall'azione glaciale, con ingente trasporto di depositi morenici, che oggi ricoprono gran parte delle aree vallive.

Nel tratto di territorio in studio (Provincia di Sondrio) il grande bacino fluviale del Fiume Adda (Valtellina) costituisce, insieme al Fiume Mera della Valchiavenna, l'importante sistema di immissari del lago di Como.

L'evoluzione geomorfologica fluviale prodotto dei lineamenti vallivi caratteristici:

- quello della Valtellina, è costituito dalla "*linea insubrica*" nel tratto da Tirano sino al Lario, con orientamento Est Ovest;
- la Val Masino, Val Grosina e la Valmalenco, che costituiscono delle le valli laterali, sono caratterizzate da una morfologia determinata esclusivamente dall'erosione glaciale e fluviale.

L'evoluzione geomorfologica delle aree glaciali è facilmente individuabile in alcune forme caratteristiche, giacchè quando i ghiacciai si espandono, in conseguenza dell'enorme peso di neve e ghiaccio, frantumano e levigano le rocce in superficie e la roccia in posto.

Ne risultano, quindi, dei lineamenti morfologici caratteristici quali:

- striature
- circhi
- picchi piramidali
- arête<sup>1</sup>
- trim line<sup>2</sup>
- valli a forma di U

<sup>1</sup> Un arête è una cresta di roccia sottile, quasi a lama di coltello, che di solito si forma quando due ghiacciai erodono valli a forma di U parallele

<sup>2</sup> Il limite dell'erosione glaciale



- roches moutonnées<sup>3</sup>
- valli pendenti.

Allorchè i ghiacciai si ritirano, lasciano dietro il loro carico di roccia frantumata e sabbia (ammasso glaciale), mettendo a giorno una valle con la caratteristica forma ad "U"; i sedimenti creati dai ghiacciai hanno caratteristiche morfologiche e organizzazione interna ben definite, come *morene*, *esker* e *kame*, come pure *drumlin* e morene scanalate (*ribbed*).

L'esker è il letto di accumulo di un fiume sotto il ghiacciaio.

Il Kame è un cumulo di forma irregolare

La morena può essere terminale (alla fine di un ghiacciaio) o laterale (lungo i suoi lati).

Ai fini del presente lavoro l'elemento principale morfologico caratterizzante è senz'altro costituito dai depositi morenici, in cui sono riconoscibili la grande variabilità della tessitura (dalle argille ai grandi blocchi), la presenza contemporanea di materiali litologicamente differenti e la totale mancanza di strutture.

Nelle Carte geomorfologiche ed idrogeologiche allegate al presente progetto sono riportati gli elementi geomorfologici salienti del territorio in esame:

- spartiacque
- impluvi
- direzione di deflusso preferenziale delle acque superficiali
- acque selvagge (ruscellamento di superficie)
- conoidi di deiezione
- corone di frana
- frane attive (per crollo)
- frane inattive o quiescenti (per colamento)
- frane inattive o quiescenti (per crollo)
- frane inattive o quiescenti (per scivolamento)
- nicchia di distacco di frana.

## 2.1. AREE IN DISSESTO

Nelle allegate carte geomorfologiche sono stati cartografati dissesti differenti per tipologia di movimento e stato di attività, distinguendo:

- a) *frana inattiva o quiescente*, con movimento planare, che si imposta su un piano di discontinuità orientata a traversopoggio rispetto al versante;
- b) *colamento inattivo o quiescente*, segnalato nel PAI, che interessa probabilmente solo la porzione più superficiale della copertura (depositi morenici e/o coltre detritico colluviale);

<sup>3</sup> particolare tipo di formazione rocciosa generata dal passaggio di un ghiacciaio, che forma strutture asimmetriche arrotondate



c) *frana attiva per fenomeni di crollo*, segnalata nel PAI, di cui si distingue l'accumulo al piede del versante.

Questi dissesti non sono distanti dal tracciato in progetto ma non interferiscono con esso.

Nel tratto tra le progressive 1+340 ÷ 1+520 è stata cartografata una *frana attiva per fenomeni di crollo*, di estensione limitata, e comunque non interferente con il tracciato che in questa zona è distante oltre 200 metri.

Intorno alla Progr. 1+940 è stato individuato un *movimento complesso*, inattivo o quiescente, che sembra avere le caratteristiche di un movimento rotazionale nella parte di monte e che evolve in colamento verso valle; su tale dissesto, che sembra coinvolgere le sole coperture quaternarie, si è impostato un conoide di deiezione che come detto non è più attivo se non nella sua parte più apicale.

Alla Progr. 2+330 è stato cartografato un *dissesto attivo*, segnalato anche nella cartografia del PAI; in questo settore è prevista la realizzazione di una viabilità secondaria che interferisce con la parte terminale della zona di accumulo del dissesto. Le potenze coinvolte sono limitate ed i materiali interessati dalle operazioni di scavo sono costituiti prevalentemente da sabbie con ciottoli centimetrici e ghiaie sabbiose.

Alle Progr. 2+490 è presente una *frana attiva per fenomeni di crollo*, segnalata nel PAI, che, per l'estensione relativamente limitata dei dissesti, non dovrebbe interferire in maniera significativa con l'opera in progetto.

Intorno alla Progr. 2+900 è stata segnalata una *frana attiva*, molto estesa, per fenomeni da crollo; si tratta in realtà di più dissesti, di proporzione limitata estesi su tutto il versante; questo dissesto, che è censito nel PAI con una estensione più limitata, comunque non interferisce con il tracciato.

Intorno alla Progr. 3+600 è stata cartografato una *movimento gravitativo* di tipo rotazionale, inattivo o quiescente, segnalato anche dal PAI; l'accumulo di frana, individuato durante l'esecuzione del pozzetto Pz6, interferisce con il tracciato che in questo settore è in rilievo e coinvolge materiali costituiti da sabbie limose.

Alla Progr. 4+550 è stata individuata una *frana attiva per crollo*, tale dissesto è molto lontano dal tracciato e non interferisce con esso.

## 2.2. CONOIDI DI DEIEZIONE

Le conoidi individuate sono spesso direttamente interferenti con il tracciato o comunque insistono su di esso; tuttavia tali forme non mostrano evidenti segni di attività, se non nelle parti as-siali, che sono comunque regimate o parzialmente regimate, e sono ormai antropizzate o sfruttate a scopo agricolo.

In particolare si può notare che tali forme sono cartografate, così come riportato anche nel PAI, come forme inattive e solo in due punti le opere in progetto interferiscono con settori attivi parzialmente protetti, intorno alle Progr. 1+940 e 3+220.

### 3. SISMICITA' DEL TERRITORIO

La microzonazione sismica consiste sostanzialmente nell'individuazione delle risposte sismiche locali nell'ambito dell'area interessata dal progetto individuando la presenza di terreni dinamicamente instabili (quelli che in caso di sollecitazione sismica possono essere soggetti a deformazioni permanenti, quali frane, liquefazione, addensamento, etc.) stimando in maniera qualitativa le accelerazioni che si possono determinare sui terreni dinamicamente stabili.

Per definire l'azione sismica di progetto si deve valutare la risposta sismica locale che è definita come l'azione sismica che emerge in "superficie" a seguito delle modifiche di ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subite trasmettendosi dal substrato rigido.

La risposta sismica locale è funzione delle caratteristiche del sottosuolo (tipo di terreno, variazioni dello stesso in profondità, spessore, etc.) e delle condizioni topografiche, che possono favorire o meno i fenomeni di amplificazione (cfr. Figura 3.1 e Figura 3.2).

Figura 3.1 – *Categorie del sottosuolo*

A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	800	-
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	360	800
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	180	360
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.	100	180
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	-	-

Figura 3.2 – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

La definizione della categoria del sottosuolo necessita di indagini che permettano di effettuare una opportuna caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo. La classificazione si ottiene sulla base dei valori misurati della velocità equivalente ( $V_{s30}$ ) di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità ed in base a questi valori si distinguono 5 categorie di sottosuolo.

Tali valori sono stati ottenuti dalle prove in sito, Down Hole, Re. MI. e MASW, che hanno evidenziato che i depositi indagati presentano velocità tali da essere collocati in classe B secondo la normativa italiana vigente (cfr. analisi sismiche). Gli ammassi rocciosi affioranti rientrano in categoria A, mentre le aree in frana, che sono generalmente più suscettibili all'amplificazione in quanto sono caratterizzate da parametri litotecnici più scadenti rispetto a pendii non in frana, a causa di discontinuità strutturali (trench, fratture, superfici di rottura ecc.), rientrano nella categoria di suolo S2.

Per quanto riguarda invece la distinzione delle categorie topografiche il territorio in esame rientra prevalentemente nelle categorie T1, piana di fondovalle, e T2, zona di versante; solo in località Il Dosso è stata evidenziata una categoria tipo T4.

Tutte queste indicazioni sono sintetizzate nella carta della suscettibilità all'amplificazione sismica a cui si rimanda.

#### 4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE STRUTTURALI

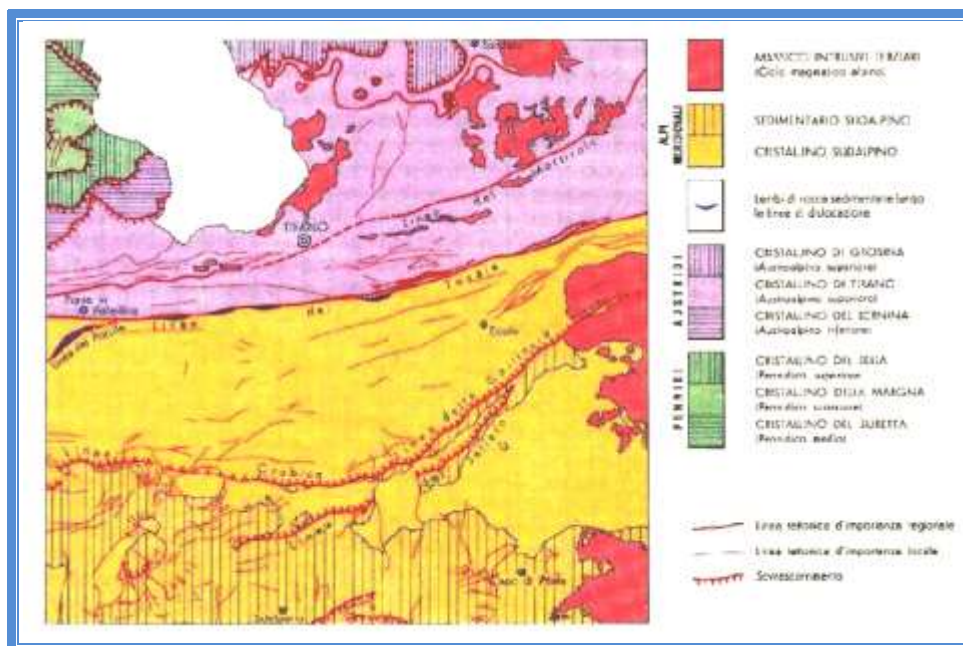
Per quanto attiene alle caratteristiche geologiche e strutturali si riportano le parti essenziali dello studio geologico facente parte del Progetto Definitivo. Esso è stato eseguito mediante uno studio di superficie, unitamente alla foto interpretazione, ai dati geognostici, ai dati di laboratorio ed all'analisi della documentazione bibliografica, che hanno permesso di caratterizzare le litofacies affioranti e di inquadrarle nell'ambito di un modello geologico di riferimento.

L'insieme dai dati raccolti ha costituito la base conoscitiva per la redazione della carta e la successiva elaborazione dei profili geologici e geomeccanici. L'integrazione del modello con i dati geotecnici restituiti dalle prove effettuate sui campioni prelevati nel corso delle indagini geognostiche ha permesso l'elaborazione del profilo geotecnico.

Sempre nello stesso rapporto geologico lo studio fotogeologico è stato condotto mediante l'analisi in stereoscopia di fotogrammi acquisiti per questo specifico lavoro. Lo studio è stato finalizzato alla caratterizzazione geomorfologica generale ed in particolare alla delimitazione dei dissesti gravitativi di versante ed alla individuazione di fotolineamenti che possono indicare sia allineamenti strutturali che paleoforme.

La catena alpina è un edificio complesso strutturatosi in più fasi deformative differenti per età, tipo di deformazione e metamorfismo. L'area della Valtellina costituisce un settore delle Alpi Centrali piuttosto interessante in quanto in essa figurano i principali complessi tettonici che costituiscono la struttura della catena stessa: Alpi Meridionali (Complesso Sudalpino) e Alpi s.s. (Complesso Pennindico e Complesso Austroalpino); questi due settori sono separati da un lineamento tettonico a carattere regionale, la linea del Tonale, di età ercinica e ripresa durante la strutturazione della catena alpina (cfr. Figura 4.1).

Figura 4. 1 – Schema tettonico di un settore delle Alpi centrali



Il Complesso Sudalpino è costituito da un basamento cristallino (Cristallino Sudalpino) e da una copertura sedimentaria di età carbonifero-mesozoica (Sedimentario Sudalpino) che in genere sono in contatto tettonico per sovrascorrimenti sud vergenti, il più importante dei quali è rappresentato dalla Linea Orobica – Linea della Gallinera.

Tale complesso, da un punto di vista paleogeografico, rappresenta un grande frammento di un antico continente (paleo-Africa) posto a sud dell'oceano Ligure Piemontese (Figura 7).

Il Complesso Austroalpino poggia sul complesso Pennidico ed è costituito da limitati lembi di co-perture sedimentarie e da varie falde di basamento cristallino di età ercinica solo localmente ripreso dal metamorfismo alpino; in particolare dal basso verso l'alto si hanno le seguenti unità: Falda Margna, Falda Sella, Falda Bernina, Sistema Languard-Campo-Ortles e Sistema Grosina-Tonale; quest'ultima affiora diffusamente nell'area in esame a nord della Linea del Tonale.

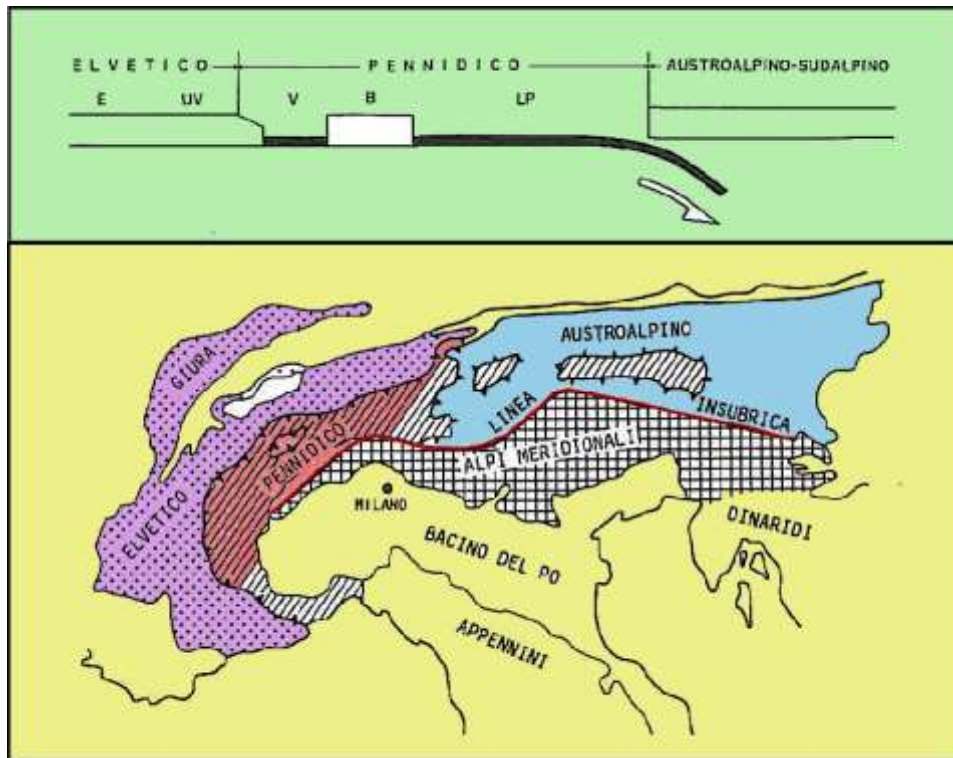
Da un punto di vista paleogeografico anche tale complesso è ascrivibile ad un dominio "africano", posto quindi a sud dell'oceano Ligure Piemontese (cfr. Figura 4.2).

