

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffeis, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopedonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA



COMUNE DI SONDRIO

(PROVINCIA DI SONDRIO)

PROGETTO PASSERELLA CICLOPEDONALE SULLE CASSANDRE DEL MALLERO A SONDRIO

TAVOLA

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

PROGETTO DEFINITIVO

R.04

Scala 1: -----

☐ FATTIBILITA' ☐ PRELIMINARE ☒ DEFINITIVO ☐ ESECUTIVO ☐ PARTICOLARI ARCHITETTONICI

PRESENTAZIONE

GIUGNO 2019

AGGIORNAMENTO

FVA STUDIO

FRANCESCO VENZI ARCHITETTO

Raggruppamento Temporaneo di Professionisti

ARCH. FRANCESCO VENZI

VIA GAVAZZENI 6 - 23100 SONDRIO
e-mail: francescovenzi@fvastudio.it

ING. MASSIMO MAFFEIS

(Soc. Maffeis Engineering Spa)

ING. PAOLO MONCECCHI

(Studio Moncecchi Associati)

GEOLOGO MAURIZIO AZZOLA

1	PREMESSA	4
2	COMPONENTE GEOLOGICA	6
2.1	METODOLOGIA	6
2.1.1	Sopralluoghi	6
2.1.2	Ispezione con drone e documentazione fotografica	7
2.1.3	Rilievo geologico	7
2.1.4	Sismica passiva	8
2.1.5	indagini geognostiche	14
2.1.6	prove di laboratorio	16
3	GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA	17
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	17
3.2	CONDIZIONI DI STABILITA'	20
3.3	INTERFEROMETRIA RADAR	24
3.4	DIRETTIVA ALLUVIONI	26
3.5	APPROFONDIMENTO SISMICO DI SECONDO LIVELLO (L.R. 12/05 E S.M.I.)	27
3.5.1	INQUADRAMENTO NORMATIVO E D'ANALISI	27
3.5.2	LIQUEFAZIONE	34
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE	35
5	CARATTERIZZAZIONE TERRENI SCIOLTI	41
5.1	STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1	41
5.2	STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2	45
6	CARATTERIZZAZIONE SUBSTRATO ROCCIOSO	46
6.1	SONDAGGIO 1	49
6.2	SONDAGGIO 2	55
6.3	RIEPILOGO CARATTERIZZAZIONE SUBSTRATO ROCCIOSO	57
7	VERIFICA STABILITA' GLOBALE	60
7.1	VERIFICA STABILITA' GLOBALE SITUAZIONE ATTUALE	64
7.2	VERIFICA STABILITA' GLOBALE CON SCAVI APERTI	72
7.3	VERIFICA STABILITA' GLOBALE CON PASSERELLA	79
8	CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE CONCLUSIVE	86
9	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	88

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopeditone sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

Figura 1 corografia intervento	4
Figura 2 estratto catastale	5
Figura 3 ortofoto	5
Figura 4 modello 3d elaborato dalle foto scattate col drone	7
Figura 5 (a) sezione schematica e (b) registr	9
Figura 6 tabella categorie del sottosuolo	10
Figura 7 Spettro del rumore sismico (in termini di velocità, componente verticale del moto) minimo e massimo secondo i modelli standard del servizio geologico USA (USGS) (J. Peterson, Observations and Modelling of Background Seismic Noise, Open-file report 93-32)	11
Figura 8 esempio di risposta sismica	13
Figura 9 esempio di risposta sismica di origine stratigrafica	13
Figura 10 ubicazione sondaggi	15
Figura 11 tabelle dei campioni prelevati	16
Figura 12 stralcio carta geologica	17
Figura 13 legenda carta geologica	18
Figura 14 stralcio carta geologica progetto CARG	19
Figura 15 stralcio IFFI - non sono segnalati dissesti nella zona	20
Figura 16 estratto carta PAI	21
Figura 17 estratto carta di fattibilità classe 3a-4	21
Figura 18 estratto carta di fattibilità classe 3a-4 legenda	22
Figura 19 CTR e risultati interferometria radar	25
Figura 20 estratto carta direttiva alluvioni	27
Figura 21 effetti di sito più importanti legati ad un sisma	28
Figura 22 INGV catalogo parametrico dei terremoti	30
Figura 23 stralcio carta della pericolosità sismica locale	31
Figura 24 legenda	32
Figura 25 tabella categorie profili stratigrafici	33
Figura 26 Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione	34
Figura 27 zonazione sismogenetica del Nord Italia	35
Figura 28 ubicazione dei sondaggi	37
Figura 29 stratigrafia sondaggio 1	38
Figura 30 stratigrafia sondaggio 2	40
Figura 31 classificazione di Beniauskas	47
Figura 32 classificazione delle discontinuità	48
Figura 33 coefficiente correttivo C	48
Figura 34 classe di qualità	48
Figura 35 caratteristiche delle classi	49
Figura 36 caratteristiche delle classi SMR	49
Figura 37 sondaggio 1 cassetta 3	50
Figura 38 tabella RMR	57
Figura 39 parametri sismici	60
Figura 40 verifica stabilità 1	65
Figura 41 verifica stabilità 21	72
Figura 42 schema carichi passerella	79
Figura 43 schema carichi passerella	79
Figura 41 verifica stabilità 21	80
Figura 47 modello 3D gola delle Cassandre	88
Figura 48 modello 3D gola delle Cassandre vista da sud	88
Figura 49 zona di attraversamento Cassandre	89
Figura 50 sponda SX zona di arrivo passerella	89
Figura 51 sponda destra zona di arrivo passerella	90
Figura 52 zona spalla destra	90
Figura 53 parete rocciosa sponda DX	91
Figura 54 sponda sinistra zona sondaggi	91
Figura 55 zona spalla sinistra	92
Figura 56 sponda sinistra parete rocciosa	92

1 PREMESSA

L'indagine in corso, commissionata dalla Amministrazione Comunale di Sondrio è finalizzata a descrivere le caratteristiche geologiche-geotecniche e sismiche dei terreni dove si intende **realizzazione di una passerella ciclopeditonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio**

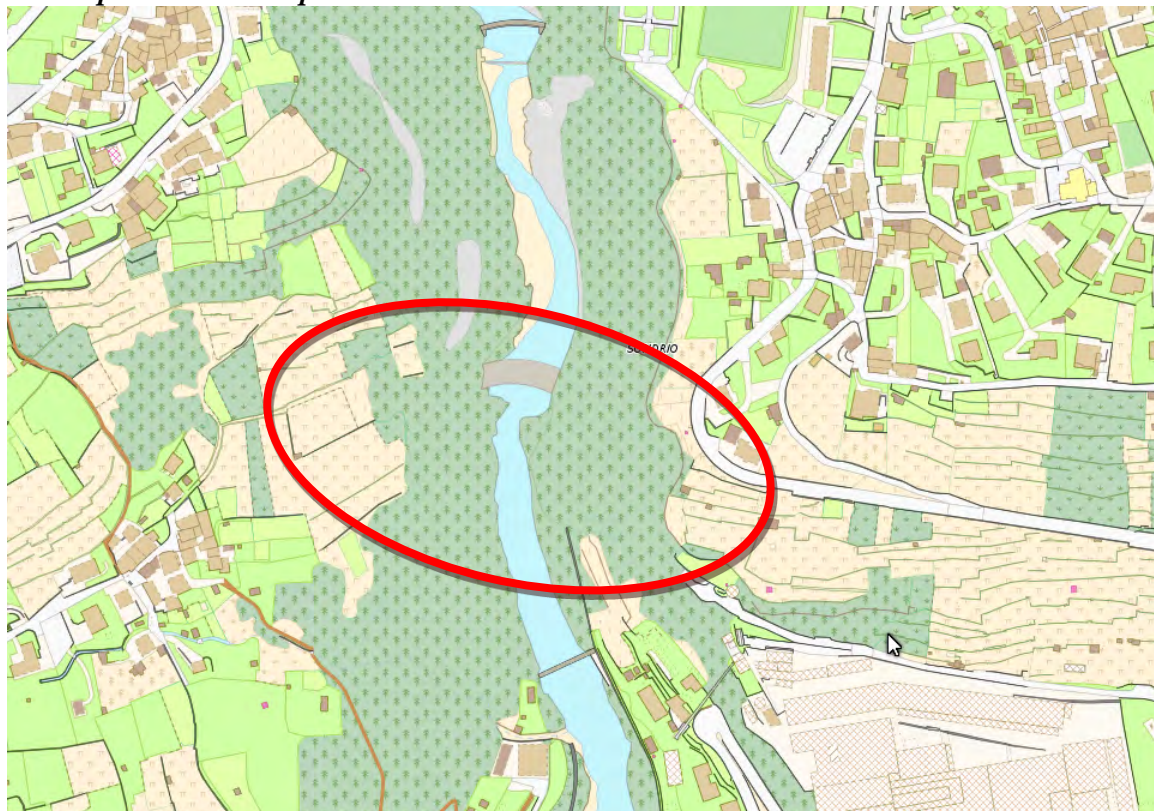


Figura 1 corografia intervento

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopeditonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

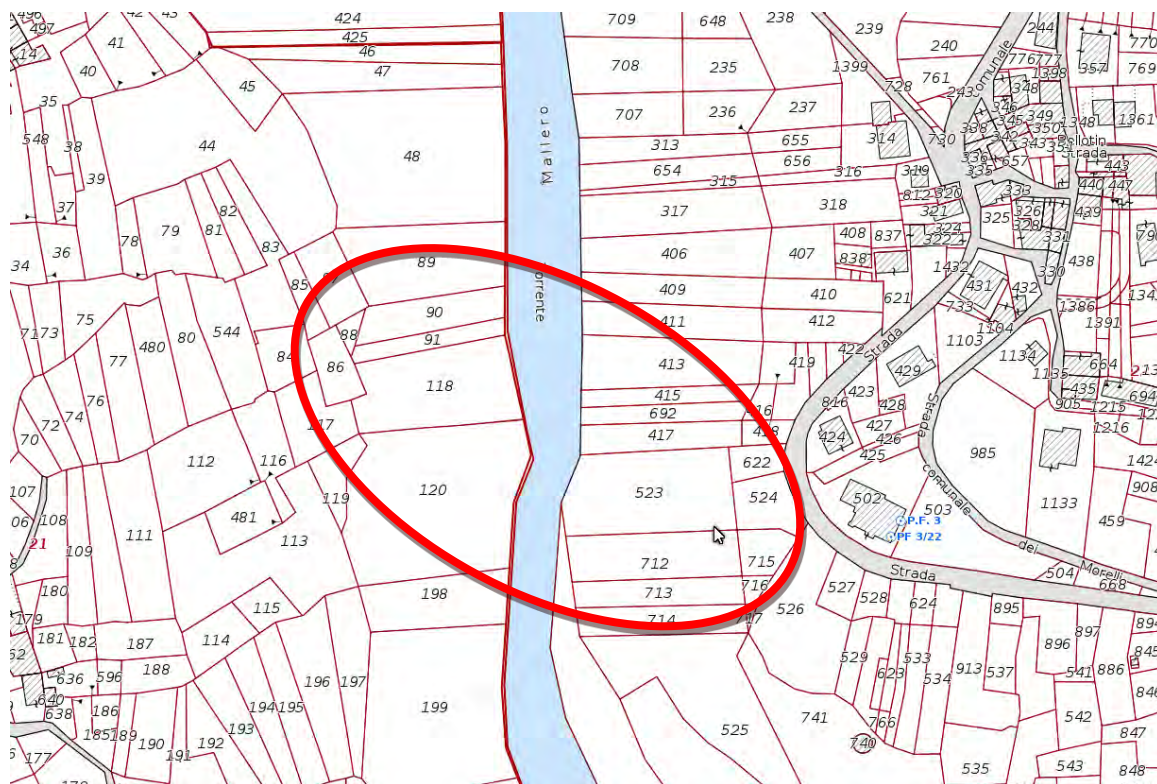


Figura 2 estratto catastale



Figura 3 ortofoto

2 COMPONENTE GEOLOGICA

Lo studio geologico, geotecnico e sismico ha la finalità di:

- a) Definire la categoria del suolo di fondazione e la classe di zonazione sismica, ai sensi della nuova normativa sismica (ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003).
- b) Assumere il modello stratigrafico e geotecnico per le verifiche di capacità portante, di stabilità dei terreni di fondazione e scavo.
- c) Definire i parametri geotecnici necessari per il dimensionamento delle strutture di fondazione.
- d) Indicare i valori di portata agli Stati Limite (NTC2018) ed i relativi cedimenti per le possibili soluzioni di fondazione.
- e) Indicare, le possibili soluzioni e modalità d'apertura degli scavi e, ove necessario, le possibili soluzioni per il sostegno degli stessi.

2.1 METODOLOGIA

Per descrivere la situazione geologica della zona in esame sono state eseguite le seguenti

fasi di lavoro:

- **Sopralluoghi**
- **Ispezione con drone e documentazione fotografica**
- **Rilievo geologico**
- **Indagine sismica passiva**
- **indagini geognostiche**
- **prove di laboratorio**

2.1.1 Sopralluoghi

Si sono eseguiti diversi sopralluoghi sia in sponda destra che in sponda sinistra nella zona delle fondazioni della passerella e anche lungo l'alveo inciso del Mallero.

2.1.2 Ispezione con drone e documentazione fotografica

La gola delle cassandre è di difficile accesso in quanto presenta pareti subverticali; si è provveduto ad eseguire ispezioni con documentazione fotografica mediante drone. Con diverse missioni si sono ispezionate le pareti rocciose e scattate fotografie che unite al rilievo col Laser Scanner hanno permesso una ricostruzione topografica precisa della zona.



Figura 4 modello 3d elaborato dalle foto scattate col drone

2.1.3 Rilievo geologico

I sopralluoghi e le osservazioni con drone hanno permesso di determinare la situazione geologica locale confrontata poi con la documentazione bibliografica esistente.

2.1.4 Sismica passiva

È stata eseguita una indagine geofisica col metodo della sismica passiva.

Stante le caratteristiche geomorfologiche caratterizzata da variazioni litologiche altimetriche e laterali rilevanti si è adottato il sistema della sismica passiva che in queste situazioni litostratigrafiche da buoni risultati e permette di individuare il valore di V_{seq} richiesto dalla normativa recente e, molto importante, di misurare direttamente la frequenza di risonanza del sito.

Recenti studi evidenziano infatti, come in molti casi l'amplificazione è dovuta a fenomeni di risonanza di terreni incoerenti stratificati al di sopra del bedrock. Fenomeni di riflessione e rifrazione delle onde sismiche alle interfacce di discontinuità tra i due tipi di terreno portano, infatti, all'intrappolamento delle onde sismiche nello strato superficiale e alla successiva amplificazione; tale configurazione geomorfologica facilita anche la propagazione delle Onde di Love, che sono tra i tipi di onde sismiche più distruttive.

In pratica lo scuotimento e la durata di un sisma possono essere modificati, il più delle volte amplificati, dalle condizioni geologiche prossime alla superficie. Queste variazioni del moto sismico sono chiamati effetti **di sito**.

Questi effetti possono essere quantificati e sono connessi alle condizioni stratigrafiche e topografiche inoltre, se la frequenza di risonanza del sito, corrisponde con quella della struttura in progetto anche un terremoto non particolarmente intenso può produrre danni gravi..

Nello schema sottostante si vede che a parità di magnitudo del terremoto la risposta superficiale è moto diversa in funzione della posizione e della litologia sottostante.

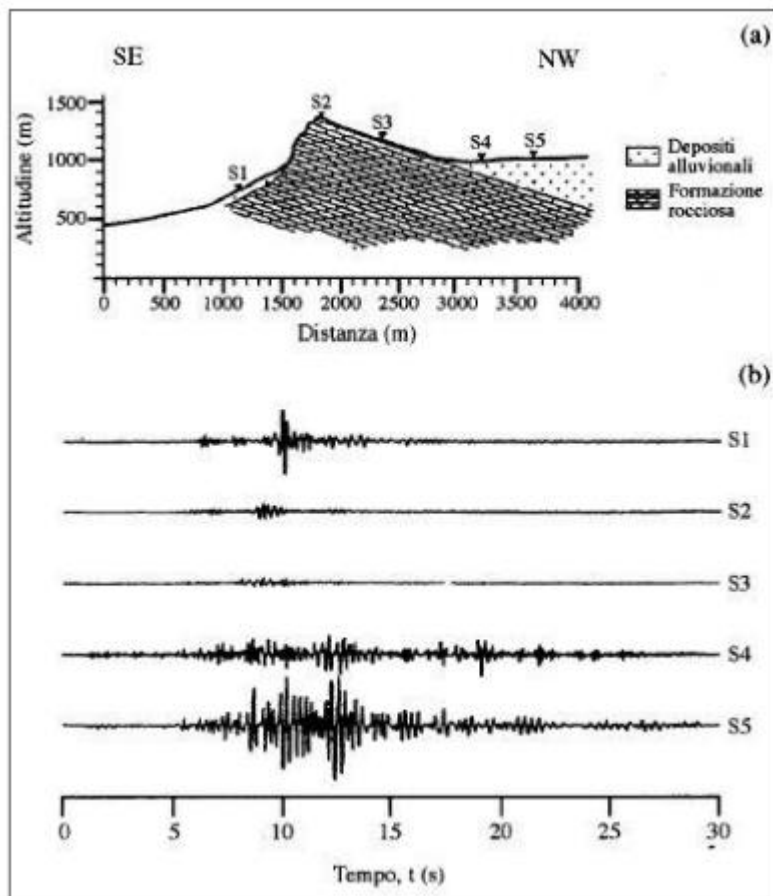


Figura 5 (a) sezione schematica e (b) registr

La stazione di misura di sismica passiva premette di ottenere indicazioni 'puntuali' sulla stratigrafia sismica sotto il punto di misura, dato utile per ricostruire la stratigrafia geologica, oltre che di individuare la categoria del sottosuolo secondo quanto richiesto dalla normativa recente.

Per determinare i parametri geologici indispensabili per la progettazione tra l'altro la normativa prevede la individuazione della pericolosità sismica di base del sito di costruzione per poter individuare la categoria del sottosuolo secondo la tabella seguente.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi</i> 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..
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa</i> molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa</i> 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
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente</i> 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
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità</i> equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.
Tabella 3.2.II – Categorie del sottosuolo DECRETO 17 gennaio 2018 . Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».	

Figura 6 tabella categorie del sottosuolo

Le tecniche di sismica passiva a stazione singola forniscono:

- le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo,
- indicazioni 'puntuali' sulla stratigrafia sismica sotto il punto di misura,
- e, tramite opportuna inversione, l'andamento della velocità delle onde di taglio (V_s , parametro a cui è legata la rigidità del terreno) nel sottosuolo.

Per la registrazione del rumore sismico si è usato uno specifico strumento registratore (Tromino®) che per 20 minuti ha monitorato i microtrempi sismici in seguito elaborati mediante un software dedicato.

La sismica passiva si basa sull'analisi di registrazioni di perturbazioni elastiche naturali .

Il rumore sismico è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P ed S negli strati superficiali. Il rumore sismico viene prodotto principalmente dal vento e dalle onde del mare. Anche le industrie e il traffico veicolare producono localmente rumore sismico ma, in genere, solo a frequenze relativamente alte, superiori ad alcuni Hz, che vengono attenuate piuttosto rapidamente.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale, in assenza di vento e nel caso in cui il terreno sia roccioso e pianeggiante, lo spettro di rumore sismico è quello mostrato in Figura 7, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo 'minimo' di riferimento secondo il servizio geologico statunitense (USGS) mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore.

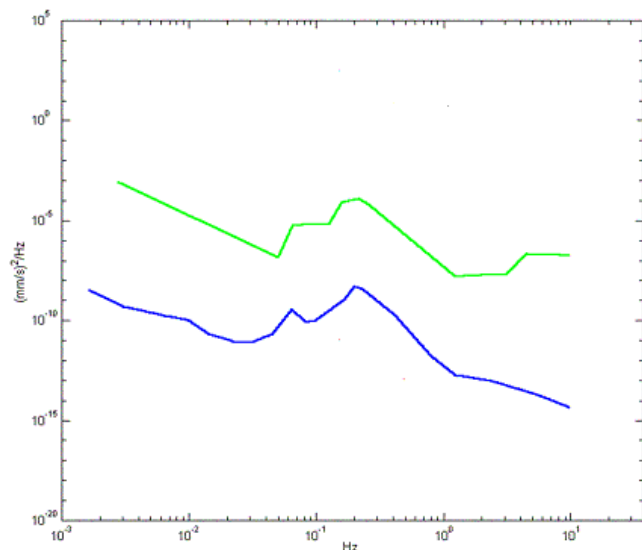


Figura 7 Spettro del rumore sismico (in termini di velocità, componente verticale del moto) minimo e massimo secondo i modelli standard del servizio geologico USA (USGS) (J. Peterson, Observations and Modelling of Background Seismic Noise, Open-file report 93-32)

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata di 20 minuti ciascuna, sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore,

amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati: - le curve HVSR, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s, lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore ad 2,
- rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti. le curve dello spettro di velocità delle tre componenti.

