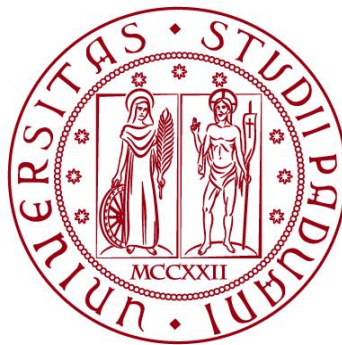


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA

**STUDIO DEL MOVIMENTO FRANOSO CHE INTERESSA
IL COLLE DI SAN MARTINO E LA CHIESA PIEVANALE DI
VALLE DI CADORE (BL) E DEGLI INTERVENTI REALIZZATI**

Relatore: PROF.SSA GIORGIA DALLA SANTA

Laureando: MATTIA ROSSI

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

A chi mi ha accompagnato e sostenuto in questo viaggio

INDICE

INTRODUZIONE	8
INQUADRAMENTO GENERALE E DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO	8
1. PARTE PRIMA – CRONISTORIA 1864-2015	11
1.1. PRIME REGISTRAZIONI.....	11
1.2. INDAGINI DICEMBRE 1988.....	15
1.2.1. SONDAGGIO n. 1 (Figura 5 - Sondaggio n.1 [2])	16
1.2.2. SONDAGGIO n. 2 (Figura 6 - Sondaggio n. 2)	19
1.2.3. SONDAGGIO n. 3 (Figura 7 - Sondaggio n. 3 [2])	21
1.3. APPROFONDIMENTO: TUBI INCLINOMETRICI.....	30
1.4. PROGETTO DI MESSA IN SICUREZZA – DICEMBRE 1988	32
1.5. CONCLUSIONE INDAGINI 1988	36
1.6. PROGETTO DI CONSOLIDAMENTO ANNO 2000.....	37
1.6.1. PRIMO SONDAGGIO ANNO 2000.....	38
1.6.2. SECONDO SONDAGGIO ANNO 2000.....	38
1.7. MONITORAGGIO ANNO 2004	42
1.7.1. INTERVENTO DI DEMOLIZIONE ANNO 2004	43
1.7.2. SONDAGGI ANNO 2004 (Allegato [9])	43
1.7.3. PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO.....	44
1.7.4. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO ANNO 2004	45
1.7.5. CONCLUSIONE LAVORI ANNO 2006.....	46
1.8. MONITORAGGIO ANNO 2012	48
1.9. MONITORAGGIO ANNO 2015	50
2. PARTE SECONDA INTERVENTO DI CONSOLIDAZIONE E MESSA IN SICUREZZA ANNI 2021-2023	53

2.1. INDAGINI PRELIMINARI	53
2.1.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	55
2.1.2. SONDAGGIO A21	57
2.1.3. SONDAGGIO B21	63
2.1.4. SONDAGGI C21 D21	69
2.1.5. ELABORAZIONE SONDAGGI.....	69
2.1.6. PROVE SISMICHE DOWN HOLE.....	73
2.1.7. MONITORAGGIO DELLA FALDA.....	73
2.2. INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DELLA BERLINESE ESISTENTE E MESSA IN SICUREZZA DELLA CHIESA	74
2.2.1. REALIZZAZIONE CORDOLO IN C.A.....	74
2.2.2. REALIZZAZIONE PLACCAGGIO IN C.A.....	76
2.2.3. TIRANTAGGIO DEL CORDOLO IN C.A.....	78
3. PARTE TERZA CONSIDERAZIONI PERSONALI	81
BIBLIOGRAFIA.....	85

INTRODUZIONE

INQUADRAMENTO GENERALE E DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO

Il comune di Valle di Cadore si trova nella provincia di Belluno, in Veneto ed è percorso dalla strada statale SS51 che lo collega alla vicina e nota Cortina D'Ampezzo. Il paese si trova ai piedi del monte Antelao e viene inoltre percorso dal fiume Boite il quale ha dato vita all'omonima vallata dal classico profilo a "V". Nonostante la morfologia della vallata che ne identifica l'origine fluviale, durante i periodi di glaciazione si assume che anche questa vallata fosse sede di una lingua glaciale che, nei periodi post-glaciali ha lasciato in posto i tipici depositi di sedimenti di granulometria mista derivati dai processi di erosione e trasporto (glacial till) e la valle è diventata poi sede del fiume oggi esistente. In questa tesi si vuole focalizzare l'attenzione su un luogo di particolare importanza per la comunità di Valle ovvero il colle su cui è edificata la chiesa parrocchiale dedicata a San Martino vescovo (Figura 1 - il comune di Valle di Cadore, Figura 2 - Foto aerea della frana)