Il Complesso Pennidico, che non affiora nell'area in esame, costituisce la parte più profonda della catena alpina messa a nudo dall'erosione. Le falde di questo complesso presentano un metamorfismo ercinico ripreso da un metamorfismo alpino di grado da basso a medio.

Tale complesso, da un punto di vista paleogeografico, è descrivibile come il margine del continente europeo ed è collocabile quindi a nord dell'oceano Ligure Piemontese (cfr. Figura 4.2).

Figura 4.2 - *Collocazione paleogeografia dei vari complessi tettonici.*





Da un punto di vista tettonico la catena alpina è caratterizzata prevalentemente da deformazioni di tipo compressivo e trascorrente accanto alle quali si sviluppa anche una tettonica estensionale, sia pur su-bordinata, che testimonia la complessità della storia di questa catena.

L'elemento tettonico più importante dell'area è rappresentato dalla Linea del Tonale ed è una faglia a carattere regionale che si estende per circa 150 Km e separa le Alpi Meridionali dalle Alpi s.s.. Questo lineamento, a cinematica complessa, è in genere sub-verticale e non è costituito da un'unica superficie di movimento ma da una fascia di deformazione che può raggiungere una potenza di diverse centinaia di metri all'interno della quale le rocce hanno subito una frantumazione ed una deformazione piuttosto spin-ta.

Questa linea, che costituisce una parte del Lineamento Periadriatico (o Linea Insubrica), è interpretabile quindi come una zona di "sutura" in cui entrano in contatto la placca europea e quella africana (cfr. Figura 4.3 e 4.4.).

Figura 4.3

*Schema geologico-strutturale delle Alpi*

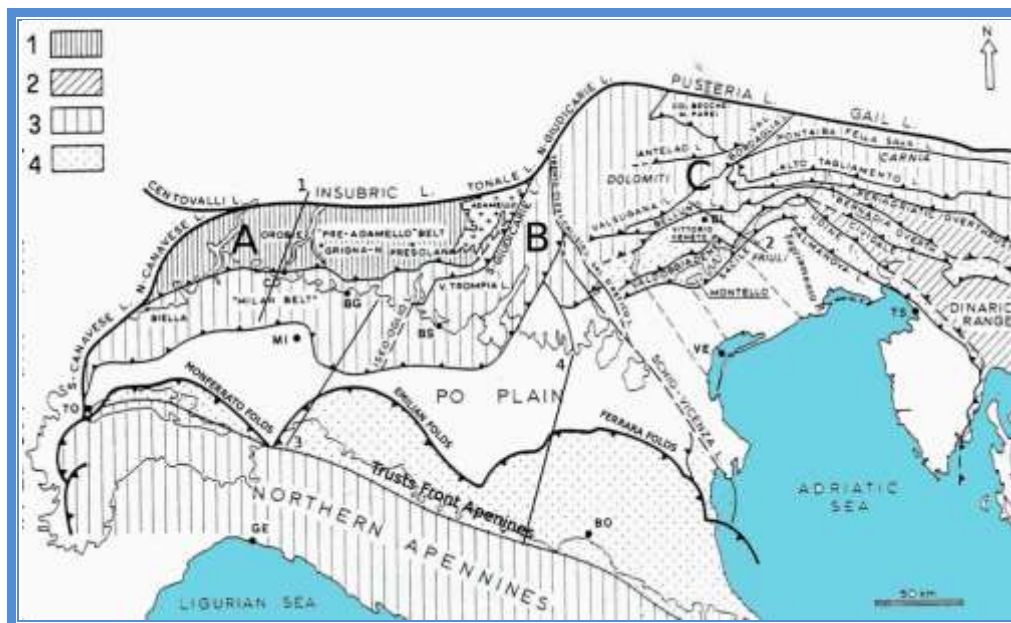




Nella Figura 4.4 è riportato lo schema strutturale della Pianura Padana (microplacca Adria) (tratto da *Regime dello stress tettonico attuale della microplacca Adria - Pianura Padana-Veneta - Paolo Balocchi, 2012*) e delle aree adiacenti (modificato da: Castellarin e al., 1982). Il Sudalpino è tettonizzato in età eoalpina (Cretaceo-Paleocenica) (1) e in età Eocene inf. e medio (2). L'area Appenninica è coeva al settore più occidentale delle Alpi (3) di età Messiniana e Plio-Pleistocenica. L'area in forte accorciamento Appenninica e Veneto-Friulana (4) caratterizzata dalle strutture sepolte sotto i depositi di pianura. Il Sudalpino è diviso del A) Blocco Lombardo; B) Blocco Trentino-Lessineo; C) Blocco Veneto-Friulano.

Figura 4.4

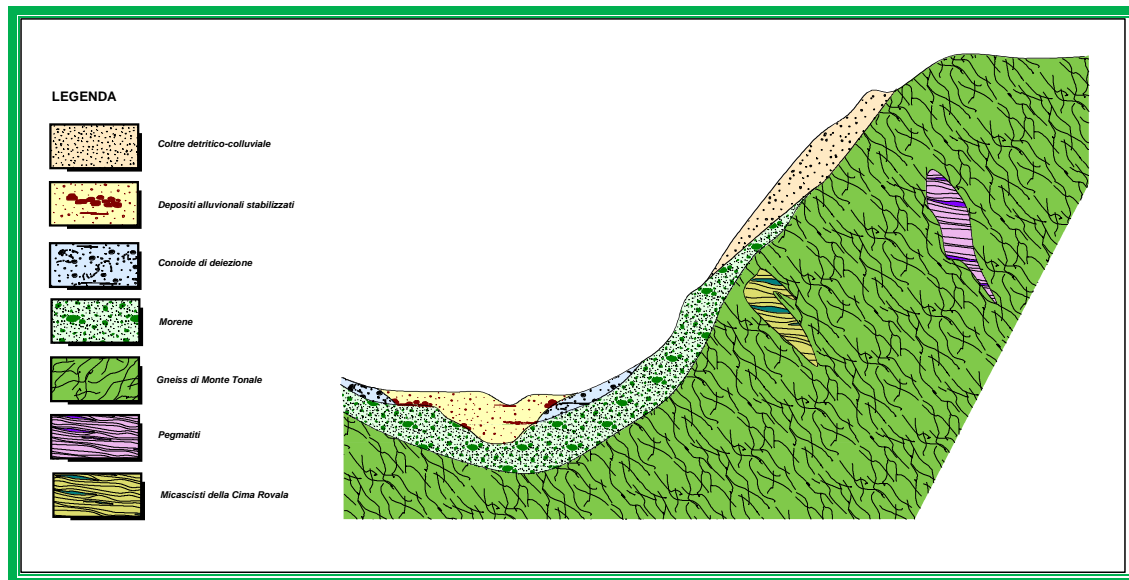
Schema geologico-strutturale delle Alpi



Come già accennati in precedenza la variante di Tirano si sviluppa prevalentemente in sinistra idraulica del Fiume Adda e solo per un breve tratto (inizio lotto) in destra idraulica.

I terreni attraversati dalle opere in progetto sono prevalentemente di età quaternaria e di varia origine: depositi fluviali, depositi glaciali e depositi di conoide e di versante; il basamento cristallino è rappresentato dai soli litotipi del Complesso Australpino, tutti ascrivibili all'unità del Grosina – Tonale, ed è coinvolto in alcuni tratti in scavo a mezza costa e in parte degli scavi in sotterraneo (cfr. Figura 4.5).

Figura 4.5. - Schema dei rapporti geometrici e strutturali dei litotipi presenti nell'area in studio



## 5. INDAGINI EFFETTUATE

Per la definizione delle caratteristiche geologiche e litologiche si fa riferimento a quanto riportato nella relazione geologica allegata al progetto definitivo, ed in particolare alle due campagne di indagini effettuate, rispettivamente nel 2002 e nel 2009.

Nella suddetta relazione geologica viene riportata la sintesi delle indagini e dei rilievi effettuati, schematizzata nella Tabella 5.1.

Tabella 5.1 – Studi ed indagini effettuati

Anno	Tipo di indagine
2002	Campagna di indagini geognostiche del Progetto Definitivo
2002	Rilevamento geologico di dettaglio del Progetto Definitivo
2009	Campagna di indagini geognostiche del Progetto Definitivo
2009	Rilevamento geologico di dettaglio del Progetto Definitivo
2017	Rilievo geomorfologico di dettaglio

### 5.1 INDAGINI DEL 2002

Le indagini effettuate in tale periodo possono riassumersi come da Tabella 5.2.

Tabella 5.2 – Indagini eseguite nell'anno 2002

Tipo di indagine	N° di indagini
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo ad andamento verticale	16
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo ad andamento orizzontale	2
Pozzetti esplorativi con prove di carico su piastra	6
Stendimenti sismici a rifrazione	22
Prove penetrometriche Standard Penetration Test (SPT)	137
Prove di permeabilità	5
Prove pressiometriche	9
Prove Dilatometriche	6
Installazione tubi piezometrici	12
Analisi di laboratorio su rocce	24
Analisi di laboratorio su terre	72

### 5.1.1. Sondaggi geognostici

Nella seguente Tabella 5.3. vengono riportati i dati salienti dei sondaggi geognostici a rotazione:

- direzione del sondaggio (V = verticale; O = orizzontale)
- litologia prevalente riscontrata (terre/roccia)
- profondità dal p.c. raggiunta
- numero dei campioni prelevati
- numero delle prove S.P.T.
- piezometro

Tabella 5.3 – Dati dei sondaggi geognostici 2002

Sondaggio	Direzione	Litologia prevalente		Profondità	Campioni	S.P.T.	Piezometro
		Terre (%)	Rocce (%)				
N°	(V/O)			m	N°	N°	M
SP.1	V	100	-	30.00	6	10	30.00
S.2	V	100	-	25.00	5	8	-
SP.3	V	100	-	30.00	6	10	30.00
S.4	V	31.50	68.50	20.00	5	2	-
SP.5	V	78.00	22.00	20.00	4	5	20.00
S.6	V	100	-	30.00	6	10	-
SP.7	V	100	-	30.00	6	10	30.00
S.8	V	100	-	25.00	5	8	-
SP.9	V	100	-	30.00	6	10	30.00
SP.10	V	68.33	31.37	30.00	4	5	30.00
SP.11	V	26.00	74.00	50.00	4	4	50.00
SP.12	V	46.00	54.00	80.00	4	10	36.00
SP.13	V	100	-	25.00	5	7	25.00
SP.14	V	100	-	70.00	14	21	70.00
SP.15	V	100	-	35.00	7	12	35.00
SP.16	V	100	-	15.00	4	5	15.00
SO.1	O	8.25	94.75	40.00	8	-	-
SO.2	O	14.00	86.00	50.00	5	-	-

I sondaggi sono stati eseguiti dalla TEA – Territorio e Ambiente s.r.l. nel periodo gennaio – luglio 2002.

Le successioni stratigrafiche di dettaglio e tutti gli altri dati inerenti le prove geotecniche in foro sono riportati in apposito allegato.

L'ubicazione di tutti i sondaggi è riportata nelle carte tematiche in scala 1:2.000.

### 5.1.2. Pozzetti esplorativi con prove di carico su piastra

Nella seguente Tabella 5.4. vengono riportati i dati salienti dei pozzetti esplorativi:

- litologia prevalente riscontrata (terreno vegetale/formazione incoerente)
- profondità dal p.c. raggiunta
- numero dei campioni prelevati

Tabella 5.4 – Dati dei pozzetti esplorativi 2002

Pozzetto N°	Intervallo (m)		Litologia	Campioni N°
P.1	0.00	0.20	Terreno vegetale	-
	0.20	2.00	Formazione incoerente	-
P.2	0.00	0.80	Terreno vegetale	1
	0.80	2.00	Formazione incoerente	-
P.3	0.00	1.80	Terreno vegetale	1
	1.80	2.00	Formazione incoerente	-
P.4	0.00	0.40	Terreno vegetale	-
	0.40	2.00	Formazione incoerente	1
P.5	0.00	1.00	Terreno vegetale	1
	1.00	2.00	Formazione incoerente	-
P.6	0.00	0.80	Terreno vegetale	1
	0.80	2.00	Formazione incoerente	-

I pozzetti sono stati eseguiti dalla TEA – Territorio e Ambiente s.r.l. nel periodo aprile – luglio 2002.

Le successioni stratigrafiche di dettaglio e tutti gli altri dati inerenti i pozzetti sono riportati in apposito allegato.

I risultati delle prove di carico su piastra sono riportati in apposito allegato

L'ubicazione di tutti i sondaggi è riportata nelle carte tematiche in scala 1:2.000.

### 5.1.3. Prove di permeabilità in foro

Nella seguente Tabella 5.5. vengono riportati i dati salienti delle prove di permeabilità, eseguite secondo il metodo Lefranc a carico variabile.

Le prove sono state effettuate nei sondaggi SP.12, SP. 13 ed SP. 15.



Tabella 5.5 – Prove di permeabilità Lefranc a carico variabile

Sondaggio N°	Intervallo di prova (m)
SP. 12	9.00 ÷ 10.00
SP. 13	9.00 ÷ 9.50
SP. 13	12.00 ÷ 12.50
SP.15	26.50 ÷ 27.50
SP.15	29.50 ÷ 30.50

I risultati delle prove di permeabilità Lefranc a carico variabile sono riportati in apposito allegato

#### 5.1.4. Prove pressiometriche

Nella seguente Tabella 5.6. vengono riportati i dati salienti delle prove pressiometriche, eseguite con il Pressiometro Menard.

Tabella 5.6 – Prove Pressiometriche

Sondaggio N°	Prova N°	Profondità (m)
SP.13	1	8.50
SP. 13	2	11,50
SP. 13	3	14,50
SP. 14	1	60,00
SP.14	2	63,00
SP.14	3	66,00
SP.15	1	27,00
SP.15	2	30,00
SP.15	3	33,00

I risultati delle prove Pressiometriche Menard sono riportati in apposito allegato.

#### 5.1.5. Prove dilatometriche

Nella seguente Tabella 5.7. vengono riportati i dati salienti delle prove dilatometriche, eseguite con il dilatometro "Dilaroc".

Tabella 5.7 – Prove Dilatometriche

Sondaggio N°	Prova N°	Profondità (m)
SP. 10	1	25.00
SO. 1	1	29.50
SO. 1	2	15.50
SP.12	1	69.50
SP. 11	1	42.20
SO. 2	1	31.00

I risultati delle prove dilatometriche sono riportati in apposito allegato.

### 5.1.6. Prove Standard Penetration Test

In tutti i sondaggi verticali sono state effettuate le prove Standard Penetration Test, i cui risultati sono sintetizzati nelle seguenti Tabelle 5.8 e 5.9 (cfr. All. 25).

