



COMUNE DI VILLA D'ALMÈ
PROVINCIA DI BERGAMO

**COSTRUZIONE DI NUOVA FOGNATURA PER LA
RACCOLTA E SMALTIMENTO IN CORPO IDRICO
DELLE ACQUE SUPERFICIALI IN LOCALITÀ
CAMPANA (COMUNE DI VILLA D'ALMÈ – BG)**

(C.U.P. F98H18000000001 - C.I.G. 8685592941)

PROGETTO DEFINITIVO

**RELAZIONE GEOLOGICA CON ELEMENTI
IDROLOGICI, GEOTECNICI E SISMICI**

Ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011 e delle N.T.C. di cui al D.M. 14 gennaio 2008 (R1)



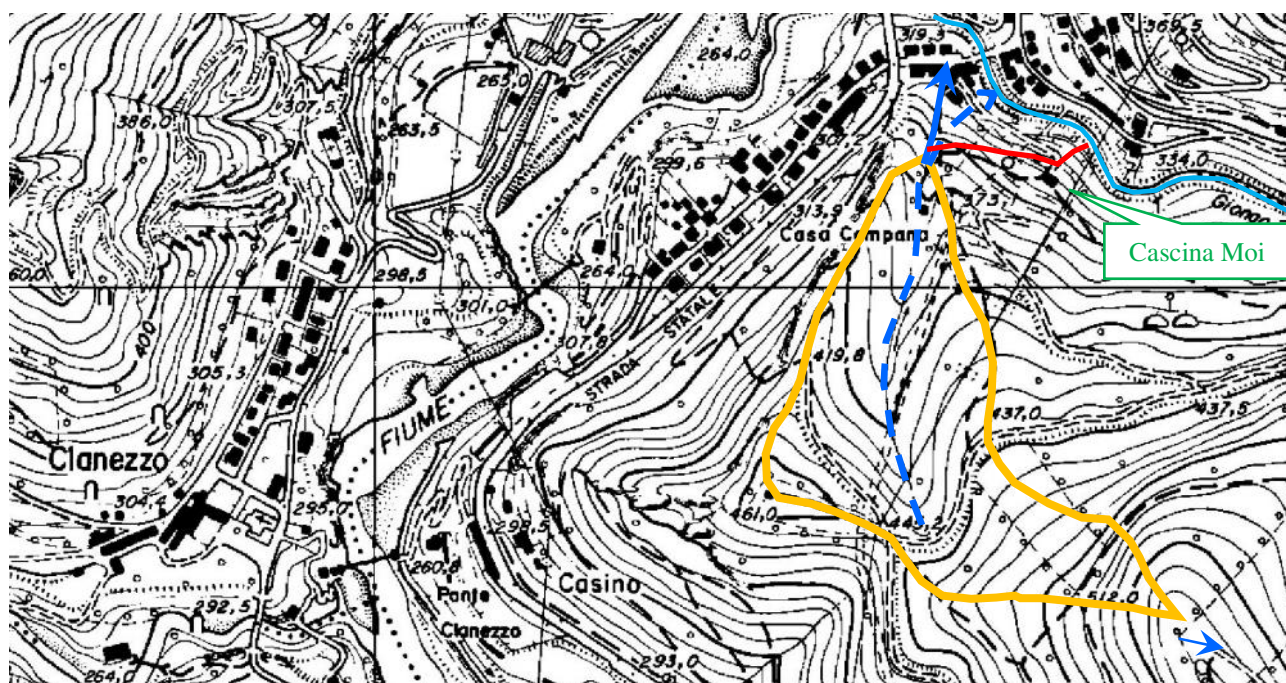
Studio
Geoter

1. PREMESSA

Una parte della frazione Campana del comune di Villa d'Almè, quella che sorge presso il ponte che attraversa il Giongo, è occasionalmente interessata da consistenti deflussi d'acqua e/o da colate di fango, a causa di un modesto solco d'impluvio che si trova sul versante sopra le case e la cui confluenza nel torrente è parzialmente ostruito dallo sviluppo dell'edificazione stessa. Per contenere il trasporto di materiale solido mobilizzato dall'acqua è stata costruita in quota una piccola briglia, ma tale intervento non ha risolto la situazione di dissesto, poiché l'acqua che esonda in occasione di piogge significative raggiunge ancora le abitazioni.

Per risolvere il problema e rimuovere in modo definitivo tale situazione di disagio e di pericolo, il Comune di Villa d'Almè ha commissionato uno studio di fattibilità di possibili interventi di sistemazione idraulica e/o idrogeologica. Il progetto scaturito da tale studio prevede la costruzione di uno "scolmatore" che, a partire da una nuova briglia convogli gran parte del deflusso d'acqua in direzione della località Moia e da qui al Giongo, in un punto più a monte dell'attuale confluenza, mediante una condotta interrata e un tratto di canale a cielo aperto.

La progettazione preliminare ha dunque evidenziato la necessità di uno studio geologico generale sul tracciato proposto, con particolare attenzione all'attraversamento dell'acquedotto di Bracca e alla valutazione del trasporto solido della vallecchia in questione, al fine di dimensionare adeguatamente le opere di trattenuta, rappresentate da due nuove briglie. La presentazione del progetto agli enti competenti UTR rende anche necessaria la realizzazione di una specifica relazione idraulica in funzione delle normative attualmente vigenti ed in particolare delle Direttive dell'Autorità di Bacino del Po in merito alla valutazione della portata di massima piena con tempo di ritorno centennale.



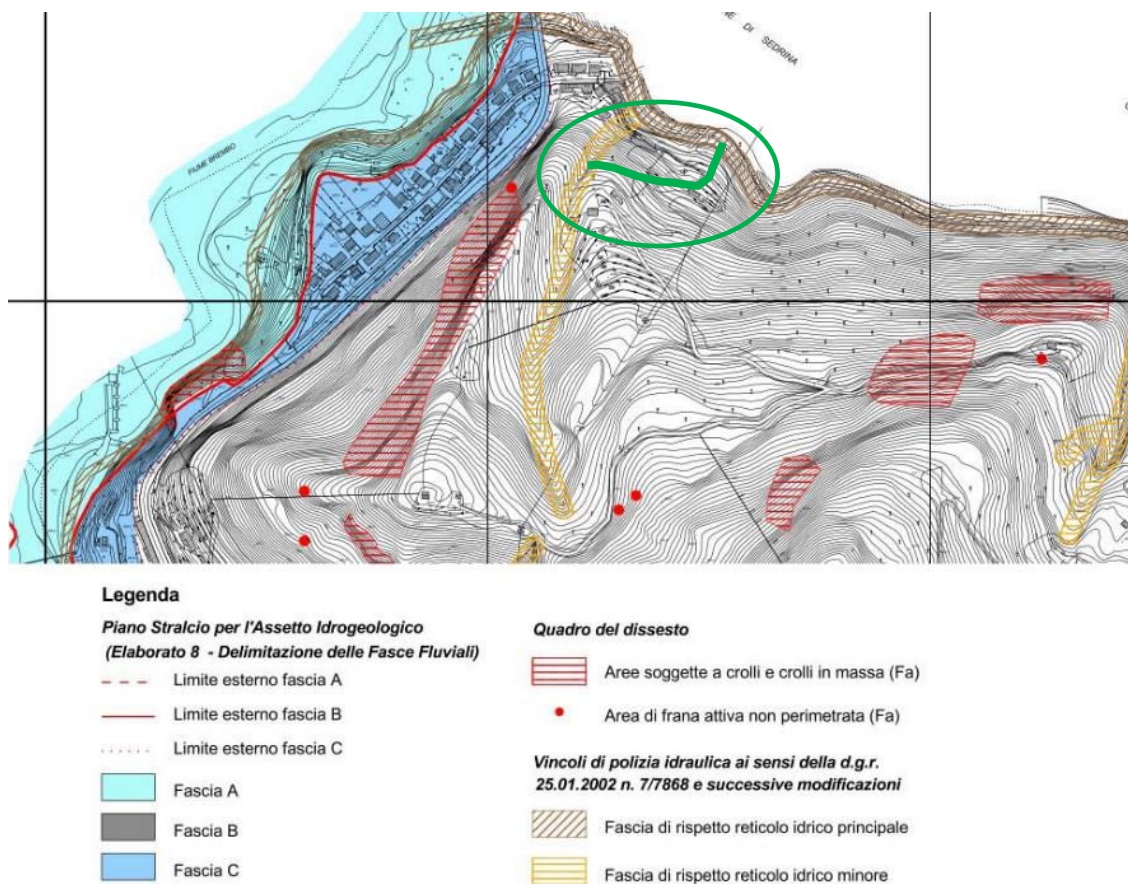
La posizione della valletta di Campana soggetta a esondazione (- - -) e perimetro del bacino idrografico (———)
la linea rossa indica il tracciato dello scolmatore in progetto

L'indagine geologica sul terreno è stata condotta mediante un rilevamento geologico di dettaglio, riguardante in particolare i caratteri litologici dei terreni attraversati e i tratti di eventuali dinamiche geomorfologiche dell'intorno, e alcune misurazioni di tremore sismico con tecnica HVSR a stazione singola, onde valutare lo spessore del terreno superficiale presso la cascina Moia e assumere i valori dei parametri sismici dell'area. I caratteri geotecnici dei terreni e del substrato roccioso lungo il tracciato di progetto dello "scolmatore" sono stati valutati mediante alcune prove penetrometriche e scissometriche speditive e un rilevamento strutturale dell'ammasso roccioso.

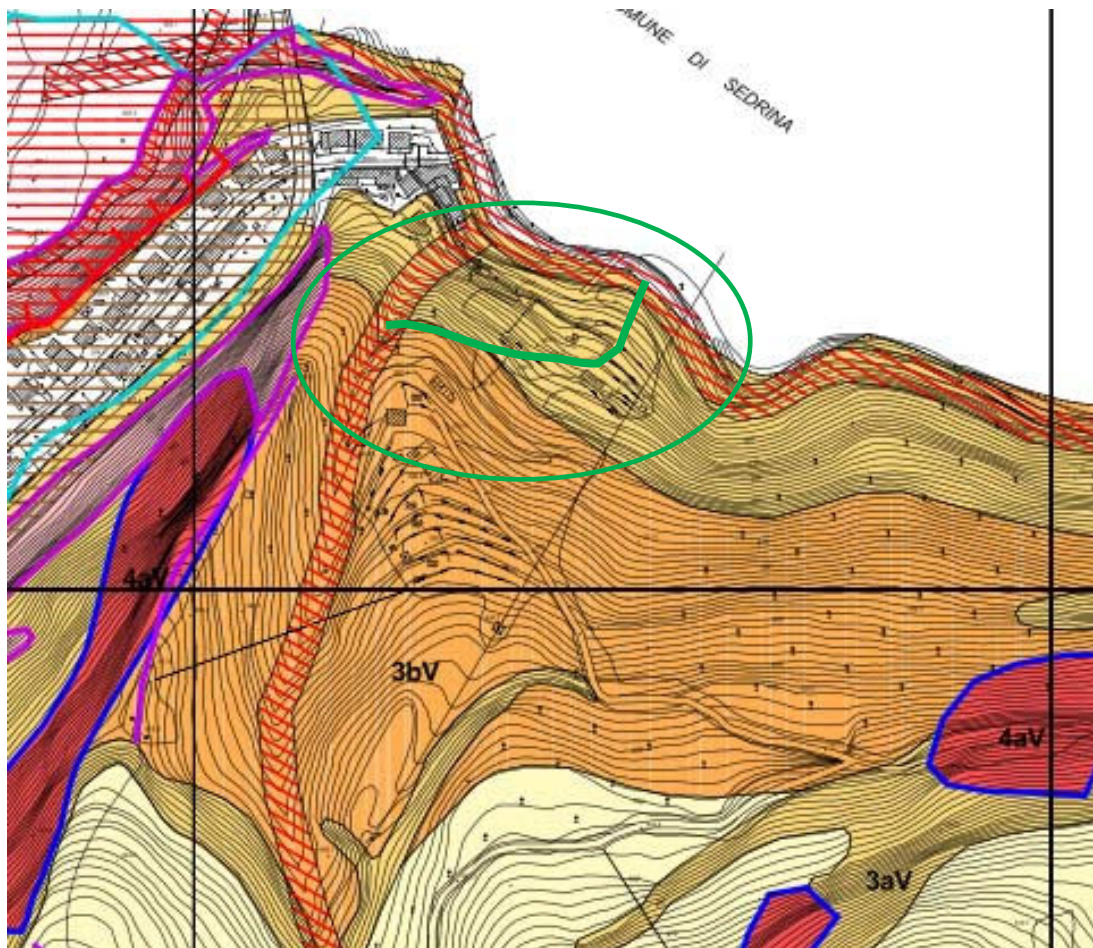
Nella stessa relazione vengono anche presentate le analisi idrologiche a supporto della valutazione della portata di massima piena e in particolare l'analisi dei parametri a e n necessari per la valutazione delle portate di piena secondo l'attuale normativa vigente.

2. VINCOLI GEOLOGICI E FATTIBILITÀ GEOLOGICA E SISMICA


L'area di progetto non è soggetta a vincoli amministrativi di significato geologico, ma trattandosi di opera di derivazione d'acqua da un impluvio e sua restituzione in un altro corpo idrico superficiale (Giongo), le due estremità dello "scolmatore" rientrano nelle fasce di rispetto degli stessi alvei, dove comunque questo tipo di interventi è consentito (vedi estratto Carta dei Vincoli).



Particolare della Carta dei Vincoli del P.G.T. di Villa d'Almè: in evidenza l'area di progetto





Legenda

 Classe 1 - Fattibilità senza particolari limitazioni







Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti - "V"

-  Classe 4aV - Fattibilità con gravi limitazioni
-  Classe 4bV - Fattibilità con gravi limitazioni
-  Classe 3aV - Fattibilità con consistenti limitazioni
-  Classe 3bV - Fattibilità con consistenti limitazioni
-  Classe 2V - Fattibilità con modeste limitazioni

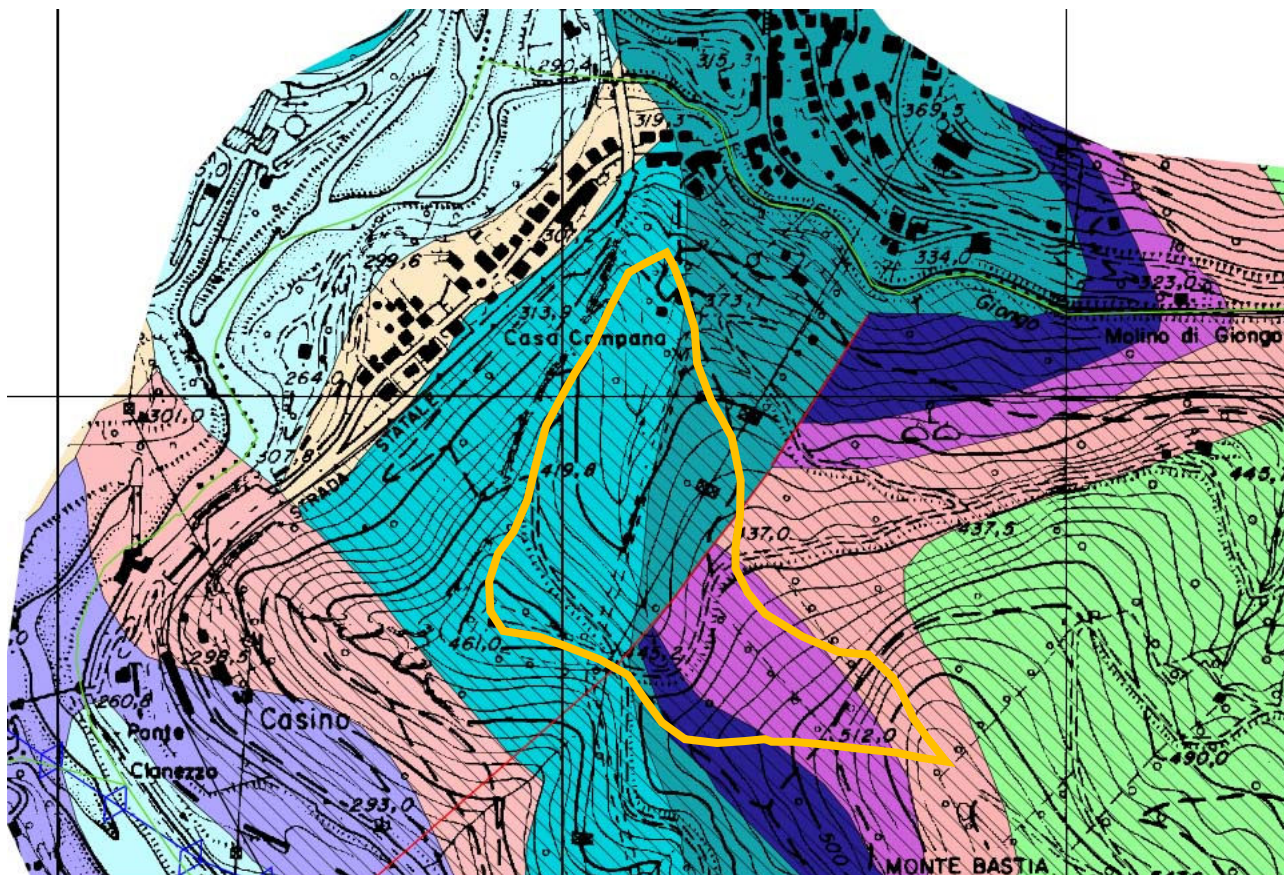
Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico - "I"

-  Classe 4aI - Fattibilità con gravi limitazioni
-  Classe 4bI - Fattibilità con gravi limitazioni
-  Classe 2aI - Fattibilità con modeste limitazioni