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock) le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e v la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

Nei casi più complessi si sono invertite le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare ottimale il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

Per facilitare l'interpretazione delle curve HVSR, in questa sezione si illustrano sinteticamente alcune casistiche generali. I picchi HVSR o H/V si spostano da basse ad alte frequenze mano a mano che il contrasto di impedenza si sposta da condizioni profonde a condizioni superficiali. Nella figura seguente sono rappresentati i picchi relativi al contatto sedimenti vs. bedrock in 3 situazioni: profonda (1500 m), intermedia (30 m) e superficiale (6 m).

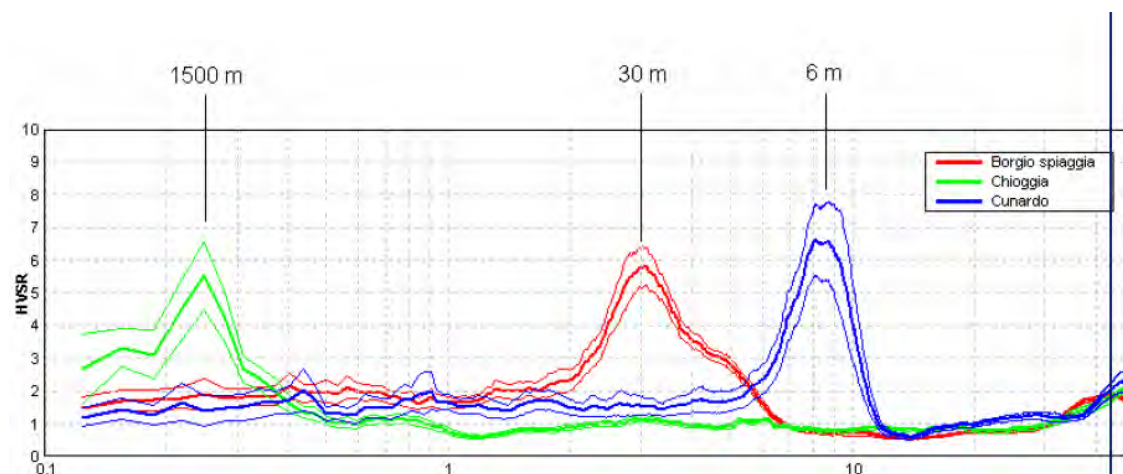


Figura 8 esempio di risposta sismica

Una curva HVSr piatta e pari a 1, come accade sotto 2 Hz nelle curve blu e rossa e sotto 0.25 Hz nella curva verde, indica la presenza del bedrock.

I picchi H/V vanno interpretati come di origine stratigrafica quando sono determinati da un minimo locale della componente spettrale verticale (curva magenta in Figura seguente) con o senza un massimo, alla stessa frequenza, delle componenti spettrali orizzontali, seguiti, a frequenza all'incirca doppia, da un massimo in tutte e tre le componenti del moto

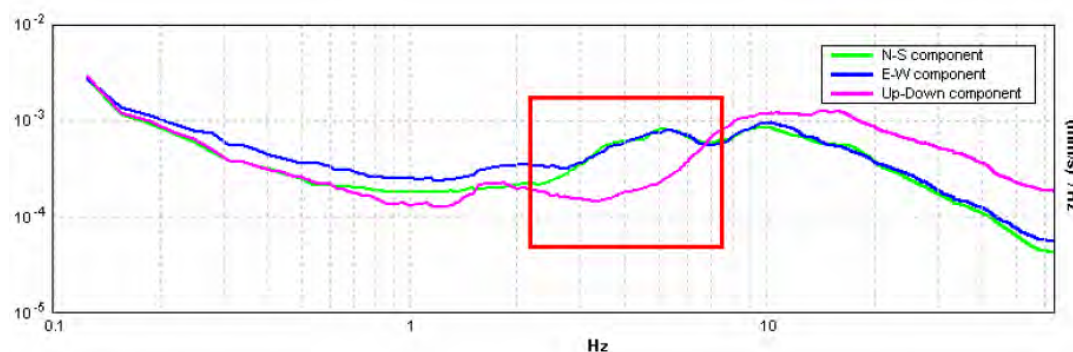


Figura 9 esempio di risposta sismica di origine stratigrafica

2.1.5 indagini geognostiche

La ditta In-Co srl. ha provveduto ad eseguire i 2 sondaggi geognostici di 25 e 28 metri m con carotaggio continuo e prove SPT per foro ed ad inviare al laboratorio campioni di carote per le prove.



Figura 10 ubicazione sondaggi

2.1.6 prove di laboratorio

I provini raccolti sono stati analizzati dal laboratorio ALTAIR srl (*Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prove terre (settore "a") e rocce D.P.R. 06.06.2001 n.380 art. 59 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n. 52505 del 11.10.2004 e successivi rinnovi Laboratorio Certificato UNI EN ISO 9001:2008 ICMQ n.11353 del 28.10.2011*)

Di seguito si riportano i risultati delle analisi e prove eseguite

SONDAGGIO SX PONCHIERA			
da	a	CAMPIONI	PROVA
12,60	12,8	SX1	C.M
15,00	15,25	SX2	C.M.
18,60	18,8	SX3	P.L.S.T. diam
21,80	22	SX4	P.L.S.T. diam

SONDAGGIO DX MOSSINI			
da	a	CAMPIONI	PROVA
4,20	4,6	DX1	P.L.S.T. diam
7,00	7,2	DX2	P.L.S.T. diam
12,80	12,9	2 x DX3	P.L.S.T. assiale
17,70	18	DX4	C.M
21,30	21,5	DX5	C.M.
25,10	25,3	DX6	P.L.S.T. diam

Figura 11 tabelle dei campioni prelevati

Le prove sono state eseguite secondo le modalità Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio dell' AGI

3 GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La passerella in progetto scavalca la gola delle cassandre sul Mallero e ha bisogno di due punti di appoggio ed ancoraggio: uno in sponda destra a sud est di Mossini e uno a sud ovest di Ponchiera.

Il fiume Mallero ha inciso profondamente sia la copertura detritico morenica e/o alluvionale che il substrato roccioso producendo una stretta gola con pareti sub verticali.

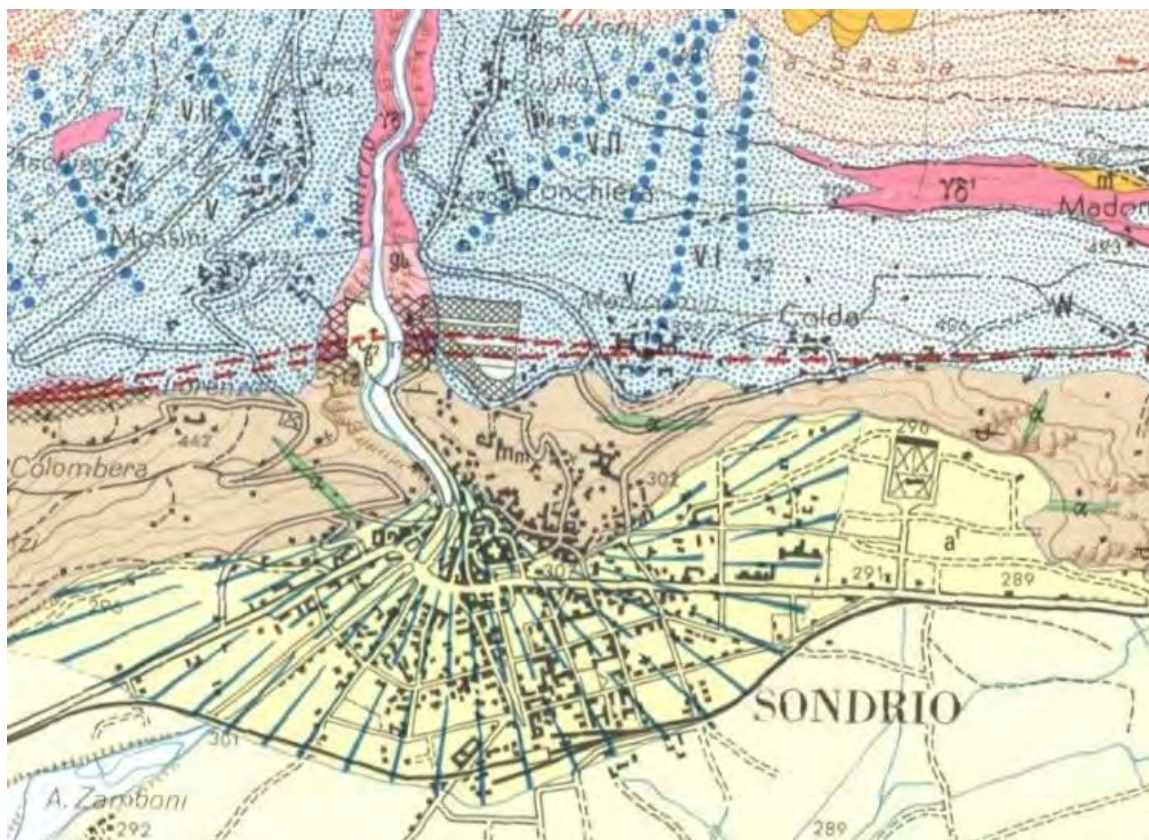


Figura 12 stralcio carta geologica

AUSTROALPINO SUPERIORE (SISTEMA DI LANGUARD-TONALE)

CRISTALLINO DEL "TONALE" (FALDA "CAMPO" AUCT.)

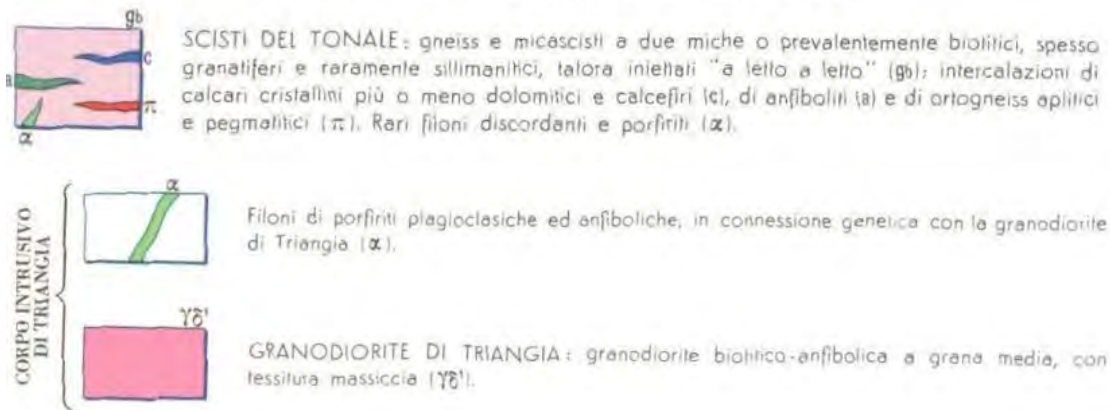


Figura 13 legenda carta geologica

La passerella è ubicata immediatamente a monte della faglia Insubrica.

Tale linea è chiamata anche linea Iorio-Tonale, dal nome di due passi che attraversa, ed è anche considerata il punto d'incontro tra la placca africana e quella europea. La linea Insubrica costituisce una delle maggiori faglie di tutto l'arco alpino e ha condizionato il substrato roccioso dove sono previsti gli ancoraggi della passerella conferendo al substrato roccioso un allineamento est-ovest.

Nello specifico secondo questa cartografia il substrato roccioso è costituito dagli scisti del tonale immediatamente a sud del contatto con la Granodiorite di Triangia

In realtà i sondaggi geognostici hanno dimostrato che il substrato roccioso nella zona di fondazione è costituito da Granodiorite di Triangia.

La nuova cartografia di maggior dettaglio del CARG nel foglio Sondrio indica il substrato roccioso della zona della passerella come appartenente alla formazione delle TONALITI DI TRIANGIA (tra)

Tonaliti biotitico-anfiboliche e graniti a grana fine filoniani affiorano per circa 1 km in destra e sinistra idrografica, nella porzione terminale del Torrente Mallero. In quest'affioramento il granito è ricco d'inclusi tonalitici di varia dimensione di colore molto scuro, costituiti da orneblenda e plagioclasio, nonché di xenoliti di metamorfiti in facies molto laminata. Inoltre, un piccolo corpo granitico simile ad un'aplite, a grana fine si trova in prossimità del contatto con le rocce incassanti nella parte centrale dell'affioramento.

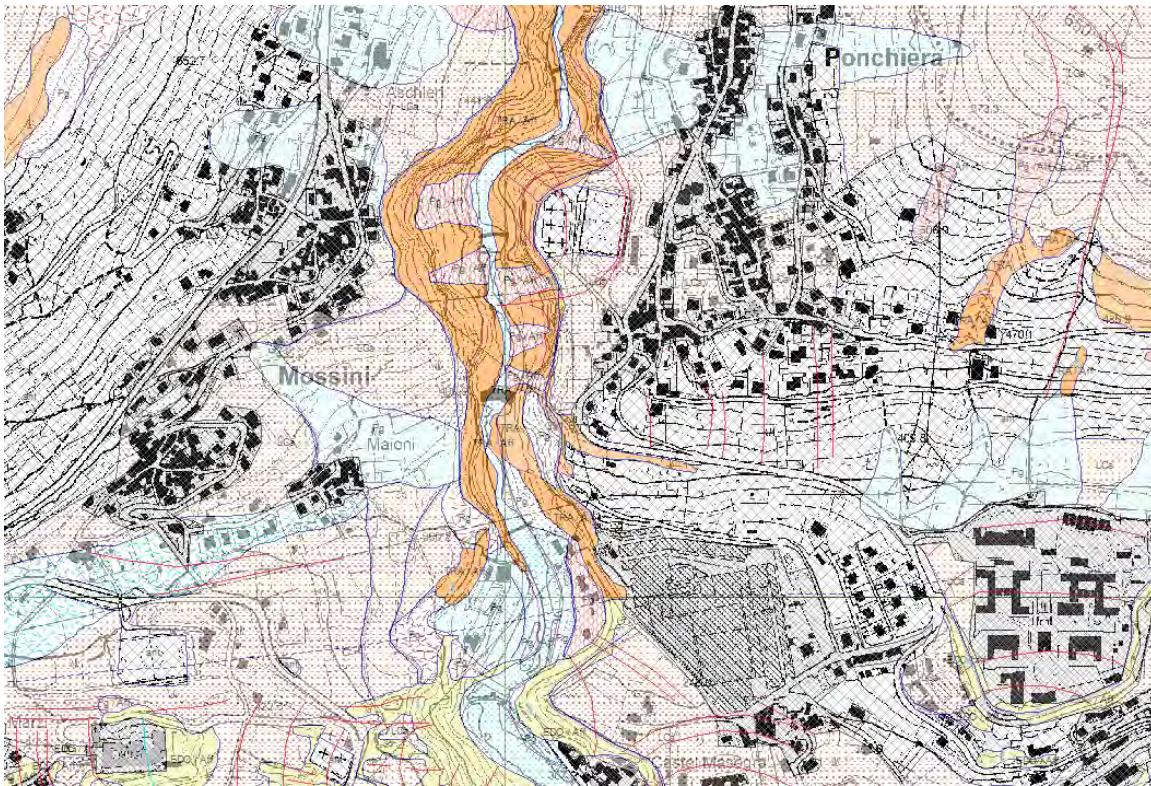


Figura 14 stralcio carta geologica progetto CARG

IL versante destro dove è impostata la passerella è costituito da depositi morenici classificati nella cartografia CARG come Alloformazione di Cantù.

Litologia: nell'area del foglio, il sintema di Cantù è costituito da depositi glaciali, all'interno dei quali è possibile distinguere:

- *till di ablazione (rappresentato come till indifferenziato in carta):*

diamicton massivi a supporto di matrice limosa o limoso sabbiosa, con clasti e blocchi sino a metrici, da arrotondati a subangolosi;

- *till di alloggiamento: diamicton massivi a supporto di matrice limosa molto abbondante, generalmente sovraconsolidata, con clasti di dimensioni al massimo decimetriche, arrotondati e spesso striati e sagomati a ferro da stiro.*

La litologia dei clasti rispecchia la grande varietà litologica delle formazioni del bacino di alimentazione; si osserva, però, che i depositi presentano una grande variabilità locale in funzione dell'alimentazione ricevuta dagli apparati confluenti dalle valli laterali, rispecchiando la distribuzione dei litotipi affioranti sui versanti prospicienti i depositi, con significative differenze non solo da un versante all'altro, ma anche a breve distanza lungo lo stesso versante: ciò suggerisce un trasporto relativamente breve senza rimescolamento e contaminazione dei materiali, almeno per quanto riguarda i till di ablazione.

La zona è bonificata e terrazzata con muri a secco dove si osservano grossi massi arrotondati con litologia prevalente proveniente dalla Valmalenco.

I due versanti sono morfologicamente un po' asimmetrici. Il versante destro leggermente più basso di quota

3.2 CONDIZIONI DI STABILITA'

Secondo l'inventario dei fenomeni franosi la zona non è interessata da frane come si vede dal confronto con la cartografia del catasto regionale delle frane. Nella mappa si evidenzia come nella zona di fondazione non siano segnalati fenomeni pericolosi.