Tabella 5.8 – Sondaggi SP.1 ÷ S.8 - Prove Standard Penetration Test

Sondaggio N°	Intervallo		Numero colpi per tratto 15 cm			Numero colpi Utili	Falda m dal p.c.
	da m	a m	15	30	45		
SP.1	1,50	1,95	11	17	19	36	12,86
	4,50	4,62	R				
	7,50	7,95	16	23	28	51	
	10,50	10,95	33	42	43	85	
	13,50	13,95	31	38	42	80	
	16,50	16,95	26	32	35	67	
	19,50	19,95	27	29	31	60	
	22,50	22,95	23	26	28	54	
	25,50	25,95	18	21	24	45	
	28,50	29,95	21	27	29	56	
S.2	1,50	1,95	17	20	23	43	
	4,50	4,95	15	19	27	46	
	7,50	7,95	22	27	R		
	10,50	10,95	23	28	39	67	
	13,50	13,95	20	31	44	75	
	16,50	16,95	18	23	29	52	
	19,50	19,95	24	37	31	68	
	22,50	22,95	21	30	45	75	
SP.3	1,50	1,95	11	24	27	51	5,80
	4,50	4,95	18	27	41	68	
	7,50	7,95	21	29	38	67	
	10,50	10,95	26	24	24	48	
	13,50	13,95	22	38	43	81	
	16,50	16,95	25	41	R		
	19,50	19,95	23	34	40	74	
	22,50	22,95	21	35	R		
	25,50	25,95	27	39	42	81	
28,50	28,95	25	34	28	62		
S.4	1,50	1,95	11	27	32	59	
	4,50	4,95	15	31	38	69	
SP.5	1,50	1,95	6	8	11	19	
	4,50	4,50	R				
	7,50	7,95	12	14	18	32	
	10,50	10,95	10	16	20	36	
	13,50	13,95	13	16	19	35	
S.6	1,50	1,95	9	8	11	19	
	4,50	4,95	13	17	18	35	
	7,50	7,95	18	22	26	48	
	10,50	10,95	13	11	12	23	
	13,50	13,95	R				
	16,50	16,95	R				
	19,50	19,95	18	14	15	29	
	22,50	22,95	R				
	25,50	25,95	17	19	24	43	
	28,50	28,95	18	21	29	50	
SP.7	1,50	1,95	9	8	6	14	22,18
	4,50	4,95	8	6	7	13	
	7,50	7,95	9	11	9	20	
	10,50	10,95	10	13	18	31	
	13,50	13,95	15	19	23	42	
	16,50	16,95	16	21	22	43	
	19,50	19,50	R				
	22,50	22,95	19	21	27	48	
	25,50	25,95	22	19	20	39	
	28,50	28,95	19	19	28	47	
S.8	1,50	1,95	13	R			
	4,50	4,95	9	18	21	39	
	7,50	7,95	5	8	13	21	
	10,50	10,95	13	18	18	36	
	13,50	13,95	R				
	16,50	16,95	11	17	23	40	
	19,50	19,95	18	28	29	57	
22,50	22,95	19	29	33	62		



Tabella 5.9 – Sondaggi SP.9 ÷ Sp.16 - Prove Standard Penetration Test

Sondaggio N°	Intervallo		Numero colpi per tratto 15 cm			Numero colpi Utili	Falda m dal p.c.
	da m	a m	15	30	45		
SP.9	1,50	1,95	13	21	26	47	27,10
	4,50	4,95	14	18	26	44	
	7,50	7,95	21	R			
	10,50	10,95	R				
	13,50	13,95	18	27	22	49	
	16,50	16,95	21	28	29	57	
	19,50	19,50	28	33	R		
	22,50	22,95	21	28	32	60	
	25,50	25,95	16	21	23	44	
	28,50	28,95	17	20	27	47	
SP.10	1,50	1,95	R				
	4,50	4,95	R				
	7,50	7,95	R				
	10,50	10,95	R				
	13,50	13,95	R				
SP.11	1,50	1,95	11	19	18	37	44,30
	4,50	4,95	13	14	11	25	
	7,50	7,95	10	11	18	29	
	10,50	10,95	11	10	11	21	
SP.12	1,50	1,95	6	8	14	22	50,45
	8,50	8,95	8	11	19	30	
	10,50	10,95	13	12	22	34	
	13,50	13,95	8	12	21	33	
	16,50	16,50	R				
	19,50	19,95	10	19	24	43	
	22,50	22,95	9	13	18	31	
	25,50	25,95	8	11	17	28	
28,50	28,95	10	19	28	47		
	31,50	31,95	27	30	33	63	
SP.13	1,50	1,95	23	18	21	39	24,58
	8,50	8,95	18	18	17	35	
	10,50	10,95	14	13	14	27	
	13,50	13,95	15	15	16	31	
	16,50	16,50	18	22	17	39	
	19,50	19,95	24	27	21	48	
	22,50	22,95	25	28	24	52	
SP.14	1,50	1,95	8	10	9	19	47,00
	4,50	4,95	10	11	9	20	
	7,50	7,95	10	12	11	23	
	10,50	10,95	15	18	19	37	
	13,50	13,95	13	14	18	32	
	16,50	16,95	11	16	14	30	
	19,50	19,95	12	18	17	35	
	22,50	22,95	17	18	20	38	
	25,50	25,95	18	14	21	35	
	28,50	28,95	R				
	31,50	31,95	15	18	19	37	
	34,50	34,95	16	13	11	24	
	37,50	37,95	17	20	21	41	
	40,50	40,95	21	18	19	37	
	43,50	43,95	22	28	29	57	
	46,50	46,95	20	22	27	49	
	49,50	49,95	25	31	28	59	
	58,50	58,95	30	32	31	63	
	61,50	61,95	29	28	32	60	
64,70	65,15	30	32	31	63		
67,50	67,95	30	29	32	61		
	1,50	1,95	8	11	16	27	
SP.15	4,50	4,95	R				19,2
	7,50	7,95	10	14	17	31	
	10,50	10,95	9	11	16	27	
	13,50	13,95	R				
	16,50	16,95	15	22	28	50	
	19,50	19,95	14	23	28	51	
	22,50	22,95	16	25	31	56	
	25,50	25,95	21	27	32	59	
	28,50	28,95	23	28	28	56	
	31,50	31,95	18	24	29	53	
	34,50	34,95	23	R			
SP.16	1,50	1,95	10	9	8	17	
	4,50	4,95	9	13	14	27	
	7,50	7,95	9	18	26	44	
	10,50	10,95	21	16	20	36	
	13,50	13,95	21	28	31	59	

### 5.1.7. Traverse sismiche a rifrazione

Sono state effettuate N° 22 traverse sismiche a rifrazione, designate con le sigle LS.1....LS.22, la cui ubicazione è riportata nelle carte tematiche in scala 1:2.000.

Nella Tabella 5.10 sono riportate le caratteristiche di ciascuno stendimento di sismica.

Tabella 5.10 – *Stendimenti di sismica a rifrazione*

Stendimento N°	Interdistanza geofonica (m)	Lunghezza stendimento (m)
LS.1	10	130
LS.2	10	130
LS.3	10	130
LS.4	10	130
LS.5	10	130
LS.6	10	130
LS.7	10	130
LS.8	10	130
LS.9	10	130
LS.10	10	130
LS.11	10	130
LS.12	10	130
LS.13	10	130
LS.14	10	130
LS.15	10	130
LS.16	10	130
LS.17	10	130
LS.18	10	130
LS.19	10	120
LS.20	10	128
LS.21	10	133
LS.22	10	250

### 5.1.8. Analisi geotecniche su campioni di roccia

I campioni di roccia, analizzati nel laboratorio GD Test s.r.l., sono stati sottoposti a prove di compressione con determinazione dei moduli elastici.

Nella Tabella 5.11 sono riportati i campioni analizzati ed i sondaggi in cui sono stati prelevati.

Tabella 5.11 – Campioni di roccia analizzati

Sondaggio N°	Campione N°	Provino	Profondità (m)		Litotipo
SO.1	L2	IEB 2	7,00	7,30	Gneiss micaceo
SO.1	L6	IEB 5	26,30	26,60	Micascisto gneissico
SO.2	L1	IEB 6	10,00	10,30	Gneiss micaceo
SO.2	L3	IEB 1	37,30	37,70	Gneiss biotitico-anfibolitico
SP.5	L1	IEB 12	19,80	20,00	Quarzo-micascisto
SP.10	L1	IEB 3	22,70	23,00	Micascisto anfibolitico
SP.10	L2	IEB 9	29,50	29,65	Quarzo-micascisto
SP.11	L1	IEB 10	21,70	21,90	Gneiss prasinitico
SP.11	L2	IEB 11	33,80	34,00	Scisto prasinitico
SP.12	L2	IEB 4	63,00	63,30	Gneiss prasinitico
SP.12	L4	IEB 8	77,70	78,00	Quarzo-micascisto
S.4	L2	IEB 7	11,70	12,00	Cataclasite quarzo-dolomitica
SO.1	L1	IEB 13	4,00	4,40	Gneiss micaceo
SO.1	L5	IEB 17	22,40		Gneiss micaceo
SO.1	L3	IEB 14	12,30	12,50	Gneiss micaceo
SO.1	L4	IEB 18	19,10		Gneiss micaceo
SO.1	L7	IEB 16	33,20	33,60	Micascisto gneissico
SO.1	L8	IEB 20	39,60	40,00	Gneiss micaceo
SP.11	L3	IEB 24	39,00	39,30	Gneiss prasinitico
SP.11	L4	IEB 22	44,00	44,30	Scisto dioritico-anfibolico
SP.12	L1	IEB 21	53,00	53,20	Quarzo-micascisto
SO.2	L4	IEB 19	49,20	49,50	Gneiss anfibolico
SP.12	L3	IEB 23	71,70	72,00	Gneiss quarzo-micaceo
SO.2	L2	IEB 15	31,00	31,30	Gneiss micaceo granatifero

I risultati delle analisi di laboratorio sui campioni di roccia sono riportati in apposito allegato.

#### 5.1.9. Analisi geotecniche su campioni di terre

I campioni dei terreni, analizzati nel laboratorio SO.GE.TEC. sono stati sottoposti a prove per la determinazione delle caratteristiche fisiche, di consistenza e granulometriche.

Nella Tabella 5.12, 5.13 e 5.14 sono riportati i campioni analizzati ed i sondaggi in cui sono stati prelevati.

Nelle suddette tabelle i simboli hanno il significato riportato in legenda:

**LEGENDA:** C.R.= apertura campione rimaneggiato  
 S= analisi granulometrica per setacciatura  
 A= analisi granulometrica per sedimentazione  
 L= determinazione limiti liquidità e plasticità  
 P.S.= determinazione peso specifico dei grani  
 X = analisi effettuata  
 NO = analisi non richiesta o non effettuata per assenza di % idonea  
 C = analisi in corso  
 I = analisi da effettuare

Tabella 5.12 – Campioni di terra analizzati

CANTIERE	SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' (m)	ANALISI					FRAZIONE PREVALENTE IN %
				C.R.	S	A	L	P.S.	
SERNIO	SP16	C1	1.00 / 1.20	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP16	C2	3.50 / 3.70	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP16	C3	9.50 / 9.70	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP16	C4	14.50 / 14.70	X	X	X	X	NO	GHIAIA
TIRANO	SP9	C1	4.80 / 5.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP9	C2	9.50 / 9.70	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP9	C3	13.00 / 13.20	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP9	C4	17.30 / 17.50	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP9	C5	24.70 / 24.90	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP9	C6	29.60 / 29.80	X	X	X	X	NO	GHIAIA
VILLA DI TIRANO	S4	C1	2.50 / 2.70	X	X	X	X	X	GHIAIA
	S4	C2	5.30 / 5.50	X	X	X	X	NO	SABBIA
VILLA DI TIRANO	SP1	C1	1.80 / 2.00	X	X	NO	X	NO	GHIAIA
	SP1	C2	7.30 / 7.50	X	X	NO	X	X	GHIAIA
	SP1	C3	11.20 / 11.40	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP1	C4	18.80 / 19.00	X	X	X	X	X	SABBIA
	SP1	C5	24.80 / 25.00	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP1	C6	29.80 / 30.00	X	X	X	X	X	SABBIA
VILLA DI TIRANO	S6	C1	1.80 / 2.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
	S6	C2	8.80 / 10.00	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	S6	C3	14.80 / 15.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
	S6	C4	19.80 / 20.00	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	S6	C5	24.80 / 25.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
	S6	C6	29.00 / 29.20	X	X	NO	NO	NO	GHIAIA

Tabella 5.13 – Campioni di terra analizzati

CANTIERE	SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' (m)	ANALISI					FRAZIONE PREVALENTE IN %
				C.R.	S	A	L	P.S.	
TIRANO	SP7	C1	1.80 / 2.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP7	C2	8.50 / 8.70	X	X	NO	NO	NO	SABBIA
	SP7	C3	12.80 / 13.00	X	X	NO	NO	X	GHIAIA
	SP7	C4	16.00 / 16.30	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP7	C5	22.00 / 22.20	X	X	NO	X	X	SABBIA
	SP7	C6	29.50 / 29.70	X	X	X	X	NO	SABBIA
TIRANO	SP14	C1	2.80 / 3.00	X	X	X	X	NO	SABBIA
	SP14	C2	6.80 / 7.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP14	C3	11.80 / 12.00	X	X	NO	X	NO	GHIAIA
	SP14	C4	17.00 / 17.20	X	X	NO	NO	X	GHIAIA
	SP14	C5	24.00 / 24.20	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP14	C6	29.00 / 29.20	X	X	X	X	X	SABBIA
	SP14	C7	31.80 / 32.00	X	X	NO	X	NO	GHIAIA
	SP14	C8	38.70 / 39.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP14	C9	48.80 / 50.00	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP14	C10	54.80 / 55.00	X	X	X	X	X	SABBIA
	SP14	C11	59.30 / 59.50	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP14	C12	64.70 / 64.90	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP14	C13	66.80 / 67.00	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP14	C14	68.90 / 69.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
TIRANO	SP10	C1	2.80 / 3.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP10	C2	12.00 / 12.20	X	X	X	X	NO	GHIAIA
SERNIO	SP15	C1	3.00 / 3.20	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP15	C2	7.80 / 8.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP15	C3	10.00 / 10.20	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP15	C4	18.00 / 18.20	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP15	C5	21.80 / 22.00	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP15	C6	28.90 / 30.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP15	C7	33.80 / 34.00	X	X	X	X	NO	GHIAIA



Tabella 5.14 – Campioni di terra analizzati

CANTIERE	SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' (m)	ANALISI					FRAZIONE PREVALENTE IN %
				C.R.	S	A	L	P.S.	
TIRANO	S8	C1	2.00 / 2.20	X	X	X	X	X	GHIAIA
	S8	C2	8.80 / 9.00	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	S8	C3	12.00 / 12.20	X	X	X	X	X	GHIAIA
	S8	C4	14.80 / 15.00	X	X	X	X	NO	SABBIA
	S8	C5	24.80 / 25.00	X	X	X	X	X	GHIAIA
VILLA DI TIRANO	SP5	C1	2.00 / 2.20	X	X	NO	X	X	GHIAIA
	SP5	C2	8.50 / 8.70	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP5	C3	13.30 / 13.50	X	X	X	X	X	SABBIA
TIRANO	SP13	C1	3.80 / 4.00	X	X	X	X	NO	GHIAIA
	SP13	C2	6.20 / 6.40	X	X	X	X	X	SABBIA
	SP13	C3	13.30 / 13.50	X	X	NO	X	NO	GHIAIA
	SP13	C4	18.00 / 18.20	X	X	X	X	X	GHIAIA
	SP13	C5	24.30 / 24.50	X	X	X	X	NO	GHIAIA
VILLA DI TIRANO	P2	C1	0.50	X	X	X	X	NO	SABBIA
	P3	C1	0.50	X	X	X	X	NO	SABBIA
TIRANO	P4	C1	0.50	X	X	X	X	NO	SABBIA
	P5	C1	0.50	X	X	X	X	NO	SABBIA
	P6	C1	0.50	X	X	X	X	NO	SABBIA
TIRANO	SO2	C1	2.00 / 2.20	X	X	X	X	NO	SABBIA

## 5.2. INDAGINI DEL 2009

Le indagini svolte in tale periodo (anno 2009) sono state realizzate:

- dalla *Land Service* per la parte geognostica
- dalla S.G.G. per la parte geofisica.

Nella Tabella 5.14 è riportata la sintesi delle indagini svolte.

Tabella 5.14 – Sintesi delle indagini eseguite nel 2009

Tipo di indagine	N° di indagini
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo	10
Pozzetti esplorativi con prove di carico su piastra	11 + 9
Stendimenti sismici a rifrazione	10
Prove penetrometriche Standard Penetration Test (SPT)	36
Prove di permeabilità	3
Prove pressiometriche	1
Prove dilatometriche	3
Installazione tubi piezometrici	4
Down Hole	1

### 5.2.1. Sondaggi geognostici

Nelle seguenti Tabelle 5.15 e 5.16 vengono riportati i dati salienti dei sondaggi geognostici a rotazione:

- direzione del sondaggio (V = verticale; O = orizzontale)
- litologia prevalente riscontrata (terre/roccia)
- profondità dal p.c. raggiunta
- numero dei campioni prelevati
- numero delle prove S.P.T.
- piezometro

Tabella 5.15 – Dati dei sondaggi geognostici 2002

Sondaggio	Direzione	Litologia prevalente		Profondità	Campioni	S.P.T.	Piezometro
		Terre (%)	Rocce (%)				
N°	(V/O)			m	N°	N°	M
S.1	V	100	-	20.00	3	4	20.00
S.2	V	100	-	20.00	3	4	-
S.3	V	40	60	20.00	4	2	-
S.4	V	100	-	15.00	2	2	15.00
S.5	V	100	-	22.00	5	2	-
S.6	V	88.33	11.67	30.00	5	2	-
S.7	V	10.77	89.23	65.00	5	-	-
S.8	V	100	-	30.00	3	6	30.00
S.9	V	100	-	30.00	2	6	30.00
S.10	V	100	-	25.00	4	4	25.00

Tabella 5.16 – Dettaglio dei sondaggi geognostici

		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
SONDAGGI	Profondità [m]	20	20	20	15	22	30	65	30	30	25
	Piezometro 2" [m]	20			15					30	25
	Down Hole 80mm [m]								30		
	Campioni rimaneggiati	3	3	4	2	5	5	5	3	2	4
PROVE IN SITU	SPT	4	4	2	2	2	2		6	6	4
	Pressiometriche		1								
	Dilatometriche						1	2			
	Permeabilità Lefranc	1			1						1
CAMPIONI ANALISI	Campioni terreno per analisi	1	2	1	2	3	3		2		
	Campioni H2O per analisi	1								1	1

Nella Tabella 5.17 sono riportate le profondità di prelievo dei campioni in ciascun sondaggio.