Pericolosità sismica locale

-  Scenario Z1a
-  Scenario Z1c
-  Scenario Z2
-  Scenario Z3a
-  Scenario Z3b
-  Scenario Z4a

Particolare della Carta di Fattibilità per le Azioni di Piano del P.G.T. di Villa d'Almè: in evidenza l'area di progetto



Legenda

Depositi quaternari

- Unità Postglaciale depositi alluvionali
- Unità di Stabello

Elementi strutturali

- Faglia
- Anticlinale
- Giacitura

Pedologia

- Suolo 1
- Suolo 2
- Suolo 3

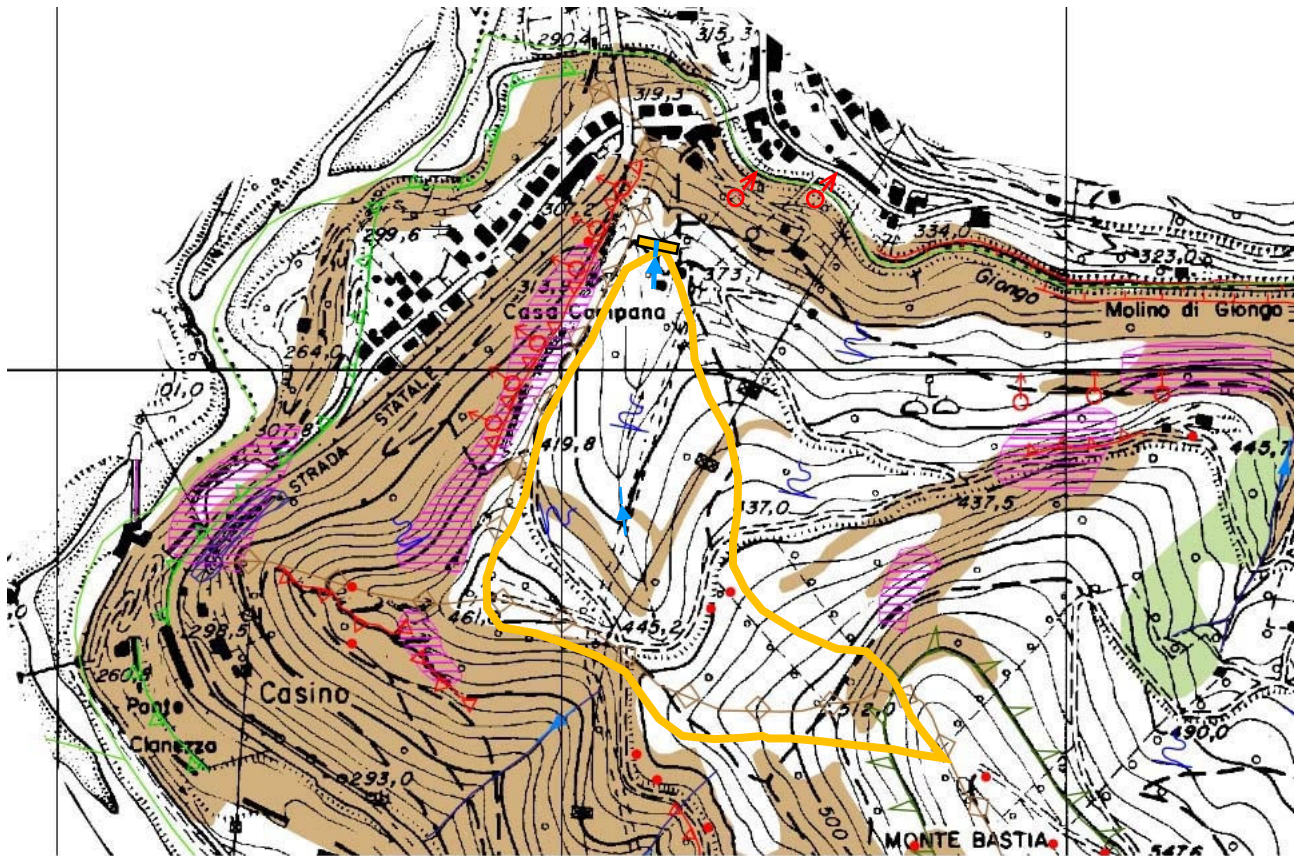
Substrato roccioso

- Maiolica
- Rosso ad Aptici
- Radiolariti
- Formazione di Sogno
- Calcare di Domaro
- Calcare di Moltrasio
- Calcare di Sedrina
- Dolomia a Conchodon - Corna







bacino idrografico sopra Campana

Particolare della carta litologica del Comune di Villa d'Almè (Reguzzi C., 2012)





La canalizzazione in progetto, parte interrata e parte a cielo aperto, è un'infrastruttura lineare che non rientra nelle tipologie di opere edilizie soggette alle classificazioni di fattibilità geologica assunte dal P.G.T. comunale e può essere costruita indipendentemente dalle classi attribuite. Tuttavia, la carta di fattibilità geologica è qui considerata poiché indica gli elementi di criticità che possono interagire con la struttura. In questo caso il tracciato dello scolmatore interessa superfici in classe 3 di fattibilità, le cui problematiche si collegano a una potenziale instabilità del versante. Per altro la Carta di Pericolosità Sismica di I livello del comune di Villa d'Almè esclude per l'area di progetto la presenza di qualsiasi elemento di pericolosità sismica.




Forme e processi legati alla gravità





-  Orlo scarpata e/o frana attivo
-  Orlo scarpata e/o frana inattivo
-  Distacco di blocchi
-  Area di frana attiva non perimetrata (Fa)
-  Colamento "rapido" quiescente
-  Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi - Geoiffi

Forme e processi legati alle acque superficiali

-  Orlo di scarpata di erosione fluviale o torrentizia attivo
-  Orlo di scarpata di erosione fluviale o torrentizia fortemente in erosione
-  Ruscellamento diffuso
-  Ruscellamento concentrato

 bacino idrografico sopra Campana

Forme e processi di origine poligenica

-  Principali linee di crinale
-  Orlo poligenico
-  Versanti con coperture significative con pendenza > 20°
-  Versanti con roccia affiorante/subaffiorante con pendenza > 35°

Forme e processi di origine antropica

-  Consolidamento parete
-  Reti paramassi
-  Sbarramenti fluviali
-  briglia

Carta geomorfologica di Villa d'Almè (Reguzzi C., 2012)
 con aggiornamenti (GeoTer, 2016)

Considerati questi aspetti di fondo, la relazione geologica e geotecnica presentata in queste pagine è redatta secondo i *Criteri* della Normativa regionale e delle N.T.C., senza specifiche particolari sugli approfondimenti geologici, se non a riguardo di una corretta verifica sulle condizioni del pendio e della sua stabilità anche nei confronti degli scavi da realizzare per l'attuazione del progetto.



Distacchi di massi sulla sponda del Giongo (A) e presso la contrada Campana in via Moi (B); solco d'impiuvio oggetto dell'intervento a valle(C) e a monte (D) della briglia esistente; terrazzamenti presso cascina Moi (E).

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La piccola depressione del versante nella quale si raccolgono le acque piovane che poi defluiscono verso Campana presenta rocce calcareo-marnose con lenti di selce (formazioni del Calcarea di Domaro e del Calcarea di Moltrasio, del Giurassico); si tratta di strati spessi qualche decimetro, con giacitura suborizzontale nel settore medio-alto della conca, che raggiunge 35° d'inclinazione nella valle del Giongo, dove la giacitura si dispone a franapoggio sulla sponda sinistra del torrente. A monte della briglia esistente (m 350 s.l.m.) queste rocce sono coperte da terreno colluviale limo-argilloso bruno-ocraceo con pietrisco, spesso generalmente qualche decimetro, non più di mezzo metro.

Il netto cambio di pendenza tra la parte medio-alta della valletta e il tratto appena sopra la frazione suggerisce che si tratta di una valle pensile e corrisponde al passaggio tra pendio terroso, a monte, e versante roccioso, a valle, dove si inserisce il tracciato dello scolmatore in progetto. Nell'area non sono presenti forme di erosione o di dissesto gravitativo generalizzato: piccoli distacchi di massi o scivolamenti lungo strato di blocchi rocciosi possono interessare le sponde molto incise del Giongo o le vicinanze delle ultime case di Campana, lungo la via Ca Moi.

Forme di erosione lineare nell'asse del compluvio si notano a valle della briglia esistente, dove il sottile strato di terreno limoso è stato asportato da precedenti deflussi di piena e dove un sentiero a scalinata corre proprio in corrispondenza di quello che in caso di pioggia diviene un alveo significativo. A monte della briglia i pendii sono diffusamente coperti da vegetazione e non è evidente un vero e proprio solco d'invalveamento dell'acqua, ma il drenaggio è diffuso; lacerazioni nella coltre di terreno superficiale (cm 10÷15 di profondità) sono dovuti al transito di motociclette e all'intaglio di una strada sterrata che si snoda attorno a m 440 s.l.m. e porta in affioramento il substrato roccioso.

Presso la cascina Moia, diversamente da quanto segnalato nella cartografia comunale, lo spessore del terreno eluvio-colluviale tende ad aumentare, anche a causa dei terrazzamenti agricoli; ciò nonostante, la roccia affiora in diversi punti. La toponomastica lascia presupporre la presenza di un terreno intriso d'acqua, ma in sede di rilevamento anche in periodi differenti e piovosi non si rileva la presenza di alcuna scaturigine né ristagno se non lungo il torrente Giongo.

L'acquedotto della sorgente "Bracca" attraversa il torrente Giongo mediante un ponte canale proprio a valle della cascina Moia e risale sul versante sinistro una ventina di metri a Ovest della stessa cascina continuando più a monte anche con opere in sotterraneo.


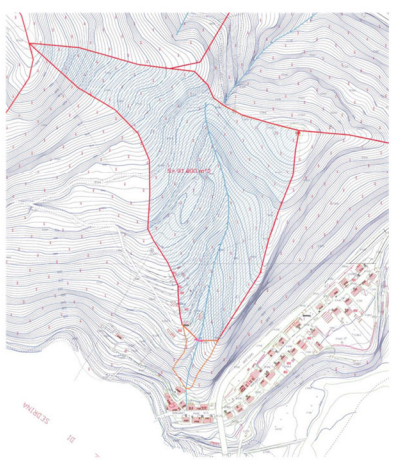
I terreni superficiali eluvio-colluviali diffusi nella conca sopra Campana presentano scarso drenaggio, mentre i terreni che formano i terrazzamenti presso cascina Moia sono dotati di buona permeabilità tanto da non dare origine a ristagni d'acqua.

-----000000000000-----

4. MORFOMETRIA DEL BACINO, ANALISI IDROLOGICA E TRASPORTO SOLIDO

I dati ottenuti dall'analisi morfometrica del bacino confermano quelle condotte da SAI Progetti in sede di progetto preliminare. La superficie del bacino idrografico soprastante la frazione Campana è di km² 0,0918; si tratta quindi di un bacino di areale estremamente ridotto, la cui altezza massima nei pressi della sommità del monte Bastia è di m 576 s.l.m., mentre la sezione di chiusura è posta a m 360 s.l.m. in corrispondenza della briglia da cui si staccherà il canale scolmatore.

La tabella seguente riporta i dati morfometrici principali del bacino, i parametri del calcolo della portata liquida di massima piena mediante diverse relazioni disponibili ripresi dallo studio preliminare.

 SCHEDA BACINO		valle Campana																					
 <p>STRALCIO AEROFOTOGRAMMETRICO COMUNALE, scala 10.000</p>		CODICE RETICOLO IDRICO MINORE																					
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Dati morfometrici del bacino</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Superficie (km²)</td> <td>0.0918</td> </tr> <tr> <td>Quota minima (m s.l.m.)</td> <td>360</td> </tr> <tr> <td>Quota massima (m s.l.m.)</td> <td>576</td> </tr> <tr> <td>Quota massima canale (m s.l.m.)</td> <td>442</td> </tr> <tr> <td>Lunghezza alveo principale a spartiacque (km)</td> <td>0.745</td> </tr> <tr> <td>Lunghezza canale principale (km)</td> <td>0.425</td> </tr> <tr> <td>Pendenza media alveo princip. (%)</td> <td>28.99</td> </tr> <tr> <td>Pendenza media canale princip. (%)</td> <td>19.29</td> </tr> <tr> <td>Pendenza alveo presso l'opera di progetto</td> <td>10.89</td> </tr> <tr> <td>Indice di Melton</td> <td>0.71</td> </tr> </tbody> </table>		Dati morfometrici del bacino		Superficie (km ²)	0.0918	Quota minima (m s.l.m.)	360	Quota massima (m s.l.m.)	576	Quota massima canale (m s.l.m.)	442	Lunghezza alveo principale a spartiacque (km)	0.745	Lunghezza canale principale (km)	0.425	Pendenza media alveo princip. (%)	28.99	Pendenza media canale princip. (%)	19.29	Pendenza alveo presso l'opera di progetto	10.89
Dati morfometrici del bacino																							
Superficie (km ²)	0.0918																						
Quota minima (m s.l.m.)	360																						
Quota massima (m s.l.m.)	576																						
Quota massima canale (m s.l.m.)	442																						
Lunghezza alveo principale a spartiacque (km)	0.745																						
Lunghezza canale principale (km)	0.425																						
Pendenza media alveo princip. (%)	28.99																						
Pendenza media canale princip. (%)	19.29																						
Pendenza alveo presso l'opera di progetto	10.89																						
Indice di Melton	0.71																						
PORTATA LIQUIDA																							
Anselmo 1985 $q=200/(S+28)+0,6$	portata specifica liquida (q)	m ³ /s/km ²	7.72																				
	portata liquida (Q)	m ³ /s	0.71																				
GeoTer e studio Castelletti, 2004: dati R.I.M. CM VSS	portata specifica liquida (q)	m ³ /s/km ²	12.24																				
	portata liquida (Q)	m ³ /s	1.12																				
Paoletti 2004 $q=15,38*S^{-0,39}$ (R ² =0,74)	portata specifica liquida (q)	m ³ /s/km ²	39.03																				
	portata liquida (Q)	m ³ /s	3.58																				

La portata di massima piena valutata secondo le relazioni proposte da Anselmo ($Q_{MAX} = m^3/sec 0,71$) o secondo la formulazione elaborata dagli scriventi ($Q_{MAX} = m^3/sec 1,12$) per lo studio di numerosi bacini idrografici della Comunità Montana Valle Seriana (GeoTer, 2004) ben si accordano con i valori di portata calcolati da SAI-Progetti ($Q_{50anni} = m^3/sec 1,12$) nella progettazione preliminare.

Per il progetto definitivo occorre che la valutazione della portata di massima piena venga effettuata in riferimento a quanto previsto nella “DIRETTIVA SULLA PIENA DI PROGETTO DA ASSUMERE PER LE PROGETTAZIONI E LE VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA” emanata dall’Autorità di Bacino del Po attraverso uno studio idrologico di dettaglio per valutare se le portate utilizzate in sede preliminare siano corrette e adeguate alla normativa attualmente vigente.

4.1 ANALISI IDROLOGICA

I dati caratteristici del bacino sono già stati considerati nell’analisi precedente individuandone superficie, lunghezza delle aste, quote di riferimento e altri parametri specifici contenuti nella tabella di pagina precedente ripresa anche qui a lato. Al fine di valutare i parametri necessari all’analisi idrologica complessiva sono necessari anche la determinazione del tempo di corri-va-zione, del coefficiente di deflusso, della valutazione della pioggia critica e della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica con i coefficienti “a” e “n” da utilizzare successivamente per la valutazione della portata di piena.

A. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL COMPLUVIO IN LOCALITA' CAMPANA (VILLA D'ALME' - BG)	
N. BACINO	CAMPANA
A.1 Superfici	
Superficie del bacino idrologico (km ²)	0.092
A.2 Lunghezze	
Lunghezza dell'asta principale (km)	0.43
Lunghezza dell'asta principale (km) allo spartiacque	0.75
A.3 Quote e dislivelli	
Quota massima del bacino idrologico (m)	576.00
Quota minima del bacino idrologico e sezione di chiusura (m)	360.00
Quota media del bacino idrologico (m)	435.40
Quota massima dell'asta principale (m)	442
Altezza media relativa rispetto alla sezione di chiusura (m)	75.40
Dislivello dell'asta principale (m)	82.00
Dislivello tra la quota massima e minima del bacino (m)	216.00
A.4 Pendenze	
Pendenza dell'asta principale (%)	28.99
Pendenza media del canale (%)	19.29
Pendenza media dei versanti (o del bacino)	0.45

4.1.1 TEMPO DI CORRIVAZIONE E COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Per bacini di dimensione come quelli in esame (superfici inferiori 10 km²) sono in genere disponibili formule significativamente affidabili, come la classica formulazione di Giandotti (1934) utilizzata sul territorio italiano anche se essa è valida per bacini di dimensione significativamente maggiore (Ab > 170 km²). In realtà Aronica e Paltrinieri (1954) hanno apportato alcune modifiche alla formulazione di Giandotti per rendere la formula applicabile a bacini inferiori a 10 km² modulando il coefficiente moltiplicativo della superficie in funzione del tipo di utilizzazione del suolo e della permeabilità dei terreni.

GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A_b} + 1.5 \cdot L_b}{0.8 \cdot \sqrt{H_m}}$$

dove:
 A_b = area bacino (km²);
 L_b = lunghezza asta principale (km);
 H_m = quota media sulla sezione di chiusura (m).

$$T_c = \frac{1}{M \cdot d} \cdot \sqrt{A_b} + 1.5 \cdot L_b$$

ARONICA PALTRINIERI

Tipo di copertura	M
Terreno nudo	0,667
Terreni coperti con erbe rade	0,250
Terreni coperti da bosco	0,200
Terreni coperti da prato permanente	0,167

Permeabilità	d
Terreni semi-impermeabili	1,270
Terreni poco permeabili	0,960
Terreni mediamente permeabili	0,810
Terreni molto permeabili	0,690

Grazie alla cartografia disponibile sono state distinte le aree con differente permeabilità e copertura del suolo ottenendo attraverso medie pesate i parametri da inserire nella formula come riportato nella seguente tabella dove viene definito anche il coefficiente di deflusso, utilizzato per la definizione della portata di deflusso attraverso la formula razionale, che viene valutato in modo analogo attraverso classi di copertura del suolo. Il tempo di corrivazione per il bacino dell'impluvio che afferisce alla località Campana è in questo modo: $T_c = 0,329 \text{ h} = 19,75 \text{ minuti}$.

Tale valore concorda con quello utilizzato nella progettazione preliminare per la verifica idraulica contenuto nella relazione tecnica e pari a $T_c = 0,321 \div 0,327 \text{ h}$.

TIPOLOGIA	COEFFICIENTE DEFLUSSO C	BACINO CAMPANA VILLA D'ALMÉ (BG)	
		AREE PARZIALI	
bosco	0.25	0.0789	0.019725
prato - pascolo	0.56	0.0076	0.004256
urbanizzato1/culture agrarie	0.7	0.0029	0.00203
urbanizzato2 o rocce	0.95	0.0026	0.00247
AREA TOTALE		0.0920	
COEFF. DI DEFLUSSO			0.310

COEFFICIENTI ARONICA PALTRINIERI	
M (Aronica Paltrinieri)	d (Aronica Paltrinieri)
0.2	1.27
0.167	0.81
0.25	0.96
0.667	1.27
M	0.212047826
d	1.222228261

Coefficienti di Aronica e Paltrinieri (1954) per l'utilizzo della formula di Giandotti per il calcolo del tempo di corrivazione per bacini di piccole dimensioni e coefficiente di deflusso in funzione dei parametri di Iskowsky (1955)

Per quanto riguarda il coefficiente di deflusso (ϕ_B) occorre tener presente che rispetto al valore $\phi_B = 0,31$ ottenuto qui con i valori tabulati da Iskowsky (1955), le elaborazioni effettuate con SIBCA sul bacino del Giongo in cui affluirà il canale derivatore e di cui fa parte il bacino dell'impluvio di località Campana conduce a valori nettamente inferiori ($\phi_B = 0,1481$) e che nella relazione idraulica preliminare era stato utilizzato cautelativamente un coefficiente di deflusso $\phi_B = 0,4$.

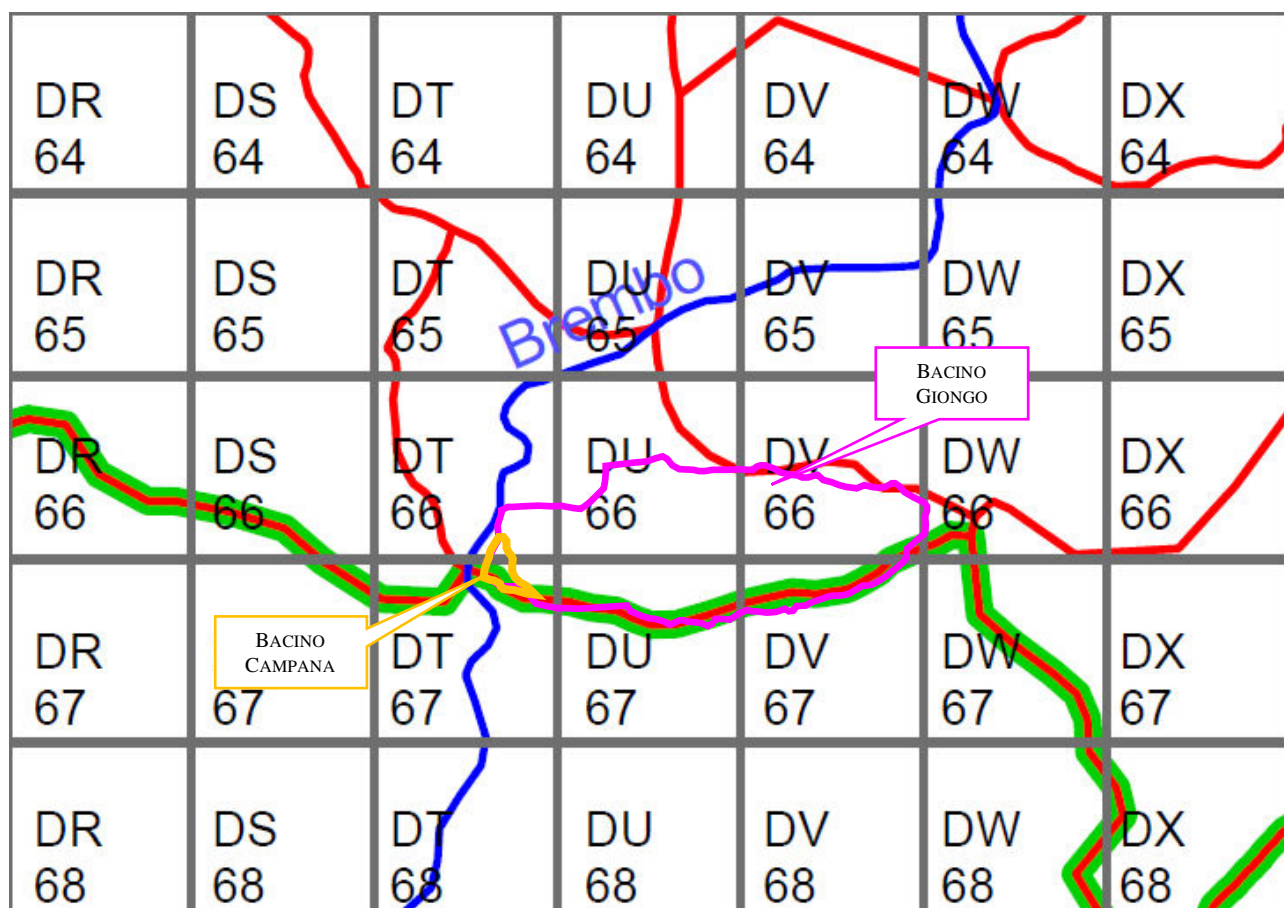


Dati estratti dal Geoportale di Regione Lombardia – SIBCA – per la valutazione del bacino del torrente Giongo in cui afferisce il canale e di cui fa parte il piccolo bacino che affluisce a Campana.

4.1.2 VALUTAZIONE DELLE PIOGGE E LINEA SEGNALETRICE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA

I dati di pioggia con durata oraria o plurioraria sono diffusi e disponibili anche in rete; essi permettono di valutare le curve di possibilità pluviometrica con differenti tempi di ritorno. Questi dati si possono calcolare da specifici file dell' Autorità di Bacino del Po (AdBPo) contenuti nelle *Direttiva sulle Piene di Progetto da assumere per le Progettazioni e le Verifiche di Compatibilità Idraulica* o si possono ottenere dal sito ARPA di Regione Lombardia.

Per quanto riguarda l' Autorità di Bacino del Po è stata predisposta una cartografia del territorio nazionale suddivisa in aree di 4 km² (maglia m 2000 x m 2000), ciascuna definita da un codice univoco, per la quale sono disponibili per vari periodi di tempo di ritorno (20, 100, 200, 500) i parametri "a" e "n" della curva di possibilità pluviometrica ottenuta da regionalizzazione con metodo GEV. Dal momento che il bacino di Campana con sezione di chiusura presso la confluenza con il rio Giongo ricopre più aree specifiche occorre effettuare una media ponderata areale per definire i parametri caratteristici dell'intero bacino, rilevando che vi è una certa approssimazione nella delimitazione del bacino idrografico effettuato su cartografia al 25000 (AdBPo) rispetto a quella più corretta effettuata sulla CTR 10000 o sulla cartografia comunale al 5000.

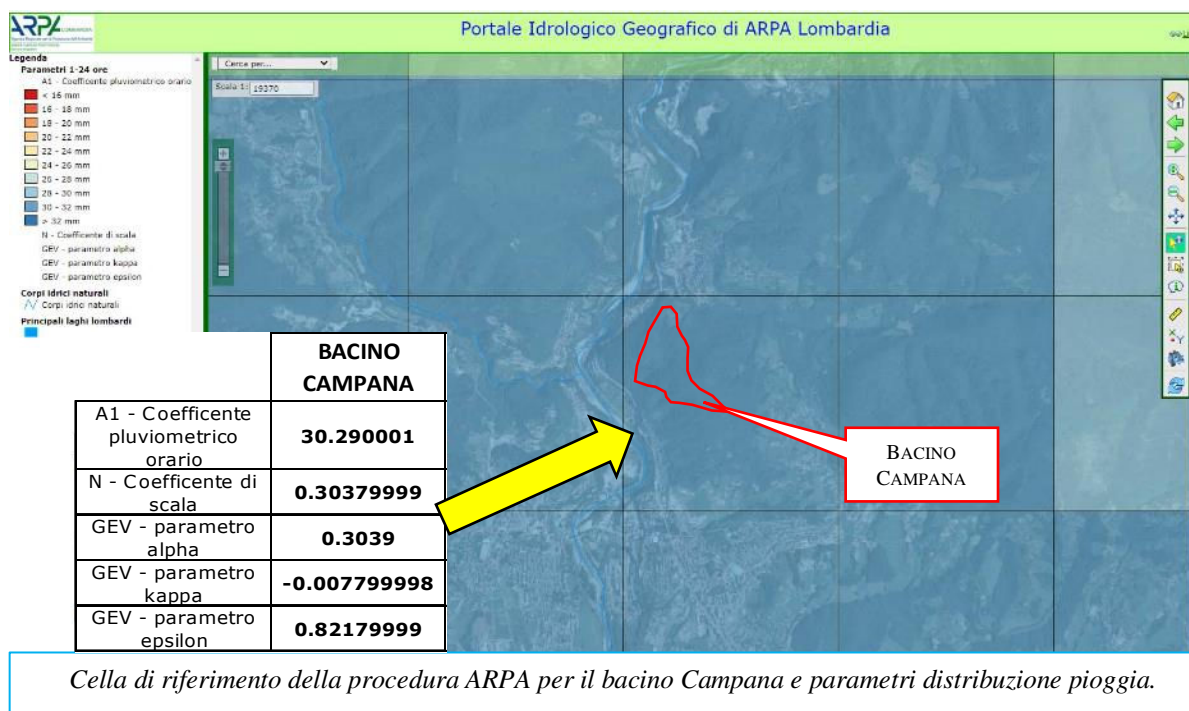


Estratto *Direttiva sulle Piene di Progetto da assumere per le Progettazioni e le Verifiche di Compatibilità Idraulica* allegato 3 *Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense - tavola 3; ubicazione valle Giongo e bacino Campana.*

Cella	Coordinate Est UTM cella di calcolo	Coordinate Nord UTM cella di calcolo	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500	Area cella nel bacino (km ²)	
DT66	561000.00000	5079000.00000	53.68	0.276	68.73	0.267	75.14	0.263	83.63	0.26		0.015
DT67	559000.00000	5077000.00000	52.98	0.268	67.92	0.258	74.30	0.254	82.73	0.25		0.077
											0.092	
Cella	Coordinate Est UTM cella di calcolo	Coordinate Nord UTM cella di calcolo	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500	AREA BACINO	
DT66	561000.00000	5079000.00000	8.547	0.044	10.944	0.043	11.964	0.042	13.316	0.041		
DT67	559000.00000	5077000.00000	44.544	0.225	57.105	0.217	62.469	0.214	69.557	0.210		
DATI PONDERATI CELLE ADBPO			a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500		
BACINO CAMPANA foce GIONGO (ADBPO)			53.091	0.269	68.049	0.259	74.434	0.255	82.873	0.252		

Dati "a" e "n" calcolati con le celle di riferimento della procedura ADBPO per il bacino Campana.

Sul sito regionale di ARPA Lombardia (<http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml>) è disponibile un apposito servizio che permette di visualizzare e/o scaricare ed utilizzare i dati delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (periodo 1997-2011). Anche i dati che si ricavano da ARPA Lombardia al momento sono ritenuti molto affidabili; essi permettono, mediante la determinazione di alcuni parametri caratteristici definiti da un apposito studio regionale con elaborazione statistica GEV, la definizione delle curve di possibilità pluviometrica con diversi tempi di ritorno e di determinare la quantità di pioggia specifica per periodi di ritorno compresi tra 5 e 500 anni e per piogge di durata compresa tra 1 e 24 ore. In questo caso la maglia delle celle è inferiore (maglia delle celle = 2,25 km²) e il bacino idrografico di Campana ricade in un'unica cella come mostra la figura seguente.



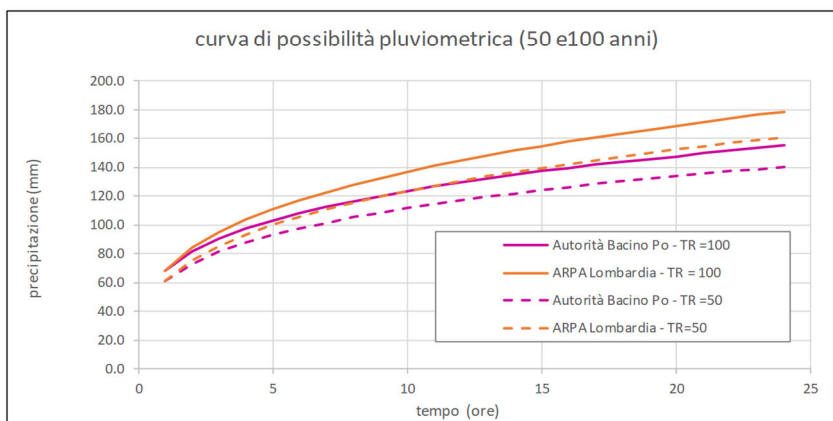
La tabella sottostante riporta i valori dei vari parametri che definiscono le curve di possibilità pluviometrica come ricavati dal sito di ARPA e da quello dell'AdBPo. Le curve di possibilità pluviometrica ottenute da questi parametri per periodo di ritorno di 50 e 100 anni mostrano che la curva ottenuta con i dati ARPA è quella più conservativa, tuttavia è evidente come per valori orari come quelli che dovranno essere valutati come riferimento date le caratteristiche del tempo di corrivazione del bacino di Campana le due curve siano equivalenti.

Pertanto, la curva di possibilità pluviometrica per, piccoli bacini, può essere descritta dalle formule:

ARPA: $h = 61,36 * t^{0.3038}$ per TR = 50 anni e $h = 68,01 * t^{0.3038}$ per TR = 100 anni
 ADBPO: $h = 60,90 * t^{0.263}$ per TR = 50 anni e $h = 68,05 * t^{0.255}$ per TR = 100 anni

		periodo di ritorno T									
		2	5	10	20	30	50	100	200	500	
Autorità Bacino Po (1929-1989)	a	38.88	44.18	48.66	53.09	56.72	60.90	68.05	74.43	82.9	
	n	0.281	0.276	0.272	0.269	0.266	0.263	0.259	0.255	0.252	
ARPA LOMBARDIA (1934-2001)	a	28.27	38.78	45.79	52.55	56.46	61.36	68.01	74.66	84.25	
	n	0.3038	0.3038	0.3038	0.3038	0.3038	0.3038	0.3038	0.3038	0.3038	
a = A1 * w _T		A1	30.29	30.29	30.29	30.29	30.29	30.29	30.29	30.29	
w _T = $\varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$		w _T	0.9333	1.2803	1.5117	1.7350	1.8640	2.0258	2.2452	2.4649	2.7814
		α	0.3039	0.3039	0.3039	0.3039	0.3039	0.3039	0.3039	0.3039	
		κ	-0.0078	-0.0078	-0.0078	-0.0078	-0.0078	-0.0078	-0.0078	-0.0078	
		ε	0.8218	0.8218	0.8218	0.8218	0.8218	0.8218	0.8218	0.8218	

CONFRONTO DATI T_R= 50 100



ALTEZZA PRECIPITAZIONE (mm)	T _R = 50
Autorità Bacino Po (1929-1989)	60.903
ARPA LOMBARDIA (1934-2001)	61.362

ALTEZZA PRECIPITAZIONE (mm)	T _R = 100
Autorità Bacino Po (1929-1989)	68.049
ARPA LOMBARDIA (1934-2001)	68.006

	ARPA Lombardia	AdBPo
T _R	mm	mm
2	28.27	38.88
5	38.78	44.18
10	45.79	48.66
20	52.55	53.09
30	56.46	56.72
50	61.36	60.90
100	68.01	68.05
200	74.66	74.43
500	84.25	82.87