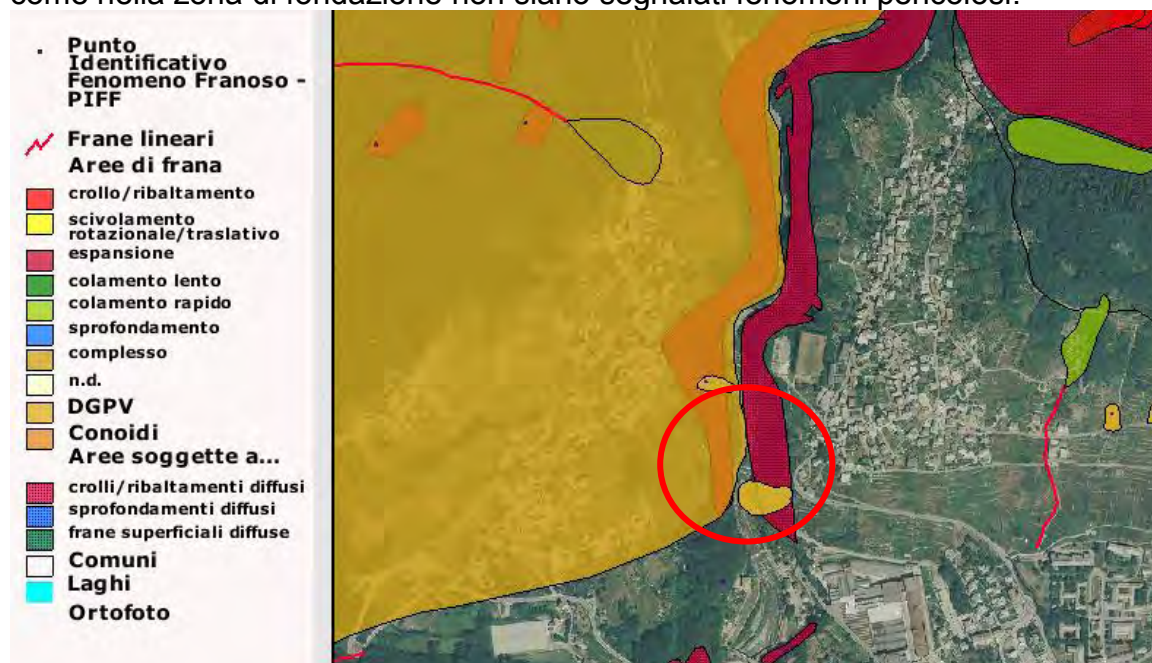


Figura 15 stralcio IFFI - non sono segnalati dissesti nella zona

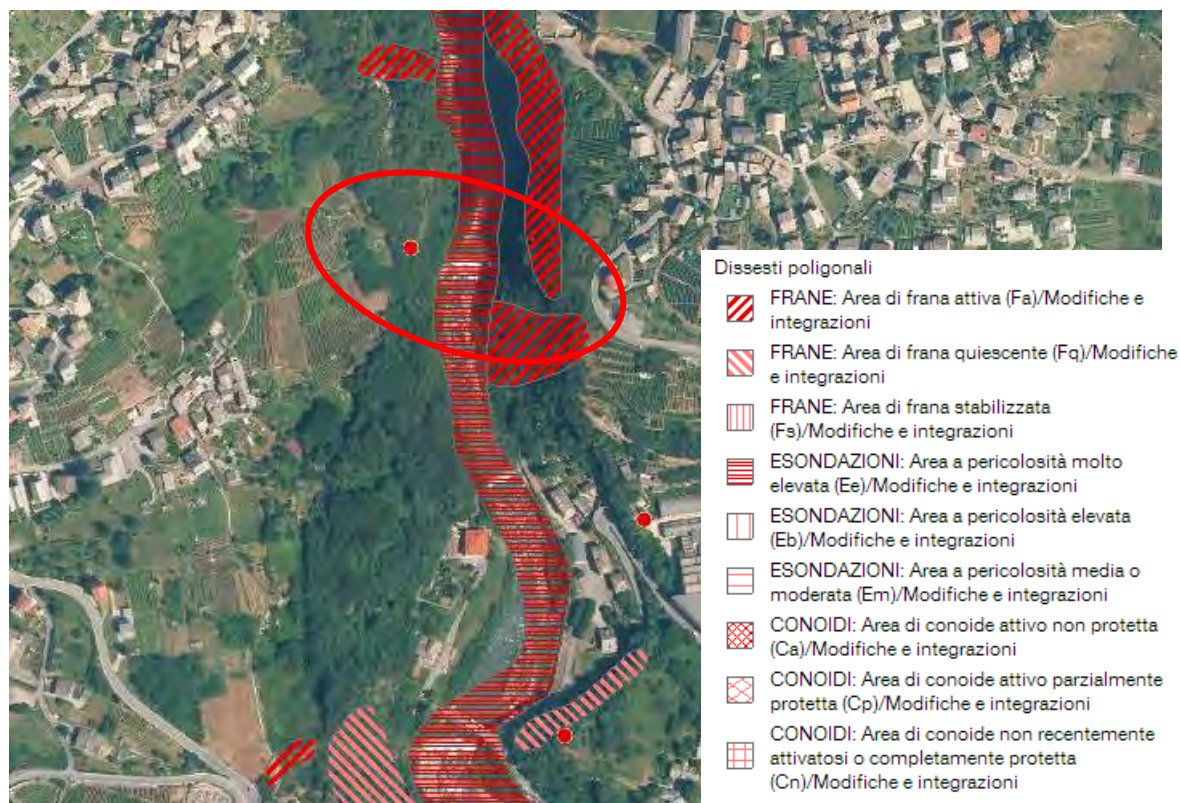


Figura 16 estratto carta PAI

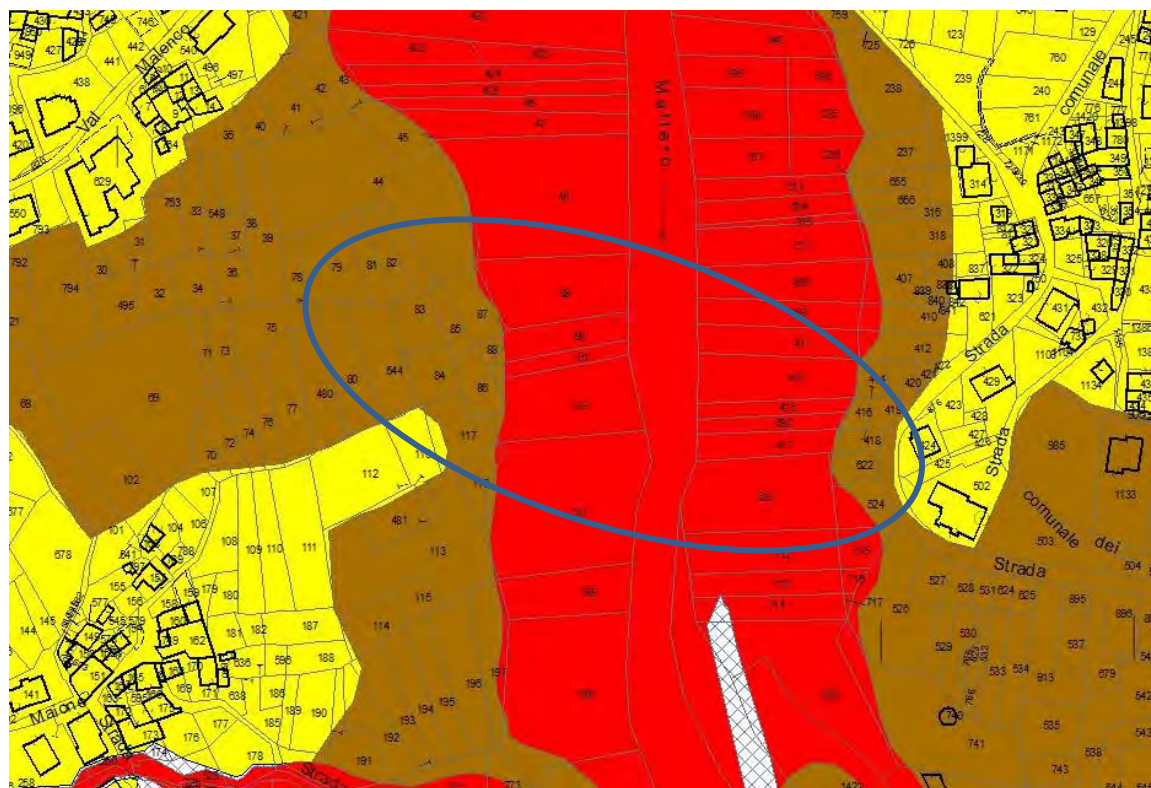





Figura 17 estratto carta di fattibilità classe 3a-4


AGGIORNAMENTO CARTOGRAFICO 2017**Carta della fattibilità delle azioni di piano****Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni**


 Classe 2 - Aree instabili a debole pendenza o pianeggianti


Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni


 Classe 3a - Aree su versante a media pendenza potenzialmente interessate da fenomeni di instabilità di origine gravitativa

 Classe 3b - Aree situate ai piedi di versanti potenzialmente instabili


 Classe 3c - Zone a basso rischio idraulico


 Classe 3d - Zone a medio rischio idraulico

 Classe 3e - Fascia di rispetto idraulico

 Classe 3f - Aree marginalmente interessate dalla Frana di Spriana

Classe - Fattibilità con gravi limitazioni

 Classe 4 - Aree di frana attiva e/o potenzialmente instabili e zone ad elevato rischio idraulico

 Classe 4b - Aree situate lungo versanti terrazzati potenzialmente instabili

Univis DAT

Figura 18 estratto carta di fattibilità classe 3a-4 legenda

6.4 – ZONE IN CLASSE 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni

La classe comprende zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

L'utilizzo di queste zone sarà pertanto subordinato alla realizzazione di supplementi di indagine per acquisire una maggiore conoscenza, idrogeologica, idraulica, geologico tecnica dell'area e del suo intorno, mediante campagne geognostiche, e studi tematici specifici di varia natura (idrogeologici, idraulici, ecc). Ciò dovrà consentire di precisare le idonee destinazioni d'uso, le volumetrie ammissibili, le tipologie costruttive più idonee, nonché le opere di sistemazione e di bonifica che, laddove ritenute necessarie, dovranno essere realizzate prima della costruzione degli edifici. Si dovranno inoltre accertare le caratteristiche sismiche del sito e geotecniche dei terreni di fondazione ed eventuali interferenze con la falda freatica.

Tale studio geologico dovrà stabilire, sulla base del grado di pericolosità geologica dell'area, la fattibilità dell'intervento in progetto fornendo, laddove ritenuto necessario, le indicazioni di competenza per l'individuazione della tipologia

costruttiva ritenuta più idonea e la progettazione di eventuali opere necessarie alla messa in sicurezza del nuovo edificio

Nel caso in cui lo Studio Geologico evidenzi la necessità di realizzare opere di sistemazione idrogeologica si dovrà provvedere a:

- *Progettazione delle opere di sistemazione necessarie, da allegare al Progetto dell'edificio come parte integrante della documentazione per il rilascio del Permesso di Costruire;*

- *Realizzazione delle opere di protezione*
- *Ad opere ultimate per il ritiro della Licenza di abitabilità e/o agibilità dell'edificio dovrà essere prodotta al Comune un'attestazione a firma di tecnico abilitato che attesti che tutte le opere prescritte sono state eseguite e che indichi, a carico del soggetto titolare dell'opera, la periodicità dei controlli e degli interventi di manutenzione delle opere di messa in sicurezza.*

Zone in classe 3A

In tale sottoclasse di fattibilità non ci sono limitazioni, di carattere geologico, all'edificazione. Tutti gli interventi edilizi comprensivi nuove edificazioni, ampliamenti e recupero/ristrutturazione del patrimonio edilizio esistente, infrastrutturali e comunque le modifiche delle destinazioni d'uso dei terreni che ricadono in questa classe dovranno essere supportate da una preventiva indagine geologica, geotecnica e sismica che valuti la fattibilità geologica dell'intervento, in relazione al grado di dissesto presente, indicando gli accorgimenti tecnico-costruttivi e le eventuali opere di protezione ritenute necessarie alla messa in sicurezza dei luoghi. In particolare i progetti di nuove edificazioni dovranno comprendere la verifica delle condizioni di stabilità del pendio su cui andrà a realizzarsi l'opera intesa anche come verifica del sistema edificio-pendio e verifica delle condizioni di sicurezza da dissesti idrogeologici (blocchi instabili, zone con ristagno d'acqua e fenomeni di scivolamento lento ecc) della parte di versante interessato dall'opera. Dovranno pertanto essere realizzati: un rilievo geologico-tecnico dettagliato della zona per un intorno significativo e la verifica dei fronti di scavo previsti. Si dovranno inoltre accertare le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione e le eventuali interferenze con la falda freatica. Sia in sede di progetto che in sede esecutiva deve essere inoltre garantito, tramite specifiche verifiche, che le modalità di scavo e di costruzione siano compatibili con le caratteristiche geomorfologiche della zona e non inducano sconvolgimenti. A tal proposito dovranno essere evitati eccessivi riporti di terreno e previste tutte le opere di sostegno atte alla loro stabilizzazione

I progetti dovranno, inoltre, verificare la presenza, nel sottosuolo e in superficie, di limitate venute idriche che possono interagire con le condizioni di stabilità e con la funzionalità dell'opera stessa:

I progetti di nuove opere localizzate all'interno di versanti terrazzati con muri a secco originariamente utilizzati per la coltivazione del vigneto, dovranno comprendere la verifica geologica delle condizioni di stabilità del versante a monte del sito e, se necessario, dovranno prevedere gli interventi utili alla messa in sicurezza del sito in relazione all'opera da realizzare (sistemazione dei tratti di muretti a secco instabili, consolidamento e/o disrealizzazione di barriere paramassi, rinforzo in c.a. delle murature di monte dell'edificio ecc). Trattandosi di zone situate al piede di pendii molto inclinati ($i > 20^\circ$), impostati in depositi sciolti, bisognerà evitare di creare fronti di scavo con scarpate troppo alte. Tali scarpate dovranno essere verificate dal punto di vista geotecnico.

6.5 - ZONE IN CLASSE 4 – Fattibilità con gravi limitazioni

L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria,

restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della l.r. 12/05, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica.

Eventuali infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

Per quanto riguarda nuclei abitati esistenti, dovrà essere cura dell'Amministrazione Comunale provvedere quanto prima alla realizzazione di idonei PIANI DI EMERGENZA ED EVACUAZIONE con indicati i valori soglia prescelti per i vari eventi (precipitazioni, portate dei corsi d'acqua, altezza di neve al suolo ecc.), le procedure di pre-allertamento, allertamento e di evacuazione che saranno comunque coordinate e ordinate da parte del Sindaco, quale autorità preposta alla protezione civile a livello comunale. Tale PIANO con le dette procedure dovranno essere inoltre comunicati e depositati alla Prefettura di competenza.

3.3 INTERFEROMETRIA RADAR

Si è controllato il territorio nell' intorno dell'intervento previsto anche verificando i risultati delle analisi con interferometria da radar satellitare elaborate dalla Regione Lombardia.

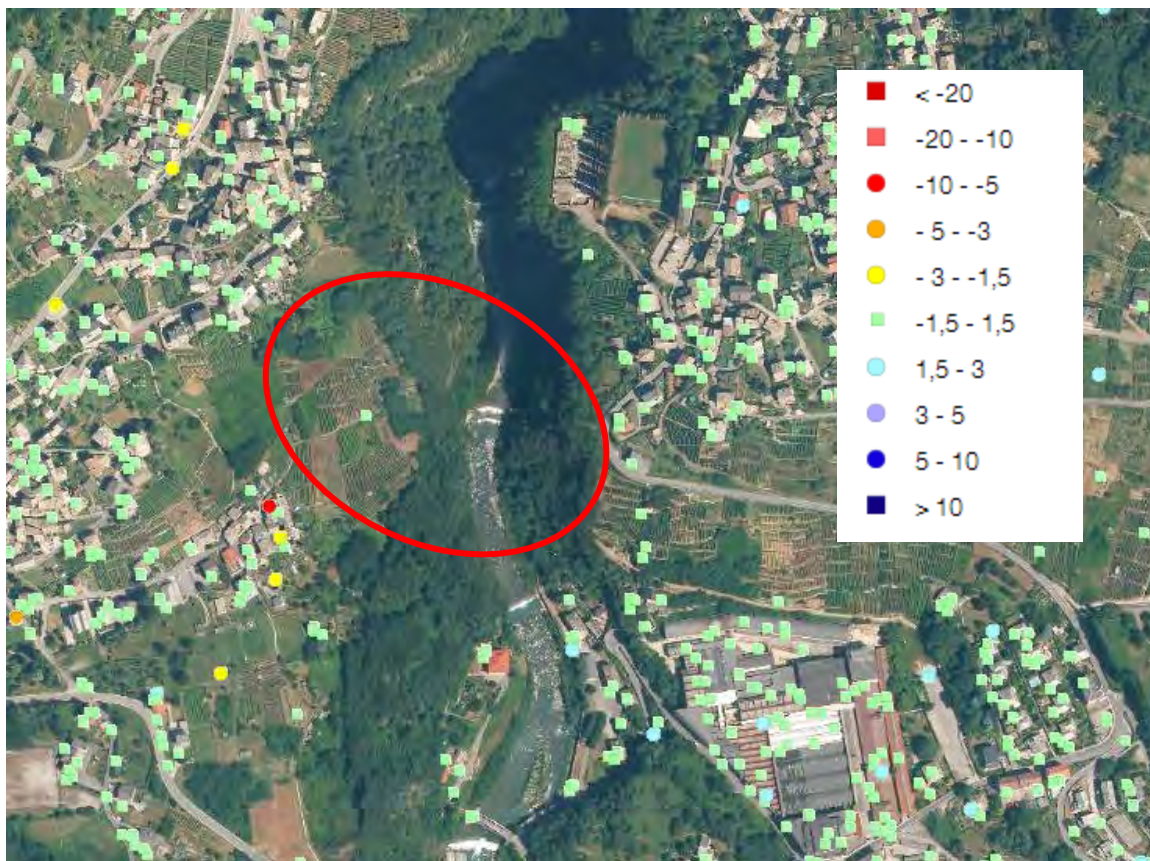


Figura 19 CTR e risultati interferometria radar

Questo servizio di mappa contiene i dati puntuali di interferometria radar dal 1992 al 2014 in base ai quali è possibile monitorare i movimenti lenti del terreno legati a fenomeni franosi e di subsidenza e misurarne la velocità media in millimetri/anno.

I punti di diverso colore indicano la velocità di subsidenza in mm/anno di punti “riflettori”

L’ interferometria radar è uno strumento estremamente efficace per il monitoraggio, con accuratezza millimetrica, di fenomeni di deformazione della superficie terrestre, basato sull’impiego di serie temporali d’immagini radar satellitari (in particolare dati dei satelliti ERS-1/2 dell’Agenzia Spaziale Europea (ESA) e del satellite RADARSAT-1 della Canadian Space Agency (CSA)).

Nel campo geologico, la metodologia risulta particolarmente efficace nel monitoraggio di fenomeni di deformazioni a bassa velocità, quali ad esempio le frane di scivolamento lento, le

deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV), oppure per l'individuazione di aree soggette a fenomeni di subsidenza o compattazioni locali dei terreni.

L'indagine che ha lo scopo di fornire in prima analisi un elenco di settori di territorio "sensibili" dal punto di vista geologico ha evidenziato che nella zona **non sono stati rilevati movimenti significativi del terreno.**

3.4 DIRETTIVA ALLUVIONI

La Direttiva Alluvioni pone la necessità di individuare unità territoriali di gestione del rischio dove le condizioni di rischio potenziale sono particolarmente significative, per le quali è necessaria una gestione specifica del rischio. Le ARS Distrettuali corrispondono a nodi critici di rilevanza strategica in cui le condizioni di rischio elevato o molto elevato coinvolgono insediamenti abitativi e produttivi di grande importanza, numerose infrastrutture di servizio e le principali vie di comunicazione. Le situazioni di elevata pericolosità, conseguenti a considerevoli portate di piena e rilevante estensione delle aree inondabili, richiedono complessi interventi di mitigazione del rischio che comportano effetti alla scala di intero bacino idrografico o di ampi settori del reticolo idrografico principale, è pertanto necessario il coordinamento delle politiche di più regioni.

Le disposizioni "attuazione del Piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA)", approvate con delibera n. 6738 del 19 giugno 2017, e pubblicate sul Bollettino Ufficiale Regione Lombardia n. 25, Serie Ordinaria, del 21 giugno 2017 aggiornano e integrano quelle relative alla componente geologica, idrogeologica e sismica dei PGT

Una verifica nella cartografia della regione Lombardia evidenzia che la zona dove sono previsti le spalle della passerella non rientrano nelle zone pericolose.

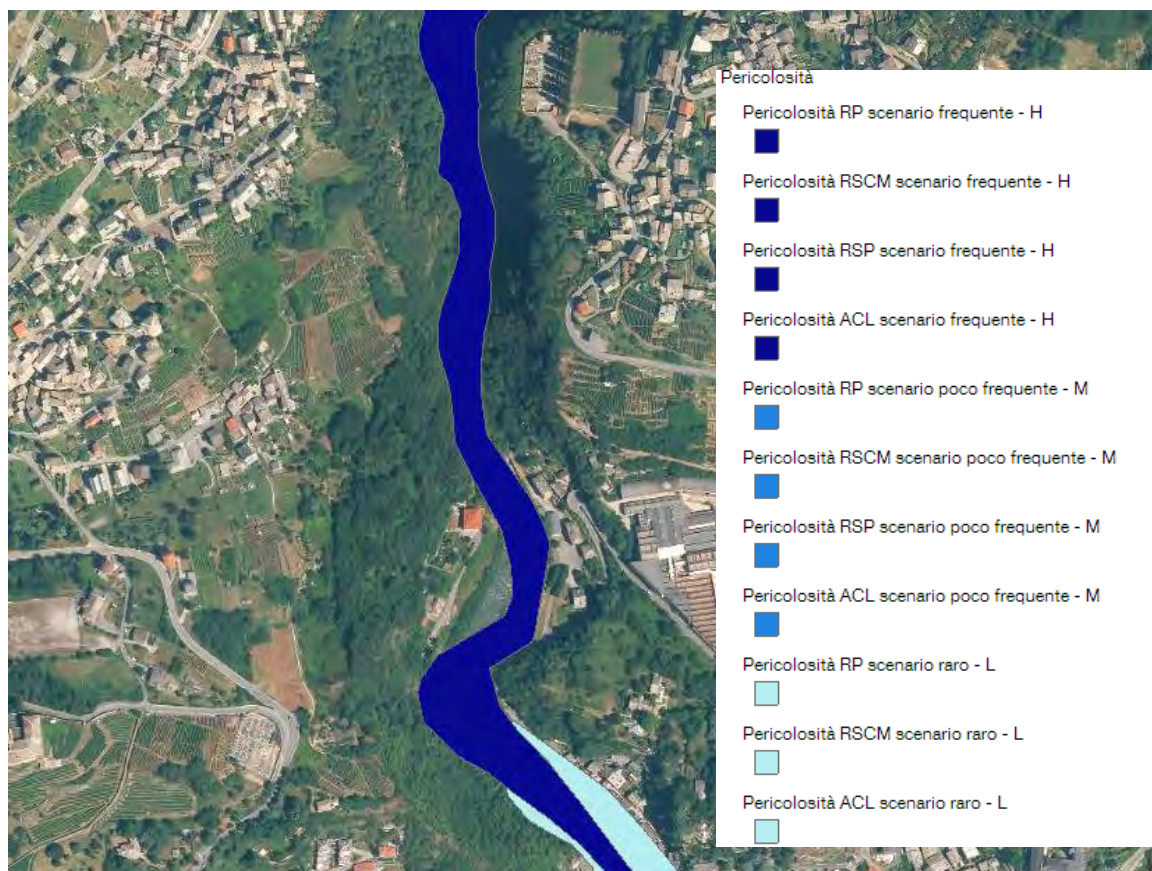


Figura 20 estratto carta direttiva alluvioni

3.5 APPROFONDIMENTO SISMICO DI SECONDO LIVELLO (L.R. 12/05 E S.M.I.)

3.5.1 INQUADRAMENTO NORMATIVO E D'ANALISI

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale in adempimento a quanto previsto dal D.M. del 14 gennaio 2008, della D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003 e del d.d.u.o n. 19904 del 21 novembre 2003, si basa su tre livelli successivi di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale.