Tabella 5.17 – Quota di prelievo dei campioni

SONDAGGI	PROFONDITA'
S1	1,50 - 2,00
	4,50 - 5,00
	9,50 - 10,00
S2	2,50 - 3,00
	9,00 - 9,50
	17,00 - 17,50
S3	4,00 - 4,50
	5,00 - 5,50
	11,15 - 11,60
S4	13,50 - 13,90
	3,00 - 3,50
S5	5,50 - 6,00
	2,50 - 3,00
	8,50 - 9,00
	14,50 - 15,00
	16,50 - 17,00
S6	21,20 - 22,00
	3,50 - 4,00
	9,50 - 10,00
	20,00 - 20,50
	27,45 - 27,90
S7	29,00 - 29,50
	2,00 - 2,50
	5,50 - 6,00
	10,30 - 10,70
S8	50,90 - 51,35
	57,40 - 57,80
	2,50 - 3,00
S9	10,00 - 10,50
	18,00 - 15,50
	7,50 - 8,00
S10	28,00 - 28,50
	4,00 - 4,50
	10,50 - 11,00
	16,00 - 16,50
	18,50 - 19,00

Nei Sondaggi S.1, S.4 ed S.9 sono stati installati piezometri a tubo aperto; il sondaggio S.10 è stato preparato per la prova Down Hole.

Nella Tabella 5.18 sono riportate le misure del livello di falda rilevate nei sondaggi, effettuate nel periodo compreso tra il 17 Agosto 2009 ed il 14 Settembre 2009.

I sondaggi sono stati eseguiti dalla LAND Service nel periodo agosto – settembre 2009.

Le successioni stratigrafiche di dettaglio e tutti gli altri dati inerenti le prove geotecniche in foro sono riportati in apposito allegato.

L'ubicazione di tutti i sondaggi è riportata nelle carte tematiche in scala 1:2.000.



Tabella 5.18 – Letture del livello di falda nei Sondaggi S.1, S.4, S.9, S.10

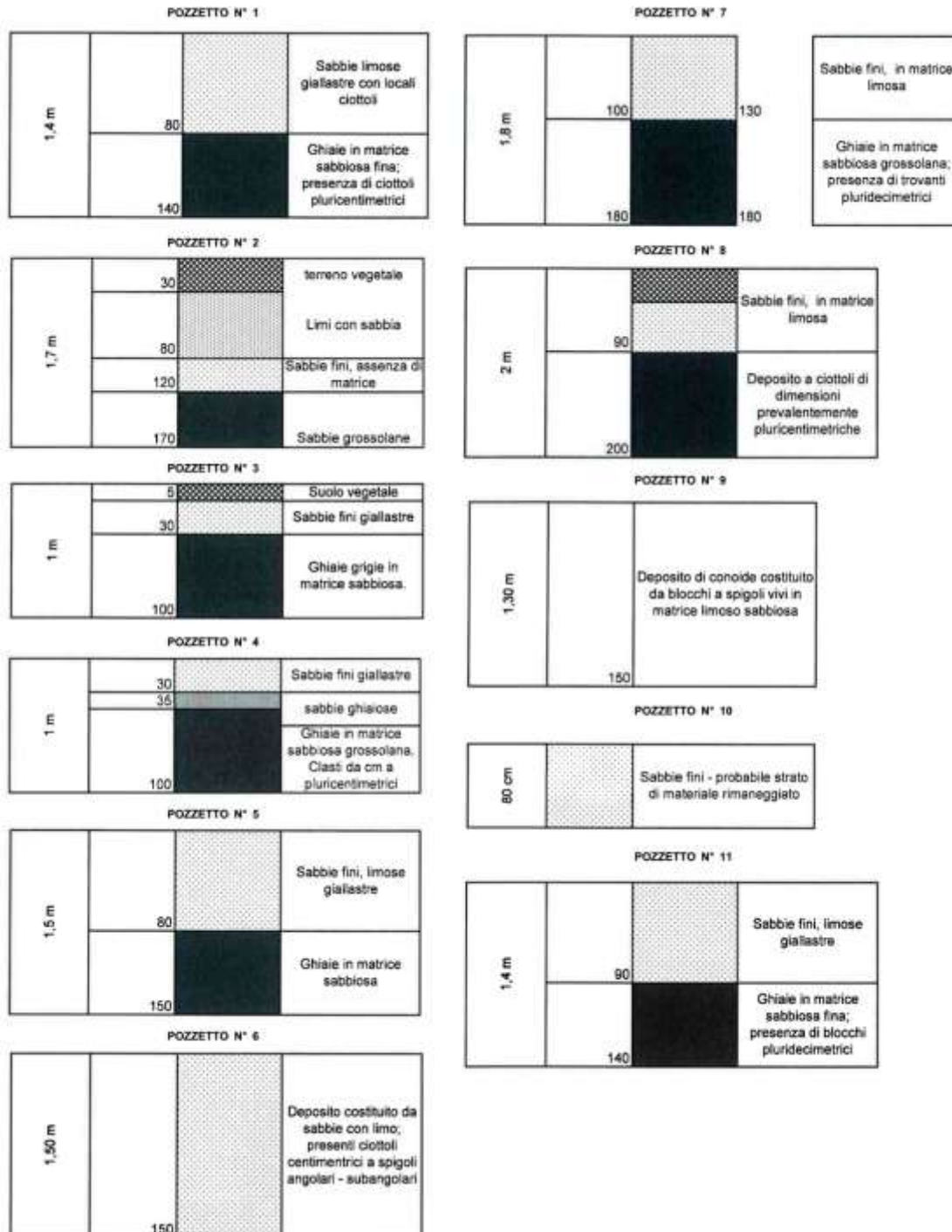
Sondaggio	Data	Letture falda (m dal p.c.)
SONDAGGIO S.1	22/08/2009	11.95
	24/08/2009	12.32
	25/08/2009	13.78
	26/08/2009	13.85
	28/08/2009	13.86
	31/08/2009	13.86
	05/09/2009	13.53
	08/09/2009	13.85
	11/09/2009	13.86
	14/09/2009	13.86
SONDAGGIO S.4	28/08/2009	Assenza di falda
	05/09/2009	Assenza di falda
	14/09/2009	Assenza di falda
SONDAGGIO S.9	17/08/2009	8.35
	18/08/2009	8.36
	19/08/2009	8.35
	20/08/2009	8.37
	24/08/2009	8.37
	28/08/2009	8.33
	31/08/2009	8.35
	05/09/2009	8.12
	08/09/2009	8.37
	11/09/2009	8.37
14/09/2009	8.37	
SONDAGGIO S.10	22/08/2009	12.35
	24/08/2009	13.78
	25/08/2009	13.85
	26/08/2009	13.85
	28/08/2009	13.86
	31/08/2009	13.86
	05/09/2009	13.53
	08/09/2009	13.83
	11/09/2009	13.85
	14/09/2009	13.86

### 5.2.2. Pozzetti esplorativi

Nella seguente Tabella 5.19. vengono riportati i dati salienti dei pozzetti esplorativi:

- litologia prevalente riscontrata (terreno vegetale/formazione incoerente)
- profondità dal p.c. raggiunta

Tabella 5.19 – Dati dei pozzetti esplorativi 2009



Nella Tabella 5.20 sono riportate le quote di prelievo dei campioni nei pozzetti esplorativi.

Tabella 5.20 – Quote di prelievo dei campioni nei pozzetti esplorativi

POZZETTI ESPLORATIVI	PROFONDITA'
Pz1	1,50
Pz2	1,50
Pz3	1,00
Pz4	1,50
Pz5	1,50
Pz6	1,50
Pz7	1,40
Pz8	1,30
Pz9	1,40
Pz10	1,50
Pz11	1,30

Le successioni stratigrafiche di dettaglio e tutti gli altri dati inerenti ai pozzetti esplorativi sono riportati nell'All. 30

### 5.2.3. Prove di carico su piastra

In molti pozzetti esplorativi sono state eseguite delle prove di carico su Piastra, come da schema della Tabella 5.21.

Tabella 5.21– Prove di Carico su Piastra

		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6	Pz7	Pz8	Pz9	Pz10	Pz11
POZZETTI	Profondità [m]											
	Campioni rimaneggiati	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PROVE IN SITU	Carico su piastra	*	*	*	*	*	*	*			*	*
AMBIENTALE	Campioni terreno per analisi			1	1	1			1	1	1	1

La quota di esecuzione delle prove di carico è riportata nella Tabella 5.22.

Tabella 5.22 – Quote di esecuzione delle Prove di carico su Piastra

Prove N°	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	LP7	LP8	LP9
Pozzetto N°	PZ.10	PZ.4	PZ.3	PZ.5	PZ.11	PZ.1	PZ.2	PZ.7	PZ.6
Quota (m dal p.c.)	0.50	1.00	1.00	1.50	1.40	1.40	1.70	1.80	1.50

I dati inerenti alle prove di carico su piastra sono riportati in apposito allegato.

### 5.2.4. Prove di Permeabilità Lefranc

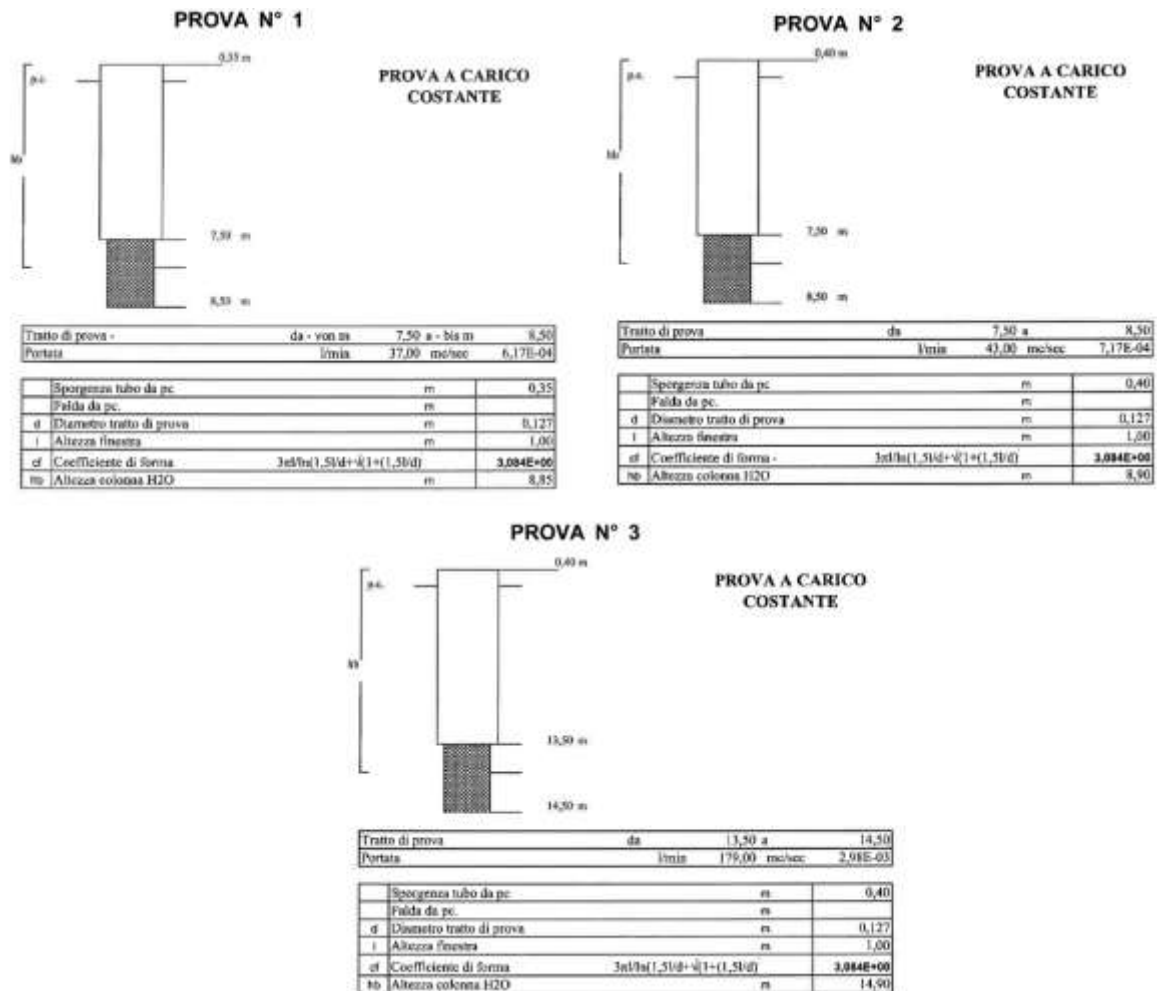
In alcuni dei sondaggi sono state eseguite le Prove di Permeabilità Lefranc a carico costante, come da Tabella 5.23.

Tabella 5.23 – Prove di Permeabilità Lefranc a Carico Costante

Prova N°	Sondaggio N°	Intervallo di prova (m)
1	S.10	7.50 ÷ 8.50
2	S.1	7.50 ÷ 8.50
3	S.4	13.50 ÷ 14.50

Nella Tabella 5.24 sono sintetizzati i dati delle prove di permeabilità.

Tabella 5.24 – Sintesi delle Prove di Permeabilità Lefranc a Carico Costante



I dati inerenti alle prove di permeabilità sono riportati in apposito allegato.

### 5.2.5. Prove Pressiometriche

Nel Sondaggio S.2 è stata effettuata N° 1 prova pressiométrica alla profondità di m 5,50 dal p.c., utilizzando un Pressiometro Menard tricellulare della Apageo da 100 bar composto principalmente da tre parti:

- centralina di controllo
- sonda Ø 60 mm
- tubicini di alimentazione.

Nella Tabella 5.25. è riportata la sintesi dei risultati, tratta dalla relazione di calcolo a corredo della prova.

Tabella 5.25 – Sintesi dei risultati della prova pressiométrica

Prova S2P1, prof. 5.5 m eseguita il 12.09.09				
$G_p = 108.4 \text{ Kg/cm}^2 = 10.63 \text{ mPa}$	carico	(determinato nel tratto 1.32 – 8.20 bar)		
$G_p = 302.2 \text{ Kg/cm}^2 = 29.64 \text{ mPa}$	scarico	(determinato nel tratto 8.20 – 2.23 bar)		
$G_p = 211.8 \text{ Kg/cm}^2 = 20.77 \text{ mPa}$	ricarico	(determinato nel tratto 2.23 – 8.18 bar)		
$E_p = 288.4 \text{ Kg/cm}^2 = 28.28 \text{ mPa}$	carico			
$E_p = 803.9 \text{ Kg/cm}^2 = 78.84 \text{ mPa}$	scarico			
$E_p = 563.2 \text{ Kg/cm}^2 = 55.24 \text{ mPa}$	ricarico			
$E_y = 437.0 \text{ Kg/cm}^2 = 42.85 \text{ mPa}$	$(\alpha = 0.66)$			
$P_L = 16.9 \text{ Kg/cm}^2 = 1.65 \text{ mPa}$	(metodo Menard)			
$P_L = 20.1 \text{ bar} = 2010 \text{ mPa}$	(metodo Windle & Wroth, 77)			
OCR=2				
$V_o = 108 \text{ cm}^3$				

I dati inerenti alle prove di pressiométriche sono riportati in apposito allegato.

### 5.2.6. Prove dilatometriche

Nei Sondaggi S.6 ed S.7 sono state eseguite delle prove dilatometriche mediante dilatometro flessibile Dilaroc Telemac, alle profondità riportate nella Tabella 5.26.

Tabella 5.26 – Prove Dilatometriche

Sondaggio N°	Prova N°	Data	Profondità (m)	Modulo di deformazione (MPa)	Modulo Elastico (MPa)
S.7	D1	08/09/2009	55.00	1848	2143
S.7	D2	08/09/2009	45.00	832	897
S.6	D1	11/09/2009	30.00	661	934

I dati inerenti alle prove dilatometriche sono riportati in apposito allegato.