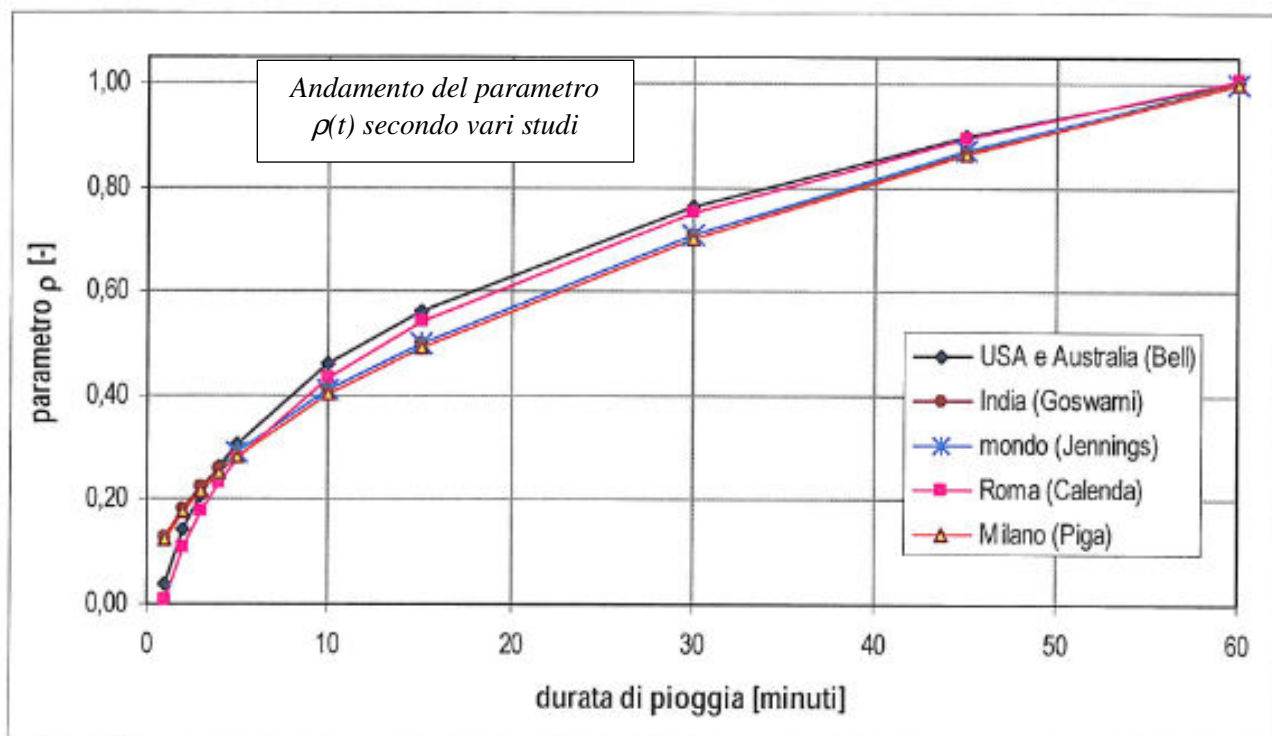
Curva possibilità pluviometrica bacino Campana con elaborazioni AdBPo e ARPA e loro confronto

Tali valori sono validi per bacini con tempo di corrivazione superiore all'ora; nel caso del bacino di Campana Tc è inferiore all'ora e la letteratura riporta la necessità di inserire dei fattori correttivi connessi al rapporto tra l'altezza di pioggia per durata t inferiore all'ora e l'altezza di pioggia oraria:

$$\rho(t) = h(t)/h(1ora)$$

Vari autori (Bell, 1969; Goswami, 1973) hanno notato che tale rapporto risulta essere praticamente indipendente dalla località considerata quando si utilizzino durate brevi (inferiori a due ore), applicando tale soluzione alla valutazione di piogge di durata inferiore all'ora in varie nazioni (USA, Australia, India). Anche studi per la valutazione delle piogge di breve durata nell'area milanese (E.Piga et al, 1990) o altri nell'area romana (G. Calenda et al. 1993) permettono di calcolare il medesimo rapporto.

Il diagramma sottostante riporta tale parametro in funzione della durata di pioggia secondo i vari autori citati. Si osserva come non vi siano sostanziali differenze e come esse siano minime soprattutto nell'intervallo tra 4 e 10 minuti e per valori prossimi all'ora. Il parametro correttivo per l'altezza critica pari al tempo di corrivazione assume un valore medio $\rho(t) = 0,59$, compreso tra 0,55 e 0,63. Utilizzando invece la curva inviluppo delle massime osservazioni (curva conservativa) fra tutte le relazioni proposte ($\rho(t) = 1,015 \cdot t^{0,433}$) si ottiene $\rho(t) = 0,627$. La tabella sottostante fornisce l'altezza critica della pioggia per il tempo di corrivazione in funzione di tali fattori di correzione.



	ALTEZZA PIOGGIA ORARIA (mm)	COEFFICIENTE CORRETTIVO $\rho(t)$	ALTEZZA PIOGGIA CRITICA (t = 19,75 min)
ARPA	68,01	0,627	42,64
ADBPO	68,05	0,627	42,68

In alternativa all'utilizzo di tale formula nella letteratura scientifica viene spesso utilizzato la curva di possibilità climatica specifica con valore "n" pari a 0,5 *in aderenza agli standard suggeriti dalla letteratura tecnica idrologica* (come riportato nel R.R. 22 marzo 2019).

Dopo aver determinato le altezze di pioggia h_c relative ad una ben determinata stazione, si deve tener conto del fatto che esse, ricavate per il punto in cui è collocato il pluviografo, non possono essere ritenute valide anche per aree di dimensioni non piccole attorno al pluviografo stesso. Infatti, poiché per la costruzione delle curve di possibilità climatica si parte dai valori estremi, è probabile che per gli eventi selezionati il centro di scroscio coincida con la posizione dello strumento e che invece, per gli stessi eventi, la precipitazione media su un'area finita attorno al pluviografo sia minore.

$$ARF = 1 - f_1 t^{-f_2}$$

$$f_1 = 0.0394 A^{0.354}$$

$$f_2 = 0.40 - 0.0208 \ln(4.6 - \ln A) \quad \text{per } A < 20 \text{ Km}^2$$

$$f_2 = 0.40 - 0.03832 (4.6 - \ln A)^2 \quad \text{per } 20 < A < 100 \text{ Km}^2$$

con t espresso in ore e A espresso in Km².

Per tener conto di ciò si applica un "coefficiente di ragguglio", che consente appunto di estendere all'area di interesse le informazioni ricavate per la stazione pluviografica considerata. Ad esempio, con la "procedura Wallingford" il coefficiente di ragguglio (ARF) in funzione dei parametri areali per il bacino di Campana è $ARF = 0,983$. L'utilizzo di tale parametro non ha comunque una influenza significativa dal momento che la riduzione della pioggia critica rispetto al valore determinato è inferiore di meno del 2% e che tale errore è insito nell'elaborazione delle piogge stesse.

4.1.3 PORTATA DI MASSIMA PIENA

Per il bacino di Campana viene valutata la portata centennale per fornire indicazioni riguardo la canalizzazione di deviazione da realizzare per evitare problematiche alle abitazioni di Campana.

La portata in funzione del tempo di corrivazione viene determinata attraverso la formula razionale:

$$Q \text{ (m}^3\text{/sec)} = C \cdot h \cdot A / (t \cdot 3.6)$$

dove C = coefficiente di deflusso come calcolato in precedenza (0,34)
 h = piovosità critica nel tempo t (mm)
 A = superficie dell'area del bacino idrografico (km²)
 t = tempo di corrivazione (ore)

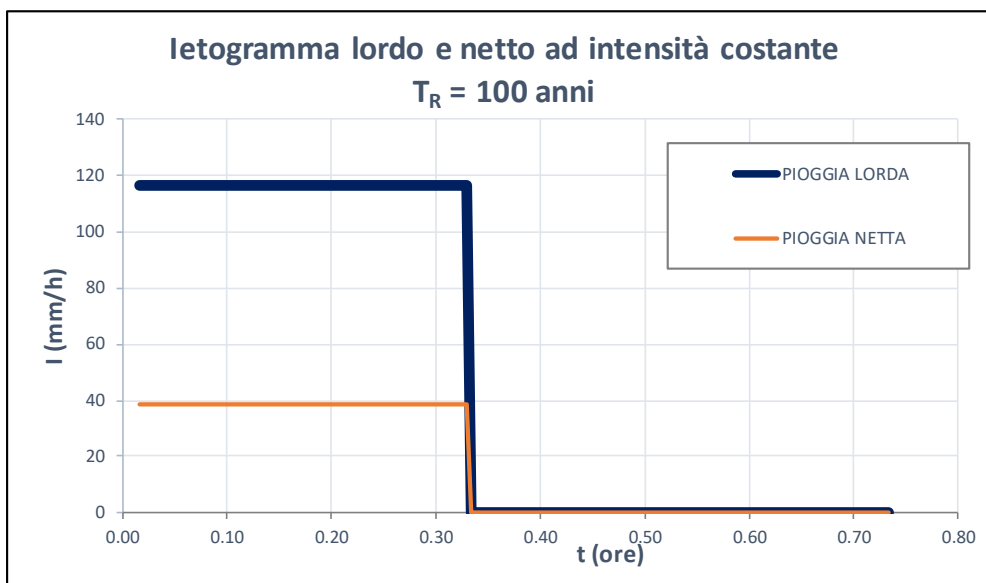
Si ipotizza una distribuzione costante dell'intensità di pioggia per tutto il tempo di corrivazione che nel caso di bacini piccoli o di medie dimensioni tende a sovrastimare, a favore di sicurezza, la portata di picco. Le schede allegate riportano l'andamento della pioggia complessiva e netta, in funzione del coefficiente di deflusso individuato, (scheda "PIOGGIA A INTENSITÀ COSTANTE") e l'andamento della portata in funzione della formula razionale, con portata di picco e volume d'acqua relativo (scheda "PORTATA FORMULA RAZIONALE"). La portata viene calcolata sia con l'utilizzo del coefficiente g di riduzione per tempi di corrivazione inferiori all'ora, sia con l'utilizzo del coefficiente "n" = 0,5.

In particolare, per tempi di ritorno di 100 anni, la portata al colmo è $Q_{100} = 0,92 \div 1,07 \text{ m}^3\text{/sec}$ con coefficiente di deflusso 0,329 utilizzando le due differenti modalità di calcolo. Tale portata è ben confrontabile con quella calcolata nella progettazione preliminare ($Q_{100} = 1,122 \text{ m}^3\text{/sec}$) senza l'utilizzo di procedure raffinate, ma anche con quella contenuta nella relazione idraulica della progettazione definitiva ($Q_{100} = 0,913 \text{ m}^3\text{/sec}$) valutata con un differente ietogramma (Nash).

PIOGGIA A INTENSITÀ COSTANTE

tempo di corrivazione	t_c	ore		0.329
coefficiente di deflusso	C	adim	C1	0.329
intervallo grafico	Δt	min/ore	1	0.0167
tempo di ritorno	T_R	anni		100
altezza pioggia LORDA e RAGGUAGLIATA	$h(t) = ARF \cdot a \cdot t_c^n$	$h(t)$	mm	38.37
altezza pioggia NETTA e RAGGUAGLIATA	$h(t)_1 = C \cdot ARF \cdot a \cdot t_c^n$	$h(t)_1$	mm	12.62
intensità pioggia LORDA costante e RAGG.	$i(t) = ARF \cdot a \cdot t_c^{n-1}$	$i(t)$	mm/ora	116.63
intensità pioggia NETTA e RAGG.	$i(t) = C \cdot ARF \cdot a \cdot t_c^{n-1}$	$i(t)_1$	mm/ora	38.37

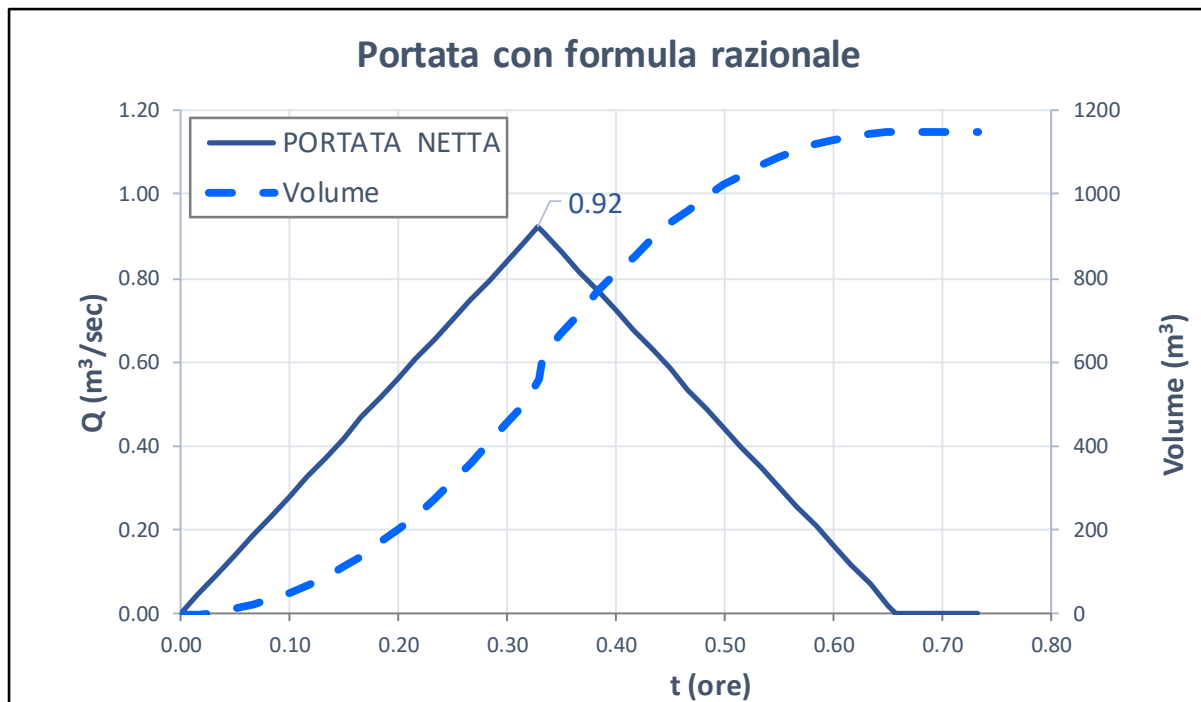
pioggia critica	h (mm)		$\rho(t)$	PIOGGIA LORDA	PIOGGIA NETTA	n	ARF
	a	n		h (mm)	h (mm)		0.983
2	38.883	0.2815	0.627	24.39	8.02	0.5	
5	44.181	0.2761	0.627	27.71	9.12	0.5	
10	48.663	0.2721	0.627	30.52	10.04	0.5	
20	53.091	0.2690	0.627	33.30	10.96	0.5	
30	56.717	0.2659	0.627	35.57	11.70	0.5	
50	60.903	0.2631	0.627	38.20	12.57	0.5	
100	68.049	0.2590	0.627	42.68	14.04	0.5	
200	74.434	0.2550	0.627	46.69	15.36	0.5	
500	82.873	0.2520	0.627	51.98	17.10	0.5	



Pioggia Intensità Costante TR 100 (ADBPO) con curva di possibilità climatica corretta con coefficiente n = 0.5 per piogge critiche con Tc inferiore all'ora

PORTATA FORMULA RAZIONALE

Superficie del bacino	A	km ²	0.092
tempo d corrivazione	t _c	ore	0.329
coefficiente di deflusso	C	adim	0.31
tempo di ritorno	T _R	anni	100
altezza o volume di pioggia NETTA $h(t) = C \cdot ARF \cdot a \cdot t_c^n$	$h(t)_1$	mm	11.90
intensità di pioggia NETTA $i(t) = C \cdot ARF \cdot a \cdot t_c^{n-1}$	$i(t)_1$	mm/ora	36.16
<i>PORTATE E VOLUMI CON C = 0.336</i>			
PORTATA MASSIMA	Q	m ³ /sec	0.92
VOLUME TOTALE	V	m ³	1091.99

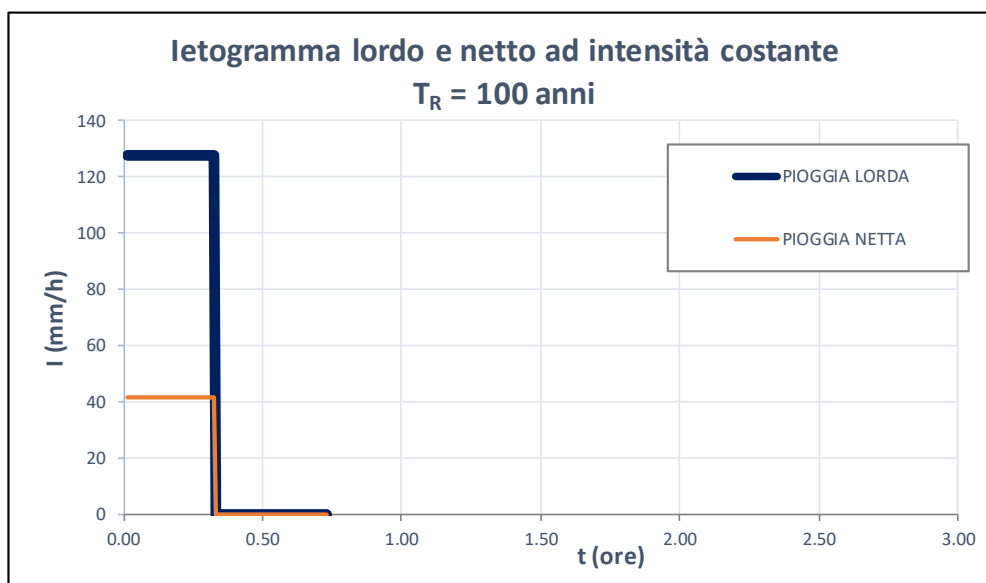


Portata massima TR 100 (ADBPO) con curva di possibilità climatica corretta con coefficiente n = 0.5 per piogge critiche con Tc inferiore all'ora