L'effetto del terremoto può essere quindi amplificato in base alle casistiche sotto schematizzate, nel caso in esame sulla base dello studio sismico che accompagna il PGT si è in condizioni di "amplificazioni litologiche e geometriche".

Per la valutazione dell'azione sismica secondo l'approccio semplificato riconducibile alle categorie di sottosuolo non si fa più riferimento a $V_{S,30}$, bensì a $V_{S,eq}$.

$$V_{S,eq} = H / (\sum_{i=1}^N (h_i / V_{S,i})) \quad \text{NTC 2018}$$

h_i spessore dell' i -esimo strato

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato

N numero di strati

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia e terreno molto rigido, caratterizzato da V_S non inferiore a 800 m/s.

La profondità H del substrato è calcolata a partire dal piano di imposta per le fondazioni superficiali, dalla testa dei pali per le fondazioni profonde e a partire dalla testa dell'opera per le opere di sostegno.

$V_{S,eq} = V_{S,30}$ quando la profondità H del substrato è superiore a 30 m

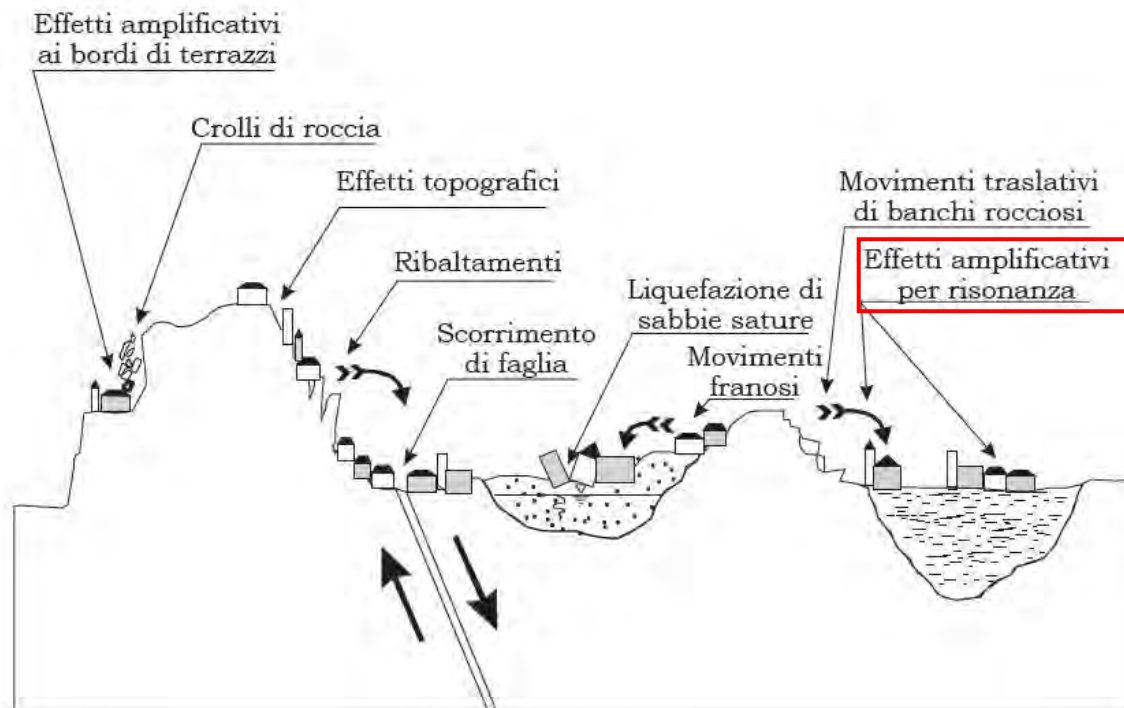


Figura 21 effetti di sito più importanti legati ad un sisma

In relazione alla nuova normativa **D.g.r. 10 ottobre 2014 – n X/2489**, per l'area di progetto è da prevedersi un ulteriore approfondimento di secondo livello, in quanto la nuova classificazione sismica della Regione Lombardia inserisce il comune di Sondrio in zona 3 (la classificazione precedente lo inseriva in zona 4).

Si riporta l'elenco dei terremoti con le magnitudo che sono state percepite a Sondrio

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffeis, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola
 Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopeditonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio
 PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

Sondrio

PlaceID IT_12272
 Coordinate (lat, lon) 46.171, 9.872
 Comune (ISTAT 2015) Sondrio
 Provincia Sondrio
 Regione Lombardia
 Numero di eventi riportati 25

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	RMDP	Io	Mw
F	🔗	1785	11	18			Bassa Engadina	4		
5	🔗	1851	02	05	09	50	Valtellina	30	5	4.72
F	🔗	1879	02	14			Garda occidentale	13	5	4.62
4	🔗	1882	02	27	06	30	Valle Seriana	37	6-7	4.81
3	🔗	1887	02	23	05	21 5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
4-5	🔗	1891	06	07	01	06 1	Valle d'Illasi	403	8-9	5.87
5-6	🔗	1891	12	22			Valtellina	7	5-6	4.41
3	🔗	1892	01	05			Garda occidentale	93	6-7	4.96
3-4	🔗	1894	11	27	05	07	Bresciano	183	6	4.89
5	🔗	1901	10	30	14	49 5	Garda occidentale	289	7-8	5.44
3	🔗	1909	01	13	00	45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	🔗	1914	10	27	09	22	Lucchesia	660	7	5.63
3	🔗	1917	12	09	21	40	Alta Engadina	39	6	4.60
F	🔗	1918	04	24	14	21	Lecchese	34	6	4.95
3-4	🔗	1919	09	16	02	18 3	Alta Valtellina	10	4-5	3.50
2	🔗	1920	09	07	05	55 4	Garfagnana	750	10	6.53
5	🔗	1927	08	13	01	00 5	Alta Engadina	19	5	4.40
4	🔗	1960	03	23	23	10	Vallese	178	7	5.00
4	🔗	1961	11	23	01	12 0	Prealpi bergamasche	119	6-7	4.86
F	🔗	1968	06	22	12	21 3	Val Lagarina	27	6-7	4.74
3-4	🔗	1972	10	25	21	56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	🔗	1979	02	09	14	44	Bergamasco	73	6	4.78
3-4	🔗	1983	11	09	16	29 5	Parmense	850	6-7	5.04
4	🔗	1991	11	20	01	54 1	Grigioni, Vaz	468	6	4.70
3	🔗	2001	07	17	15	06 1	Val Venosta	657	5-6	4.78

Figura 22 INGV catalogo parametrico dei terremoti

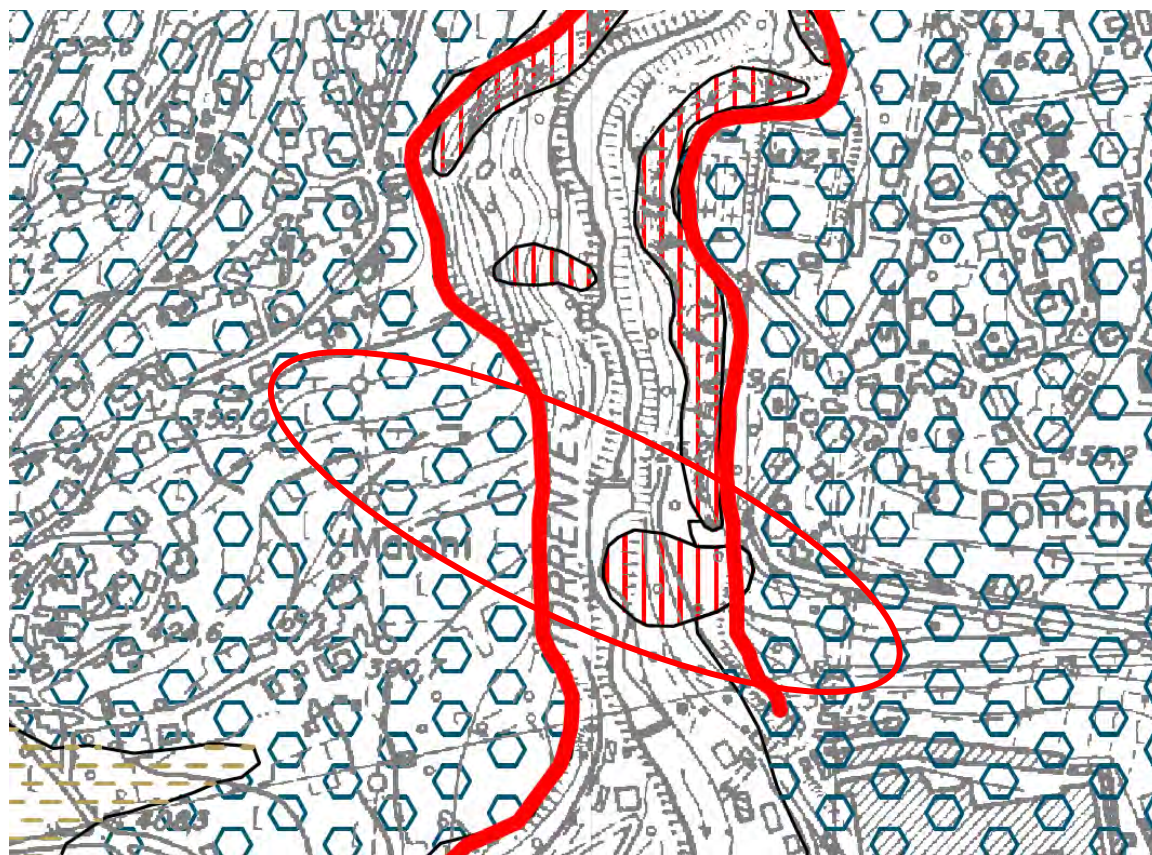


Figura 23 stralcio carta della pericolosità sismica locale

Scenari di pericolosità sismica locale (P.S.L.)



Z1a - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi



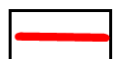
Z1b - Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti



Z1c - Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana



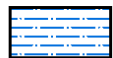
Z2 - Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti



Z3a - Zona di ciglio scarpata forra in roccia



Z3b - Zona di cresta rocciosa



Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali



Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito e di conoide alluvionale



Z4c - Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi








SIGLA	SCENARIO PSL	EFFETTI	CLASSI DI PERICOLOSITA'
 Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità	H3
 Z1b	Zona caratterizzata da movimenti quiescenti		H2 - livello di approfondimento 3°
 Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana		
 Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti	Cedimenti e/o liquefazioni	H2 - livello di approfondimento 3°
 Z3a	Zona di ciglio	Amplificazioni topografiche	H2 - livello di approfondimento 2°
 Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo		
 Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche	H2 - livello di approfondimento 2°
 Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre		
 Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi		
 Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche diverse	Componenti differenziali	H2 - livello di approfondimento 3°

Figura 24 legenda

Secondo lo studio geologico e sismico a supporto del PGT la spalla destra della passerella ricade in area Z4c mentre la spalla sinistra in Z1a.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, le tipologie del suolo di fondazione vengono suddivise in due gruppi: il primo gruppo è definito da 5 categorie (A, B, C, D, E) di profili stratigrafici.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi</i> 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..
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa</i> molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa</i> 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
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente</i> 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
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità</i> equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.
Tabella 3.2.II – Categorie del sottosuolo DECRETO 17 gennaio 2018 . Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».	

Figura 25 tabella categorie profili stratigrafici

Tenuto conto che per esigenze costruttive le fondazioni verranno posizionate o sul substrato roccioso o nell' immediate vicinanze ad esso i terreni in destra orografica e in sinistra sono classificabili come

- 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.*

3.5.2 LIQUEFAZIONE

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti cinque circostanze:

- 1) eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5; (è la Magnitudo Momento M_w)
- 2) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;($a_g \max$)
- 3) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub –orizzontale e strutture con fondazioni superficiali (misura riferita Al valore medio stagionale
- 4) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N_1) $60 > 30$ oppure q_c $1 N > 180$ dove (N_1) 60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_c $1 N$ è il valore della resistenza determinata In prove Penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa
- 5) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 26 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c^* < 3,5$ ed in nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

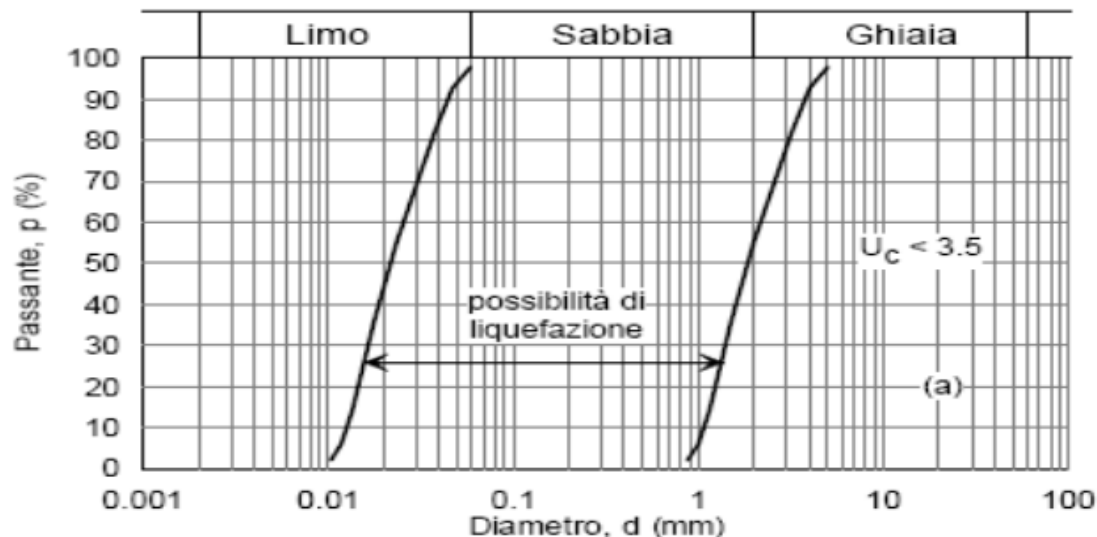


Figura 26 Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

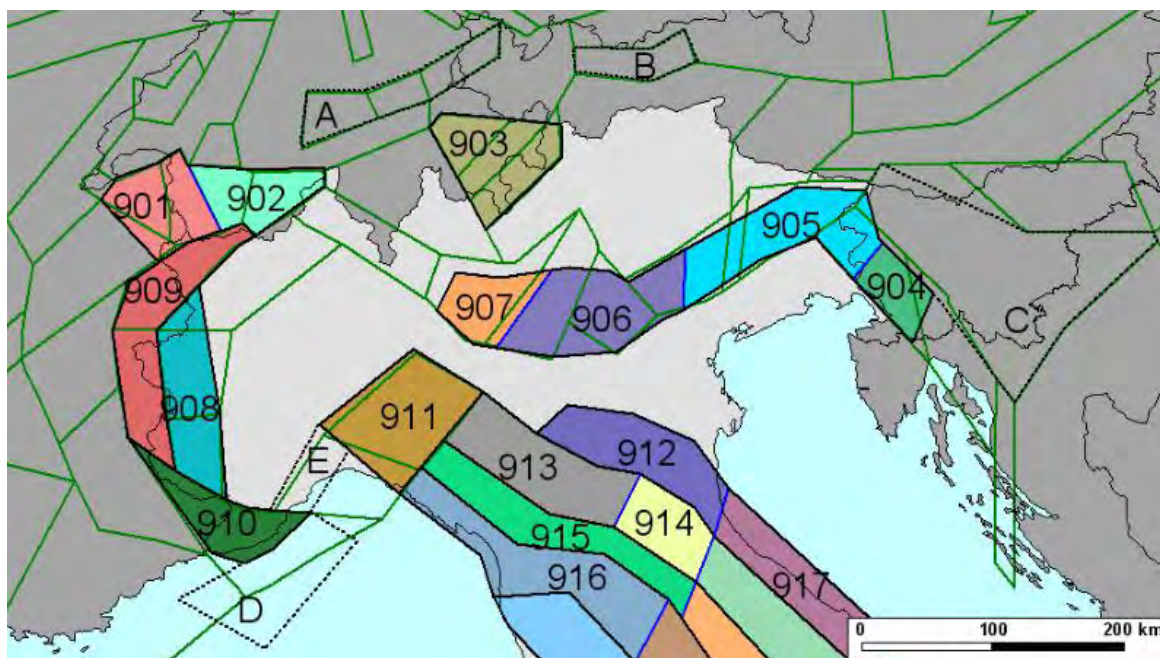


Figura 27 zonazione sismogenetica del Nord Italia

La Valtellina e i Grigioni rientrano nella zona sismogenetica 903.

Zona	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
901	18	15	2	4.0	8-12	8
902	34	25	2	3.8	8-12	10
903	23	19	2	4.5	8-12	9

Dove la magnitudo massima non dovrebbe superare i 4,5Md

Nella zona in esame la granulometria dei depositi morenici è prevalentemente ghiaiosa con massi quindi **non si rientra in casistiche soggette a liquefazione.**

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la progettazione definitiva della passerella ciclopeditone sulle Cassandre del fiume Mallero a Sondrio è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche e sismiche e prove di laboratorio descritte nella relazione G.01 - INDAGINE GEOGNOSTICA e SISMICA per misurare i parametri geologico-geotecnici e sismici locali in ottemperanza delle norme derivanti

DECRETO 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» che prevede: *“le indagini devono essere dirette ad approfondire la caratterizzazione geotecnica qualitativa e quantitativa del sottosuolo per consentire la scelta della soluzione progettuale, di eseguire i calcoli di verifica e definire i procedimenti costruttivi”*.