### 5.2.7. Prove Standard Penetration Test

In tutti i sondaggi sono state effettuate le prove Standard Penetration Test, i cui risultati sono sintetizzati nella seguente Tabella 5.27 (cfr. All. 35).

Tabella 5.27 – Prove Standard Penetration Test

Sondaggio	Profondità della prova		Colpi per tratti da 15 cm			Nspt	Tipo di Punta	Falda
	da m	a m	0 ÷ 15	15 ÷ 30	30 ÷ 45			m dal p.c.
S.1	3.00		R				C	13.86
	6.00	6.15	42	R			C	
	9.00	9.30	27	38	R		C	
	12.00	12.45	24	29	39	68	C	
S.2	3.00	3.15	24	R			C	Non rilevata
	6.00		R				C	
	9.00	9.45	26	32	46	78	C	
	12.00	12.15	31	R			C	
S.3	3.00	3.15	29	R			C	Non rilevata
	6.00		R				C	
S.4	3.00	3.45	12	10	12	22	C	Assente
	6.00	6.30	14	19	R		C	
S.5	3.00	3.45	10	13	9	22	C	Non rilevata
	6.00	6.45	15	20	16	36	C	
S.6	3.00	3.45	5	5	6	11	C	Non rilevata
	6.00	6.45	16	21	26	47	C	
S.7	-	-	-	-	-	-	-	-
S.8	3.00	3.15	29	R			C	Non rilevata
	6.00	6.30	23	21	R		C	
	9.00	9.30	37	27	R		C	
	12.00	12.45	23	29	36	65	C	
	15.00	15.45	17	20	25	45	C	
	18.00	18.45	19	16	21	37	C	
S.9	3.00	3.15	30	R			C	8.37
	6.00	6.30	26	48	R		C	
	9.00	9.45	22	27	38	65	C	
	12.00	12.30	26	29	R		C	
	15.00	15.15	36	R			C	
	18.00	18.30	24	31	R		C	
S.10	3.00	3.45	26	28	39	67	C	13.86
	6.00	6.15	32	R			C	
	9.00	9.15	30	R			C	
	12.00	12.15	41	R			C	



### 5.2.8. Indagine sismica

Sono state effettuate N° 10 traverse sismiche a rifrazione, designate con le sigle LS.1....LS.10, e N° 1 prova Down Hole nel Sondaggio S.8; l'ubicazione delle indagini sismiche è riportata nelle carte tematiche in scala 1:2.000.

Nella Tabella 5.28 e 5.29 sono riportate le caratteristiche degli stendimenti di sismica e della prova Down Hole.

Tabella 5.28 – Stendimenti di sismica a rifrazione

Profilo sismico a rifrazione N°	Interdistanza Geofoni (m)	Geofoni N°	Lunghezza (m)	Prove Re.Mi. N°	Prove MASW N°
LS1	5	24	120	1	1
LS2	5	24	120	1	1
LS3	5	24	120	1	1
LS4	5	24	120	1	1
LS5	5	24	120	1	1
LS6	5	24	120	1	1
LS7	5	24	120	1	1
LS8	5	24	120	1	1
LS9	5	24	120	1	1
LS10	5	24	120	1	1

Tabella 5.29 – Prova Down Hole

Prova Down-Hole				
Sondaggio N°	Profondità (m)	Offset sistema energizzante (m)	Interdistanza misure (m)	Livello dell'acqua nel tubo (m p.c.)
S8	30	2	1	-5,2

### 5.2.9. Analisi geotecniche di laboratorio

I campioni dei terreni, analizzati nel laboratorio ISMGEO. sono stati sottoposti a prove per la determinazione delle caratteristiche fisiche e granulometriche.

Nella Tabella 5.30\_1 sono riportati i campioni analizzati prelevati sia nei sondaggi che nei pozzetti.

La sigla "CR" identifica il *campione rimaneggiato*.



Tabella 5.30\_1 – Campioni sottoposti alle analisi geotecniche

Sondaggio	Campione	Profondità		Analisi Granulometrica
		da m	a m	
S.1	CR.1	1,50	2,00	*
S.1	CR.2	4,50	5,00	*
S.1	CR.3	9,50	10,00	*
S.2	CR.1	2,50	3,00	*
S.2	CR.2	9,00	9,50	*
S.2	CR.3	17,00	17,50	*
S.3	CR.1	4,00	4,50	*
S.3	CR.2	5,00	5,50	*
S.4	CR.1	3,00	3,50	*
S.4	CR.2	5,50	6,00	*
S.5	CR.1	2,50	3,00	*
S.5	CR.2	8,50	9,00	*
S.5	CR.3	14,50	15,00	*
S.5	CR.4	16,50	17,00	*
S.5	CR.5	21,50	22,00	*
S.6	CR.1	3,50	4,00	*
S.6	CR.2	9,50	10,00	*
S.6	CR.3	20,00	20,50	*
S.7	CR.1	2,00	2,50	*
S.7	CR.2	5,50	6,00	*
S.8	CR.1	2,50	3,00	*
S.8	CR.2	10,00	10,50	*
S.8	CR.3	18,00	18,50	*
S.9	CR.1	7,50	8,00	*
S.9	CR.2	28,00	28,50	*
S.10	CR.1	4,00	4,50	*
S.10	CR.2	10,50	11,00	*
S.10	CR.3	16,00	16,50	*
S.10	CR.4	18,50	19,00	*
PZ.1	CR.1	1,50		*
PZ.2	CR.1	1,50		*
PZ.3	CR.1	1,00		*
PZ.4	CR.1	1,50		*
PZ.5	CR.1	1,50		*
PZ.6	CR.1	1,50		*
PZ.7	CR.1	1,40		*
PZ.8	CR.1	1,30		*
PZ.9	CR.1	1,40		*
PZ.10	CR.1	1,50		*
PZ.11	CR.1	1,30		*

Nella Tabella 5.30\_2 sono riportati i campioni di roccia lapidea sui quali sono state eseguite le prove Point Load Test.

Tabella 5.30\_2 – Campioni di roccia lapidea – Prove Point Load Test

Sondaggio N°/Campione N°	Profondità		Tipo di Prova
	da m	a m	PLT = Poin Load Test
S3/C3	11,17	22,25	PLT
	11,25	11,33	PLT
	11,33	11,41	PLT
	11,41	11,49	PLT
	11,49	11,57	PLT
S6/C5	29,03	29,11	PLT
	29,22	29,30	PLT
	29,30	29,38	PLT
S7/C4	51,10	51,18	PLT
	51,18	51,26	PLT
	51,26	51,34	PLT
	57,42	57,50	PLT
	57,50	57,58	PLT
	57,58	57,66	PLT
	57,66	57,74	PLT

### 5.3. INDAGINI GEOGNOSTICHE FEBBRAIO 2019

Le indagini svolte nell'ambito del progetto esecutivo (Febbraio 2019), realizzate dalla *Tecnoin Geosolutions*, sono sintetizzate nella Tabella 5.31.

Tabella 5.31 – Sintesi delle indagini eseguite nel 2019

Tipo di indagine	N° di indagini
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo	9
Pozzetti esplorativi con prove di carico su piastra	12
Stendimenti sismici a rifrazione	6
Prove penetrometriche Standard Penetration Test (SPT)	45
Prove di permeabilità	2
Installazione tubi piezometrici	3
Down Hole	3
Prove MASW	2
Prelievo di campioni rimaneggiati	23
Prelievo di campioni indisturbati	1

#### 5.3.1. Sondaggi geognostici

Nelle seguenti Tabelle 5.32 e 5.33 vengono riportati i dati salienti dei sondaggi geognostici a rotazione:

- litologia prevalente riscontrata (terre/roccia)
- profondità dal p.c. raggiunta
- numero dei campioni prelevati
- numero delle prove S.P.T.
- piezometro

Tabella 5.32 – Dati dei sondaggi geognostici 2019

Sondaggio	Litologia prevalente		Profondità m	Campioni indisturbati N°	Campioni Rimaneggiati N°	S.P.T N°	Piezometro m	Tubo per Down Hole m
	Terre (%)	Rocce (%)						
S.01	100	-	15.00	-	3	3	-	-
S.02DH	100	-	35.00	-	4	6	-	35.00
S.3	100	-	40.00	1	5	7	-	-
S.04PZ	100	-	30.00	-	5	5	30.00	-
S.05	100	-	15.00	-	3	3	-	-
S.06DH	100	-	35.00	-	5	6	-	35.00
S.07PZ	100	-	30.00	-	4	5	30.00	-
S.08PZ	100	-	30.00	-	5	5	30.00	-
S.11DH	100	-	32.00	-	5	5	-	32.00

Tabella 5.33 – Quota di prelievo dei campioni (CR = rimaneggiato; CI = indisturbato)

N	Sigla ID	Prof. in m da p.c.	Prof. in m da p.c.	
1	S01	4	5	CR1
2	S01	8	8,5	CR2
3	S01	12,5	13	CR3
4	S02-DH	7	8	CR1
4	S02-DH	16	17	CR2
5	S02-DH	25	26	CR3
6	S02-DH	33	34	CR4
7	S03	3	4	CR1
8	S03	14	15	CR2
9	S03	20	21	CR3
10	S03	21,7	22,3	CI1
11	S03	28	29	CR4
12	S03	35	36	CR5
13	S04-PZ	4	5	CR1
14	S04-PZ	8	9	CR2
15	S04-PZ	13	14	CR3
16	S04-PZ	22	23	CR4
17	S04-PZ	28	29	CR5
18	S05	1	2	CR1
19	S05	8	9	CR2
20	S05	12	13	CR3
21	S06-DH	4	5	CR1
22	S06-DH	10	11	CR2
23	S06-DH	17	18	CR3
24	S06-DH	22	23	CR4
25	S06-DH	31	32	CR5
26	S07-PZ	3	3,5	CR1
27	S07-PZ	11	11,5	CR2
28	S07-PZ	22,5	23	CR3
29	S07-PZ	29	29,5	CR4
30	S08-PZ	0,5	1	CR1
31	S08-PZ	3	4	CR2
32	S08-PZ	10	11	CR3
33	S08-PZ	19	20	CR4
34	S08-PZ	28	29	CR5
35	S11-DH	4	4,5	CR1
36	S11-DH	11	11,5	CR2
37	S11-DH	19	19,5	CR3
38	S11-DH	29	29,5	CR4
39	S11-DH	31,5	32	CR5

### 5.3.2. Pozzetti esplorativi

Nella seguente Tabella 5.34. vengono riportati i dati salienti dei pozzetti esplorativi, nei quali è stata sempre raggiunta la profondità di m 2,00 dal p.c.

Tabella 5.34– *Dati dei pozzetti esplorativi 2019*

N.	Sigla ID	Coordinata Nord	Coordinata Est	Quota assoluta p.c. (m s.l.m.)
1	PZE01	5115465,25	586967,491	394,67
2	PZE02	5115677,951	587300,471	396,193
3	PZE03	5116016,693	587522,852	397,603
4	PZE04	5116300,46	587754,257	399,922
5	PZE05	5116577,362	588054,235	403,96
6	PZE06	5116618,987	588109,607	404,594
7	PZE07	5116778,062	588296,905	405,9
8	PZE08	5117006,177	588611,237	408,43
9	PZE09	5117393,843	589317,876	416,162
10	PZE10	5117544,412	589565,305	418,185
11	PZE11	5117944,89	590476,157	498,115
12	PZE12	5118690,536	591361,983	502,281

Le successioni stratigrafiche di dettaglio e tutti gli altri dati inerenti ai pozzetti esplorativi sono riportati negli allegati della relazione geologica.

### 5.3.3. Prove di carico su piastra

In tutti i pozzetti esplorativi sono state eseguite delle prove di carico su Piastra, come da schema della Tabella 5.35.

Tabella 5.35 – *Prove di Carico su Piastra*

Pozzetto N°	PZ.01	PZ.02	PZ.03	PZ.04	PZ.05	PZ.06	PZ.07	PZ.08	PZ.09	PZ.10	PZ.11	PZ.12
Prova N°	PZ.E01	PZ.E02	PZ.E03	PZ.E04	PZ.E05	PZ.E06	PZ.E07	PZ.E08	PZ.E09	PZ.E10	PZ.E11	PZ.E12

I dati inerenti alle prove di carico su piastra sono riportati negli allegati della relazione geologica.

### 5.3.4. Prove di Permeabilità Lefranc

Nei Sondaggi S.07PZ e S.08PZ sono state eseguite Prove di Permeabilità Lefranc a carico variabile, i cui dati salienti sono riportati nella seguente Tabella 5.367.

Tabella 5.36 – Prove di Permeabilità Lefranc a Carico Variabile

Sondaggio N°	Tratto di prova		Litologia	Coeff. Di permeabilità K (m/sec)
	da m	a m		
S.07PZ	20.40	21.00	Sabbia limosa con ghiaia e ciottoli	$1,4 \cdot 10^{-5}$
S.08PZ	21.90	22.50	Sabbia limoso-argillosa con ghiaia e ciottoli	$1,9 \cdot 10^{-5}$

I dati inerenti alle prove di permeabilità sono riportati negli allegati alla relazione geologica.

### 5.3.5. Prove Standard Penetration Test

In tutti i sondaggi sono state effettuate le prove Standard Penetration Test, i cui risultati sono sintetizzati nella seguente Tabella 5.37.

Tabella 5.37 – Prove Standard Penetration Test

N.	Sigla ID	Da (m da p.c.)	A (m da p.c.)	Colpi	N spt
1	S01	5	5,45	13-15-19	34
2	S01	10	10,45	15-19-23	42
3	S01	15	15,45	17-22-28	50
4	S02-DH	6	6,45	R +12cm	Rifiuto
5	S02-DH	12	12,45	17-22-22	44
6	S02-DH	18	18,45	35-27-40	67
7	S02-DH	24	24,45	50 R +9 cm	Rifiuto
8	S02-DH	30	30,45	50 R +13 cm	Rifiuto
9	S02-DH	35	35,45	33-31-39	70
10	S03	3	3,45	50 R +13 cm	Rifiuto
11	S03	9	9,45	50 R +12 cm	Rifiuto
12	S03	15	15,45	50 R +12 cm	Rifiuto
13	S03	21	21,45	50 R +10 cm	Rifiuto
14	S03	27	27,45	18-35-40	75
15	S03	33	33,45	40-39-40	79
16	S03	39	39,45	33-25-28	52
17	S04-PZ	6	6,45	14-17-20	37
18	S04-PZ	12	12,45	19-21-26	47
19	S04-PZ	18	18,45	20-25-31	56
20	S04-PZ	24	24,45	18-23-29	52
21	S04-PZ	30	30,45	17-26-30	56
22	S05	5	5,45	8-14-17	31
23	S05	10	10,45	11-16-20	36
24	S05	15	15,45	17-21-25	46
25	S06-DH	6	6,45	17-25-28	53
26	S06-DH	12	12,45	15-20-24	44
27	S06-DH	18	18,45	13-23-31	54
28	S06-DH	24	24,45	16-25-36	61
29	S06-DH	30	30,45	32 50 R +11 cm	Rifiuto
30	S06-DH	35	35,45	20-26-39	65
31	S07-PZ	6	6,45	27 50 R +15 cm	Rifiuto
32	S07-PZ	12	12,45	15 50 R +13 cm	Rifiuto
33	S07-PZ	18	18,45	50 R +13 cm	Rifiuto
34	S07-PZ	24	24,45	50 R +14 cm	Rifiuto
35	S07-PZ	30	30,45	15-24-33	57
36	S08-PZ	6	6,45	13-50 R +7 cm	Rifiuto
37	S08-PZ	12	12,45	8-50 R +10 cm	Rifiuto
38	S08-PZ	18	18,45	15-20-24	44
39	S08-PZ	24	24,45	14-23-27	50
40	S08-PZ	30	30,45	17-22-30	52
41	S11-DH	6	6,45	10-16-17	33
42	S11-DH	12	12,45	9-14-20	34
43	S11-DH	18	18,45	12-17-23	40
44	S11-DH	24	24,45	21-19-29	48
45	S11-DH	30	30,45	18-19-27	46

### 5.3.6. Indagine sismica

Sono state effettuate le seguenti indagini sismiche:

- N° 6 prospezioni sismiche a rifrazione, designate con le sigle BS01....BS06;
- N° 3 prova Down Hole nei Sondaggi S.02DH, S.06DH, S.11DH;
- N° 2 prove MASW.

L'ubicazione delle indagini sismiche è riportata nelle carte geologiche.

Nella Tabella 5.38 e 5.39 sono riportate le caratteristiche degli stendimenti di sismica e delle prove Down Hole.