PIOGGIA A INTENSITÀ COSTANTE

tempo di corrivazione	t_c	ore		0.329
coefficiente di deflusso	C	adim	C1	0.329
intervallo grafico	Δt	min/ore	1	0.0167
tempo di ritorno	T_R	anni		100
altezza pioggia LORDA e RAGGUAGLIATA $h(t) = ARF \cdot a \cdot t_c^n$	$h(t)$	mm		41.96
laltezza pioggia NETTA e RAGGUAGLIATA $h(t)_1 = C \cdot ARF \cdot a \cdot t_c^n$	$h(t)_1$	mm		13.80
intensità pioggia LORDA costante e RAGG. $i(t) = ARF \cdot a \cdot t_c^{n-1}$	$i(t)$	mm/ora		127.54
intensità pioggia NETTA e RAGG. $i(t) = C \cdot ARF \cdot a \cdot t_c^{n-1}$	$i(t)_1$	mm/ora		41.96

pioggia critica	h (mm)		$\rho(t)$	PIOGGIA LORDA	PIOGGIA NETTA	ARF
	a	n		h (mm)		0.983
	2	38.883	0.2815	0.627	24.39	8.02
	5	44.181	0.2761	0.627	27.71	9.12
	10	48.663	0.2721	0.627	30.52	10.04
	20	53.091	0.2690	0.627	33.30	10.96
	30	56.717	0.2659	0.627	35.57	11.70
	50	60.903	0.2631	0.627	38.20	12.57
	100	68.049	0.2590	0.627	42.68	14.04
	200	74.434	0.2550	0.627	46.69	15.36
	500	82.873	0.2520	0.627	51.98	17.10



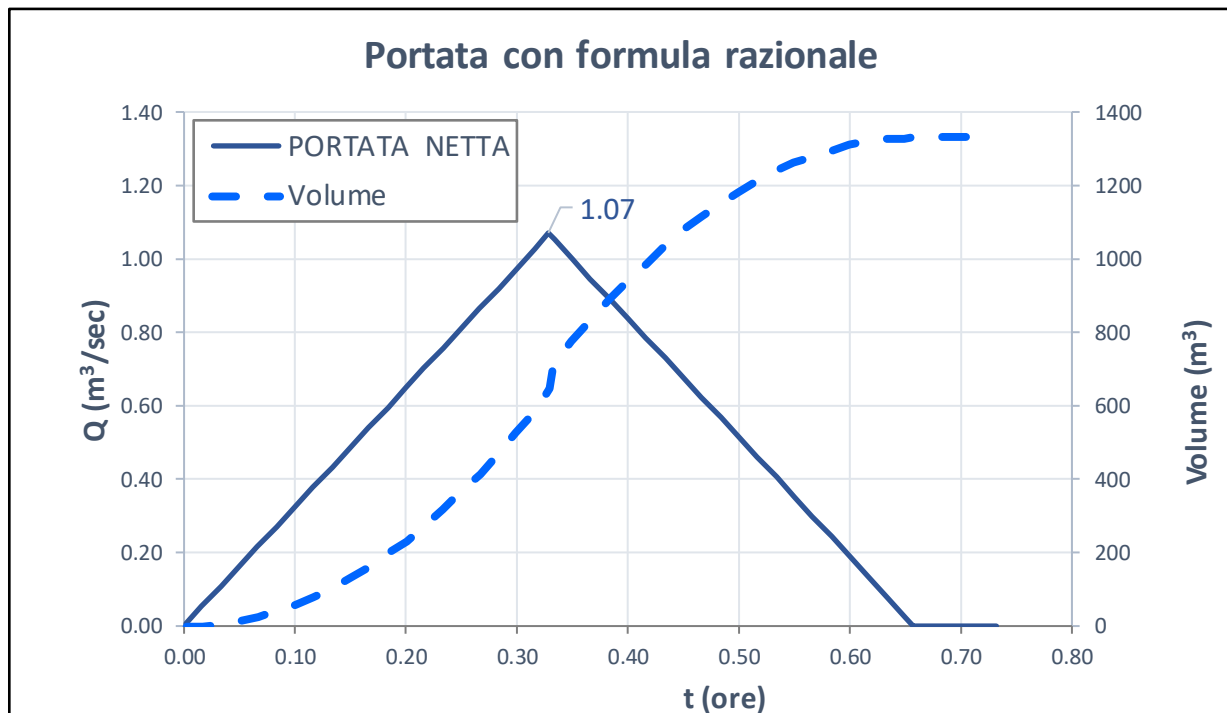
Pioggia Intensità Costante TR 100 (ADBPO) con curva di possibilità pluviometrica corretta con curva inviluppo per intervalli inferiori all'ora (Bell et al.)

PORTATA FORMULA RAZIONALE

Superficie del bacino	A	km ²	0.092
tempo d corrivazione	t _c	ore	0.329
coefficiente di deflusso	C	adim	0.329
tempo di ritorno	T _R	anni	100
altezza o volume di pioggia NETTA $h(t) = C \cdot ARF \cdot a \cdot t_c^n$	$h(t)_1$	mm	13.80
intensità di pioggia NETTA $i(t) = C \cdot ARF \cdot a \cdot t_c^{n-1}$	$i(t)_1$	mm/ora	41.96

PORTATE E VOLUMI CON C = 0.336

PORTATA MASSIMA	Q	m ³ /sec	1.07
VOLUME TOTALE	V	m ³	1267.26



Portata massima TR 100 (ADBPO) con curva di possibilità pluviometrica corretta con curva inviluppo per intervalli inferiori all'ora (Bell et al.)

4.1.4 TRASPORTO SOLIDO

I valori di portata ottenuti con i calcoli eseguiti nella relazione idraulica definitiva o quelli ottenuti in questa sede sono di analoga entità. Questi valori utilizzati per la verifica del calcolo del trasporto solido (Armanini, 1996) portano ai seguenti risultati: $Q_{MAX TS} = m^3/sec 1,10 \div 1,11$, con un incremento di circa il 20% rispetto al valore della portata liquida.

PORTATA SOLIDA			
Armanini, 1996 $Q_{df} = Q_l * (C^x / (C^x - C_{df}))$	angolo di inclinazione alveo	°	6.2
	concentrazione massima ($C^x = tra 0,65 e 0,75$)		0.75
	concentrazione della colata (C_{df})		0.13
	portata massima liquida da rel. idraulica (ietogramma Nash)	m^3/s	0.913
	portata massima della colata (Q_{df})	m^3/s	1.101
	portata massima TR100 ADBPO con $n = 0.5$	m^3/s	0.920
	portata massima della colata (Q_{df})	m^3/s	1.109

Tale valore è solo parzialmente giustificato dalle condizioni d'azione geomorfica presenti nel bacino, dove non si rilevano forme erosive significative; anzi l'assenza di inalveamento dell'asta dell'impluvio e l'abbondante presenza di residui vegetali presso la briglia esistente fanno ritenere che il trasporto solido sia determinato prevalentemente da tale materiale frammisto a terra. A conferma di ciò si nota che la maggior parte del terreno preso in carico durante i precedenti eventi alluvionali che hanno raggiunto la frazione Campana proviene dall'erosione nel settore in cui si prevede di costruire le nuove briglie; qui, infatti, il netto incremento di pendenza dell'alveo, che supera il 60% (30° di inclinazione) favorisce l'erosione del sottile strato di terreno superficiale e mette a nudo il substrato roccioso.

Queste osservazioni consentono di ritenere priva di significato qualsiasi valutazione della magnitudo di un evento critico, anche secondo le varie metodologie proposte da Regione Lombardia per gli ambiti di conoide o per colate detritiche (Allegato 2, D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011), poiché tutte fanno riferimento alla presenza di un effettivo canale di erosione in corrispondenza dell'alveo.

Una stima diretta sulla quantità di terra che un evento piovoso critico può mobilitare (SCHEURINGER, 1988) fa comunque riferimento alle dimensioni dell'alveo e/o alle eventuali erosioni presenti in esso. In tal caso considerando il piccolo solco di erosione, lungo una decina di metri, che si è formato presso la briglia esistente, ed anche i solchi prodotti dal transito di motociclette, dove l'acqua può eventualmente erodere il terreno non più compatto, si può valutare il volume del trasporto solido (fango) in due metri cubi. A questo esiguo volume deve essere aggiunto quello dei resti vegetali (fogliame) che invece è preso in carico più facilmente, lungo un tratto molto più esteso e che può ostruire più facilmente le briglie, come avviene per quella esistente. Non esistono metodologie per valutare la quantità di fogliame, tuttavia sulla base di quanto accumulatosi contro la briglia esistente nell'arco di un anno e dell'abbondanza di vegetazione nel bacino, è possibile stimare un apporto durante l'evento di piena considerato dal progetto di almeno $m^3 8 \div 10$ (lunghezza asta = 425 m; larghezza deflusso = m 1; spessore fogliame = m 0,02).



Confronto tra la situazione dell'alveo presso la briglia esistente nell'aprile 2015 (A = lato monte. B = lato valle) e quella di gennaio 2016 (C = lato monte; D = lato valle). Il fogliame accumulato chiude le feritoie della briglia filtrante; in C si nota anche il piccolo solco d'erosione a monte della briglia.

5. RILEVAMENTO DI DETTAGLIO

Il rilevamento di dettaglio eseguito lungo il tracciato della canalizzazione in progetto e al suo immediato intorno è presentato nella tavola allegata alla presente relazione. Esso ha permesso di riconoscere i caratteri litologici e geomorfologici dell'area e definire, anche mediante alcune indagini geofisiche, il *modello geologico* di riferimento per l'opera di progetto. Con alcune prove dirette si sono caratterizzati sotto il profilo geotecnico i terreni e l'ammasso roccioso quantificando i parametri necessari alle verifiche di stabilità del pendio.

5.1 CARATTERI LITOLOGICI E GEOMORFOLOGICI DI DETTAGLIO

L'area su cui si intende costruire la prima parte della canalizzazione scolmatrice sopra la frazione Campana, compresa tra le nuove briglie e il pozzetto di progetto n.7 presenta diffusi affioramenti rocciosi di calcare selcifero (*"Gruppo del Medolo"*) appena coperti da una sottile e discontinua *coltre eluviale* di spessore decimetrico.

In questo settore la roccia è costituita da strati di medio spessore (cm15÷50), in giacitura suborizzontale o blandamente inclinata verso Nord ($5^{\circ}\div 10^{\circ}$ (franapoggio minore del pendio), cioè in condizioni di stabilità, considerato che l'angolo di attrito interno dell'ammasso calcareo selcifero è maggiore di 30° . Qui le forme di evoluzione geomorfica si limitano a modesti solchi di ruscellamento in corrispondenza dell'impluvio ove si intendono realizzare le nuove briglie o lungo il sentiero a monte di cascina Moia e a qualche decorticamento superficiale per lo sradicamento di alcune piante.



Affioramenti di roccia presso l'intestazione delle nuove briglie (A e B) e sottile strato di terreno che copre la roccia nel primo tratto del nuovo scolmatore (C e D)



Nel tratto compreso tra l'acquedotto e cascina Moia i terreni superficiali mostrano maggior spessore e un grado progressivamente più importante di rimaneggiamento a causa di terrazzamenti, scavi e riporti effettuati per la posa di condotte di scarico o acquedottistiche.

All'interno dell'area terrazzata con antichi muretti a secco in pietra locale, si presenta *terreno eluvio-colluviale limo sabbioso* con qualche scheggia della sottostante roccia in posto. Gli scavi per la posa dello scarico delle acque reflue della cascina ristrutturata hanno messo in luce terreno a granulometria medio-fine e livelli rocciosi alterati; da qui si ricava che lo spessore del terreno superficiale è di quasi due metri, dato confermato dalle indagini sismiche effettuate e dall'altezza dei muri a secco.

La tubazione dell'acquedotto è appoggiata su banchi di roccia o sullo strato d'alterazione regolitica appena soprastante, quindi a una profondità di circa m 1÷1,5 dal piano di campagna; gli scavi di posa della condotta sono stati successivamente riempiti con il materiale di risulta degli stessi scavi (*rinterro*) cioè con pietrisco e pietrame con terra sabbioso-limoso e/o argillosa. Il piano di appoggio della tubazione di scarico della cascina è più superficiale (cm 50÷60), ma ha determinato uno scavo più esteso condotto quasi sull'orizzontale, incidendo alcune balze del terreno terrazzato; in questo caso il materiale di scavo, prevalentemente a granulometria medio-fine, è stato utilizzato soprattutto

per la formazione di *riporti* sul ciglio di alcune balze o di livellamenti di aree a monte e a Ovest del sentiero di via Ca Moia e solo in parte per i rinterri.



Terreno eluvio-colluviale interessato dagli scavi (A) e riporti sulle balze (B); rifacimento di muretto a secco (C)

In questo settore i muri a secco che sostengono i terrazzamenti mostrano cedimenti e lesioni con distacchi di qualche sasso che è rotolato a valle: si tratta di danni dovuti in gran parte a lavori o al transito di mezzi non adatti, come si osservano sul muro di valle del sentiero di via Ca Moia. In altri punti invece i muri sono stati riparati o rinforzati con leganti in seguito a interventi sull'acquedotto. Per altro, sono ancora evidenti, a distanza di qualche anno dall'esecuzione del lavoro, i cigli dello scavo eseguito per la posa delle tubazioni di scarico. In tutti i casi si tratta di elementi geomorfologici che non limitano in alcun modo la realizzazione dell'opera in progetto, ma che indicano la necessità di usare nel prossimo cantiere mezzi meccanici di dimensioni e peso contenuti.

A valle di cascina Moia, dopo un tratto terrazzato e a balze analogo a quello precedentemente descritto, nelle vicinanze del torrente Giongo si presenta diffusamente roccia affiorante in strati con giacitura a franapoggio inclinata meno del pendio ($20^{\circ} \div 25^{\circ}$); ciò nonostante, l'ammasso appare generalmente in buone condizioni di stabilità. Queste rocce sono a tratti appena coperte da un sottile strato di terreno d'alterazione e al passaggio tra terreno e roccia resta dell'umidità e qualche modestissima circolazione d'acqua in occasione di pioggia. Attualmente il ciglio di sponda del torrente Giongo non viene raggiunto nemmeno dal livello di massima piena; in alveo si notano marmitte riempite da *alluvioni* ghiaioso-ciottolose. Limitate forme erosive e franose interessano il versante destro della valle Giongo qualche decina di metri più a monte dell'innesto dello scolmatore.



Ghiaia e ciottoli nell'alveo del torrente Giongo (A) e strati di roccia a franapoggio che scendono direttamente nell'alveo o formano una piccola scarpata sulla sponda sinistra del torrente (A e B)

5.2 INDAGINE SISMICA

Per valutare lo spessore del terreno superficiale nei dintorni di cascina Moia, sono stati esaminati alcuni scavi già eseguiti e sono state effettuate due registrazioni di microtremore ambientale sismico con tecnica HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio) e una prova MASW speditiva, con la quale si è quantificata la velocità delle onde di taglio del primo livello di terreno superficiale.

Le prove, indicate sulla carta geologica di dettaglio, sono state eseguite l'una nel punto in cui il progetto della nuova canalizzazione prevede l'attraversamento dell'acquedotto (pozzetto n.8 di progetto) e l'altra sopra una delle balze attorno a cascina Moia, vicino alla curva del sentiero. La strumentazione utilizzata per entrambe le prove è il "Tromino" ENG di Micromed.

L'analisi del segnale registrato mostra la presenza di disturbi durante le misurazioni; tuttavia, è possibile ottenere spettri di frequenza e ampiezza H/V significativi e coerenti con le prescrizioni dei criteri SESAME (2005) e quindi validi. Il confronto tra la prova TR02 e la TR03 evidenzia forti somiglianze con picchi di amplificazione a frequenze elevate, che indicano il passaggio tra terreno e roccia a poca profondità, come nelle aspettative.

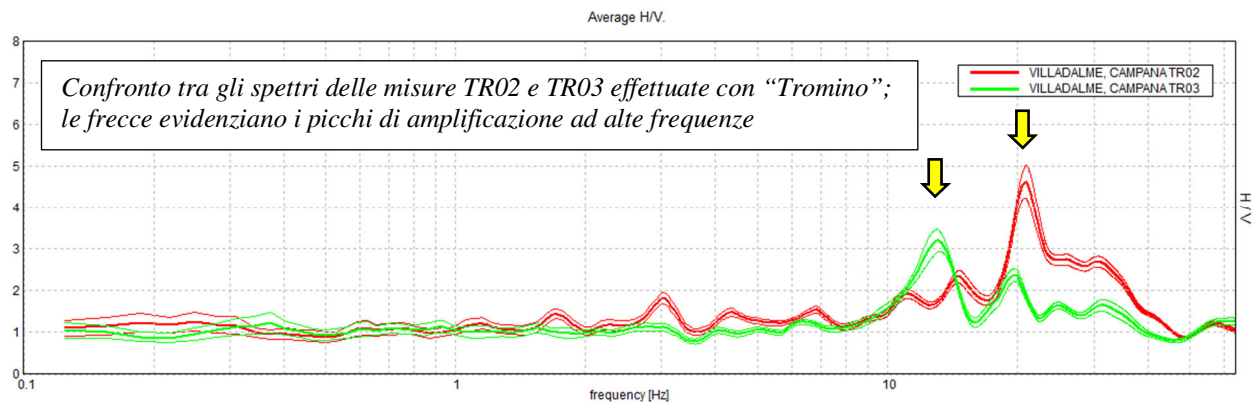
La stratigrafia sismica ricavata da queste indagini consta di uno strato superficiale di terra, spesso circa un metro e mezzo, e di un sottostante livello di roccia alterata in cui la velocità delle onde di taglio aumenta progressivamente con la profondità fino a raggiungere il valore del *bedrock sismico* tra tredici e venti metri dal piano campagna.

Con questa indagine si è valutato anche il parametro VS_{30} , necessario alle verifiche sismiche di dettaglio e per la determinazione della categoria di sottosuolo (D.M. 14 gennaio 2008): nel tratto della canalizzazione in cui la roccia è affiorante o coperta da un sottile terreno d'alterazione (tra la briglia di derivazione e il pozzetto n.7) si considera "categoria di sottosuolo A" con coefficiente stratigrafico $S_s = 1,0$; nel tratto che taglia balze e terrazzamenti, dove sotto un metro e mezzo di terra si trova

roccia molto fratturata ($V_{S30} = 594 \div 612$ m/sec) si rientra nella “categoria di sottosuolo B”, con coefficiente stratigrafico $S_S = 1,2$.