Per il dettaglio si rimanda alla relazione G.01

Sono state eseguite le prove per la classificazione dei terreni di fondazione

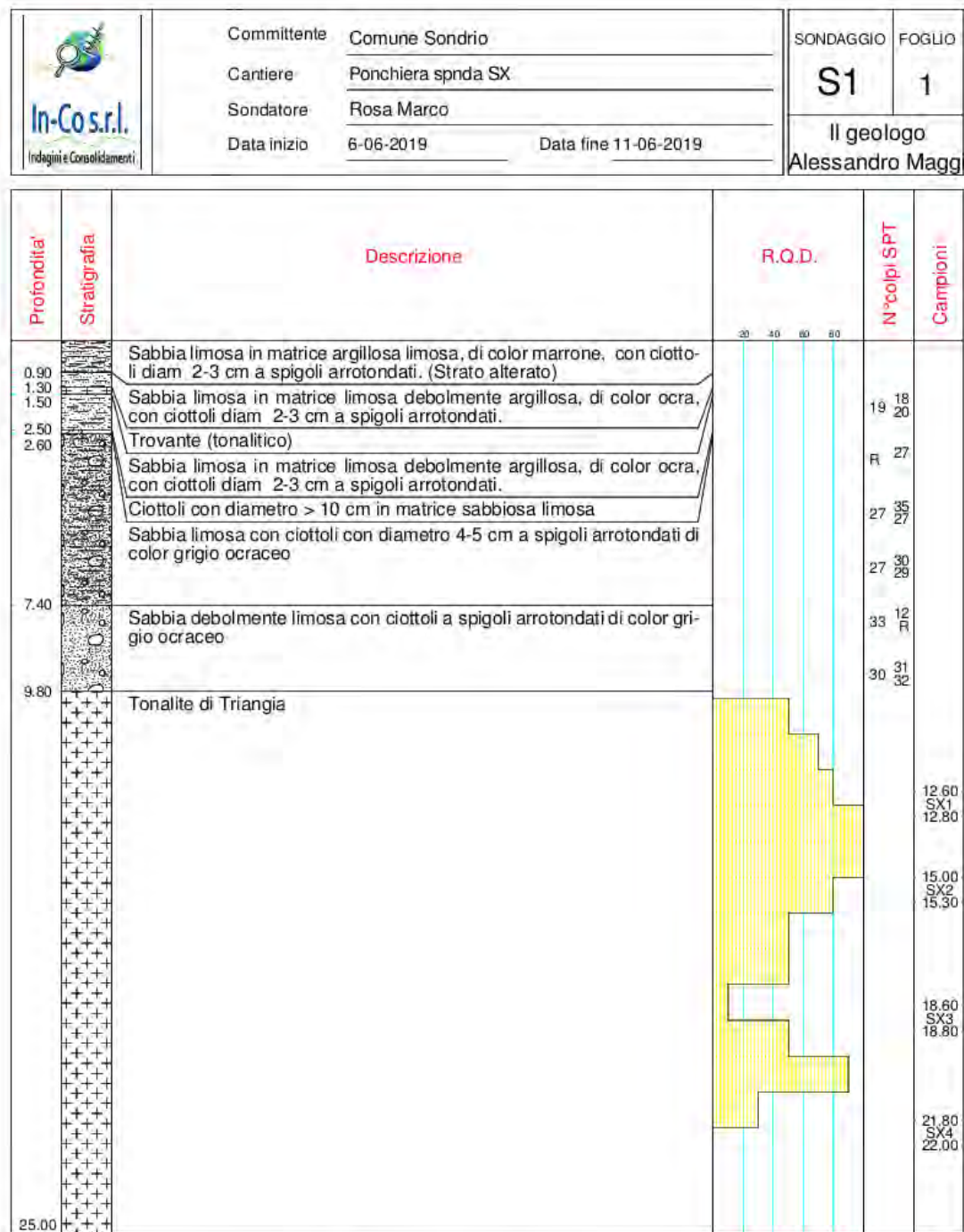
- | | |
|---------------------------------------|-----|
| • Sondaggi geognostici | 2 |
| • Sismica passiva | 5 |
| • SPT | 6+1 |
| • Prove di compressione monoassiale | 4 |
| • Point Load Strength Test diametrale | 5 |
| • Point Load Strength Test assiale | 2 |



Figura 28 ubicazione dei sondaggi

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola
Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopeditonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio
PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA



LABORATORIO : IN-CO SRL

DECRETO DI AUTORIZZAZIONE: 152/11 DEL 19/4/2011

CERTIFICATO N° 025/19/st DEL 21-06-2019

COMMESSA: n° 372/19

ACCETTAZIONE del 20/05/2019

Lo Spettatore

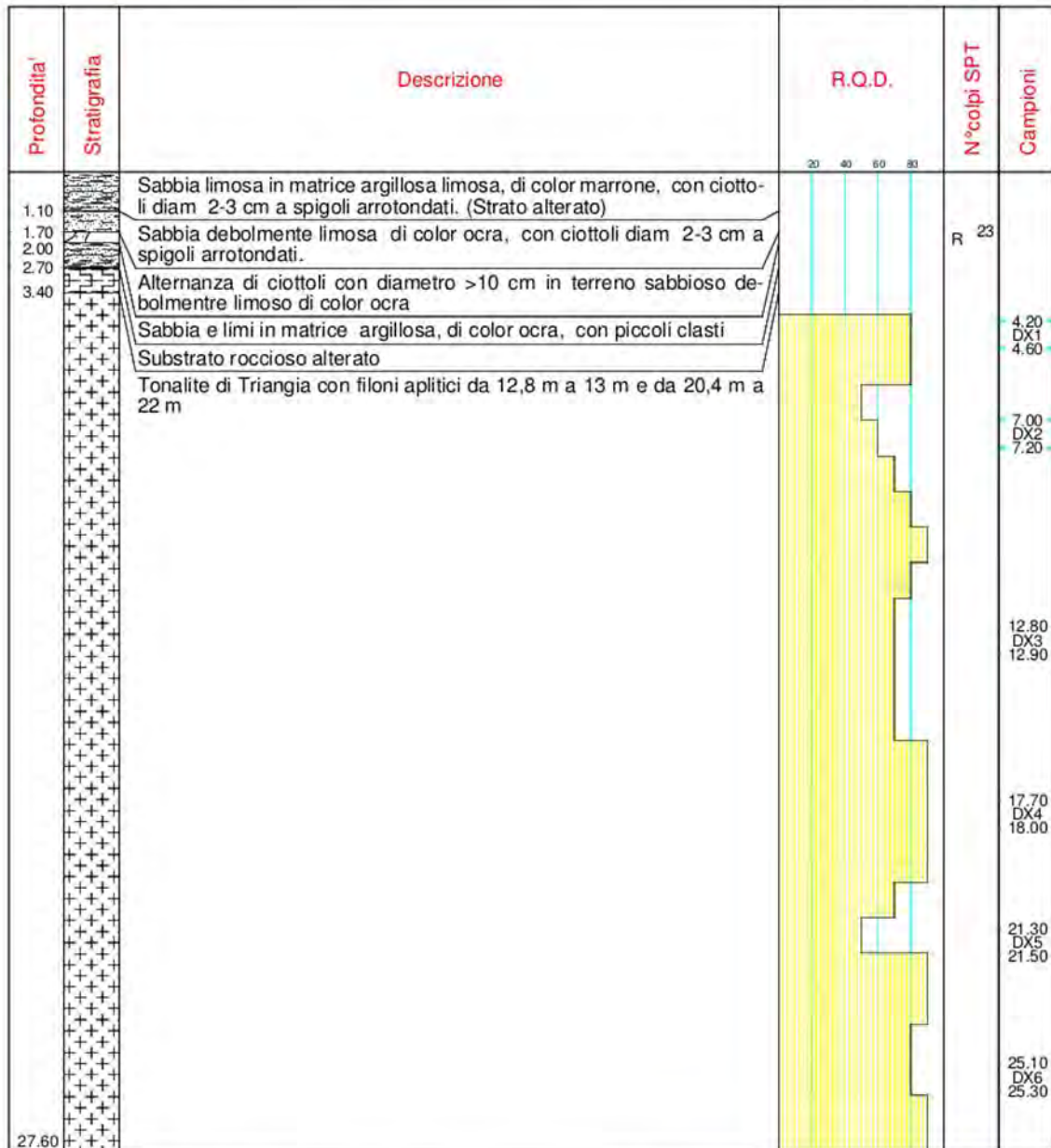
Il Direttore di laboratorio

Figura 29 stratigrafia sondaggio 1

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola
Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopeditonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio
PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

	Committente	Comune Sondrio		SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	Mossini spnda DX		S2	1
	Sondatore	Rosa Marco		Il geologo	
	Data inizio	11-06-2019	Data fine	18-06-2019	Alessandro Maggi



LABORATORIO : IN-CO SRL

DECRETO DI AUTORIZZAZIONE: 152/11 DEL 19/4/2011

CERTIFICATO N° 026/19/st DEL 21-06-2019

COMMESSA: n° 372/19

ACCETTAZIONE del 20/05/2019

Lo Spettimentatore

Il Direttore di laboratorio

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffeis, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopedonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

Figura 30 stratigrafia sondaggio 2

.

5 CARATTERIZZAZIONE TERRENI SCIOLTI

I sondaggi geognostici e le misure sismiche hanno evidenziato una coltre di materiale morenico e/o alluvionale dello spessore di 2,5m in sponda destra e di 9-10m in sponda sinistra.

Gli SPT evidenziano terreni ben addensati

Correlando le prove SPT si possono ricavare i parametri geotecnici come sotto riportato nelle tabelle.

5.1 STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	39	Meyerhof 1957	100
Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	100	Meyerhof 1957	100
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	56	Meyerhof 1957	100
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	56	Meyerhof 1957	100
Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	83	Meyerhof 1957	100
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	62	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27.1
Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27.1
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27.1
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27.1
Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27.1
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27.1

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopeditone sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	39	Bowles (1982) Sabbia Media	26.48
Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	100	Bowles (1982) Sabbia Media	56.39
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	56	Bowles (1982) Sabbia Media	34.81
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	56	Bowles (1982) Sabbia Media	34.81
Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	83	Bowles (1982) Sabbia Media	48.05
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	62	Bowles (1982) Sabbia Media	37.76

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	39	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	10.55
Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	100	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	22.84
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	56	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	13.97
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	56	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	13.97
Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	83	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	19.41
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	62	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	15.18

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	39	Classificazione A.G.I	ADDENSATO
Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	100	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	56	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	56	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	83	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	62	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopeditonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	39	Terzaghi-Peck 1948	17.41
Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	100	Terzaghi-Peck 1948	19.17
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	56	Terzaghi-Peck 1948	18.50
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	56	Terzaghi-Peck 1948	18.50
Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	83	Terzaghi-Peck 1948	19.28
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	62	Terzaghi-Peck 1948	18.77

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	39	Terzaghi-Peck 1948	20.63
Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	100	Terzaghi-Peck 1948	21.69
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	56	Terzaghi-Peck 1948	21.30
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	56	Terzaghi-Peck 1948	21.30
Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	83	Terzaghi-Peck 1948	21.77
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	62	Terzaghi-Peck 1948	21.47

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	39	(A.G.I.)	0.28
Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	100	(A.G.I.)	0.15
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	56	(A.G.I.)	0.24
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	56	(A.G.I.)	0.24
Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	83	(A.G.I.)	0.18
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	62	(A.G.I.)	0.23

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Mpa)
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	39	Ohsaki (Sabbie pulite)	199.54

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopeditone sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	100	Ohsaki (Sabbie pulite)	483.54
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	56	Ohsaki (Sabbie pulite)	280.37
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	56	Ohsaki (Sabbie pulite)	280.37
Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	83	Ohsaki (Sabbie pulite)	405.85
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	62	Ohsaki (Sabbie pulite)	308.52

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	39	Ohta & Goto (1978) Limi	128.31
Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	100	Ohta & Goto (1978) Limi	183.81
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	56	Ohta & Goto (1978) Limi	181.07
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	56	Ohta & Goto (1978) Limi	192.06
Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	83	Ohta & Goto (1978) Limi	215.07
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	62	Ohta & Goto (1978) Limi	212.1

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / \sigma_V$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K_0
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	39	Navfac 1971-1982	6.77
Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	100	Navfac 1971-1982	11.93
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	56	Navfac 1971-1982	9.13
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	56	Navfac 1971-1982	9.13
Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	83	Navfac 1971-1982	11.93
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	62	Navfac 1971-1982	10.37

Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q_c (Mpa)
Strato (1) Strato	39	0.00-1.95	39	Robertson 1983	7.65
Strato (2) Strato	100	1.95-3.45	100	Robertson 1983	19.61
Strato (3) Strato	56	3.45-4.95	56	Robertson 1983	10.98
Strato (4) Strato	56	4.95-6.45	56	Robertson 1983	10.98

Strato (5) Strato	83	6.45-7.95	83	Robertson 1983	16.28
Strato (6) Strato	62	7.95-9.45	62	Robertson 1983	12.16

5.2 STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	100	Meyerhof 1957	100

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	N1,60=0	Wolff (1989) N160	27.1

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	100	Bowles (1982) Sabbia Media	56.39

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	100	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	22.84

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	100	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	100	Terzaghi-Peck 1948	19.17

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo
-------------	------	------------------	------------	--------------	--------------------------

					(KN/m ³)
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	100	Terzaghi-Peck 1948	21.69

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	100	(A.G.I.)	0.15

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Mpa)
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	100	Ohsaki (Sabbie pulite)	483.54

Velocità onde di taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	100	Ohta & Goto (1978) Limi	151.01

Coefficiente spinta a Riposo K₀=SigmaH/P₀

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K ₀
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	100	Navfac 1971-1982	11.93

Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Q _c (Mpa)
Strato (1) Strato	100	0.00-1.95	100	Robertson 1983	19.61

Indice

6 CARATTERIZZAZIONE SUBSTRATO ROCCIOSO

Le condizioni morfologiche della gola delle cassandre rende difficile la caratterizzazione del substrato roccioso con rilievi geostutturali esterni che peraltro risulterebbero lontani dalla zona effettiva dove saranno impostate le fondazioni e i tiranti.

Per la caratterizzazione ci si avvale quindi dal risultato dei sondaggi geognostici eseguiti in prossimità delle spalle del ponte sia in destra che in sinistra.

Si è utilizzata la classificazione di Beniauwsky che si basa sulla misura di diversi parametri dell'ammasso roccioso:

- A1 = resistenza a compressione uniassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = spaziatura delle discontinuità;
- A4 = condizioni delle discontinuità;
- A5 = condizioni idrauliche;
- A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'Rock Mass Rating (RMR, Beniauwsky) e con le dovute correzioni apportate da Romana nel 1985 lo Slope Mass Rating (SMR).

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$$\text{RMR di base} = \text{RMRb} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR corretto} = \text{RMRc} = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

PARAMETRI E COEFFICIENTI								
Parametro		Intervalli di valori						
Resistenza del materiale roccia	Resistenza a carico puntiforme	>10	4-10	2-4	1-2			
	Resistenza a compr.mon.	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
Coefficienti R1		15	12	7	4	2	1	0
RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
Coefficienti R2		20	17	13	8	3		
Spaziatura delle discontinuità		>2m	0.6-2m	20-60cm	6-20cm	<6cm		
Coefficienti R3		20	15	10	8	5		
Condizioni delle discontinuità		Sup.molto rugose, non Persistenti, chiuse, pareti alterate	Sup.deb. rugose, apertura <1mm pareti legg. alterate	Sup.deb. rugose apertura.<1 mm pareti int.alter.	Sup. lisce spessore riempimento <5mm	Riemp. plastico >5mm o apert.>5mm pers.		
Coefficienti R4		30	25	20	10	0		
Acque sotterranee		asciutta	umida	bagnata	stillicidio	venute d'acqua		
Coefficienti R5		15	10	7	4	0		

Figura 31 classificazione di Beniauwsky

PARAMETRO ELEMENTARE	VALORI				
Persistenza	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
	6	4	2	1	0
Apertura	serrata	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm
	6	5	4	1	0
Rugosità	Molto rugosa	rugosa	Legg.rug.	Liscia	Molto liscia.
	6	5	3	1	0
Riempimento	Assente	<5mm riemp.dur o	>5mm riemp.dur o	<5mm riemp.mol le	>5mm riemp.molle
	6	4	2	2	0
Alterazione	Non alter.	Legg. alter.	Alterata	Molto alter.	Decomposta
	6	5	3	1	0

Figura 32 classificazione delle discontinuità

Per tener conto dell'orientamento va introdotto un coefficiente correttivo C

$$RMR^* = RMR + C$$

COEFFICIENTE CORRETTIVO PER L'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ						
Giacitura delle discontinuità		Molto favorevole	Favorevole	Discreta	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Coefficiente C	Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Versanti	0	-5	-25	-50	-60

Figura 33 coefficiente correttivo C

La qualità dell'ammasso roccioso viene così classificato in classi

CLASSE di QUALITA' DELL'AMMASSO ROCCIOSO					
RMR*	100←81	80←61	60←41	40←21	≤ 20
Numero delle classe	I	II	III	IV	V
Descrizione dell'ammasso	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente

Figura 34 classe di qualità

Da cui si possono ricavare i parametri caratteristici

CARATTERISTICHE DELLE CLASSI					
N° della classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostentamento	20 anni per aper. 15m	1 anno per aper. 10m	1 settim. per aper. 5m	10 ore per aper. 2.5m	30' per aper. 1m
Coesione dell'ammasso roccioso [kPa]	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Angolo d'attrito dell'ammasso roccioso [°]	>45	35-45	25-35	15-25	<15

Figura 35 caratteristiche delle classi

SMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	Molto buona	Buona	Mediocre	Scadente	Molto scadente
STABILITA'	Sicuramente stabile	Stabile	Parzialmente stabile	Instabile	Sicuramente instabile
MODO DI ROTTURA	Assente	Possibili blocchi	Lungo piani o per cunei	Lungo piani o su grandi cunei	Su grandi piani o rototraslazionali
STABILIZZAZIONE	Nessuna	Occasionale	Sistematica	Estesa	Riprofilare la scarpata

Figura 36 caratteristiche delle classi SMR

6.1 SONDAGGIO 1

Il sondaggio 2 ha evidenziato una copertura sciolta consistente 10m e poi il substrato roccioso con due aspetti notevolmente differenti: la parte alta del substrato roccioso (13,60m) è compatto mentre la parte più bassa si presenta abbondantemente fratturato (4,8m).

Stante la geologia generale con la presenza della faglia Insubrica che ha andamento Est-Ovest si ritiene di aver intercettato una fascia fratturata con andamento est-ovest vergenza verso nord



Figura 37 sondaggio 1 cassetta 3

Si sono eseguite due stime della classe rocciosa relative ai due livelli individuati mediante il programma RockMechanics utilizzando i valori ricavati dalle prove di laboratorio e le osservazioni dirette delle carote e dell'ammasso roccioso nella gola delle Cassandre

PARTE ALTA SONDAGGIO 1 SX1

Input dati per il calcolo di Rock Mass Rating (RMR)

Indice di resistenza (I_s)=1.6 Mpa

Coefficiente $K=14$

Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (L_t)=13600 mm

Somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm (L_c)=8600 mm

Spaziatura delle discontinuità (s)=1 m

Persistenza (continuità) del giunto = 3 - 10 m

Giunto chiuso

Giunto leggermente rugoso

Pareti non alterate

Riempimento assente

Roccia asciutta

Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni

Orientamento favorevole

Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)

Resistenza a compressione Su (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)
22.4	63.2352981567383

V1	V2	V3	V4	V5
2	6	3	6	6

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1	A2	A3	A4	A5	A6
3.0135	12.5115	14.3580	23.0000	15.0000	-2.0000

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Classificazione dell'ammasso roccioso

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
67.8800	65.8800	Seconda	Buono

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Modulo di de- formazione (GPa)	Geological Strenght Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di at- trito di picco (°)	Coesione resi- dua (kPa)	Angolo di at- trito residuo (°)
35.7600	62.8800	339.4000	38.9400	271.5200	32.1500

Input dati per il calcolo di Slope Mass Rating (SMR)

Rottura: planare o a cuneo

Parallelismo fra l'immersione dei giunti e quella del pendio: condizione favorevole (30°-20°)

Inclinazione dei giunti: condizione favorevole (20° - 30°)

Relazione fra inclinazione del fronte e quella dei giunti: condizione favorevole (10° - 0°)

Metodo di scavo: Abbattimento normale

Risultati relativi a Slope Mass Rating (SMR)

Fattori di aggiustamento

F1	F2	F3	F4
0.400000005960464	0.400000005960464	-6	0

F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti

F2 è riferito all'inclinazione del giunto

F3 mette in relazione l'inclinazione del fronte e quella dei giunti

F4 è legato al metodo di scavo

Classificazione corretta dell'ammasso roccioso

SMR	Classe	Descrizione
66.9199981689453	Seconda	Buona

Grado di stabilità, tipo di cinematismo di rottura, eventuali interventi di stabilizzazione

Stabilità	Modo di rottura	Stabilizzazione
Stabile	Possibili blocchi	Occasionale

PARTE BASSA SONDAGGIO 1 SX1

Input dati per il calcolo di Rock Mass Rating (RMR)

Indice di resistenza (I_s)=1.6 Mpa

Coefficiente $K=14$

Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (L_t)=4800 mm

Somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm (L_c)=10 mm

Spaziatura delle discontinuità (s)=1 m

Persistenza (continuità) del giunto = 3 - 10 m

Giunto chiuso

Giunto leggermente rugoso

Pareti non alterate

Riempimento assente

Roccia asciutta

Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni

Orientamento favorevole

Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)

Resistenza a compressione Su (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)
22.4	0.208299994468689

V1	V2	V3	V4	V5
2	6	3	6	6

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1	A2	A3	A4	A5	A6
3.0135	3.0235	14.3580	23.0000	15.0000	-2.0000

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Classificazione dell'ammasso roccioso

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
58.4000	56.4000	Terza	Mediocre

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Modulo di de- formazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di at- trito di picco (°)	Coesione resi- dua (kPa)	Angolo di at- trito residuo (°)
16.8000	53.4000	292.0000	34.2000	233.6000	28.3600

Input dati per il calcolo di Slope Mass Rating (SMR)

Rottura: planare o a cuneo

Parallelismo fra l'immersione dei giunti e quella del pendio: condizione favorevole (30°-20°)

Inclinazione dei giunti: condizione favorevole (20°-30°)

Relazione fra inclinazione del fronte e quella dei giunti: condizione favorevole (10°-0°)

Metodo di scavo: Abbattimento normale

Risultati relativi a Slope Mass Rating (SMR)

Fattori di aggiustamento

F1	F2	F3	F4
0.400000005960464	0.400000005960464	-6	0

F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti

F2 è riferito all'inclinazione del giunto

F3 mette in relazione l'inclinazione del fronte e quella dei giunti

F4 è legato al metodo di scavo

Classificazione corretta dell'ammasso roccioso

SMR	Classe	Descrizione
57.439998626709	Terza	Mediocre

Grado di stabilità, tipo di cinematismo di rottura, eventuali interventi di stabilizzazione

Stabilità	Modo di rottura	Stabilizzazione
Parzialmente stabile	Lungo piani o per cunei	Sistematica

Il valore di RQD medio nel primo sondaggio è stato da 10 a 21m di 63,3 e successivamente da 22 a 24m RQD=0

6.2 SONDAGGIO 2

Mediante il programma RockMechanics utilizzando i valori ricavati dalle prove di laboratorio e le osservazioni dirette delle carote e dell' ammasso roccioso nella gola delle Cassandre si è calcolata la classe di appartenenza dell' ammasso roccioso

Input dati per il calcolo di Rock Mass Rating (RMR)

Indice di resistenza (I_s)=2.59 Mpa

Coefficiente $K = 14$

Lunghezza totale del tratto di carota in cui si effettuano le misure (L_t)=25000 mm

Somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm (L_c) =18000 mm

Spaziatura delle discontinuità (s)=1 m

Persistenza (continuità) del giunto = 3 - 10 m

Giunto chiuso

Giunto leggermente rugoso

Pareti non alterate

Riempimento assente

Roccia asciutta

Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni

Orientamento favorevole

Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)

Resistenza a compressione S_u (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)
36.26	72

V1	V2	V3	V4	V5
2	6	3	6	6

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1	A2	A3	A4	A5	A6
4.2593	14.1433	14.3580	23.0000	15.0000	-2.0000

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

Classificazione dell'ammasso roccioso

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
70.7600	68.7600	Seconda	Buono

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
41.5200	65.7600	353.8000	40.3800	283.0400	33.3000

Input dati per il calcolo di Slope Mass Rating (SMR)

Rottura: planare o a cuneo

Parallelismo fra l'immersione dei giunti e quella del pendio: condizione favorevole (30°-20°)

Inclinazione dei giunti: condizione favorevole (20°-30°)

Relazione fra inclinazione del fronte e quella dei giunti: condizione favorevole (10°-0°)

Metodo di scavo: Abbattimento normale

Risultati relativi a Slope Mass Rating (SMR)

Fattori di aggiustamento

F1	F2	F3	F4
0.400000005960464	0.400000005960464	-6	0

F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti

F2 è riferito all'inclinazione del giunto

F3 mette in relazione l'inclinazione del fronte e quella dei giunti

F4 è legato al metodo di scavo

Classificazione corretta dell'ammasso roccioso

SMR	Classe	Descrizione
69.8000030517578	Seconda	Buona

Grado di stabilità, tipo di cinematisimo di rottura, eventuali interventi di stabilizzazione

Stabilità	Modo di rottura	Stabilizzazione
Stabile	Possibili blocchi	Occasionale

6.3 RIEPILOGO CARATTERIZZAZIONE SUBSTRATO ROCCIOSO

I sondaggi e le analisi hanno permesso di calcolare l'indice RMR e individuare le caratteristiche del substrato roccioso.