Tabella 5.38 – Stendimenti di sismica a rifrazione



Profilo sismico a rifrazione N°	Interdistanza Geofoni (m)	Geofoni N°	Lunghezza (m)	Energizzazioni esterne N°	Energizzazioni interne N°
BS01	5	24	115	2	5
BS02	5	24	115	2	5
BS03	5	24	115	2	5
BS04	5	24	115	2	5
BS05	5	24	115	2	5
BS06	5	24	115	2	5

Tabella 5.39 – Prova Down Hole

Prova Down-Hole		
Sondaggio N°	Profondità (m)	Interdistanza misure (m)
S.02DH	35	1
S.06DH	35	1
S.11DH	32	1

### 5.3.7. Analisi geotecniche di laboratorio

I campioni dei terreni prelevati sono stati sottoposti a prove per la determinazione delle caratteristiche fisiche e granulometriche

Nella Tabella 5.40 sono riportati i campioni analizzati prelevati sia nei sondaggi che nei pozzetti.

La sigla "CR" identifica il *campione rimaneggiato*, mentre la sigla "CI" identifica il campione indisturbato.

Tabella 5.40 – Campioni sottoposti alle analisi geotecniche

Sigla sondaggio	Campioni	Profondità di prelievo (m)		Apertura e descrizione campione	Analisi granulometrica per vagliatura	Analisi granulometrica per sedimentazione	Peso di volume naturale gn	Contenuto d'acqua W	Peso specifico dei grani	Limiti di Atterberg (WL, WP)	Limiti di Ritiro (WR)	Prova di compressibilità edometrica	Edometrica Con determinazione di $c_u$	Prova di taglio CD	Prova di taglio CD con calcolo resistenza residua	Prova di compressione ad espansione laterale libera ELL	Prova triassiale UU	Prova triassiale CU	Prova triassiale CID	Classificazione stradale
		da	a																	
SE01-DH	CR1	4.00	5.00	X	X	X	X	X	X	X										X
	CR2	8.00	8.50	X	X	X	X	X	X	X				X						
	CR3	12.50	13.00	X	X	X		X	X	X				X						
SE02-DH	CR1	7.00	8.00	X	X	X			X	X				X						
	CR2	16.00	17.00	X	X	X				X				X						
	CR3	25.00	26.00	X	X	X			X	X										
	CR4	33.00	34.00	X	X	X				X	X									
SE03	CR1	3.00	4.00	X	X	X				X										
	CR2	14.00	15.00	X	X	X				X	X			X						
	CR3	20.00	21.00	X	X	X				X	X									
SE04-PZ	CR1	22.70	23.30	X	X	X	X	X		X				X						
	CR4	28.00	29.00	X	X	X				X	X			X						
	CR5	35.00	26.00	X	X	X					X									
	CR1	4.00	5.00	X	X	X	X	X		X										
	CR2	8.00	9.00	X	X	X	X	X		X	X			X						
SE05	CR3	13.00	14.00	X	X	X			X	X				X						
	CR4	22.00	23.00	X	X	X			X	X				X						
	CR5	28.00	29.00	X	X	X	X	X	X	X										
	CR1	1.00	2.00	X	X	X				X				X						X
	CR2	8.00	9.00	X	X	X	X	X		X										
SE06-DH	CR3	12.00	13.00	X	X	X			X	X										
	CR1	4.00	3.00	X	X	X	X	X	X	X										X
	CR2	10.00	11.00	X	X	X	X	X	X	X				X						
	CR3	17.00	18.00	X	X	X	X	X	X	X										
	CR4	22.00	23.00	X	X	X	X	X	X	X				X						
SE07-PZ	CR5	31.00	32.00	X	X	X			X	X										
	CR1	3.00	3.50	X	X	X	X	X	X	X				X						
	CR2	11.00	11.50	X	X	X				X	X									
	CR3	22.50	23.00	X	X	X	X	X	X	X										
SE08	CR4	29.00	29.50	X	X	X				X										
	CR1	0.50	1.00	X	X	X				X										X
	CR2	3.00	4.00	X	X	X	X	X	X	X										
SE11-DH	CR3	10.00	11.00	X	X	X	X	X	X	X										
	CR4	29.00	20.00	X	X	X	X	X	X	X										
	CR5	28.00	29.00	X	X	X	X	X	X	X										
	CR1	4.00	4.50	X	X	X	X	X		X										
	CR2	14.00	15.00	X	X	X				X	X									
PrE01	CR3	19.00	19.50	X	X	X	X	X		X										
	CR4	29.00	29.50	X	X	X				X	X									
	CR5	31.50	32.00	X	X	X					X						X			
	CR1	0.30	0.50	X	X	X					X									X
	CR2	0.30	0.50	X	X	X					X									X
	CR1	0.30	0.50	X	X	X					X									X
	CR2	1.00		X	X	X					X									X
	CR1	0.30	0.50	X	X	X					X									X
	CR2	1.00		X	X	X					X									X
	CR1	0.30	0.50	X	X	X					X									X
	CR2	1.00		X	X	X					X									X
	PrE02	CR1	0.30	0.50	X	X	X				X									
CR2		1.00		X	X	X				X										X
CR1		0.30	0.50	X	X	X				X										X
CR2		1.00		X	X	X				X										X
CR1		0.30	0.50	X	X	X					X									X
CR2		1.00		X	X	X					X									X
CR1		0.30	0.50	X	X	X					X									X
CR2		1.00		X	X	X					X									X
CR1		0.30	0.50	X	X	X					X									X
CR2		1.00		X	X	X					X									X
CR1		0.30	0.50	X	X	X					X									X
CR2		1.00		X	X	X					X									X
PrE12	CR1	0.30	0.50	X	X	X				X										X
	CR2	1.00		X	X	X				X										X

## 6. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE

Vengono qui di seguito sintetizzate le caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti nell'area in esame, desunte sia dai sopralluoghi effettuati, sia dalla relazione geologica allegata al progetto definitivo, alla quale si fa espresso riferimento e della quale vengono riportati i dati salienti.

In sintesi si possono distinguere i seguenti litotipi, dei quali viene riportata una sintetica descrizione:

- a) depositi quaternari, costituiti da:
- depositi alluvionali recenti
  - depositi alluvionali stabilizzati
  - depositi di conoide
  - coltre detritico-colluviale
  - morene
- b) basamento cristallino.

### 6.1. DEPOSITI QUATERNARI

Si tratta di litotipi prevalentemente sciolti, formati da elementi clastici eterometrici, prevalentemente rientranti nel campo granulometrico delle ghiaie con ciottoli. Vi appartengono sia le coperture detritiche, di versante e corpi di frana, sia i depositi che per la loro genesi possono considerarsi di origine glaciale, fluviale o addirittura complessa.

### 6.2. DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI

Si rinvencono nel fondovalle, lungo l'alveo del Fiume Adda, sono formati in prevalenza da ghiaie in matrice sabbiosa e da sabbie grossolane con ciottoli; sporadicamente si possono rinvenire orizzonti lenticolari di materiali più fini, quali sabbie fini e sabbie limose; tali livelli testimoniano fasi di calma nel ciclo di sedimentazione, in cui la minor energia della corrente ha consentito il depositarsi dei sedimenti più fini.

Vi si rinvencono anche ciottoli e trovanti, di dimensioni talora ragguardevoli (prossime al metro cubo), con forma generalmente variabile da sub-arrotondata ad arrotondata, che denota l'azione del trasporto fluviale

In nessuno dei sondaggi geognostici effettuati è stato raggiunto il letto dello spesso strato alluvionale; difatti dalla letteratura tecnica disponibile risulta che questi depositi possano avere una potenza pari a circa un centinaio di metri.

### 6.3. DEPOSITI ALLUVIONALI STABILIZZATI

I depositi alluvionali che costituiscono tutta la pianura al di fuori dell'alveo si considerano depositi stabilizzati sia dalla vegetazione, sia dall'intervento antropico; essi, difatti, solo raramente ed in casi eccezionali, possono essere coinvolti nuovamente dai fenomeni di evoluzione geomorfologica fluviale.

Tali sedimenti hanno caratteristiche granulometriche del tutto analoghe alle alluvioni attuali e recenti, ma affiorano esternamente alle aree di golena del corso d'acqua e non sono più attive.

Nella parte alta dei depositi si rinvencono livelli di sabbie a granulometria medio-fina, localmente con transizione a classi granulometriche rientranti nei campi delle ghiaie sabbiose e sabbioso-limose o sabbie grossolane; frequenti sono le lenti ed i livelli più fini, costituiti da sabbie fini e sabbie limose.

La formazione dei depositi alluvionali stabilizzati presenta spessori variabili, che si riducono in prossimità dei versanti.

### 6.4. DEPOSITI DI CONOIDE

Le conoidi<sup>4</sup> si formano in corrispondenza dell'immissione dei corsi d'acqua secondari nella valle principale, allorchè si ha il rallentamento della corrente ed il corso d'acqua secondario deposita il trasporto solido.

Si tratta, quindi, di un accumulo, di forma conica, di materiali detritico-alluvionali, che si forma allo sbocco di un corso d'acqua in pianura, a causa della diminuzione della pendenza che provoca una perdita di capacità di trasporto. In sezione longitudinale una conoide presenta una geometria triangolare, mentre in sezione trasversale tale configurazione geometrica risulta piano-convessa. Essa viene normalmente suddivisa in tre zone: prossimale, intermedia, distale, alle quali sono accoppiate facies sedimentarie differenti.

I depositi delle conoidi sono costituiti da materiali eterometrici prevalentemente ghiaie sabbiose in scarsa matrice fine con ciottoli da sub-spigolosi a sub-arrotondati, localmente si possono incontrare trovanti litici di dimensioni metriche. Questi depositi sono spesso antropizzati o sede di attività agricole in quanto non più attivi se non limitatamente alle aree più prossime ai corsi d'acqua.

Lo spessore di questi depositi è molto variabile ed è in genere compreso tra una decina di metri per le conoidi più piccole sino ad un centinaio di metri per quelle maggiori.

Nell'area in esame occupano vaste aree in sinistra orografica del Fiume Adda ed in alcune zone interferiscono con il tracciato della strada in progetto.

<sup>4</sup> Il termine *conoide* in geologia è femminile, mentre diventa maschile nella dizione *cono di deiezione*

### 6.5. COLTRE DETRITICO – COLLUVIALE

Le coltre detritiche-colluviali costituiscono il prodotto di disfacimento meccanico e di alterazione chimica delle rocce in posto, ad opera degli agenti meteorici.

Esse sono costituite prevalentemente da sabbie grossolane, talora in matrice limosa, con ciottoli di dimensioni variabili da centimetrici fino a decimetrici, a spigoli vivi; la natura dei clasti rivela la formazione di base, dalla cui erosione tali sedimenti provengono.

Lo spessore di questi depositi varia da qualche metro sino a circa 10 m di spessore.

### 6.6. MORENE

I depositi morenici, affioranti prevalentemente sui due versanti della valle, sono costituiti da depositi caotici e costituiscono i resti di antichi ghiacciai non più attivi nell'area. Da un punto di vista granulometrico sono caratterizzati da una forte eterogeneità granulometrica ed in prevalenza si rinvencono ghiaie sabbiose con ciottoli a spigoli vivi con livelli e lenti più limoso-sabbiosi e trovanti litici di dimensioni variabili fino a qualche metro.

Le morene, formate da una mescolanza caotica di vari materiali solidi (massi, ciottoli, sabbie e limi) sono generate dal trasporto del materiale solido ad opera dei ghiacciai nel loro movimento verso valle.

Lo spessore di questi depositi è variabile ed in genere è compreso tra pochi metri fino ad alcune decine di metri.

### 6.7. BASAMENTO CRISTALLINO

Nel tratto di territorio in studio affiorano sia formazioni appartenenti al basamento *sudalpino* che quelle del basamento *australpino*; queste ultime interferiscono direttamente con il tracciato in studio.

#### a) Unità Sudalpine

La Formazione degli Scisti Edolo affiora a sud della linea del Tonale, a sud degli abitati di Stazzona e Bianzone, quindi appena fuori dell'area interessata dal tracciato, ed è costituita da metamorfiti di basso grado, formate prevalentemente da filladi e micascisti di colore da grigio scuro ad argentei.

#### b) Unità Austroalpine

La strada in progetto interessa le Unità del complesso Australpino ed in particolare i termini del sistema Grosina Tonale (Australpino Superiore) mentre i termini dell'Austroalpino medio (Falda Campo Ortles), che affiorano in destra orografica del fiume Adda, non sono interessati dal tracciato.

c) Sistema Grosina - Tonale

Il sistema Grosina Tonale è costituito prevalentemente da una roccia incassante, rappresentata dai Gneiss del Monte Tonale, all'interno della quale si hanno delle intrusioni in forma di lenti e filoni di filladi, metabasiti e quarziti; in particolare le filladi affiorano in modo abbastanza diffuso lungo l'area in esame mentre gli altri litotipi sono stati osservati in sondaggio ed in affioramento al di fuori dell'area cartografata.

d) Gneiss del Monte Tonale

La formazione dei Gneiss del monte Tonale presenta una scistosità ben riconoscibile che immerge, in maniera pressoché continua, verso SW ed è costituita da micascisti e gneiss a due miche, a grana media, con prevalenza della biotite.

In genere la formazione presenta un basso grado di alterazione e fratturazione, mentre se interessata da motivi tettonici è intensamente fratturata ed alterata, spesso ridotta ad un sabbione di disfacimento.

e) Anfiboliti

Questi termini, che si rinvencono sotto forma di intrusioni all'interno dei Gneiss del Monte Tonale, sono caratterizzati da una grana minuta e presentano una colorazione grigio-verdastra.

Sono stati osservabili in affioramento in località Pra Alessio al di fuori dell'area cartografata. Il contatto con la roccia incassante non è ben visibile a causa dell'intensa copertura vegetale ma sembra essere marcato da un cambio giaciturale.

In affioramento la formazione presenta una scistosità persistente ed un grado di fratturazione ed alterazione moderato.

f) Quarziti

Affiorano esternamente all'era cartografata, in località Pra Alessio ed in località Corradi, in forma di lenti e di filoni e sono intrusi nei Gneiss del Monte Tonale; sono costituite da quarziti di colore biancastro ed in genere presentano un grado di fratturazione maggiore dei termini incassanti denotando, quindi, un comportamento mediamente più fragile.

g) Micascisti della Cima Rovaia

La formazione dei Micascisti è costituita da filladi e micascisti a due miche a grana medio fine e con prevalenza della muscovite. La roccia è da mediamente ad intensamente scistosa ed in genere è moderatamente fratturata mentre in zone di faglia è fortemente fratturata ed alterata.



*h) Falda Campo Ortles*

La falda di Campo Ortles, che come detto non interessa il tracciato in esame, affiora in destra orografica del Fiume Adda verso il confine con la Svizzera ed è costituita da differenti tipi di rocce metamorfiche con contatti spesso transizionali; in particolare si distinguono prevalentemente due unità: quella della Formazione della Punta di Pietra Rossa e quella del Gabbro del Monte Ma-succio. La prima è costituita da micascisti e gneiss minuti biotitici con un moderato grado di fratturazione ed alterazione che conferisce un colore rossastro all'ammasso; la seconda è un corpo intrusivo, massivo e moderatamente fratturato, costituito da gabbri e gabbrodioriti.

## 7. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Per quanto attiene alle caratteristiche idrogeologiche il tratto di territorio in esame è caratterizzato dalla presenza di terreni abbastanza eterogenei per caratteristiche granulometriche e di permeabilità, così come risulta dalle carte geomorfologiche ed idrogeologiche in scala 1:2.000.

Il modello idrogeologico di riferimento viene elaborato sulla scorta dei dati di rilevazione disponibili, consistenti sia in misure piezometriche dei livelli idrici, registrati nei periodi estivi delle campagne di indagini del 2002, e del 2009, sia sui risultati delle prove di permeabilità e sulle indagini effettuate anche nel 2019.

Nei paragrafi successivi vengono trattati i sottoelencati argomenti:

- a) complessi idrogeologici
- b) prove di permeabilità e dati piezometrici;
- c) modello idrogeologico di riferimento
- d) impatto idrogeologico dell'opera

### 7.1 COMPLESSI IDROGEOLOGICI

Sulla base dei valori di permeabilità ottenuti dalle prove eseguite in sito nelle campagne geognostiche del 2002 e del 2009, del carattere granulometrico e sedimentologico delle singole litofacies, dello stato di fratturazione dei termini del basamento cristallino e sulla base di dati disponibili nella letteratura scientifica sono distinguibili quattro complessi idrogeologici:

- 1° depositi alluvionali
- 2° depositi quaternari (morene – conoidi – frane)
- 3° depositi detritici
- 4° basamento cristallino

La classificazione della permeabilità adottata nel presente studio, suffragata dai dati delle prove di permeabilità, è stata adottata secondo le norme AFTES (Association Francaise des Travaux En Souterrain), sintetizzate nella seguente Tabella 7.1.