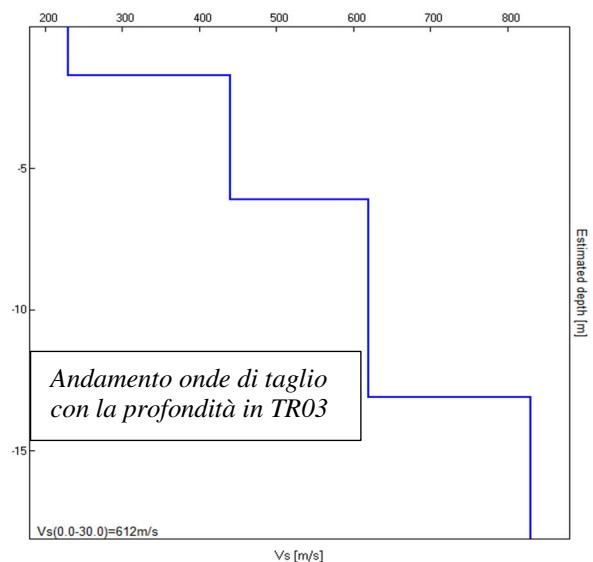
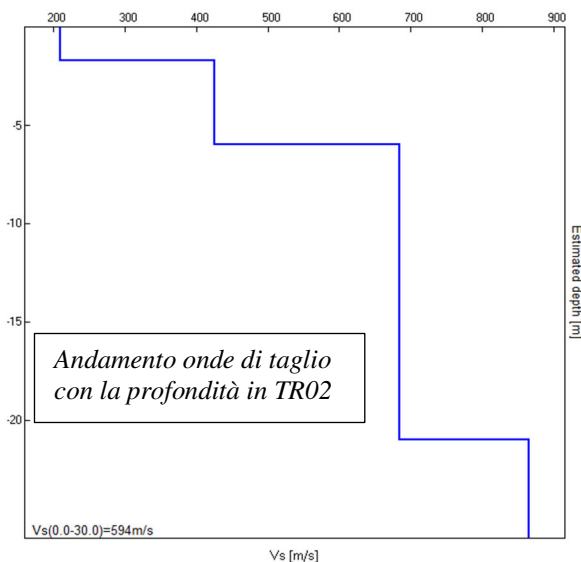
Il tracciato di progetto si svolge sul fianco sinistro del tratto finale della valle Giongo, dove il pendio è inclinato in media di 30° , tra la costa che delimita la vallecchia da derivare e il fondo valle del Giongo; in questo caso si deve utilizzare un coefficiente topografico $S_T = 1,1 \div 1,2$ per il tratto in roccia (fino a pozzetto n.7) e $S_T = 1,0 \div 1,1$ per il tratto che interessa il terreno con terrazzamenti.

Alla pagina seguente sono riportati i valori sismici necessari alle verifiche di stabilità ottenuti col software “Geostru PS” per la categoria di sottosuolo B per il terreno con terrazzamenti.



MISURA HVSR TR02			
Base del livello [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto Poisson
1.70	1.70	210	0.42
6.00	4.30	425	0.42
21.00	15.00	685	0.40
inf.	inf.	865	0.40
$V_s(0.0-30.0) = 594$ m/s			

MISURA HVSR TR03			
Base del livello [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto Poisson
1.70	1.70	230	0.42
6.10	4.40	440	0.42
13.10	7.00	620	0.40
inf.	inf.	830	0.40
$V_s(0.0-30.0) = 612$ m/s			



Via: n°

Comune: Cap

Provincia:

WGS84 (°)

Latitudine:

Longitudine:

Isole:

(1)* Coordinate WGS84 (°)

Latitudine Longitudine

(1)* Coordinate ED50 (°)

Latitudine Longitudine

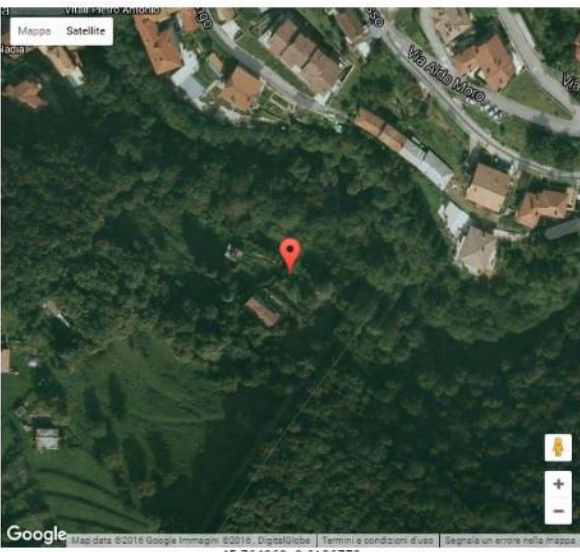
Classe dell'edificio

II. Affollamento normale: Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Cu = 1

Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione



45.764969, 9.6136779

Calcolo dei parametri sismici per il sito di progetto per la categoria di sottosuolo B (software Geostru PS)

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F ₀	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0,026	2,459	0,194
Danno (SLD)	50	0,034	2,501	0,209
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,090	2,466	0,276
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,119	2,459	0,284
Periodo di riferimento per l'azione sismica.	50			

CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

Muri di sostegno Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss * Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
Cc * Coeff. funz categoria	1,53	1,50	1,42	1,41
St * Amplificazione topografica	1,07	1,07	1,07	1,07

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,007	0,009	0,023	0,037
kv	0,003	0,004	0,012	0,018
Amax [m/s²]	0,332	0,429	1,135	1,500
Beta	0,200	0,200	0,200	0,240

* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati.

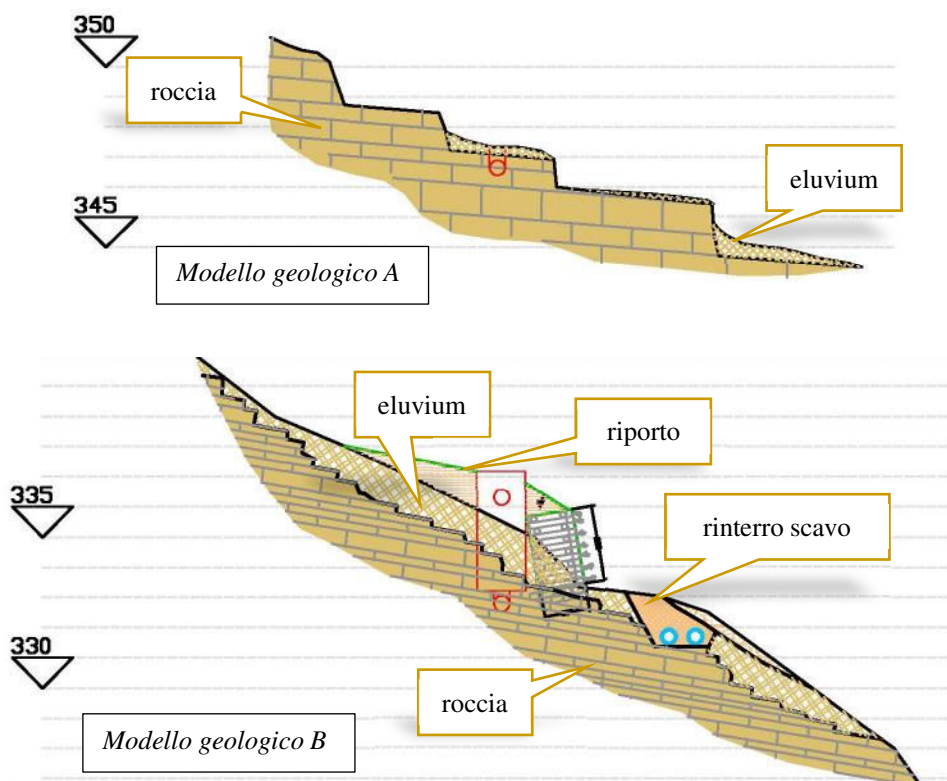
- VITA NOMINALE DELL'OPERA, opera ordinaria: **V_N = 50 anni**
- CLASSE D'USO, costruzione con presenza normale di persone (Classe II): **C_U = 1**
- PERIODO DI RIFERIMENTO DELL'AZIONE SISMICA: **V_R = V_N * C_U = 50 anni**
- STATO LIMITE ULTIMO DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV) con probabilità di superamento pari al 10% del periodo di riferimento V_R: tempo di riferimento **T_R = 475 anni**
- COORDINATE GEOGRAFICHE: **longitudine = 9,613678°; latitudine = 45,764969°;**
- ACCELERAZIONE ORIZZONTALE: **a_g = 0,900 g = 0,090** (valore normalizzato rispetto a g);
- COEFFICIENTE DI SOTTOSUOLO: "classe B"; **S_s = 1,2;**
- COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA: un terzo del pendio con pendenza media = 30°; **S_T = 1,07;**
- ACCELERAZIONE MASSIMA ORIZZONTALE: **a_{gMAX} = a_g * S_s * S_T = 1,135** (0,115 normalizzato);
- COEFFICIENTE DI RIDUZIONE ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA AL SITO: **β_s = 0,2;**
- COEFFICIENTE SISMICO ORIZZONTALE: **K_h = β_s * (a_{gMAX} / g) = 0,023;**

6. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Il *modello geologico* del terreno su cui insiste la canalizzazione in progetto è rappresentato da un pendio inclinato di circa 30° , privo di forme di instabilità e costituito in parte da roccia e in parte da terra sistemata su terrazzamenti agricoli. Nel dettaglio, dunque, occorre distinguere le aree in funzione della presenza di terreno sciolto o di roccia e, per quest'ultima, a seconda dei caratteri strutturali dell'ammasso roccioso: si presentano così due *modelli geologici di riferimento* che, considerata la semplicità della stratigrafia, corrispondono anche ai *modelli geotecnici* da utilizzare per le verifiche di stabilità.

Il pendio interessato dalla costruzione delle briglie e del tratto di canalizzazione interrata (fino al pozzetto n.7) è costituito da strati di roccia con giacitura suborizzontale che caratterizzano nettamente la morfologia del luogo e sono appena coperti da un suolo sottile e discontinuo (*modello A*). Lo stesso modello rappresenta anche la situazione geologica nel tratto finale della canalizzazione presso lo sbocco nel torrente Giongo, dove però l'inclinazione degli strati varia da 10° a 30° .

L'area con i terrazzamenti presenta terreni sciolti dello spessore anche di alcuni metri che stanno sopra un substrato roccioso parzialmente fessurato, con stratificazione suborizzontale o inclinata a franapoggio meno del pendio (10°). Il terreno naturale, prevalentemente limo-sabbioso con un po' di pietrisco, è stato vistosamente rimaneggiato dalla formazione di balze, talora sostenute da muretti a secco (*modello B*).



7. INDAGINI GEOTECNICHE

I caratteri geotecnici di rocce e terreni nell'area di progetto, utili alle verifiche analitiche di stabilità, sono stati definiti mediante l'effettuazione di misurazione geostrutturali sull'ammasso roccioso in un'apposita stazione di rilevamento strutturale e di prove penetrometriche e scissometriche speditive su alcuni fronti di scavo ancora in vista.

7.1 RILEVAMENTO STRUTTURALE

La posizione della stazione strutturale eseguita è indicata sulla mappa allegata alla presente relazione; con le misurazioni eseguite sulla roccia calcareo-selciferata ("Gruppo del Medolo") si sono definiti i parametri geometrici e geomeccanici dei sistemi di discontinuità, necessari per svolgere le verifiche di stabilità del pendio, con particolare riguardo ai cinatismi propri dell'ammasso fratturato. I dati acquisiti sul terreno sono elaborati con alcuni software specifici di geomeccanica ("CSAR" di Bruschi) e/o mediante fogli elettronici in "Excel".

Nella stazione strutturale "ST1" (cfr. scheda seguente), posta poco a valle del sentiero che da cascina Moia raggiunge la valletta interessata dal progetto, si è rilevata la presenza di tre sistemi di discontinuità (fratture), oltre a quello rappresentato dai giunti di strato: essi suddividono l'ammasso roccioso in blocchi di volume medio di 16 dm^3 . La stratificazione è suborizzontale (N25/5) con lievi ondulazioni che portano localmente l'ammasso in giacitura a franapoggio con inclinazione minore del pendio (N30/35); le condizioni dei giunti di strato sono generalmente buone, con apertura limitata a pochi millimetri e solo nelle parti superficiali ed elevata rugosità a scala grande e piccola (JRC = 10-12).

Il calcare selcifero è interessato da due sistemi di frattura perpendicolari ai giunti di strato e molto inclinati verso NNE (K1 = N30/85) e verso ESE (K2 = N100/88); tali fratture sono generalmente poco persistenti e serrate, le loro superfici sono abbastanza lisce e presentano rare patine di ossidazione. Un terzo sistema di fratture (K3 = N60/85), discontinuo, associato alla famiglia K1, crea blocchi a losanga. I sistemi di frattura mostrano una riduzione di circa il 60% della resistenza a compressione ($C_0 = \text{MPa } 53 \div 68$) rispetto al valore nominale della roccia ($C_0 = \text{MPa } 148$); diversamente, i giunti di strato danno invece valori prossimi a quelli della roccia intatta ($C_0 = 109$).

La forte resistenza a compressione e la giacitura suborizzontale degli strati determinano la complessiva stabilità dell'ammasso, per il quale si ravvisa solamente potenziale stacco di blocchi isolati per ribaltamento, come indica l'analisi effettuata con il Test di Matheson.

Con la classificazione geomeccanica (BENIAWSKY, 1989) si assegna a questo ammasso roccioso un valore $\text{RMR}_{\text{base}} = 66 \div 68$, che indica quindi buoni caratteri. L'analisi con il modello costitutivo di HOEK & BROWN, più idoneo per le valutazioni nei casi versante stabile, fornisce valori dei parametri ancora migliori: l'angolo di attrito e la coesione sono medio-alti per l'ammasso ($\phi = 58,6^\circ$ e $c = \text{MPa } 1,72$) e per le famiglie di fratture ($\phi = 45^\circ \div 54^\circ$); il modulo di deformabilità per l'ammasso roccioso è elevato ($E = \text{GPa } 9,3 \div 18,8$).

SCHEDA N. **1** DATA **17-4-2016** PROV. **BG**
COMUNITA' MONTANA **Valle Brembana**
COMUNE **VILLA D'ALMÉ** LOCALITA' **via CA MOIA**
DENOMINAZIONE **ST1** CRT 1:10.000: **C5 a1**
COORD. GAUSS BOAGA **N5068143 E1547627**
QUOTA (m s.l.m.) **340** RILEVATORI **Santambrogio**

SCHEDA TECNICA PER
L'ESECUZIONE
DI RILIEVI STRUTTURALI

LITOTIPO PREVALENTE **Calcere selcifero del Gruppo del Medolo in strati pluridecimetri**

DESCRIZIONE AMMASSO ROCCIOSO **balze rocciose del versante**

DIMENSIONE DELL'AREA DEL RILIEVO STRUTTURALE (mq) **60**

GRADO DI ALTERAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Fresco Leggermente alterato Mediamente alterato Molto alterato Complet. alterato

GIACITURA PARETE **30/35 – 30/40** H: **5÷25 m** FOTO SI NO

TABELLA RIASSUNTIVA DELLE PRINCIPALI FAMIGLIE DI DISCONTINUITA'

SET	GIACITURE	APERTURA (mm)	PERSI STENZA (m)	SPAZIA TURA (cm)	ALTERAZI ONE	RIEMPIMENTO (mm) (mat)		JCS (MPa)	ONDULA ZIONE	RUGOSITA'	JRC	H2O
S	25/5	0-1 (superf.)	>90 (>20 m)	35 (10-50)	WD2/4	0-1	terra	109±40	OND	RU	10-12	A
K1	30/85	0-1	50-90 (1-3 m)	25 (12-43)	WD3/4	0-1	terra	53±30	IRR	LI	8-10	A/ U
K2	100/88	0	50-90 (<1 m)	50 (15-100)	WD2	0	----	68±35	IRR	LI	4-6	A
K3	60/85	0-1	50-90 (1-3 m)	25 (10-45)	WD2/3	0	----	55±30	IRR	LI	6-8	A

INTERCETTA orizzontale (cm)	VOLUME ROCCIOSO UNITARIO (dm ³)	min. 5	RESISTENZA A COMPR. MONOASSIALE (MPa): da Prova di Compressione: da Point Load Test: da martello Schmidt (MPa): 148 (110-168)
INTERCETTA verticale (cm)		med. 16 max. 225	

PERSISTENZA: <50%, 50%< <90%, >90% ; oppure <1 m; 1-3 m; 3-10 m, 10-20 m; >20 m

ALTERAZIONE: WD1 (fresca); WD2 (ossidata); WD3 (alterata senza riempimento);

WD4 (alterata con riempimento); WD5 (profondamente alterata).

RIEMPIMENTO: COesivo; GRanulare; CEmentato; Rlgonfiante.

JCS: resistenza a compressione ricavata dall'indice di rimbalzo misurato con il martello di Schmidt.

ONDULAZIONE: PLanare; ONdulata; SEghettata; IRregolare.

RUGOSITA': LIsce; PIeghettate; RUGose.

JRC: coefficiente di rugosità delle superfici di discontinuità misurato con il Pettine di Barton.

ACQUA: Asciutto; Umido; Bagnato; Stillicidio; Venuta.