Mediamente la roccia è classificabile come in classe II "BUONA" ma la presenza di importanti fenomeni di fratturazione orientati parallelamente alla vicina Faglia Insubrica riducono la classe della roccia III "DISCRETA".

N = $\sum n_i$	0-25	25-50	50-70	70-90	90-100
CLASSE	V	IV	III	II	I
QUANTITÀ DELL'AMMASSO	molto scadente	scadente	discreta	buona	ottima
c Kg/cm ²	< 1	1-1,5	1,5-2,0	2,0-3,0	> 3,0
ϕ	< 30°	30°-35°	35°-40°	40°-45°	> 45°
GIUDIZIO SULLE DIFFICOLTÀ DI SCAVO	nessuna difficoltà	può essere cavato facilmente Frammentazione notevole	discrete difficoltà	si cava con difficoltà Frammenti di notevoli dimensioni	notevoli difficoltà di scavo
T L m	10 min 0,5	5 ore 1,5	1 settimana 2	6 mesi 4	10 anni 5

Figura 38 tabella RMR

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola
Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopeditone sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio
PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

Il valore di RQD medio nel primo sondaggio è stato da 10 a 21m di 63,3 e successivamente da 22 a 24m RQD=0

Sondaggio 1		
da m	a m	RQD
10.0	11.0	50.0
11.0	12.0	70.0
12.0	13.0	80.0
13.0	14.0	100.0
14.0	15.0	100.0
15.0	16.0	80.0
16.0	17.0	50.0
17.0	18.0	50.0
18.0	19.0	10.0
19.0	20.0	50.0
20.0	21.0	90.0
21.0	22.0	30.0
22.0	23.0	0.0
23.0	24.0	0.0
24.0	25.0	0.0

Strato		Descrizione
da m	a m	
0	0.9	Sabbia limosa in matrice argillosa limosa, di color marrone, con ciottoli diam 2-3 cm a spigoli arrotondati. (Strato alterato)
0.9	1.3	Sabbia limosa in matrice limosa debolmente argillosa, di color ocra, con ciottoli diam 2-3 cm a spigoli arrotondati.
1.3	1.5	Trovante (tonalitico)
1.5	2.5	Sabbia limosa in matrice limosa debolmente argillosa, di color ocra, con ciottoli diam 2-3 cm a spigoli arrotondati.
2.5	2.6	Ciottoli con diametro > 10 cm in matrice sabbiosa limosa
2.6	7.4	Sabbia limosa con ciottoli con diametro 4-5 cm a spigoli arrotondati di color grigio ocreo
7.4	9.8	Sabbia debolmente limosa con ciottoli a spigoli arrotondati di color grigio ocreo
9.8	25	Tonalite di Triangia

Campioni		
da m	a m	Nome
12.6	12.8	SX1
15.0	15.3	SX2
18.6	18.8	SX3
21.8	22.0	SX4

Il valore di RQD medio nel secondo sondaggio è stato da 4 a 26m di 77,4 e successivamente da 22 a 24m RQD=0

Strato		Descrizione
da m	a m	
0	1.1	Sabbia limosa in matrice argillosa limosa, di color marrone, con ciottoli diam 2-3 cm a spigoli arrotondati. (Strato alterato)
1.1	1.7	Sabbia debolmente limosa di color ocra, con ciottoli diam 2-3 cm a spigoli arrotondati.
1.7	2	Alternanza di ciottoli con diametro >10 cm in terreno sabbioso debolmente limoso di color ocra
2	2.7	Sabbia e limi in matrice argillosa, di color ocra, con piccoli clasti
2.7	3.4	Substrato roccioso alterato
3.4	27.6	Tonalite di Triangia con filoni aplitici da 12,8 m a 13 m e da 20,4 m a 22 m

Sondaggio 2		
da m	a m	RQD
4.0	5.0	80.0
5.0	6.0	80.0
6.0	7.0	50.0
7.0	8.0	60.0
8.0	9.0	70.0
9.0	10.0	80.0
10.0	11.0	90.0
11.0	12.0	80.0
12.0	13.0	70.0
13.0	14.0	70.0
14.0	15.0	70.0
15.0	16.0	70.0
16.0	17.0	90.0
17.0	18.0	90.0
18.0	19.0	90.0
19.0	20.0	90.0
20.0	21.0	70.0
21.0	22.0	50.0
22.0	23.0	90.0
23.0	24.0	90.0
24.0	25.0	80.0
25.0	26.0	80.0
26.0	27.0	90.0

Campioni		
da m	a m	Nome
4.2	4.6	DX1
7.0	7.2	DX2
12.8	12.9	DX3
17.7	18.0	DX4
21.3	21.5	DX5
25.1	25.3	DX6

7 VERIFICA STABILITA' GLOBALE

Utilizzando le sezioni topografiche ricavate dai rilievi e l'andamento stratigrafico si sono eseguite diverse verifiche di stabilità globale prima considerando la situazione attuale e poi quella ipotizzando l'esistenza della passerella.

Si sono eseguite solo verifiche sulla sponda Sinistra Ponchiera in quanto quella che risulta avere la situazione geologica geotecnica più critica.

La spalla dl ponte in sponda destra è più lontana dal ciglio della scarpata e i sondaggi hanno individuato roccia più compatta.

Come parametri geotecnici e geomeccanici si sono inseriti quelli ricavati dalle prove.

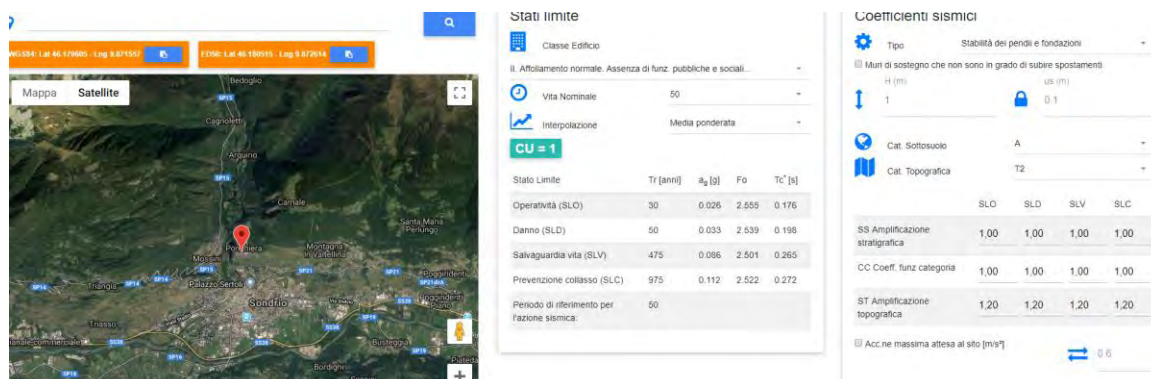


Figura 39 parametri sismici

Definizione

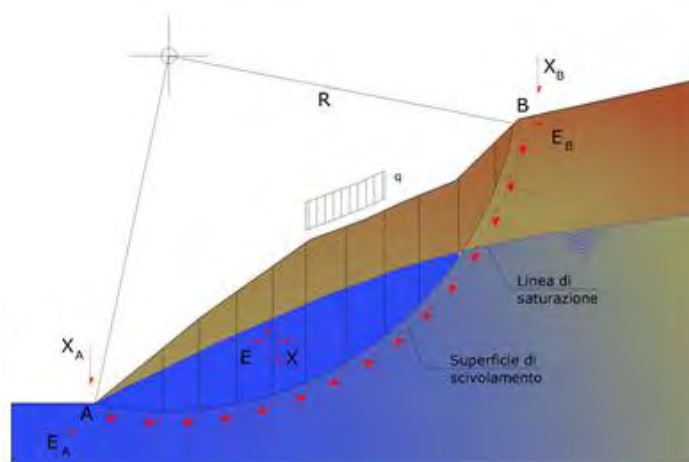
Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.). Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n ;
- equazioni relative al criterio di rottura n .

Totale numero di equazioni $4n$.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a (n-2) in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite. I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

metodo di Spencer (1967)

Il metodo è basato sull'assunzione:

1. le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ ;
2. tutti i momenti sono nulli $M_i = 0$ con $i=1, \dots, n$.

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione $f(x) = 1$. Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$1) \quad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h \sec \alpha) \frac{\tan \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[\frac{F_s + \tan \alpha \tan(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

R = raggio dell'arco di cerchio;

θ = angolo d'inclinazione della forza Q_i rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\begin{aligned} \sum (Q_i \cos \theta) &= 0 \\ \sum (Q_i \sin \theta) &= 0 \end{aligned}$$

Con l'assunzione delle forze Q_i parallele fra loro, si può anche scrivere:

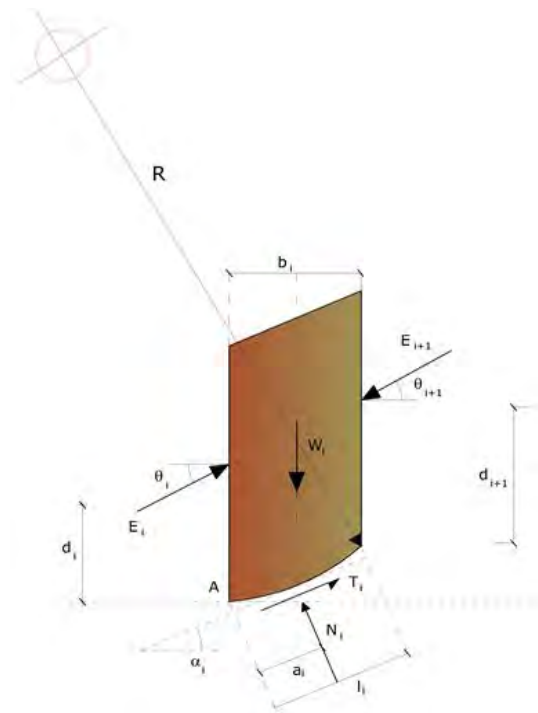
$$2) \quad \sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo (F_{sm}) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo (F_{sf}) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia:

$$F_{sm} = F_{sf}$$

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminare un numero elevato di potenziali superfici.



Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Ancoraggi

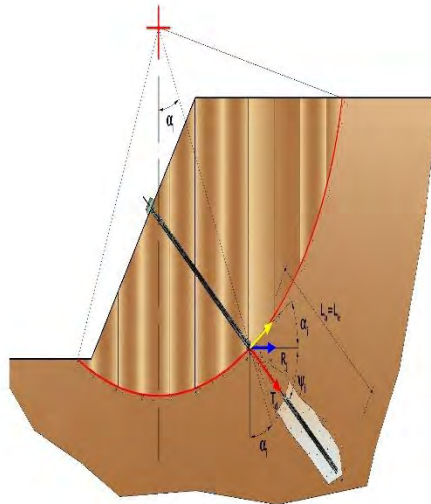
Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.

Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

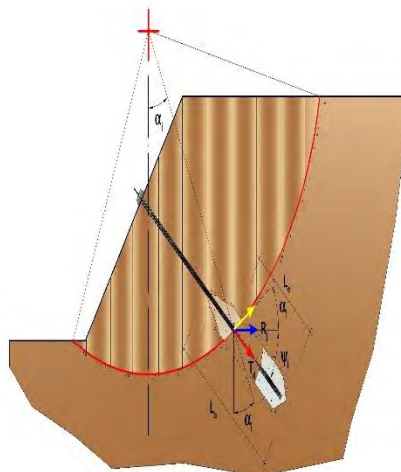
- **testata:** indica l'insieme degli elementi che hanno la funzione di trasmettere alla struttura ancorata la forza di trazione del tirante;
- **fondazione:** indica la parte del tirante che realizza la connessione con il terreno, trasmettendo al terreno stesso la forza di trazione del tirante.

Il tratto compreso tra la testata e la fondazione prende il nome di parte libera, mentre la fondazione (o bulbo) viene realizzata iniettando nel terreno, per un tratto terminale, tramite valvole a perdere, la malta, in genere cementizia. L'anima dell'ancoraggio è costituita da un'armatura, realizzata con barre, fili o trefoli.

Il tirante interviene nella stabilità in misura maggiore o minore efficacia a seconda se sarà totalmente o parzialmente (caso in cui è intercettato dalla superficie di scorrimento) ancorato alla parte stabile del terreno.



Bulbo completamente ancorato



Bulbo parzialmente ancorato

Le relazioni che esprimono la misura di sicurezza lungo una ipotetica superficie di scorrimento si modificheranno in presenza di ancoraggi (tirante attivo, passivo e chiodi) nel modo seguente:

- per i tiranti di *tipo attivo*, la loro resistenza si detrae dalle azioni (denominatore);

$$F_s = \frac{R_d}{E_d - \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}$$

- per tiranti di *tipo passivo* e per i *chiodi*, il loro contributo si somma alle resistenze (numeratore)

$$F_s = \frac{R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}{E_d}$$

Con R_j si indica la resistenza dell'ancoraggio e viene calcolata dalla seguente espressione:

$$R_j = T_d \cdot \cos \Psi_i \cdot \left(\frac{1}{i} \right) \cdot \left(\frac{L_e}{L_a} \right)$$

dove:

T_d tiro esercizio;
 Ψ_i inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale;
 i interasse;
 L_e lunghezza efficace;
 L_a lunghezza d'ancoraggio.

I due indici (i, j) riportati in sommatoria rappresentano rispettivamente l'i-esimo concio e il j-esimo ancoraggio intercettato dalla superficie di scorrimento dell'i-esimo concio.

7.1 VERIFICA STABILITA' GLOBALE SITUAZIONE ATTUALE

La prima verifica eseguita tenendo conto dei coefficienti sismici contempla una situazione senza le opere.

Il programma ha ipotizzato alcune centinaia di cerchi di scorrimento evidenziando che si hanno valori minimi superiori ad 1, di seguito si riportano solo alcune risultanze delle superfici ipotizzate.

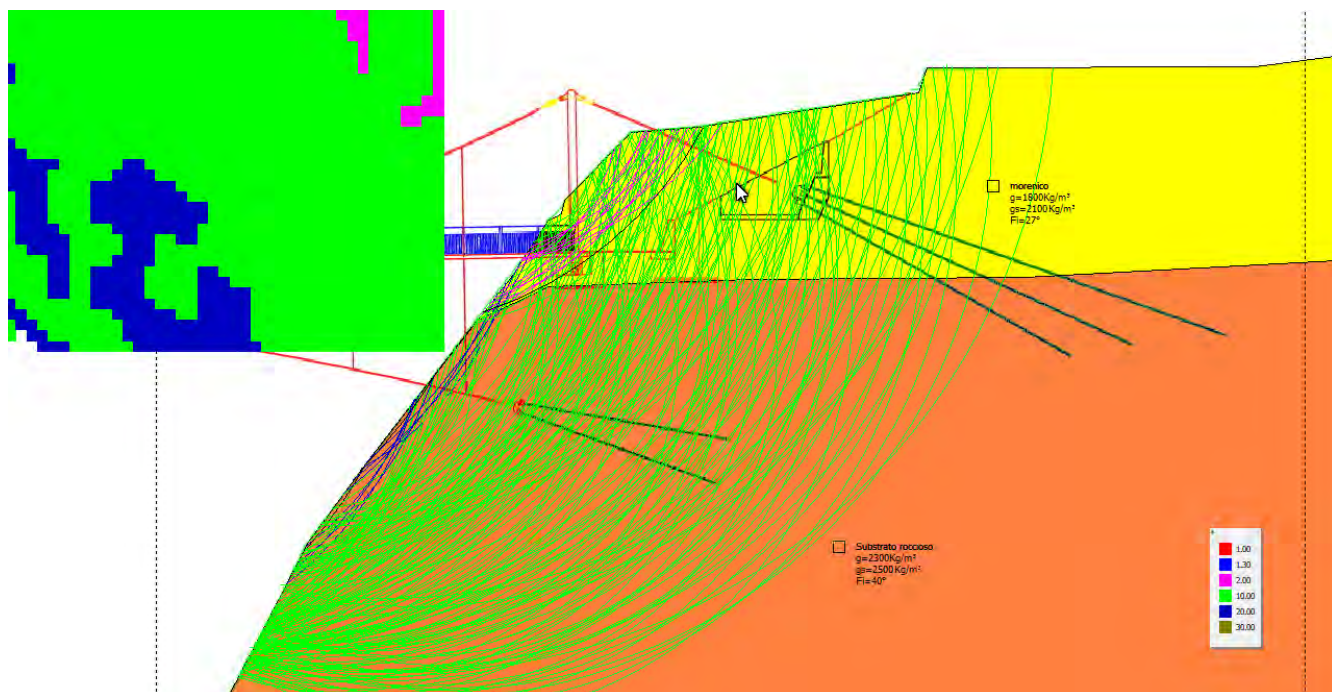


Figura 40 verifica stabilità 1

Analisi di stabilità dei pendii con: SPENCER (1967)

Lat./Long.	46.178416/9.869111
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	8.61 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	16.26 m
Ascissa vertice destro superiore xs	41.01 m
Ordinata vertice destro superiore ys	43.5 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]**Dati generali**

Tipo opera:

2 - Opere ordinarie

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola
Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopeditone sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio
PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

Classe d'uso: Classe II
Vita nominale: 50.0 [anni]
Vita di riferimento: 50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: A
Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.25	2.56	0.18
S.L.D.	50.0	0.32	2.54	0.2
S.L.V.	475.0	0.83	2.51	0.27
S.L.C.	975.0	1.09	2.53	0.27

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.3	0.2	0.0061	0.0031
S.L.D.	0.384	0.2	0.0078	0.0039
S.L.V.	0.996	0.2	0.0203	0.0102
S.L.C.	1.308	0.27	0.036	0.018

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0061
Coefficiente azione sismica verticale 0.0031

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	27.12	-6.65
2	32.71	4.12
3	36.51	9.36
4	45.54	20.92
5	47.95	24.53
6	48.79	25.01
7	49.03	25.86
8	53.24	30.19
9	57.58	30.49
10	71.61	32.72
11	72.09	34.29
12	93.04	34.35
13	103.16	35.67

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	27.12	-6.65
2	32.71	4.12
3	36.51	9.36
4	43.38	18.15
5	48.01	20.38
6	60.89	20.8

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola
Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopeditone sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio
PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

7	78.35	20.98
8	103.16	22.25

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	.2	0	27	1800	2100	morenico	
2	2	0	40	2300	2500	Substrato roccioso	

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	0	0	0	1	0
2					

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.31
Ascissa centro superficie	36.15 m
Ordinata centro superficie	42.14 m
Raggio superficie	24.62 m

Numero di superfici esaminate....(208)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	15.1	16.3	22.2	22.44
2	16.7	17.6	24.4	5.65
3	18.3	16.3	21.1	7.81
4	19.9	17.6	23.5	4.52
5	21.6	16.3	18.3	8.61
6	23.2	17.6	17.3	20.00
7	24.8	16.3	15.5	20.00
8	26.4	17.6	14.5	20.00
9	28.0	16.3	12.8	20.00