Tabella 7.1 – Classificazione della permeabilità (AFTES)

Classe	Permeabilità (m/sec)	Descrizione
K1	$< 10^{-9}$	Da molto bassa a bassa
K2	$10^{-9} \div 10^{-6}$	Da bassa a media
K3	$10^{-6} \div 10^{-4}$	Da media ad alta
K4	$> 10^{-4}$	Da alta a molto alta

### 7.1.1 Complesso idrogeologico 1° - Depositi alluvionali

Questo complesso è costituito prevalentemente da ghiaie in matrice sabbiosa e da sabbie grossolane con ciottoli; si rinvencono lenti e livelli più fini costituiti da sabbie fini e sabbie limose.

La permeabilità di questi depositi è da alta a molto alta a causa della prevalenza della granulometria grossolana. Il complesso, che affiora nel fondovalle del Fiume Adda e che costituisce il minimo idraulico dell'area, ospita al suo interno una falda freatica persistente; tale falda è alimentata sia dal fiume stesso che da apporti laterali dai versanti.

Le misure piezometriche evidenziano che tale falda risente di oscillazioni stagionali di alcuni metri.

Si tratta terreni permeabili per porosità (permeabilità di tipo primario), con un grado di permeabilità da alto a molto alto.

Ai suddetti terreni si può affidare un coefficiente di permeabilità

$$K > 10^{-4} \text{ m/sec}$$

### 7.1.2 Complesso idrogeologico 2° - Depositi quaternari

Questo complesso idrogeologico affiora diffusamente sui versanti ed è costituito in prevalenza da depositi ghiaioso-sabbiosi grossolani e sabbie limose. Tali depositi sono caotici e la loro messa in posto è legata a diversi agenti quali ghiacciai, movimenti in massa e depositi tipo *debris flow*.

La permeabilità del complesso è di tipo primario per porosità e varia da media ad alta in funzione della granulometria prevalente e del grado di addensamento.

Si tratta terreni permeabili per porosità (permeabilità di tipo primario), con un grado di permeabilità da medio ad alto.

A tali terreni si può affidare un coefficiente di permeabilità

$$K = 10^{-6} \div 10^{-4} \text{ m/sec}$$

### 7.1.3 Complesso idrogeologico 3° - Depositi detritici

Questo complesso affiora con estensione variabile prevalentemente sul versante posto in sinistra orografica del fiume Adda ed è costituito da depositi eterometrici in scarsa matrice ghiaioso-sabbiosa.

La permeabilità è di tipo primario per porosità e varia da un grado alto a molto alto, con il seguente valore del coefficiente di permeabilità:

$$K > 10^{-4} \text{ m/sec}$$

#### 7.1.4 Complesso idrogeologico 4° – Rocce di basamento cristallino

Questo complesso è costituito da tutti i termini di basamento cristallino ascrivibili al sistema Grosina Tonale (gneiss, filladi, metabasiti, etc etc.) ed affiora con estensione variabile sui versanti. I rilievi di superficie, condotti anche al di fuori dell'area cartografata, e lo studio dei carotaggi hanno permesso di osservare che tali litotipi sono caratterizzati da una scistosità abbastanza pervasiva e da un grado di fratturazione variabile; tali caratteristiche influiscono sul grado di permeabilità di questo complesso che varia da basso, in condizioni di fratturazione standard, ad alto nelle zone intensamente fratturate.

Stabilire l'ordine di grandezza del coefficiente di permeabilità delle suddette rocce non è certo semplice, riscontrandosi in natura delle situazioni locali con permeabilità elevata, laddove esiste una fessurazione di tipo "beante", e di permeabilità sensibilmente più ridotta, in corrispondenza di quelle porzioni dell'ammasso roccioso meno fratturato o con fessure di tipo "combaciante e chiuse".

Si tratta terreni permeabili per fratturazione (permeabilità di tipo secondario), con un grado di permeabilità da basso a medio.

A tali terreni si può affidare un coefficiente di permeabilità

$$K = 10^{-9} \div 10^{-7} \text{ m/sec}$$

#### 7.2. PROVE DI PERMEABILITÀ E DATI PIEZOMETRICI

Nelle campagne di indagini sono state eseguite numerose prove di permeabilità all'interno dei fori di sondaggio sia a carico variabile che a carico costante.

Nella Tabella 7.2 sono riportati i sondaggi in cui sono state eseguite le prove ed i valori di permeabilità misurata oltre alla profondità ed alla litologia.

Tabella 7.2 – Misure di permeabilità nei sondaggi (K in m/sec)

Prove di permeabilità						
Anno	Piezometro	Profondità (m)	Prova	K	Formazione	Litologia
2002	SP12	10	Lefranc (CV)	1,32E-04	Morene	ghiaia
2002	SP13	9,5	Lefranc (CV)	1,89E-04	Conoide	ghiaia
2002	SP13	12,5	Lefranc (CV)	1,60E-04	Conoide	ghiaia
2002	SP15	27,5	Lefranc (CV)	3,34E-05	Conoide	ghiaia
2002	SP15	30,5	Lefranc (CV)	2,62E-05	Conoide	ghiaia
2009	SP1	7,5	Lefranc (CC)	7,17E-04	Conoide	ghiaia
2009	S4	13,5	Lefranc (CC)	2,98E-03	Morene	ghiaia
2009	S10	7,5	Lefranc (CC)	6,17E-04	Conoide	ghiaia

Lungo il tracciato sono stati messi in opera 9 piezometri a tubo aperto (5 nella campagna geognostica del 2002 e 4 in quella del 2009).

Tuttavia non si dispone di letture sufficientemente prolungate nel tempo in modo da valutare l'entità delle oscillazioni stagionali che si possono avere nella falda; in particolare nei piezometri realizzati nel 2002 sono state eseguite due misure (a maggio ed a novembre) mentre nei piezometri realizzati nel 2009 si sono potute realizzare misure relative al solo mese di settembre e quindi indicative del solo periodo secco.

Nella Tabella 7.3 è riportata una sintesi delle misure piezometriche effettuate.

Tabella 7.3 – Misure piezometriche

Codice Piezometri	Quota (m.s.l.m.)	Soggiacenza (m)		
		23/05/2002	28/11/2002	settembre-09
SP3	393	5,80 (01/07/02)	5,46	
SP7	412	22,1	19,75	
SP11	481	44,3	43,75	
SP12	541	50,45	30,7	
SP13	513	24,63	-	
SP1	406			13,47
SP4	495			secco
SP9	394			8,34
SP10	393			13,68

I dati riportati in tabella evidenziano che sia la falda di fondovalle che le letture nei tratti in roccia fanno registrare forti escursioni verticali:

- nel piezometro SP12 la variazione della quota della superficie piezometrica è di 20 m; le due letture (maggio 2002 e novembre 2002) sembrerebbero individuano periodi rispettivamente di minima e massima soggiacenza, che rivelerebbero una falda a pressione nell'ambito del substrato metamorfico, fenomeno non confortato da nessun ulteriore dato (cfr. SP.11) e peraltro non comune nel tipo di roccia in questione, nella quale generalmente la circolazione idrica avviene con soluzioni di continuità, tale, cioè, da non potersi assumere una falda continua, ma piuttosto dei percorsi o "vie" preferenziali di deflusso, ubicate lungo zone a maggiore fratturazione; è anche molto probabile, come spesso accade, che si sia verificata una filtrazione dell'acqua dall'alto, proveniente dai superiori terreni incoerenti, permeabili, per difetto di cementazione del piezometro.
- i piezometri SP3 e SP10 sono stati realizzati a brevissima distanza uno dall'altro e evidenziano che la falda di fondovalle può avere una escursione anche di 7 m;
- il piezometro SP4 che dovrebbe rilevare la presenza della falda a carattere stagionale risulta essere secco, ma si dispone di una sola misura effettuata nella stagione asciutta (settembre 2009); tuttavia, in ragione delle conoscenze idrogeologiche della zona è ragionevole ipotizzare che in particolari periodi (primavera ed autunno) questa falda si possa instaurare nelle coperture clastiche favorita dal contrasto di permeabilità con il basamento.

### 7.2.1. Censimento dei punti d'acqua

Nell'area in esame sono stati censiti 13 emergenze d'acqua: in particolare si tratta di 6 sorgenti (Tabella 7.4), 6 pozzi ed una captazione del rio utilizzata a scopo agricolo.

Tabella 7.4 – Emergenze idriche censite

SORGENTI				
Descrizione	Comune	Quota (m.s.l.m)	portata l/s	note
Sorgenti valle dei Bui	Tirano	576	<1	fontana abeveratoio
Sorg 6	Villa di Tirano	520	n.r.	uso potabile; serve S. bernardo e dintorni
Sorg 12	Tirano	740	4,8	esclusa dalla rete idrica
Sorg 13	Tirano	690	4,8	esclusa dalla rete idrica
Sorg 14	Tirano	670	4,8	esclusa dalla rete idrica

Nella carta idrogeologica in scala 1:5000 sono indicate le ubicazioni di questi punti. Nella tabella seguente sono elencati gli stessi punti con i valori di portata e con l'indicazione sul tipo di utilizzo.

I pozzi sono tutti ubicati nella piana alluvionale del fiume dell'Adda ed attingono quindi dalla falda di subalveo.

### 7.3. MODELLO IDROGEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Sulla base della caratterizzazione dei terreni affioranti, della loro suddivisione in complessi idrogeologici, dei dati dei piezometri e del censimento dei punti d'acqua, è possibile formulare un modello idrogeologico di riferimento e fornire delle indicazioni di massima sul rischio di depauperamento delle sorgenti.

In particolare si possono individuare tre tipi di circolazione idrica, così schematizzabili:

- a) *Una falda freatica di fondovalle* nel Fiume Adda (falda di subalveo) che si materializza nei sedimenti alluvionali, ad elevata permeabilità, ed è alimentata principalmente dal fiume stesso e secondariamente dagli apporti dei versanti; i dati piezometrici evidenziano notevoli variazioni stagionali nelle quote piezometri che, in alcuni casi, raggiungono anche di 7 metri;
- b) *Una falda di tipo localizzata in roccia* che è stata rinvenuta in alcuni piezometri e si trova lungo zone di intensa fratturazione; infatti i corpi del basamento cristallino sono caratterizzati generalmente da una bassa permeabilità primaria e sono, quindi, sostanzialmente impermeabili; soltanto se fratturati divengono variamente permeabili (permeabilità di tipo secondario) in relazione all'intensità ed alla dislocazione spaziale delle discontinuità e, soprattutto, al tipo di discontinuità (beante, combaciante, con riempimento, etc..).



Le zone fratturate possono essere molto permeabili e, se sufficientemente estese ed in connessione con zone di ricarica, possono costituire una via di deflusso preferenziale per le acque, andando a formare un acquifero molto localizzato.

Tali configurazioni si determinano, generalmente, in zone di faglia ma si possono avere anche in settori in cui la roccia risulta sufficientemente fratturata (presenza di giunti idraulicamente interconnessi), anche se non interessata lineamenti tettonici. Tali acquiferi sono spazialmente confinati e sono difficilmente individuabili con le normali indagini geognostiche.

c) *Una falda non residente* a carattere stagionale che si può impostare al contatto tra il basamento cristallino poco permeabile e le coperture quaternarie più permeabili, durante i periodi a più elevata piovosità o durante lo scioglimento delle nevi. La presenza di questa falda è stata solo ipotizzata in quanto i piezometri installati durante la campagna geognostica del 2009 (stagione secca) non ne hanno evidenziato la presenza.

#### 7.4. IMPATTO IDROGEOLOGICO DELL'OPERA

I dati piezometrici analizzati, unitamente alle conoscenze idrogeologiche dell'area in esame, consentono di evidenziare alcuni aspetti, qui di seguito sintetizzati.

- a) Gli scavi per la costruzione del sottopasso, tra la le Progr. 0+180 e 0+280 di progetto, e la realizzazione delle pile e delle spalle del viadotto sull'Adda, tra le Progr. di progetto 0+630 e 0+750 dovrebbero interferire con la falda di fondovalle, che è posta ad una profondità compresa tra 5 ed 8 m dal piano campagna.
- b) Alla Progr. 4+233, dove si prevede di realizzare la galleria artificiale, le operazioni di scavo potranno intercettare una falda stagionale, presumibilmente tra le Progr. 4+420 e 4+710. Tuttavia è bene sottolineare che queste progressive hanno solo un carattere indicativo, giacchè questo tipo di falda ha una soggiacenza molto variabile, in quanto risente fortemente dei regimi di pluviometrici stagionali; inoltre, non si dispone di misure piezometriche sufficientemente prolungate nel tempo per poter valutare l'escursione della falda stessa.
- c) Tra le Progr. 5+080 e 6+220 è prevista la realizzazione della galleria naturale il Dosso che avverrà principalmente in condizioni secco-umide; tuttavia, sono previste delle interferenze sia con la falda stagionale, in corrispondenza degli imbocchi, che con infiltrazioni locali in roccia, in corrispondenza di zone fratturate di faglia ed in zone intensamente fratturate; in particolare si possono formulare alcune previsioni:
  - tra le Progr. 5+080 e 5+250 e le Progr. 6+065 ed 6+220 circa, in cui lo scavo avviene con basse coperture (< 30 m), a ridosso del contatto tra i depositi quaternari ed il basamento cristallino si potranno avere ridotte manifestazioni idriche in galleria (fronte secco-umido) in specie nelle stagioni piovose o durante lo scioglimento delle nevi;
  - tra la Progr. 5+230 e la Progr. 6+055 lo scavo è previsto nel basamento cristallino che come descritto presenta un grado di permeabilità variabile da basso, nelle normali

condizioni di fratturazione, a medio- alto, in zone intensamente fratturate; questo comporta che nelle zone poco fratturate non si prevedono manifestazioni idriche importanti, con condizioni di fronte secco-umido, mentre nelle zone di faglia o ad intensa fratturazione, se collegate ad una zona di ricarica in superficie, sono possibili manifestazioni idriche al limite tra gli stillicidi e le venute d'acqua. Tuttavia la scarsità degli affioramenti nell'area non ha consentito una dettagliata individuazione delle zone intensamente fratturate, per cui è verosimile che in fase di scavo possano essere incontrate altre zone con venute di acqua non prevedibili allo stato attuale.

- d) L'opera principale per la quale sono possibili impatti idrogeologici è la galleria naturale "Il Dosso" che potrebbe costituire un importante elemento drenante; questa opera, come detto, potrebbe intercettare sia, localmente, una falda in roccia localizzata, in zone fratturate di faglie, che una falda superficiale a carattere stagionale. L'opera in esame sottende le sorgenti 12, 13 e 14 censite nel progetto del 2002 e le due sorgenti, individuate durante i rilevamenti effettuati per la presente fase progettuale, ubicate lungo la valle dei Bui. Osservando i dati di cartografia è ipotizzabile che le sorgenti 12, 13 e 14 siano impostate in un acquifero quaternario (morenico), posto in quota, che non interferisce con lo scavo della galleria per cui non è atteso un rischio di isterilimento. Le sorgenti ubicate lungo la valle dei Bui sono impostate in una zona di faglia che interessa il basamento cristallino e che dovrebbe essere attraversata dallo scavo della galleria intorno alla Progr. 5+490 in una zona a bassa copertura (circa 30 m), per cui per queste sorgenti si potrebbe prevedere una variazione di portata. Qualora durante lo scavo si dovessero effettivamente riscontrare delle venute idriche importanti di acque di buona qualità queste dovranno essere separate dalle acque di piattaforma e dalle acque a bassa qualità presenti a tergo del rivestimento definitivo e dovranno essere rese disponibili per un eventuale utilizzo all'imbocco della galleria; inoltre, in caso di impoverimento delle sorgenti si dovrà provvedere ad un approvvigionamento idrico alternativo.

## 8. ANALISI GEOLOGICO-TECNICA DEL TRACCIATO

Vengono descritte le caratteristiche litotecniche del tracciato della strada in progetto, distinguendo le singole tratte in relazione alle peculiarità geologiche e geotecniche dei terreni attraversati.