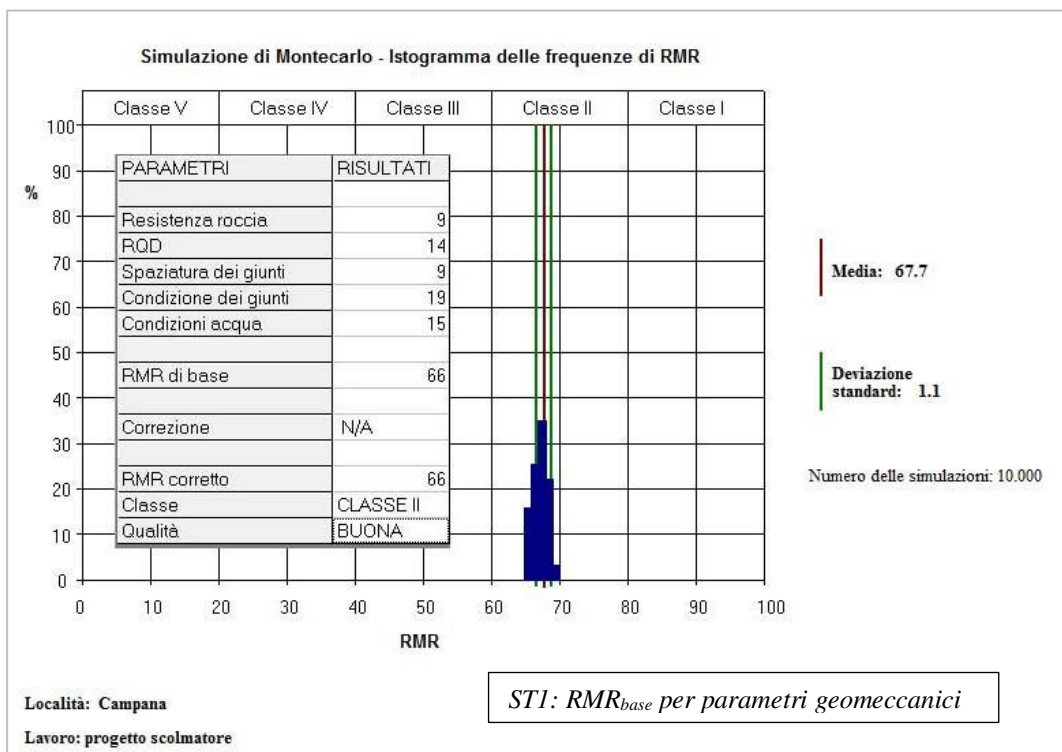
Note: Fronte di scavo naturale. Nei primi 2-3 metri superficiali (ciglio) la roccia è molto fratturata. Eluvium spesso circa cm 10÷30. Verso il torrente Giongo l'inclinazione della stratificazione aumenta (25-30°), mentre rimangono sostanzialmente invariate gli altri sistemi di frattura.

$$RQD = <73\%; J_v = 12,85 \gamma = 2,65 \text{ t/m}^3$$

dove RQD = Rock Quality Designation Index

J_v = numero volumetrico delle discontinuità (N° fratture/m³)

γ = peso specifico o densità della roccia (t/m³)



Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso

Geological Strength Index [GSI]

Da RMR (Bieniawski)

Da Q (Barton)

OK

Parametri di Hoek_Brown

Parametro "m" di picco

Parametro "m" residuo

Parametro "s" di picco

Parametro "s" residuo

Parametri di Hoek_Brown

Deviazione Standard: 0.3624

Deviazione Standard: 0.0315

Deviazione Standard: 0.0089787

Deviazione Standard: 0.0267777

Parametri di Mohr_Coulomb equivalenti

Coesione di picco (Mpa)

Coesione residua (Mpa)

Attrito di picco (°)

Attrito residuo (°)

Parametri di Mohr_Coulomb equivalenti

Deviazione Standard: 0.643

Deviazione Standard: 0.012

Deviazione Standard: 0.7

Deviazione Standard: 0.8

Parametri di Mohr_Coulomb da RMR

Coesione di picco (Mpa)

Coesione residua (Mpa)

Attrito di picco (°)

Attrito residuo (°)

*STI: parametri geomeccanici
ammasso roccioso*

Moduli di Deformabilità

Relazione di Serafim - Pereira Modulo di picco (Gpa)

Relazione di Serafim - Pereira Modulo residuo (GPa)

Relazione di Berardi - Bellingeri Modulo di picco (GPa)

Relazione di Isarevic et al. Modulo di picco (GPa)

Moduli di deformabilità

Deviazione Standard: 1.25

Deviazione Standard: 2.10

Deviazione Standard: 1.96

Deviazione Standard: 3.49

7.2 PROVE PENETROMETRICHE E SCISSOMETRICHE

L'esposizione del terreno in vari fronti di scavo ancora visibili nei pressi di cascina Moia ha permesso di effettuare prove dirette per caratterizzare i parametri geotecnici necessari.

Le misurazioni effettuate con penetrometro a mano forniscono immediatamente la capacità portante ammissibile di questi terreni (Kg/cm^2) ed indirettamente i valori di coesione ed angolo di attrito degli stessi; con lo scissometro tascabile si è ottenuto il valore della coesione non drenata utilizzabile, per le verifiche della stabilità a breve termine dei fronti di scavo. La tabella seguente riporta i valori ottenuti per il terreno di alterazione (*eluvium*) e per quello eluvio-colluviale; il terreno di riporto ha caratteri analoghi a quelli di questi ultimi, con coesione pressoché nulla.

In particolare, per i terreni eluvio-colluviali terrazzati emergono valori di coesione non drenata medio-alti ($c_u = \text{KN/m}^2$ 54), che giustificano le condizioni di stabilità dei pur ripidi fronti di scavo esaminati ($\beta = 65^\circ \div 70^\circ$). La coesione e l'angolo di attrito di entrambi i tipi di terreno sono molto simili ai valori medi relativi a terreni di analoga granulometria.

SENTIERO		profondità (m) da p.c	TIPO DI PROVA	misure in kg/cm^2					MEDIA
PROVA	punto 1	-0.50	PENETROMETRO 6 mm	1.7	1.8	2.5	2.1	2.2	2.06
PP1 e VT1	eluvium argilloso colore bruno con pietrischetto	-0.50	PENETROMETRO 10 mm	3.2	3.3	3.8	3.5	3.5	3.46
		-0.50	SCISSOMETRO	0.4	0.5	0.8	0.6	0.75	0.61

FRONTE DI SCAVO PRESSO CASCINA MOIA		profondità (m) da p.c	TIPO DI PROVA	misure in kg/cm^2					MEDIA
PROVA	punto 2	-0.50	PENETROMETRO 6 mm	1.1	1	1	1.1	1.1	1.06
PP2 e VT2	eluvium e colluvium limo argilloso colore bruno ocraceo	-0.50	PENETROMETRO 10 mm	2.4	2.2	2.4	2.4	2.5	2.38
		-0.50	SCISSOMETRO	0.3	0.4	0.2	0.4	0.3	0.32

PARAMETRI GEOTECNICI		peso specifico	peso specifico saturo	angolo di attrito	coesione	coesione non drenata
		γ	γ_{sat}	ϕ	c	c_u
		kN/m^3	kN/m^3	(°)	kN/m^2	kN/m^2
eluvium argilloso colore bruno con pietrischetto	1	17.65-18.63	18.63-19.61	21-25 23	3.9-7.4 6.0	40-75 61
eluvium e colluvium limo argilloso colore bruno	2 (0.5m)	17.65-18.63	18.63-19.63	25-29 27	3.6-7.3 5.8	20-40 32
eluvium e colluvium limo argilloso colore bruno ocraceo	media spessore m 1,7	17.65-18.63	18.63-19.63	27-31 29	6.9-12.4 9.8	38-68 54

8. VERIFICHE DI STABILITÀ

La stabilità dei pendii rocciosi interessati dalla canalizzazione in progetto è effettuata mediante la valutazione dei possibili cinematismi di movimento e sulla base di classificazioni geomeccaniche elaborate a partire dai dati del rilevamento strutturale.

Il Test di Matheson non indica instabilità generalizzata dell'ammasso, ma solo la possibilità del distacco di alcuni blocchi per ribaltamento; tale cinematismo è stato effettivamente osservato in campagna, ma solo come effetto dello sradicamento di alcuni alberi. Anche i fattori di sicurezza ottenuti con il solo contributo dell'angolo di attrito garantiscono ampiamente la stabilità dell'ammasso ($FS > 3,5$).

La classificazione SMR (*Slope Mass Rating*, ROMANA, 1985), specifica per la stabilità dell'ammasso roccioso, conferma il risultato del Test di Matheson, con un rating $SMR = 72 \div 75$. L'ammasso roccioso è attribuito alla classe II (buona), caratterizzata da stabilità a livello generale.

Anche la classificazione SSPC (*Slope Stability Probabilistic Classification*; HACK, 2002) conferma tale situazione, escludendo per il pendio roccioso interessato dal tratto interrato della canalizzazione la possibilità di scivolamenti planari e a cuneo.

Lo stesso tipo di analisi ha riguardato anche il tratto terminale della canalizzazione, presso la confluenza nel torrente Gioingo. Nonostante l'inclinazione degli strati rocciosi sia maggiore ($i = 25 \div 30$) e analoga a quella del pendio, non emergono situazioni di pericolo, poiché l'angolo di attrito interno dell'ammasso roccioso e dei giunti di strato è elevato ($\phi = 45 \div 54^\circ$) e ciò determina fattori di sicurezza maggiori dell'unità ($FS = 1,73 \div 2,95$).

La classificazione di Romana, pur riducendosi il valore del rating ($SMR = 61 \div 67$), conferma la stabilità dell'area e la classificazione SSPC indica addirittura l'impossibilità di un eventuale scivolamento, poiché l'inclinazione degli strati è la stessa del pendio.

Queste classificazioni non hanno, per loro intrinseca costituzione, la possibilità di valutare l'insorgere di instabilità a seguito di un evento sismico; tuttavia, proprio a causa della prevalente giacitura suborizzontale degli strati, si può affermare che anche in caso di sisma si potrebbe verificare solamente il distacco di qualche singolo blocco, ma non l'innescare di un movimento franoso in roccia.

-----0000000000000000-----

Giaciture del fronte

Immersione del Fronte (°)

Inclinazione del Fronte (°)

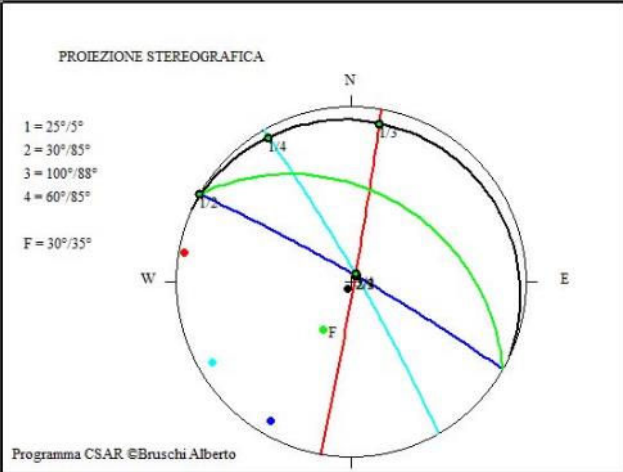
Classificazione di Romana - Scivolamento piano

PARAMETRI	VALORI	VALORI	VALORI
Famiglia	1	2	3
RMR di base	66	66	66
Valore di SMR	72	81	81

Classificazione di Romana - Ribaltamento

PARAMETRI	VALORI	VALORI	VALORI
Famiglia	1	2	3
RMR di base	66	66	66
Valore di SMR	81	81	77

PROIEZIONE STEREOGRAFICA



Classificazione di Romana modificata da Anbalagan per i cunei

PARAMETRI	VALORI	VALORI	VALORI	VALORI	VALORI
Famiglia	1/2	1/3	1/4	2/3	
RMR di base	66	66	66	66	
Valore di SMR	80	75	80	81	

Classificazione di Romana - Condizioni del sito di analisi (Piani e Ribalt.)

PARAMETRI	RISULTATI
Indice SMR	72
Qualità ammasso roccioso	BUONA
Classe ammasso roccioso	CLASSE II
Commento sulla stabilità	Stabile
Commento sul tipo di rottura	Qualche blocco
Commento sugli interventi	Occasionale

Classificazione di Romana mod. - Condizioni del sito di analisi (Cunei)

PARAMETRI	RISULTATI
Indice SMR	75
Qualità ammasso roccioso	BUONA
Classe ammasso roccioso	CLASSE II
Commento sulla stabilità	Stabile

Classificazione SMR nel tratto compreso tra la nuova briglia e il pozzetto n.7

Stabilità non condizionata dall'assetto strutturale

Angolo d'attrito dell'ammasso = 47.3°

Coesione dell'ammasso = 21.8 kPa

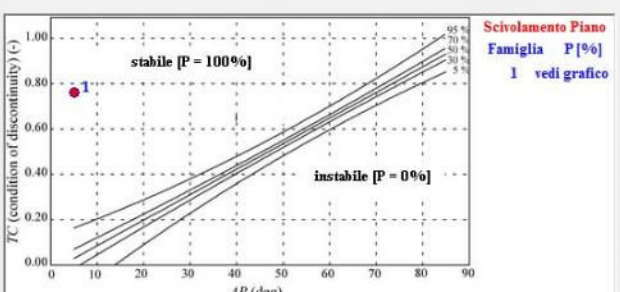
Altezza del fronte = 5 m

Massima altezza possibile del fronte = 59.12 m

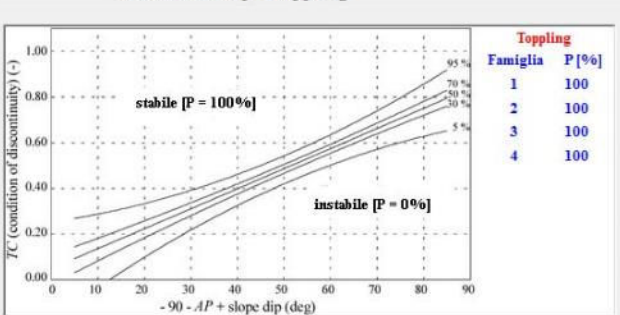
Versante stabile [P = 100%]

Stabilità condizionata dall'assetto strutturale

Scivolamento piano



Ribaltamento per toppling



Classificazione SSPC nel tratto compreso tra la nuova briglia e il pozzetto n.7

Giaciture del fronte

Immersione del Fronte (°)

Inclinazione del Fronte (°)

Classificazione di Romana - Scivolimento piano

PARAMETRI	VALORI	VALORI	VALORI
Famiglia	1	2	3
RMR di base	66	66	66
Valore di SMR	61	81	81

Classificazione di Romana - Ribaltamento

PARAMETRI	VALORI	VALORI	VALORI
Famiglia	1	2	3
RMR di base	66	66	66
Valore di SMR	81	80	80

PROIEZIONE STEREOGRAFICA

Planari Cunei

Classificazione SMR nel tratto presso lo sbocco nel torrente Giongo

Classificazione di Romana modificata da Anbalagan per i cunei

PARAMETRI	VALORI	VALORI	VALORI	VALORI	VALORI
Famiglia	1/2	1/3	1/4	2/3	
RMR di base	66	66	66	66	
Valore di SMR	80	67	80	81	

Classificazione di Romana - Condizioni del sito di analisi (Piani e Ribalt.)

PARAMETRI	RISULTATI
Indice SMR	61
Qualità ammasso roccioso	BUONA
Classe ammasso roccioso	CLASSE II
Commento sulle stabilità	Stabile
Commento sul tipo di rottura	Qualche blocco
Commento sugli interventi	Occasionale

Classificazione di Romana mod. - Condizioni del sito di analisi (Cunei)

PARAMETRI	RISULTATI
Indice SMR	67
Qualità ammasso roccioso	BUONA
Classe ammasso roccioso	CLASSE II
Commento sulla stabilità	Stabile

Stabilità non condizionata dall'assetto strutturale

Angolo d'attrito dell'ammasso = 47.3°

Coesione dell'ammasso = 21.8 kPa

Altezza del fronte = 10 m

Massima altezza possibile del fronte = 26.15 m

Versante stabile [P = 100%]

Stabilità condizionata dall'assetto strutturale

Scivolimento piano

Ribaltamento per toppling

Toppling	
Famiglia	P [%]
1	100
2	100
3	100
4	100

Classificazione SSPC nel tratto presso lo sbocco nel torrente Giongo

Per le verifiche di stabilità della zona terrazzata il *modello geotecnico*, in sintesi, è costituito da uno strato di terreno sciolto di spessore comunque significativo, che poggia su un substrato roccioso eventualmente anche fratturato e la cui superficie è sensibilmente inclinata (circa 30°). Alle verifiche (illustrate nelle pagine precedenti) questa base rocciosa si è comunque rivelata stabile.

In tale situazione lo strato di terreno limo-argilloso di copertura, dello spessore medio di m 1,7, si comporta come un unico orizzonte, con una potenziale superficie di scivolamento al passaggio terreno/roccia, dove può formarsi un velo d'acqua a seguito dell'infiltrazione delle acque piovane, considerato il forte contrasto di permeabilità tra i due diversi corpi geologici. In realtà tale superficie di contatto è frastagliata, come una gradinata ricavata negli strati di roccia suborizzontali (cfr. sezioni geologiche) tuttavia prudenzialmente si considera come una superficie di scivolamento planare inclinata 25° ÷ 30°, utilizzando per l'analisi di stabilità il modello del "pendio indefinito". Tale modello, non tenendo conto né la morfologia superficiale a balze, né le asperità del contatto terreno/roccia, fornisce un fattore di sicurezza sicuramente riduttivi rispetto alla situazione reale.