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffeis, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopedonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

10	29.7	17.6	18.0	4.71
11	31.3	16.3	18.8	4.29
12	32.9	17.6	20.3	4.24
13	34.5	16.3	21.7	4.33
14	36.1	17.6	23.3	4.17
15	37.8	16.3	20.4	5.31
16	39.4	17.6	21.8	3.78
17	41.0	16.3	21.5	4.04
18	13.5	20.3	27.5	7.49
19	15.1	19.0	26.0	6.40
20	16.7	20.3	23.9	12.15
21	18.3	19.0	22.7	7.78
22	19.9	20.3	20.8	18.40
23	21.6	19.0	20.1	20.00
24	23.2	20.3	25.0	3.65
25	24.8	19.0	23.8	3.60
26	26.4	20.3	16.1	20.00
27	28.0	19.0	15.4	20.00
28	29.7	20.3	22.8	3.70
29	31.3	19.0	21.5	3.91
30	32.9	20.3	25.2	3.38
31	34.5	19.0	21.7	4.12
32	36.1	20.3	23.2	3.31
33	37.8	19.0	22.3	3.57
34	39.4	20.3	26.8	3.31
35	41.0	19.0	26.3	3.42
36	11.9	21.7	29.1	9.10
37	13.5	23.1	29.5	6.69
38	15.1	21.7	27.9	5.82
39	16.7	23.1	25.4	13.29
40	18.3	21.7	24.3	8.05
41	19.9	23.1	27.7	3.98
42	21.6	21.7	21.1	20.00
43	23.2	23.1	24.4	4.45
44	24.8	21.7	23.5	4.01
45	26.4	23.1	24.3	3.75
46	28.0	21.7	23.5	3.66
47	29.7	23.1	24.5	3.51
48	31.3	21.7	23.8	3.53
49	32.9	23.1	24.9	3.10
50	34.5	21.7	24.3	3.13
51	36.1	23.1	28.3	3.08
52	37.8	21.7	27.5	3.18
53	39.4	23.1	26.3	3.19
54	41.0	21.7	25.4	3.30
55	8.6	24.4	31.7	59.33
56	10.2	25.8	32.9	8.70
57	11.9	24.4	31.2	7.46
58	13.5	25.8	31.8	5.55
59	15.1	24.4	26.7	20.00
60	16.7	25.8	30.8	4.52
61	18.3	24.4	25.9	8.47
62	19.9	25.8	26.8	20.00
63	21.6	24.4	22.2	20.00
64	23.2	25.8	23.1	20.00

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffeis, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopedonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

65	24.8	24.4	22.1	20.00
66	26.4	25.8	19.5	10.73
67	28.0	24.4	25.1	3.56
68	29.7	25.8	22.9	4.08
69	31.3	24.4	28.4	2.74
70	32.9	25.8	29.7	3.25
71	34.5	24.4	29.0	3.01
72	36.1	25.8	30.4	2.84
73	37.8	24.4	26.8	3.14
74	39.4	25.8	31.4	3.59
75	41.0	24.4	30.8	3.84
76	8.6	27.2	34.0	16.27
77	10.2	28.5	35.2	6.81
78	11.9	27.2	33.4	6.32
79	13.5	28.5	34.1	20.00
80	15.1	27.2	28.8	20.00
81	16.7	28.5	29.5	8.82
82	18.3	27.2	28.1	7.06
83	19.9	28.5	28.8	4.38
84	21.6	27.2	24.2	20.00
85	23.2	28.5	28.4	3.30
86	24.8	27.2	24.0	4.62
87	26.4	28.5	31.7	2.73
88	28.0	27.2	24.1	4.27
89	29.7	28.5	31.7	3.03
90	31.3	27.2	24.1	3.52
91	32.9	28.5	32.1	2.80
92	34.5	27.2	27.8	3.12
93	36.1	28.5	32.7	3.26
94	37.8	27.2	31.9	3.41
95	39.4	28.5	33.6	2.99
96	41.0	27.2	32.9	3.01
97	8.6	29.9	36.8	8.43
98	13.5	31.2	36.5	3.69
99	15.1	29.9	34.8	3.47
100	16.7	31.2	35.7	3.02
101	18.3	29.9	34.0	2.89
102	19.9	31.2	35.0	2.67
103	21.6	29.9	33.4	2.61
104	23.2	31.2	34.6	2.77
105	24.8	29.9	33.1	2.74
106	26.4	31.2	34.4	2.52
107	28.0	29.9	29.5	2.97
108	29.7	31.2	34.5	2.77
109	31.3	29.9	33.2	2.78
110	32.9	31.2	31.2	2.83
111	34.5	29.9	33.6	3.14
112	36.1	31.2	35.3	2.92
113	37.8	29.9	34.3	2.96
114	39.4	31.2	13.4	1.52
115	41.0	29.9	35.2	2.86
116	8.6	32.6	39.1	5.85
117	11.9	32.6	34.0	62.82
118	13.5	34.0	34.3	15.12
119	15.1	32.6	37.1	3.25

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffeis, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopedonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

120	16.7	34.0	37.8	2.94
121	18.3	32.6	36.4	2.79
122	19.9	34.0	33.0	3.55
123	21.6	32.6	35.8	2.85
124	23.2	34.0	36.7	2.57
125	24.8	32.6	35.5	2.53
126	26.4	34.0	32.5	2.88
127	28.0	32.6	35.5	2.78
128	29.7	34.0	28.5	2.97
129	31.3	32.6	35.7	2.68
130	32.9	34.0	36.9	2.78
131	34.5	32.6	16.9	2.22
132	36.1	34.0	16.8	1.92
133	37.8	32.6	36.8	2.85
134	39.4	34.0	34.0	3.36
135	41.0	32.6	13.6	1.39
136	10.2	36.7	42.1	3.91
137	11.9	35.3	40.3	3.72
138	13.5	36.7	41.2	3.18
139	15.1	35.3	39.4	3.06
140	16.7	36.7	40.4	3.11
141	18.3	35.3	38.7	3.03
142	19.9	36.7	35.7	2.89
143	21.6	35.3	34.1	3.82
144	23.2	36.7	35.3	3.05
145	24.8	35.3	33.9	2.96
146	26.4	36.7	39.3	2.74
147	28.0	35.3	29.7	3.16
148	29.7	36.7	23.0	2.69
149	31.3	35.3	34.0	2.87
150	32.9	36.7	31.4	2.91
151	34.5	35.3	30.2	2.87
152	36.1	36.7	19.2	1.50
153	37.8	35.3	18.0	2.98
154	39.4	36.7	40.8	3.20
155	41.0	35.3	14.1	1.91
156	8.6	38.1	43.9	4.12
157	10.2	39.4	40.3	12.95
158	11.9	38.1	38.6	9.80
159	13.5	39.4	43.8	3.30
160	15.1	38.1	37.8	4.98
161	16.7	39.4	43.0	2.73
162	18.3	38.1	37.2	3.10
163	19.9	39.4	42.5	2.92
164	21.6	38.1	36.8	2.91
165	23.2	39.4	38.0	2.58
166	24.8	38.1	40.7	2.76
167	26.4	39.4	42.0	2.64
168	28.0	38.1	40.6	2.66
169	29.7	39.4	42.1	2.83
170	31.3	38.1	40.8	2.84
171	32.9	39.4	34.1	2.76
172	34.5	38.1	20.5	2.06
173	36.1	39.4	21.9	1.34
174	37.8	38.1	37.5	3.23

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffeis, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopedonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - R.04 - RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA

175	39.4	39.4	18.0	2.03
176	41.0	38.1	16.7	1.65
177	8.6	40.8	42.1	19.08
178	10.2	42.1	47.3	2.57
179	11.9	40.8	41.2	6.29
180	13.5	42.1	42.1	4.23
181	15.1	40.8	40.5	3.86
182	16.7	42.1	45.7	2.67
183	18.3	40.8	44.1	2.64
184	19.9	42.1	41.1	2.78
185	21.6	40.8	39.5	2.67
186	23.2	42.1	40.8	2.79
187	24.8	40.8	43.4	2.63
188	26.4	42.1	44.7	2.84
189	28.0	40.8	27.0	2.25
190	29.7	42.1	44.8	2.81
191	31.3	40.8	35.3	2.82
192	32.9	42.1	24.4	1.95
193	34.5	40.8	23.2	1.51
194	36.1	42.1	24.6	1.31
195	37.8	40.8	23.4	3.15
196	39.4	42.1	20.7	1.80
197	41.0	40.8	19.4	1.63
198	8.6	43.5	49.1	2.65
199	11.9	43.5	48.1	3.12
200	15.1	43.5	43.1	3.46
201	18.3	43.5	42.6	2.90
202	21.6	43.5	42.2	2.49
203	24.8	43.5	42.0	2.94
204	28.0	43.5	29.8	2.29
205	31.3	43.5	46.2	2.86
206	34.5	43.5	25.9	1.40
207	37.8	43.5	21.9	2.26
208	41.0	43.5	22.1	1.67

7.2 VERIFICA STABILITA' GLOBALE CON SCAVI APERTI

La prima verifica eseguita tenendo conto dei coefficienti sismici contempla una situazione in fase di scavo per predisporre le fondazioni.

Il programma ha ipotizzato alcune centinaia di cerchi di scorrimento evidenziando che si hanno valori minimi superiori ad 1, di seguito si riportano solo alcune risultanze delle superfici ipotizzate.

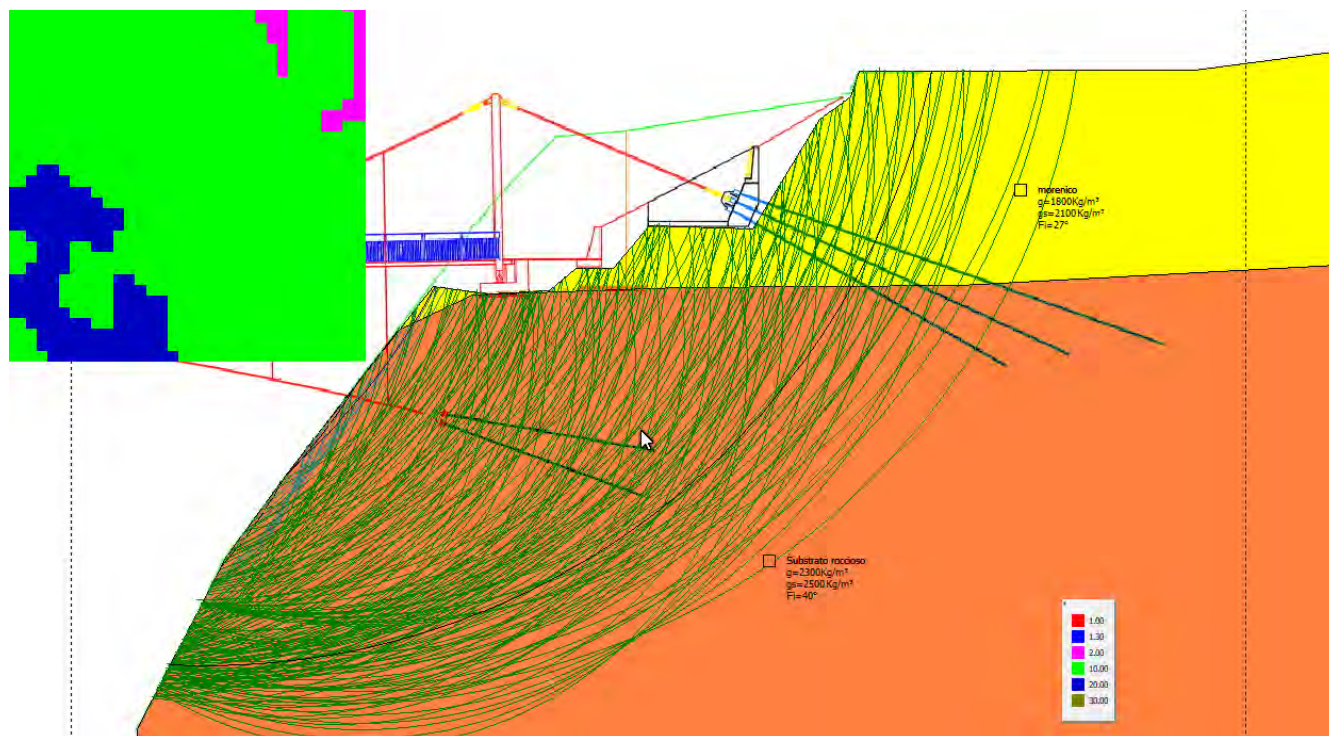


Figura 41 verifica stabilità 21

Analisi di stabilità dei pendii con: SPENCER (1967)

Lat./Long.	46.178416/9.869111
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	8.61 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	16.26 m
Ascissa vertice destro superiore xs	41.01 m
Ordinata vertice destro superiore ys	43.5 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]**Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.25	2.56	0.18
S.L.D.	50.0	0.32	2.54	0.2
S.L.V.	475.0	0.83	2.51	0.27
S.L.C.	975.0	1.09	2.53	0.27

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.3	0.2	0.0061	0.0031
S.L.D.	0.384	0.2	0.0078	0.0039
S.L.V.	0.996	0.2	0.0203	0.0102
S.L.C.	1.308	0.27	0.036	0.018

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0061
 Coefficiente azione sismica verticale 0.0031

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	27.12	-6.65
2	32.71	4.12
3	36.51	9.36
4	45.54	20.92
5	49.04	20.4
6	52.81	20.6
7	54.46	21.99
8	56.77	21.99
9	59.02	24.69
10	65.5	24.5

11	69.66	31.3
12	71.61	32.72
13	72.09	34.29
14	93.04	34.35
15	103.16	35.67

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	27.12	-6.65
2	32.71	4.12
3	36.51	9.36
4	43.38	18.15
5	48.01	20.38
6	60.89	20.8
7	78.35	20.98
8	103.16	22.25

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resi- stenza al ta- glio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	.2	0	27	1800	2100	morenico	
2	2	0	40	2300	2500	Substrato roc- cioso	

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	0	0	0	1	0
2					

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	3.16
Ascissa centro superficie	31.29 m
Ordinata centro superficie	43.5 m
Raggio superficie	46.23 m

Numero di superfici esaminate....(208)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	13.5	17.6	25.2	10.86
2	15.1	16.3	23.5	8.67
3	16.7	17.6	23.9	20.00
4	18.3	16.3	20.1	12.53
5	19.9	17.6	20.5	8.17
6	21.6	16.3	17.3	14.44
7	23.2	17.6	17.6	9.28
8	24.8	16.3	15.0	20.00
9	26.4	17.6	22.0	3.49
10	28.0	16.3	20.9	3.53
11	29.7	17.6	22.1	3.41
12	31.3	16.3	21.3	3.62
13	32.9	17.6	22.7	3.56
14	34.5	16.3	19.9	3.90
15	36.1	17.6	23.5	3.99
16	37.8	16.3	20.4	4.49
17	39.4	17.6	21.8	4.97
18	41.0	16.3	24.2	5.09
19	13.5	20.3	27.4	7.87
20	15.1	19.0	25.5	7.27
21	16.7	20.3	23.5	16.39
22	18.3	19.0	21.7	12.48
23	19.9	20.3	22.6	20.00
24	21.6	19.0	18.4	20.00
25	23.2	20.3	19.5	20.00
26	24.8	19.0	18.1	20.00
27	26.4	20.3	21.8	3.80
28	28.0	19.0	23.1	3.32
29	29.7	20.3	21.9	3.63
30	31.3	19.0	20.9	3.74
31	32.9	20.3	22.2	3.67
32	34.5	19.0	21.5	3.96
33	36.1	20.3	25.7	3.85
34	37.8	19.0	25.1	4.11
35	39.4	20.3	26.7	4.29
36	41.0	19.0	26.3	4.56
37	10.2	23.1	30.4	15.31
38	15.1	21.7	27.8	6.05
39	16.7	23.1	25.4	13.00
40	18.3	21.7	23.8	9.72
41	19.9	23.1	24.7	6.28
42	21.6	21.7	20.3	18.84
43	23.2	23.1	21.3	20.00
44	24.8	21.7	22.8	4.07
45	26.4	23.1	26.8	3.28
46	28.0	21.7	25.6	3.32
47	29.7	23.1	26.9	3.43
48	31.3	21.7	25.8	3.37
49	32.9	23.1	24.3	3.68
50	34.5	21.7	23.5	3.81
51	36.1	23.1	28.0	3.91
52	37.8	21.7	27.3	4.09
53	39.4	23.1	25.9	4.39

54	41.0	21.7	28.4	4.54
55	8.6	24.4	31.7	59.33
56	10.2	25.8	32.8	9.11
57	11.9	24.4	31.2	7.46
58	13.5	25.8	31.7	5.94
59	15.1	24.4	26.7	20.00
60	16.7	25.8	27.3	20.00
61	18.3	24.4	25.9	8.47
62	19.9	25.8	26.6	20.00
63	21.6	24.4	22.1	16.69
64	23.2	25.8	29.4	3.35
65	24.8	24.4	21.9	6.22
66	26.4	25.8	26.0	3.76
67	28.0	24.4	28.1	3.35
68	29.7	25.8	29.3	3.55
69	31.3	24.4	28.3	3.60
70	32.9	25.8	26.4	4.01
71	34.5	24.4	25.8	4.01
72	36.1	25.8	27.0	4.09
73	37.8	24.4	29.7	4.00
74	39.4	25.8	27.9	4.38
75	41.0	24.4	30.7	4.44
76	8.6	27.2	34.1	15.32
77	10.2	28.5	35.3	6.61
78	11.9	27.2	33.5	6.18
79	13.5	28.5	34.2	4.71
80	15.1	27.2	28.9	16.11
81	16.7	28.5	33.3	3.78
82	18.3	27.2	28.2	6.82
83	19.9	28.5	32.6	3.41
84	21.6	27.2	31.0	3.38
85	23.2	28.5	28.9	3.92
86	24.8	27.2	27.4	3.82
87	26.4	28.5	22.2	7.80
88	28.0	27.2	27.3	3.72
89	29.7	28.5	22.1	5.33
90	31.3	27.2	30.7	3.42
91	32.9	28.5	32.3	3.61
92	34.5	27.2	31.2	3.71
93	36.1	28.5	32.8	3.80
94	37.8	27.2	31.9	3.92
95	39.4	28.5	33.6	3.98
96	41.0	27.2	32.9	4.15
97	11.9	29.9	36.0	4.93
98	13.5	31.2	32.8	14.90
99	15.1	29.9	35.0	3.90
100	16.7	31.2	35.7	3.60
101	18.3	29.9	30.8	5.10
102	19.9	31.2	35.0	3.58
103	21.6	29.9	27.1	7.09
104	23.2	31.2	34.6	3.34
105	24.8	29.9	26.9	4.81
106	26.4	31.2	34.4	3.45
107	28.0	29.9	30.0	3.70
108	29.7	31.2	34.5	3.49
109	31.3	29.9	33.5	3.53
110	32.9	31.2	34.8	3.62

111	34.5	29.9	30.5	4.00
112	36.1	31.2	35.4	3.86
113	37.8	29.9	31.0	4.19
114	39.4	31.2	36.1	3.89
115	41.0	29.9	31.7	4.34
116	8.6	32.6	39.1	6.56
117	11.9	32.6	34.0	62.82
118	13.5	34.0	34.3	15.12
119	15.1	32.6	37.1	3.80
120	16.7	34.0	37.8	3.62
121	18.3	32.6	36.4	3.49
122	19.9	34.0	28.9	18.34
123	21.6	32.6	35.8	3.39
124	23.2	34.0	32.7	4.19
125	24.8	32.6	35.5	3.50
126	26.4	34.0	32.5	3.97
127	28.0	32.6	35.5	3.42
128	29.7	34.0	28.5	4.93
129	31.3	32.6	35.7	3.53
130	32.9	34.0	36.9	3.29
131	34.5	32.6	36.1	3.81
132	36.1	34.0	33.3	3.75
133	37.8	32.6	36.8	3.71
134	39.4	34.0	34.0	3.84
135	41.0	32.6	37.6	3.96
136	10.2	36.7	42.1	4.36
137	11.9	35.3	40.3	4.20
138	13.5	36.7	41.2	3.80
139	15.1	35.3	39.4	3.72
140	16.7	36.7	36.2	5.56
141	18.3	35.3	34.6	5.14
142	19.9	36.7	35.7	4.54
143	21.6	35.3	34.1	4.31
144	23.2	36.7	35.3	4.21
145	24.8	35.3	33.9	4.10
146	26.4	36.7	39.3	3.48
147	28.0	35.3	33.8	3.62
148	29.7	36.7	39.3	3.25
149	31.3	35.3	34.0	4.07
150	32.9	36.7	35.5	3.76
151	34.5	35.3	34.3	3.78
152	36.1	36.7	35.9	3.71
153	37.8	35.3	34.9	3.81
154	39.4	36.7	40.8	3.43
155	41.0	35.3	35.6	4.32
156	8.6	38.1	43.9	4.55
157	10.2	39.4	40.3	13.25
158	11.9	38.1	38.6	10.07
159	13.5	39.4	39.5	6.77
160	15.1	38.1	37.8	6.09
161	16.7	39.4	43.0	3.53
162	18.3	38.1	37.2	4.78
163	19.9	39.4	42.5	3.58
164	21.6	38.1	32.7	7.07
165	23.2	39.4	42.1	3.44
166	24.8	38.1	40.7	3.47
167	26.4	39.4	42.0	3.19

168	28.0	38.1	40.6	3.25
169	29.7	39.4	42.1	3.21
170	31.3	38.1	40.8	3.19
171	32.9	39.4	42.3	3.18
172	34.5	38.1	41.2	3.20
173	36.1	39.4	42.8	3.32
174	37.8	38.1	37.5	3.73
175	39.4	39.4	39.2	3.72
176	41.0	38.1	38.2	3.75
177	8.6	40.8	42.1	20.30
178	10.2	42.1	47.3	3.85
179	11.9	40.8	41.2	7.66
180	13.5	42.1	42.1	5.78
181	15.1	40.8	40.5	5.37
182	16.7	42.1	45.7	3.69
183	18.3	40.8	44.1	3.64
184	19.9	42.1	45.2	3.17
185	21.6	40.8	39.5	4.23
186	23.2	42.1	40.8	3.83
187	24.8	40.8	43.4	3.47
188	26.4	42.1	44.7	3.27
189	28.0	40.8	43.4	3.24
190	29.7	42.1	44.8	3.20
191	31.3	40.8	39.4	3.80
192	32.9	42.1	45.0	3.16
193	34.5	40.8	39.7	3.70
194	36.1	42.1	45.5	3.27
195	37.8	40.8	40.2	3.48
196	39.4	42.1	41.8	3.56
197	41.0	40.8	45.1	3.47
198	8.6	43.5	49.1	3.95
199	11.9	43.5	43.8	6.26
200	15.1	43.5	43.1	5.02
201	18.3	43.5	42.6	4.57
202	21.6	43.5	42.2	4.51
203	24.8	43.5	42.0	3.75
204	28.0	43.5	46.1	3.22
205	31.3	43.5	46.2	3.16
206	34.5	43.5	46.6	3.23
207	37.8	43.5	47.1	3.35
208	41.0	43.5	43.5	3.74

7.3 VERIFICA STABILITA' GLOBALE CON PASSERELLA

A passerella costruita sul terreno insistono carichi individuati come indicato nella figura seguente.