### 8.1. DA INIZIO LOTTO ÷ PROGR. 0+420

Questo tratto iniziale del tracciato in progetto si sviluppa in destra orografica del fiume Adda; l'opera sarà realizzata in trincea e si prevede un sottopasso per attraversare la linea ferroviaria esistente; nel punto più basso gli scavi si approfondiranno sino a circa 10 m da p.c..

In asse al tracciato affiorano i depositi di conoide (UG2-1) e le alluvioni stabilizzate del fiume Adda, rappresentate essenzialmente da depositi ghiaioso sabbiosi in matrice sabbiosa – sabbioso limosa con trovanti di dimensioni anche metriche (UG1).

I dati piezometrici disponibili indicano la presenza della falda a circa 5 m da p.c. ed in particolare si prevede che lo scavo possa intercettare la falda del fondovalle del fiume Adda tra le Progr. 0+235 e 0+351 circa.

### 8.2. PROGR. 0+420 ÷ PROGR. 0+880 (VIADOTTO SULL'ADDA)

La realizzazione del Viadotto sull'Adda consente al nuovo tracciato di passare in sinistra idraulica del fiume, da dove poi si svilupperà la restante parte del tracciato. Secondo quanto previsto in progetto sarà realizzata una prima rampa in rilevato che immetterà al viadotto vero e proprio che con un altro tratto in rilevato si innesterà sulla piana alluvionale. Per la realizzazione del viadotto si prevede di realizzare due pile e due spalle.

La realizzazione dell'opera interessa i depositi alluvionali recenti e stabilizzati del fiume (UG1)

La falda sarà incontrata in una posizione che sarà sempre più superficiale verso la sede dell'alveo e sarà quindi interferente con le opere di fondazione del Viadotto.

### 8.3. PROGR. 0+880 ÷ PROGR. 4+325

In questo settore si prevede di realizzare un lungo tratto in rilevato che condurrà all'imbocco ovest della galleria artificiale. L'opera presenta altezze variabili, modeste nella prima parte, sino alla Progr. 2+340 circa, e decisamente più considerevoli nella seconda, verso la galleria artificiale, dove le altezza si attestano mediamente sui 10 m con punte di oltre 15.

In planimetria il tracciato segue la zona arginale del fiume Adda sino alla Progr. 2+060 per poi spostarsi progressivamente verso il versante.

In asse al tracciato affiorano prevalentemente le alluvioni stabilizzate (UG1) del fiume Adda, mentre dalla Progr. 2+750 alla Progr. 3+370 e dalla Progr. 3+580 alla Progr. 3+700 il

tracciato interferisce rispettivamente con i depositi di conoide (UG2-1) della valle di Ganda e con i depositi di una frana inattiva o quiescente.

Tra le Progr. 2+580 e 2+710, sul versante in destra del tracciato, si osservano in affioramento i termini del basamento cristallino (Micascisti e Gneiss del monte Tonale) dell'unità UG4.

La falda si rinviene a circa 12 m dal p.c. e quindi non è interferente.

Punti di maggiore criticità nella tratta sono costituiti da:

- ✓ due dissesti di limitata entità posti alle Progr. 2+330 e 3+600 segnalate anche dal PAI; il primo, attivo, interferisce con un tratto di viabilità secondaria mentre il secondo, inattivo o quiescente, interessa più direttamente il tracciato. In entrambi i casi l'interferenza è limitata alle parti terminali delle zone di accumulo.
- ✓ due attraversamenti di settori di conoide, tra la Progr. 1+950 e 2+000 e tra le Progr. 3+160 e 3+260 circa, che nella cartografia PAI sono indicati come attivi parzialmente protetti; come precedentemente descritto i vari conoidi di deiezione che interferiscono con il tracciato in più punti sono generalmente stabilizzati e solo in questi due settori è riscontrabile una indicazione di attività.

#### 8.4. **PROGR. 4+375 ÷ PROGR. 4+880 (GALLERIA ARTIFICIALE)**

Per la realizzazione della galleria artificiale si dovranno effettuare degli scavi che si aggirano mediamente sui 10 m di altezza.

In asse al tracciato affiorano solo terreni clastici ascrivibili prevalentemente a depositi morenici (UG2-2) e, solo per un piccolo tratto sull'imbocco occidentale, a depositi di conoide (UG2-1).

In questo tratto è stata ipotizzata la presenza di una falda a carattere stagionale che nei periodi umidi ed in occasione di eventi pluviometrici prolungati potrebbe interferire con le operazioni di scavo; in particolare, l'interferenza è stata ipotizzata tra le Progr. 4+350 e 4+700 di progetto, anche se non si può escludere che l'escursione della falda, e quindi della zona di interferenza, sia maggiore.

#### 8.5. **PROGR. 4+880 ÷ PROGR. 5+140**

In questo tratto si prevede di realizzare una piccola trincea; l'entità massima degli sbancamenti si aggira sui 6-7 metri e coinvolge esclusivamente i depositi morenici (UG2-2).

Non è prevista l'interferenza degli scavi con la falda.

## 8.6. Progr. 5+140 ÷ Progr. 6+105 (GALLERIA NATURALE IL DOSSO)

### 8.6.1 Imbocco W

Per la realizzazione dell'imbocco ovest si prevede di effettuare un attacco di tipo indiretto con una paratia; tale opera e lo scavo della galleria interesseranno i depositi morenici, costituiti da ghiaie sabbiose a spigoli vivi e con locali trovanti anche metrici (UG2-2), dalla Progr. 5+140 alla Progr. 5+310.

### 8.6.2 Progr. 5+310 ÷ Progr. 6+035

In questa tratta lo scavo interessa, dopo un breve tratto di depositi morenici (UG2-2), i terreni costituiti dai litotipi del basamento cristallino UG4 e, con qualche zona molto fratturate per le presenza di faglie, come da seguente Tabella 7.1.

Tabella 7.1 – Galleria Il Dosso – Unità litologiche e Classi di scavo

Progressive	Classe	Unità litologiche	Denominazione	GSI	$\sigma_c$ (MPa)	H (m)	$\phi$	C (MPa)	E (MPa)
5+140-5+310	V	UG2-2	Morena	-	-	25			
5+310-5+400	IV	UG4	Gneiss	46	43	30	62.05	0.337	5390
5+400-5+449	III	UG4	Gneiss	62	80	30	67.38	0.894	23743
5+449-5+479	IV	UG4	Gneiss	46	70	30	64.60	0.432	8775
5+479-5+505	V	UG3	Gneiss (Faglia)	38	30	30	58.05	0.240	2192
5+505-5+526	IV	UG4	Gneiss	46	70	30	64.60	0.432	8775
5+526-5+975	III	UG4	Gneiss	62	110	85	64.35	1.501	32647
5+975-6+035	IV	UG4	Gneiss	46	52	30	63.08	0.370	6518
6+035-6+105	V	UG2-2	Morena	-	-	25			

Da un punto di vista idrogeologico sono previste condizioni di scavo prevalentemente secco-umide e localmente bagnate; mentre in corrispondenza della zona di faglia si potranno avere degli stillicidi (Bieniawski, 1989).

### 8.6.3 Imbocco Est

Per la realizzazione dell'imbocco est si prevede di effettuare un attacco di tipo indiretto con una paratia; tale opera e lo scavo della galleria interesseranno i depositi morenici (UG2-2), costituiti da ghiaie sabbiose a spigoli vivi e con locali trovanti anche metrici.

### 8.7. **PROGR. 6+105 ÷ FINE LOTTO**

Dall'uscita della galleria il tracciato si sviluppa in rilevato sino a fine lotto, dove si raccorda con la SS38 esistente.

In asse al tracciato si hanno, sino a fine lotto, depositi clastici costituiti da :

- da depositi morenici (UG2-2) dall'imbocco est sino alla Progr. 6+120;
- da depositi di conoide (UG2-1) dalla Progr. 6+120 a fine lotto.



## 9. OPERE PRINCIPALI

Le opere d'arte principali sono costituiti dai due ponti:

- Ponte sul Fiume Adda a Stazzona
- Ponte sul Fiume Adda a Tirano

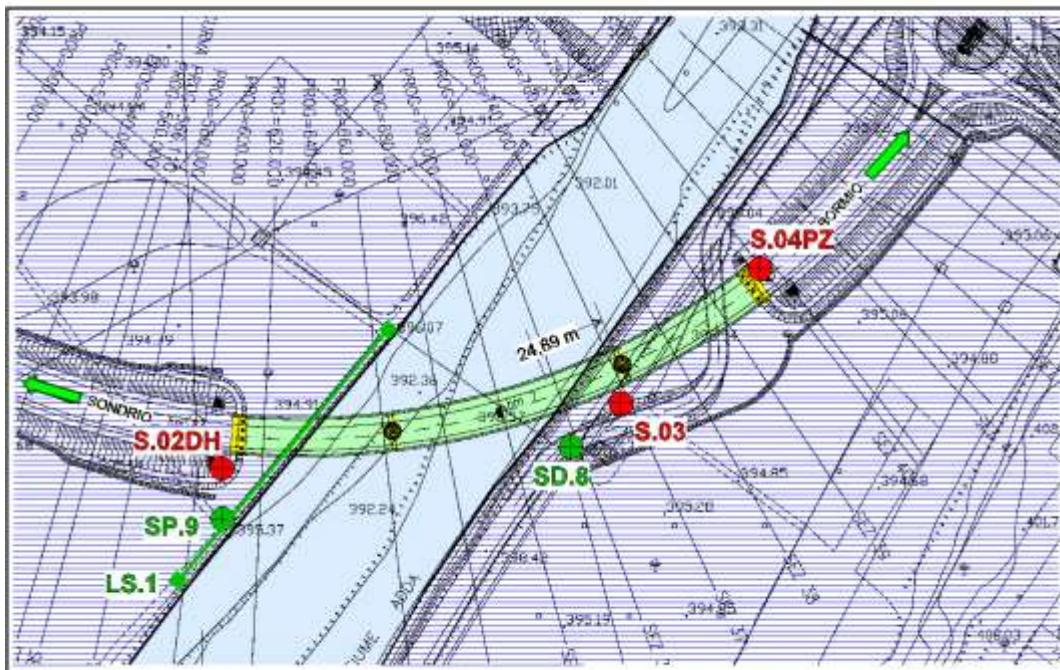
### 9.1. PONTE SUL FIUME ADDA A STAZZONA

Si tratta di un ponte con N° 3 campate, con una lunghezza complessiva pari a 180 m, ricadente per intero nell'ambito dei depositi alluvionali attuali (nell'alveo) e stabilizzati, nella pianura circostante.

La litologia dei terreni interessati dall'opera è stata definita sulla scorta dei dati ricavabili dai Sondaggi SP.9 e SD.8 (indagini del 2009), S.03, S.02DH e S.04PZ (indagini 2019).

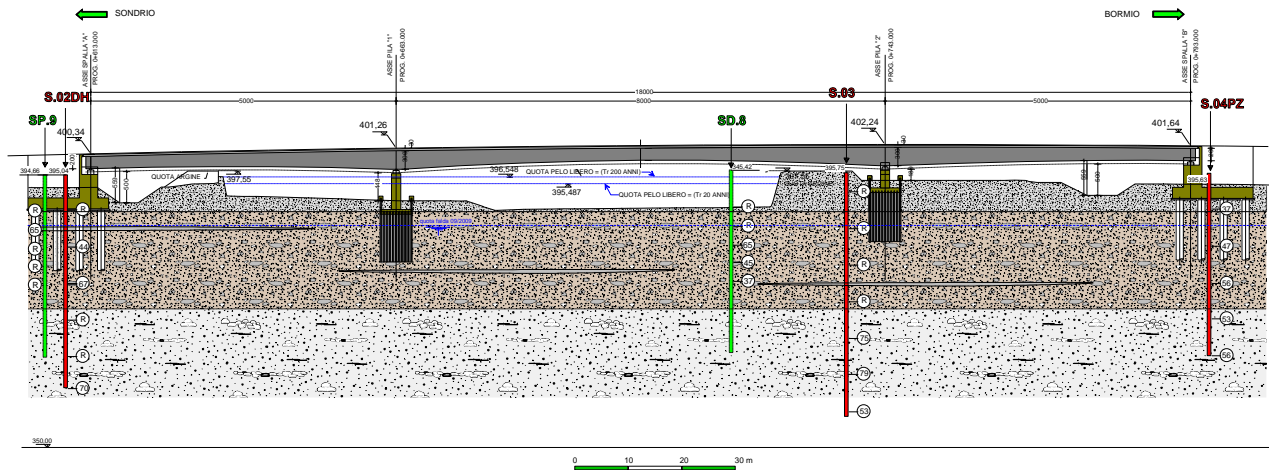
Nella Figura 9.1 è riportato uno stralcio della carta geologica con l'ubicazione dell'opera in oggetto e delle indagini geognostiche.

Figura 9.1 – Ponte sull'Adda a Stazzona – Stralcio carta geologica



Nella Figura 9.2, è riportato il profilo litologico del ponte, da cui risulta che i terreni appartengono all'Unità UG1 (Depositi alluvionali).

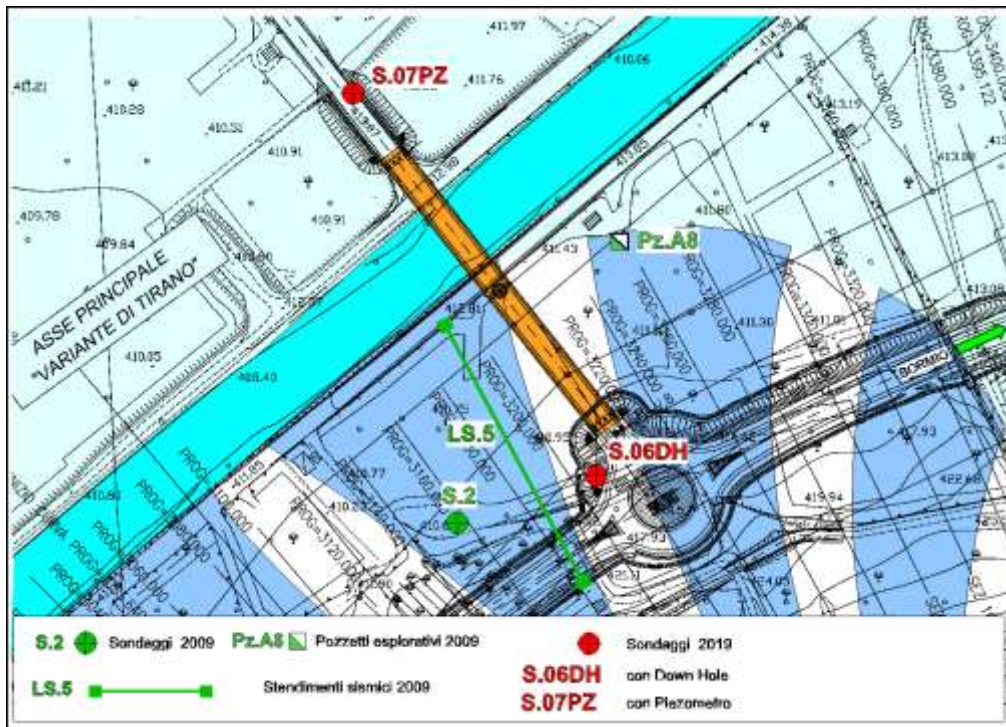
Figura 9.2 – Profilo litologico del Ponte sull'Adda a Stazzona



## 9.2. PONTE SUL Fiume ADDA A TIRANO

Si tratta di un ponte con N° 2 campate, con una lunghezza complessiva pari a 126 m, ricadente per intero nell'ambito dei depositi alluvionali attuali (nell'alveo) e stabilizzati, nella pianura circostante (cfr. Stralcio carta geologica della Figura 9.3).

Figura 9.3 – Ponte sull'Adda a Tirano – Stralcio carta geologica



Lo schema litologico è visualizzato nel profilo della Figura 9.3; l'area in esame ricade a cavallo tra le formazioni delle alluvioni stabilizzate (UG1) e delle conoidi (UG2\_1), che hanno caratteristiche granulometriche e litologiche molto simili; difatti dalla stratigrafia del sondaggio S.2 non è possibile distinguere il passaggio dai depositi di conoide a quelli alluvionali; tuttavia i

depositi del conoide, essendo prossimi alla zona marginale del bordo, si ritiene che debbano essere poco spessi (qualche metro).

Nella Figura 9.4, è riportato il profilo litologico del ponte.

Figura 9.4 – Profilo litologico del Ponte sull'Adda a Tirano