Le verifiche sono state effettuate in termini di tensioni efficaci (coesione e attrito) e totali (coesione non drenata), con presenza di un sottile velo d'acqua sulla potenziale superficie di scivolamento, considerando anche i parametri sismici dell'area di progetto e, inoltre, utilizzando i fattori riduttivi dei parametri geotecnici, come specifica la Normativa (D.M. 14 gennaio 2008).

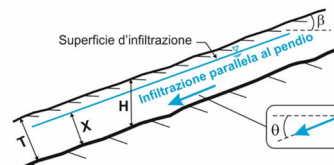
Le varie analisi, riportate in apposite tabelle, indicano che non vi sono condizioni di instabilità e che il fattore di sicurezza è sempre abbondantemente maggiore del valore minimo normativo ($FS_{min} = 1,1$).

In particolare, si nota che la presenza del velo d'acqua riduce solamente di poco meno del 10% il fattore di sicurezza in condizioni drenate (secondo BISHOP & MORGERSTERN, 1960). Anche l'introduzione di azioni sismiche, dato l'esiguo apporto dell'accelerazione orizzontale ($K_h = 0,017 g$), determina una limitata riduzione del fattore di sicurezza (da $FS = 2,91$ a $FS = 2,82$ in condizioni di tensioni efficaci), mentre i fattori di sicurezza determinati in condizioni non drenate risultano di gran lunga i più elevati ($FS > 2$) per il significativo apporto della coesione non drenata.

FATTORE DI SICUREZZA DEL PENDIO INDEFINITO

Dati:

$\gamma =$	18,00	[kN/m ³]
$c' =$	7,84	[kN/m ²]
$\phi' =$	22,2	[gradi]
T =	1,60	[m]
X =	0,20	[m]
H =	1,70	[m]
$\beta =$	25,0	[gradi]

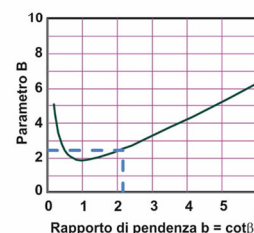
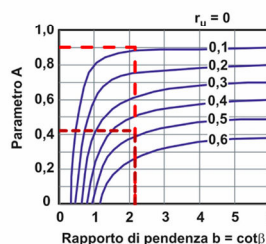


Schema di riferimento

$\gamma_w =$	9,81	[kN/m ³]
--------------	------	----------------------

Calcolo del fattore di sicurezza:

Moto di filtrazione	ru	cot β	A	B	F
Parallelo	0,056	2,14	0,900	2,40	1,40
Orizzontale $\theta = 0^\circ$	0,545	2,14	0,420	2,40	0,98



Grafici dei parametri A e B

Legenda:

$\gamma =$	peso di volume del terreno	$\beta =$	angolo d'inclinazione del pendio
$c' =$	coesione	T =	spessore perpendicolare
$\phi' =$	angolo di attrito	X =	altezza flusso perpendicolare
$\gamma_w =$	peso di volume dell'acqua	H =	altezza verticale
		ru =	coefficiente per la pressione neutra
		A e B =	parametri
		F =	fattore di sicurezza

VERIFICHE DI STABILITA' PENDIO INDEFINITO

DATI		
γ	18	[kN/m ³]
cu	54	[kN/m ²]
c'	9.8	[kN/m ²]
φ'	27	[gradi]
Z	1.7	[m]
β	30	[gradi]
q	10	[kN/m ²]
Kh	0.017	

PARAMETRI DI CALCOLO		
γ	1800	[daN/m ³]
cu rid	0.3857	[daN/cm ²]
c' ridotto	0.0784	[kN/m ²]
φ' ridotto	22.18	[gradi]
Z	1.7	[m]
β	30	[gradi]
q	0.1	[daN/cm ²]
Kh	0.017	

coefficienti riduzione		
γ _c	γ _φ	γ _{cu}
1.25	1.25	1.4

VERIFICHE DI STABILITA' PENDIO INDEFINITO

DATI		
γ	18	[kN/m ³]
cu	54	[kN/m ²]
c'	9.8	[kN/m ²]
φ'	27	[gradi]
Z	1.7	[m]
β	30	[gradi]
q	10	[kN/m ²]
Kh	0.017	

PARAMETRI DI CALCOLO		
γ	1800	[daN/m ³]
cu rid	0.3857	[daN/cm ²]
c' ridotto	0.0784	[kN/m ²]
φ' ridotto	22.18	[gradi]
Z	1.7	[m]
β	30	[gradi]
q	0.1	[daN/cm ²]
Kh	0.017	

coefficienti riduzione		
γ _c	γ _φ	γ _{cu}
1.25	1.25	1.4

TENSIONI TOTALI									
ASSENZA SOVRACCARICO E AZIONI SISMICHE									
q	cosβ	senβ	tanφ'	γ	W	F _H	F _S	F _N	
[daN/cm ²]				[daN/cm ³]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	
0	0.87	0.5	0.000	0.0018	0.306	0.00	0.00	0.00	
$F_s = \frac{(c'/\cos\beta) + (\gamma'z+q)\cos\beta \cdot \tan\phi'}{(g'z+q)\text{sen}\beta}$				FS = 2.91					
PRESENZA DI SOVRACCARICO E ASSENZA AZIONI SISMICHE									
q	cosβ	senβ	tanφ'	γ	W	F _H	F _S	F _N	
[daN/cm ²]				[daN/cm ³]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	
0.1	0.87	0.5	0.000	0.0018	0.306	0.00	0.00	0.00	
$F_s = \frac{(c'/\cos\beta) + (\gamma'z+q)\cos\beta \cdot \tan\phi'}{(g'z+q)\text{sen}\beta}$				FS = 2.194					
ASSENZA DI SOVRACCARICO E PRESENZA DI AZIONI SISMICHE									
q	cosβ	senβ	tanφ'	γ	W	F _H	F _S	F _N	
[daN/cm ²]				[daN/cm ³]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	
0	0.87	0.5	0.000	0.0018	0.306	0.005	0.005	0.003	
$F_s = \frac{(c'/\cos\beta) + ((\gamma'z+q)\cos\beta - F_N) \cdot \tan\phi'}{((g'z+q)\text{sen}\beta) + F_S}$				FS = 2.828					
PRESENZA DI SOVRACCARICO E AZIONI SISMICHE									
q	cosβ	senβ	tanφ'	γ	W	F _H	F _S	F _N	
[daN/cm ²]				[daN/cm ³]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	
0.1	0.87	0.5	0.000	0.0018	0.306	0.007	0.006	0.003	
$F_s = \frac{(c'/\cos\beta) + ((\gamma'z+q)\cos\beta - F_N) \cdot \tan\phi'}{((g'z+q)\text{sen}\beta) + F_S}$				FS = 2.131					

TENSIONI EFFICACI									
ASSENZA SOVRACCARICO E AZIONI SISMICHE									
q	cosβ	senβ	tanφ'	γ	W	F _H	F _S	F _N	
[daN/cm ²]				[daN/cm ³]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	
0	0.87	0.5	0.408	0.0018	0.306	0.00	0.00	0.00	
$F_s = \frac{(c'/\cos\beta) + (\gamma'z+q)\cos\beta \cdot \tan\phi'}{(g'z+q)\text{sen}\beta}$				FS = 1.30					
PRESENZA DI SOVRACCARICO E ASSENZA AZIONI SISMICHE									
q	cosβ	senβ	tanφ'	γ	W	F _H	F _S	F _N	
[daN/cm ²]				[daN/cm ³]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	
0.1	0.87	0.5	0.408	0.0018	0.306	0.00	0.00	0.00	
$F_s = \frac{(c'/\cos\beta) + (\gamma'z+q)\cos\beta \cdot \tan\phi'}{(g'z+q)\text{sen}\beta}$				FS = 1.152					
ASSENZA DI SOVRACCARICO E PRESENZA DI AZIONI SISMICHE									
q	cosβ	senβ	tanφ'	γ	W	F _H	F _S	F _N	
[daN/cm ²]				[daN/cm ³]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	
0	0.87	0.5	0.408	0.0018	0.306	0.005	0.005	0.003	
$F_s = \frac{(c'/\cos\beta) + ((\gamma'z+q)\cos\beta - F_N) \cdot \tan\phi'}{((g'z+q)\text{sen}\beta) + F_S}$				FS = 1.255					
PRESENZA DI SOVRACCARICO E AZIONI SISMICHE									
q	cosβ	senβ	tanφ'	γ	W	F _H	F _S	F _N	
[daN/cm ²]				[daN/cm ³]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	
0.1	0.87	0.5	0.408	0.0018	0.306	0.007	0.006	0.003	
$F_s = \frac{(c'/\cos\beta) + ((\gamma'z+q)\cos\beta - F_N) \cdot \tan\phi'}{((g'z+q)\text{sen}\beta) + F_S}$				FS = 1.112					

9. CONCLUSIONI

Lo studio geologico illustrato in queste pagine, effettuato per valutare la progettazione definitiva e indirizzare la realizzazione di una sistemazione idraulica che ha lo scopo di mettere in sicurezza la frazione Campana di Villa d'Alme nei confronti delle frequenti esondazioni di una vallecchia che si trova a monte del centro abitato, dimostra che tale progetto è fattibile e compatibile con i caratteri litologici e geomorfologici dell'area in cui esso si inserisce.

L'assenza nel compluvio di un alveo ben inciso, la presenza di rocce e terreni limo-argillosi compatti in superficie e di estesa copertura boschiva favoriscono un drenaggio diffuso delle acque piovane senza che si manifestino forme erosive del terreno e trasporto a valle di significativi volumi di detriti.

In caso di deflusso di piena (a seguito di forti temporali), il trasporto solido del corpo idrico consiste infatti in pochi metri cubi di materiale, rappresentato soprattutto da residui vegetali (fogliame e ramaglie), che tuttavia hanno già in parte colmato la briglia esistente.

La portata di massima piena calcolata in funzione delle Direttive dell'Autorità di Bacino del Po e in funzione delle caratteristiche del bacino con superficie estremamente ridotta (0,092 km²) determina portate di massima piena centennale inferiore a 1 mc/s con trasporto solido praticamente inesistente o ridotto principalmente all'accumulo di fogliame. Le analisi condotte sono in linea con quanto verificato in sede di progettazione preliminare e con la relazione idraulica effettuata per questa progettazione definitiva.

La sistemazione in progetto prevede la costruzione di due nuove briglie, una di rallentamento e ulteriore contenimento del trasporto solido e una di derivazione, dalla quale si stacca una canalizzazione "scolmatrice", in parte interrata in parte a cielo aperto, che scaricherà nel torrente Giongo l'acqua raccolta nella valletta.

Una parte del versante interessato dalla costruzione dell'opera è rocciosa, con giacitura suborizzontale degli strati, dunque senza alcun problema di stabilità; tuttavia, nel tratto finale in cui il nuovo canale confluirà nel Giongo sarà necessario che le strutture previste (materassi Reno) siano ancorate al substrato roccioso, ad esempio con barre d'acciaio a aderenza migliorata (spinotti) infisse nella roccia per almeno cm 80, allo scopo di impedirne lo scivolamento.

Nel tratto intermedio della canalizzazione, nei pressi di cascina Moia, la costruzione interesserà terreno limo-argilloso rimaneggiato da vecchie pratiche agricole, con balze sostenute da muri a secco: anche in questo caso le verifiche eseguite indicano condizioni di stabilità. Sempre in questo settore la canalizzazione (interrata) attraversa un acquedotto di interesse sovracomunale, la cui tubazione poggia su base rocciosa a circa un metro e mezzo di profondità. La condotta di progetto deve necessariamente passare sopra quella dell'acquedotto; in tal modo lo scavo sarà più contenuto e non influirà sulla stabilità dell'acquedotto stesso. Nei pressi di questo attraversamento il progetto prevede la costruzione di una palificata doppia: l'appoggio di questo elemento è sicuro, favorito dalla presenza di un ripiano del terreno.

Anche nel tratto a valle di cascina Moia, dove è prevista la costruzione di un canale in pietrame, il quadro geologico non presenta alcuna problematica; qualche limitazione (d'ingombro e di carico) all'operatività del cantiere può venire solo dalla ristrettezza delle vie d'accesso.

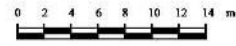
Studio Geoter

dott.geol. Sergio Santambrogio



Ardesio, maggio 2021

CARTA LITO-GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO



LITOLOGIA

- ri riporto sabbioso limoso proveniente da scavi
- rs rinterro con limo sabbioso o argilloso e frammenti rocciosi
- a alluvione ciottolosa del torrente Giongo
- et terreno eluvio-colluviale limo sabbioso terrazzato (sp > cm 50)
- es terreno eluviale limo argilloso discontinuo e sottile (sp < cm 50)
- ME roccia calcarea selcifera in strati e banchi (Gruppo del Medolo)
- strati inclinati
- strati orizzontali

GEOMORFOLOGIA

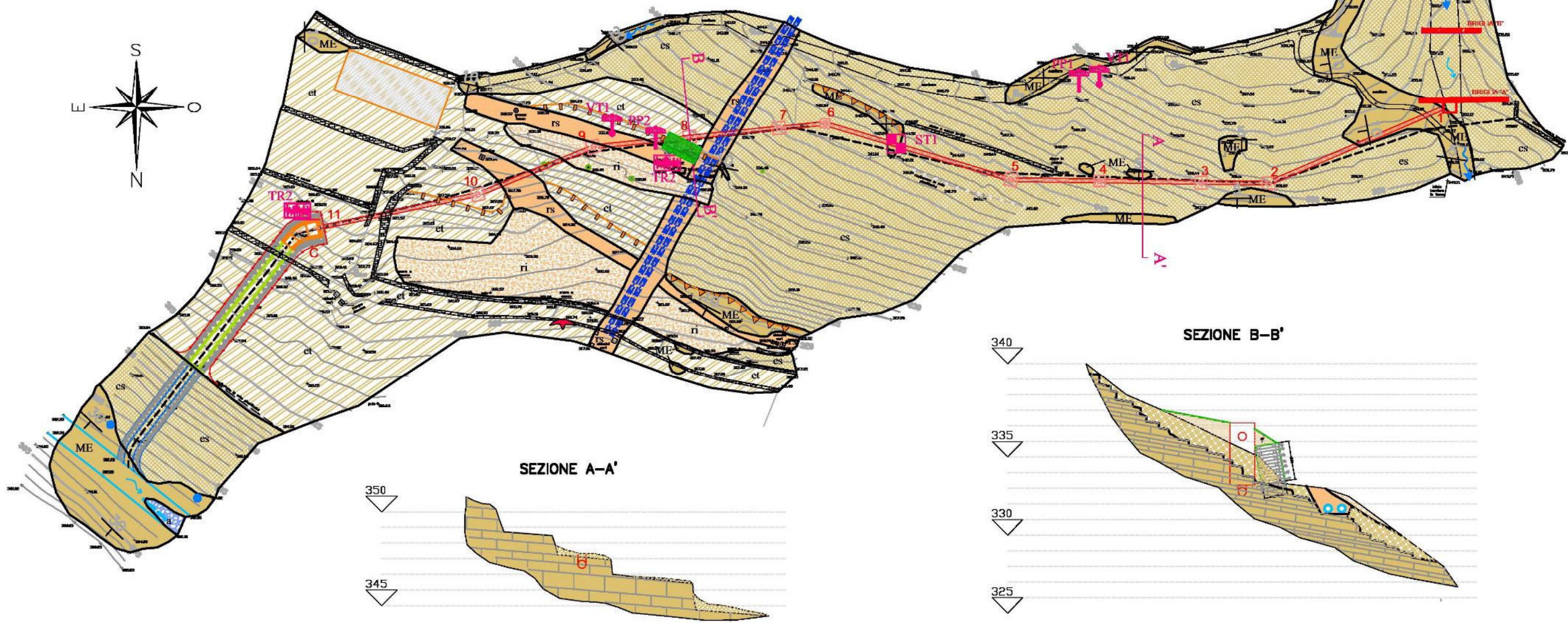
- orlo di erosione in terreno per scavo
- orlo di erosione in roccia per scavo
- cedimento di muretto a secco
- ruscellamento
- venuta d'acqua effimera
- muretto a secco

INDAGINI

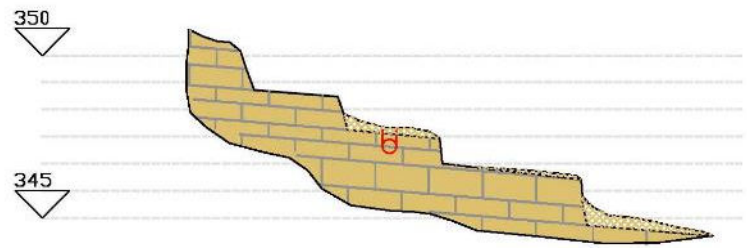
- ST1 rilevamento strutturale
- PP1 pocket penetrometro
- VT1 scissometro tascabile
- TR1 misura HVSR
- A sezioni geologiche

ELEMENTI DI PROGETTO

- Asse fognatura
- Rete Acquedotto in pressione 2 tubi affiancati \varnothing 450 profondità 80-90 cm. sopra tubo
- Briglia esistente
- Rete tubi in progetto
- Nuova cameretta ispezione
- Tratto canale a cielo aperto in pietra locale
- Tratto canale a cielo aperto con materassi metallici e pietrame
- BRIGLIA "B" manufatto di rallentamento
- BRIGLIA "A" manufatto di raccolta e deviazione
- SOSTEGNO TERRENO con palificata doppia viva
- Manufatto di raccordo tra tubo interrato e canale in pietra
- Barriera di protezione in legname



SEZIONE A-A'



SEZIONE B-B'