Figura 42 schema carichi passerella

Si esegue la verifica solo per la sponda sinistra, lato Ponchiera in quanto è la situazione più gravosa per morfologia e geolitologia

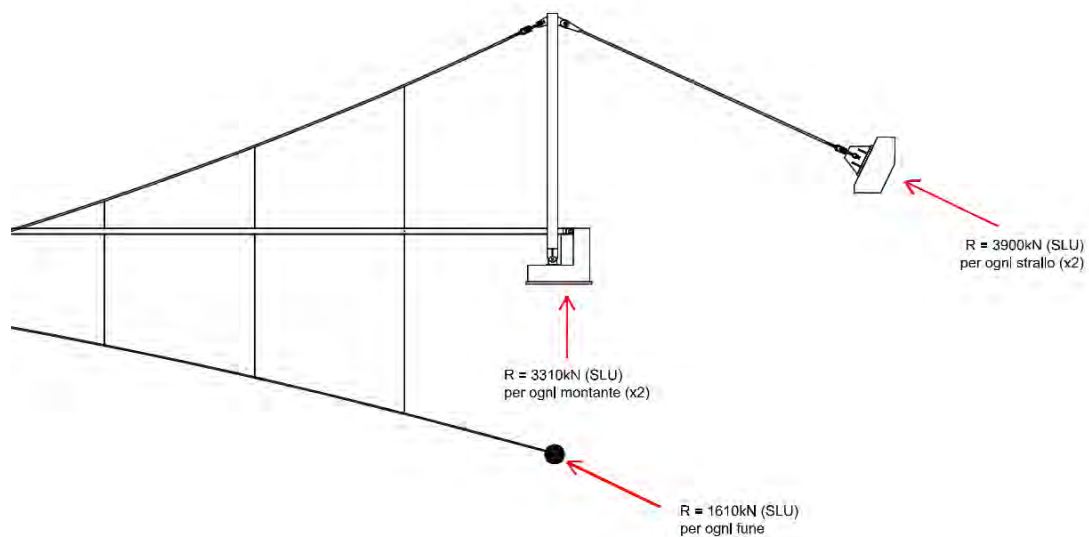


Figura 43 schema carichi passerella

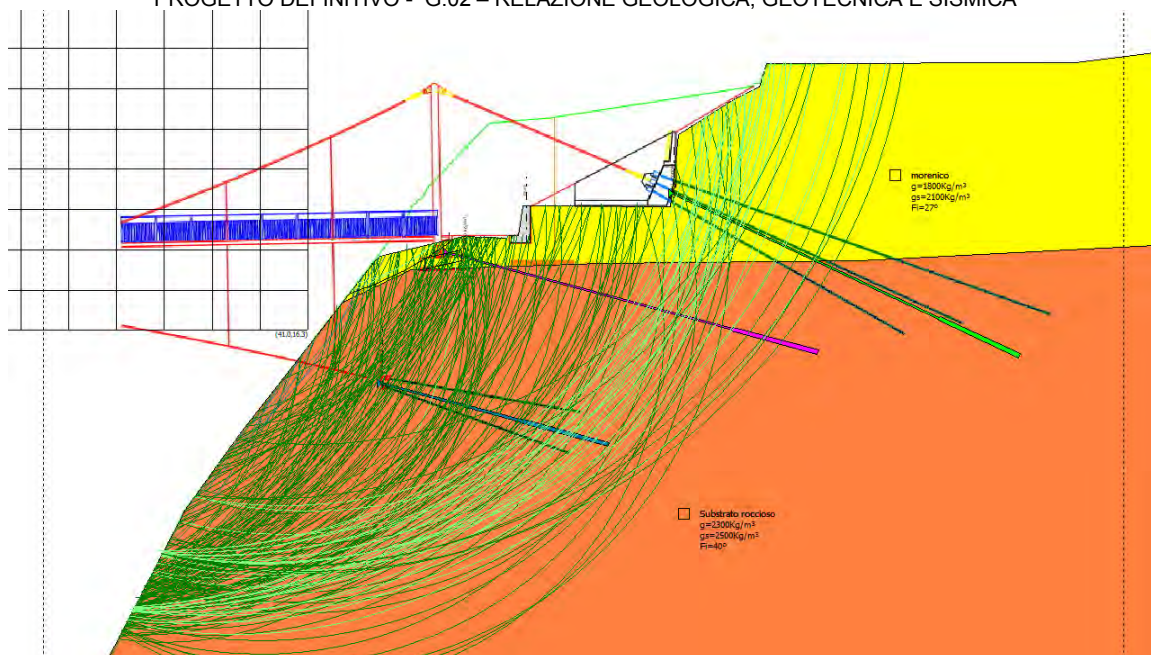


Figura 44 verifica stabilità 21

Analisi di stabilità dei pendii con: SARMA (1973)

Lat./Long.	46.178416/9.869111
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	8.61 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	16.26 m
Ascissa vertice destro superiore xs	41.01 m
Ordinata vertice destro superiore ys	43.5 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]**Dati generali**

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.25	2.56	0.18
S.L.D.	50.0	0.32	2.54	0.2
S.L.V.	475.0	0.83	2.51	0.27
S.L.C.	975.0	1.09	2.53	0.27

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.3	0.2	0.0061	0.0031
S.L.D.	0.384	0.2	0.0078	0.0039
S.L.V.	0.996	0.2	0.0203	0.0102
S.L.C.	1.308	0.27	0.036	0.018

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0061

Coefficiente azione sismica verticale 0.0031

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	27.12	-6.65
2	32.71	4.12
3	36.51	9.36
4	45.54	20.92
5	45.87	21.26
6	51.55	22.58
7	54.46	22.51
8	54.57	22.69
9	56.05	22.69
10	56.05	24.69
11	59.02	24.69
12	65.56	24.63
13	66.09	29.52
14	69.46	31.63
15	70.06	31.96
16	71.61	32.72
17	72.09	34.29
18	93.04	34.35
19	103.16	35.67

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	27.12	-6.65
2	32.71	4.12
3	36.51	9.36
4	43.38	18.15
5	48.01	20.38
6	60.89	20.8
7	78.35	20.98
8	103.16	22.25

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	2	0	27	1800	2100	morenico	
2	2	0	40	2300	2500	Substrato roccioso	

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	0	0	0	1	0
2	3	0	0	1	0

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (Kg/m ³)
1	113.99	25.69	0.5	0	2	0.5	0.8	0
2	56.05	22.69	0.5	0	2	0.5	0.8	0

Tiranti

N°	x (m)	y (m)	Lunghezza libera (m)	Lunghezza ancorata (m)	Diametro del bulbo (m)	Inclinazione (°)	Tiro (Kg)
1	65.66409	25.56978	20	6	0.3	25	800000
2	45.94028	12.73964	10	6	0.3	15	165000
3	50.44782	21.57196	15	6	0.3	15	60000

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	48.93	20.41	51.43	20.9914	5

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.37
Ascissa centro superficie	36.15 m
Ordinata centro superficie	42.14 m
Raggio superficie	24.62 m

Numero di superfici esaminate....(205)

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopedonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - G.02 – RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	13.5	17.6	25.4	9.41
2	16.7	17.6	24.1	6.08
3	18.3	16.3	22.2	5.80
4	19.9	17.6	23.0	4.65
5	21.6	16.3	19.0	6.90
6	23.2	17.6	20.0	5.14
7	24.8	16.3	18.4	4.96
8	26.4	17.6	19.6	4.35
9	28.0	16.3	20.7	3.05
10	29.7	17.6	22.0	2.06
11	31.3	16.3	21.1	2.21
12	32.9	17.6	20.1	2.30
13	34.5	16.3	17.3	2.36
14	36.1	17.6	16.1	2.35
15	37.8	16.3	15.2	2.61
16	39.4	17.6	13.7	2.74
17	41.0	16.3	24.1	3.20
18	15.1	19.0	23.4	19.99
19	16.7	20.3	26.3	5.28
20	18.3	19.0	24.8	4.81
21	19.9	20.3	25.4	4.19
22	21.6	19.0	23.9	4.02
23	23.2	20.3	22.3	4.63
24	24.8	19.0	23.4	2.84
25	26.4	20.3	24.5	2.00
26	28.0	19.0	23.3	2.02
27	29.7	20.3	22.2	2.02
28	31.3	19.0	21.0	2.13
29	32.9	20.3	19.9	2.13
30	34.5	19.0	18.8	2.29
31	36.1	20.3	20.3	2.66
32	37.8	19.0	14.1	2.25
33	39.4	20.3	26.7	3.01
34	41.0	19.0	26.3	3.05
35	10.2	23.1	30.4	19.99
36	11.9	21.7	29.1	9.37
37	15.1	21.7	27.8	5.93
38	16.7	23.1	28.4	4.83
39	18.3	21.7	26.8	4.48
40	19.9	23.1	24.5	6.49
41	21.6	21.7	26.1	3.65
42	23.2	23.1	24.0	4.42
43	24.8	21.7	25.7	2.58
44	26.4	23.1	23.8	2.86
45	28.0	21.7	25.6	2.03
46	29.7	23.1	23.9	3.49
47	31.3	21.7	23.1	2.20
48	32.9	23.1	24.2	3.69
49	34.5	21.7	23.6	2.57
50	36.1	23.1	24.9	2.79
51	37.8	21.7	27.4	2.93
52	39.4	23.1	22.6	3.09
53	41.0	21.7	28.5	2.59
54	10.2	25.8	32.9	9.05
55	13.5	25.8	31.7	5.64
56	15.1	24.4	26.7	19.99
57	16.7	25.8	30.7	4.21
58	18.3	24.4	29.1	4.01

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopedonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - G.02 – RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

59	19.9	25.8	30.0	2.79
60	21.6	24.4	25.3	4.92
61	23.2	25.8	26.3	4.02
62	24.8	24.4	25.0	3.03
63	26.4	25.8	26.0	3.62
64	28.0	24.4	28.0	3.11
65	29.7	25.8	26.1	3.74
66	31.3	24.4	28.3	3.30
67	32.9	25.8	29.7	2.61
68	34.5	24.4	28.8	2.72
69	36.1	25.8	27.1	2.84
70	37.8	24.4	23.1	2.90
71	39.4	25.8	27.9	2.08
72	41.0	24.4	27.3	2.32
73	8.6	27.2	34.2	19.99
74	10.2	28.5	35.4	6.40
75	11.9	27.2	33.6	6.01
76	13.5	28.5	30.9	19.99
77	15.1	27.2	32.5	4.39
78	16.7	28.5	30.0	7.22
79	18.3	27.2	31.6	4.87
80	19.9	28.5	32.6	3.22
81	21.6	27.2	27.8	4.32
82	23.2	28.5	32.2	3.19
83	24.8	27.2	30.7	3.19
84	26.4	28.5	31.9	3.20
85	28.0	27.2	27.3	3.65
86	29.7	28.5	22.1	3.06
87	31.3	27.2	30.7	2.52
88	32.9	28.5	28.9	2.62
89	34.5	27.2	27.8	2.70
90	36.1	28.5	32.8	1.94
91	37.8	27.2	31.9	2.09
92	39.4	28.5	30.0	2.08
93	41.0	27.2	29.3	2.27
94	11.9	29.9	36.1	4.87
95	13.5	31.2	36.5	4.18
96	15.1	29.9	35.0	3.78
97	16.7	31.2	35.7	3.53
98	18.3	29.9	34.2	3.30
99	19.9	31.2	35.0	3.34
100	21.6	29.9	30.4	4.42
101	23.2	31.2	34.6	3.49
102	24.8	29.9	33.4	3.18
103	26.4	31.2	34.4	3.41
104	28.0	29.9	33.3	3.24
105	29.7	31.2	34.5	2.54
106	31.3	29.9	33.5	2.61
107	32.9	31.2	34.8	1.78
108	34.5	29.9	20.2	2.95
109	36.1	31.2	31.8	1.90
110	37.8	29.9	31.0	1.98
111	39.4	31.2	28.8	1.85
112	41.0	29.9	28.1	2.18
113	8.6	32.6	39.1	6.62
114	11.9	32.6	34.0	19.99
115	13.5	34.0	34.3	19.99
116	15.1	32.6	37.1	2.80
117	16.7	34.0	37.8	3.65
118	18.3	32.6	36.4	3.48

COMUNE DI SONDRIO

Arch Francesco Venzi, Ing. Massimo Maffei, Ing. Paolo Moncecchi, geologo Maurizio Azzola

Progetto per la realizzazione di una passerella ciclopedonale sulle Cassandre del torrente Mallero a Sondrio

PROGETTO DEFINITIVO - G.02 – RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

119	19.9	34.0	33.0	3.09
120	21.6	32.6	35.8	3.46
121	23.2	34.0	36.7	3.44
122	24.8	32.6	28.0	2.69
123	26.4	34.0	28.5	2.77
124	28.0	32.6	35.5	2.48
125	29.7	34.0	24.5	2.83
126	31.3	32.6	24.3	2.94
127	32.9	34.0	36.9	1.67
128	34.5	32.6	36.1	1.89
129	36.1	34.0	33.3	1.63
130	37.8	32.6	32.9	1.80
131	39.4	34.0	34.0	1.83
132	41.0	32.6	13.6	1.76
133	10.2	36.7	42.1	3.88
134	11.9	35.3	40.3	3.64
135	13.5	36.7	41.2	4.04
136	15.1	35.3	39.4	3.77
137	16.7	36.7	40.4	3.78
138	18.3	35.3	38.7	3.70
139	19.9	36.7	35.7	5.09
140	21.6	35.3	34.1	4.98
141	23.2	36.7	31.2	2.87
142	24.8	35.3	29.8	2.72
143	26.4	36.7	39.3	2.54
144	28.0	35.3	33.8	4.00
145	29.7	36.7	39.3	1.56
146	31.3	35.3	25.8	3.08
147	32.9	36.7	35.5	1.59
148	34.5	35.3	34.3	1.60
149	36.1	36.7	35.9	1.73
150	37.8	35.3	34.9	1.81
151	39.4	36.7	32.3	1.90
152	41.0	35.3	31.3	1.97
153	8.6	38.1	43.9	4.15
154	10.2	39.4	40.3	19.99
155	11.9	38.1	38.6	9.64
156	13.5	39.4	43.8	3.86
157	15.1	38.1	37.8	5.48
158	16.7	39.4	38.8	2.65
159	18.3	38.1	37.2	2.63
160	19.9	39.4	42.5	3.33
161	21.6	38.1	32.7	4.00
162	23.2	39.4	33.9	2.94
163	24.8	38.1	40.7	2.52
164	26.4	39.4	42.0	1.56
165	28.0	38.1	40.6	1.56
166	29.7	39.4	42.1	1.66
167	31.3	38.1	40.8	1.66
168	32.9	39.4	38.2	1.74
169	34.5	38.1	37.0	1.73
170	36.1	39.4	21.9	1.65
171	37.8	38.1	37.5	1.93
172	39.4	39.4	39.2	2.03
173	41.0	38.1	38.2	2.10
174	8.6	40.8	42.1	19.99
175	10.2	42.1	47.3	4.12
176	11.9	40.8	41.2	7.77
177	13.5	42.1	42.1	3.38
178	15.1	40.8	40.5	2.76

179	16.7	42.1	45.7	3.56
180	18.3	40.8	44.1	3.51
181	19.9	42.1	36.9	3.00
182	21.6	40.8	35.4	2.92
183	23.2	42.1	36.7	3.01
184	24.8	40.8	43.4	2.60
185	26.4	42.1	44.7	1.68
186	28.0	40.8	43.4	1.67
187	29.7	42.1	44.8	1.75
188	31.3	40.8	39.4	1.94
189	32.9	42.1	45.0	1.84
190	34.5	40.8	39.7	1.92
191	36.1	42.1	24.6	1.37
192	37.8	40.8	40.2	1.98
193	39.4	42.1	41.8	6.28
194	41.0	40.8	40.9	2.13
195	8.6	43.5	49.1	4.26
196	11.9	43.5	43.8	3.90
197	15.1	43.5	43.1	2.85
198	18.3	43.5	38.5	4.00
199	21.6	43.5	38.1	3.08
200	24.8	43.5	33.9	3.13
201	28.0	43.5	46.1	1.75
202	31.3	43.5	42.1	1.82
203	34.5	43.5	46.6	1.99
204	37.8	43.5	38.7	2.31
205	41.0	43.5	35.0	3.22

8 CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE CONCLUSIVE

Le verifiche eseguite confermano la fattibilità dell'opera introducendo dei tiranti alla base delle fondazioni dei piloni in sponda sinistra per scaricare verso monte i carichi elevati che la struttura induce quasi sull'orlo della scarpata.

Con lo sbancamento della coltre detritica superficiale si potrà meglio verificare le condizioni e l'andamento del substrato roccioso.

In sede esecutiva e di realizzazione di dei primi tiranti si dovrà verificare che il substrato roccioso sia coerente con quanto individuato con le indagini geologiche procedendo eventualmente alla rimozione delle parti alterate superficiali e/o consolidandole. E' raccomandato un sistema di controllo

In particolare la vicinanza della fraglia Insubrica, come si è evidenziato nel sondaggio 1, induce sistemi di frattura est-ovest circa paralleli alla posizione in pianta dei tiranti.

Le NTC 2018 indicano come necessaria la conferma sperimentale del carico limite con prove di trazione in sito sia nelle fasi di progetto che di collaudo.

La prova di collaudo di un sistema di tiranti si esegue attraverso una semplice prova non distruttiva di carico scarico ponendo un valore del tiro pari a 1,2 volte a quello di progetto e confrontando gli allungamenti misurati con i valori limite prefissati dal progetto. Tale prova deve essere eseguita su tutti i sistemi di ancoraggio prima della loro messa in esercizio e può essere svolta con uno dei due metodi: a carico costante, oppure ad allungamento costante.

Sondrio, 3 luglio 2019

dr. M. Azzola



9 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 45 modello 3D gola delle Cassandre



Figura 46 modello 3D gola delle Cassandre vista da sud



Figura 47 zona di attraversamento Cassandre



Figura 48 sponda SX zona di arrivo passerella



Figura 49 sponda destra zona di arrivo passerella



Figura 50 zona spalla destra



Figura 51 parete rocciosa sponda DX



Figura 52 sponda sinistra zona sondaggi



Figura 53 zona spalla sinistra



Figura 54 sponda sinistra parete rocciosa