Figura 1 - il comune di Valle di Cadore in Veneto



Figura 2 - Foto aerea della frana

La chiesa parrocchiale venne eretta nel 1309 su quelli che sono i resti di un antico castello edificato a lato della “Via Romana” e, proprio dagli antichi romani, ci sono pervenute le prime informazioni riguardanti alcune caratteristiche del colle in quanto già in antichità, quando la Via Romana veniva percorsa dalle legioni, venivano osservati movimenti rilevanti del terreno. Tali informazioni si sono ottenute facendo riferimento al libro intitolato “Alemagna: storie, luoghi, personaggi lungo la via del nord da Venezia al Tirolo attraverso le Dolomiti” scritto da Massimo Spampiani. Da allora in poi, il colle di San Martino è sempre risultato soggetto ad un movimento franoso, che negli ultimi decenni ha coinvolto porzioni di terreno sempre più estese e sempre più in prossimità della chiesa, minacciando quindi la sua stabilità.

Oggetto della tesi è quindi lo studio del movimento franoso del colle San Martino, degli interventi realizzati per contrastarlo negli ultimi decenni e del più recente intervento realizzato, conclusosi agli inizi del 2023. Si è quindi proceduto raccogliendo tutte le informazioni disponibili riguardo all'inquadramento geologico e alla situazione stratigrafica e idrogeologica del promontorio quali relazioni geologiche, sondaggi, relazioni geotecniche e stratigrafie, risultati ottenuti da prove in sito ecc., in modo da poter fare le opportune considerazioni sulle possibili cause del moto franoso che, oggi, continua la sua attività. Inoltre si descrive l'ultimo intervento realizzato.

È bene precisare che tutti gli interventi che si sono realizzati per contenere i moti franosi del promontorio sono atti a mettere in sicurezza la chiesa parrocchiale del paese, in quanto patrimonio culturale date le numerose opere di importanza artistica che contiene quali organo, affreschi, dipinti e sculture.

1. PARTE PRIMA – CRONISTORIA 1864-2015

1.1. PRIME REGISTRAZIONI

Per quanto concerne le prime attestazioni riguardanti i cedimenti del colle si fa riferimento alle relazioni tecniche redatte dal geologo Mario Cabriel e disponibili presso gli archivi comunali di Valle di Cadore.

Il primo dissesto in epoca moderna viene registrato in una relazione del Genio Civile in data 12 agosto 1864, si citano “*spaccature e strapiombi*” situati nel terreno ad oggi franato. Oltre al dissesto troviamo informazioni anche per quanto riguarda un primo intervento per la stabilizzazione della chiesa parrocchiale, ovvero la rifondazione dell’angolo S-E.

Viene attestato inoltre che, nonostante l’intervento, la chiesa continuò a cedere con avanzamento lento, continuo e progressivo, tanto da richiedere la demolizione del presbiterio e la sua successiva ricostruzione con volumetria più contenuta e con una fondazione approfondita fino a 5 metri lineari dal piano di camminamento ed allargata a 2,4 ml.

Già da questo primo intervento di stabilizzazione della chiesa, gli ingegneri del Genio Civile iniziarono a formulare le prime osservazioni riguardo al movimento franoso del colle, si riporta un’attestazione presa direttamente dalla relazione [1] “*...si può ragionevolmente presumere che gli avvenuti disordini dipendono non solo dal cedimento della fondazione nei punti dei spiegati difetti ma anche da un lento movimento di tutto lo strato di terra che forma parte della ripida falda a mezzodì*”. Tale cedimento aveva causato, sempre nel 1864, un “*distacco del muro del presbiterio da quello dell’annessovi campanile*” di 34 cm e da quello della navata di 20 cm, il tutto annesso ad un abbassamento del presbiterio stesso di circa 13 cm.

Nel febbraio del 1967, successivamente all’alluvione del novembre 1966, si sono registrati ulteriori spostamenti per la struttura della chiesa. Si rilevano i seguenti punti, come indicato nella relazione [1]:

- Il terreno adiacente alla sacrestia, addossato alla facciata sud della chiesa, si è abbassato di ulteriori 15 cm;
- Si è creata una fenditura di circa 8 cm annessa ad un abbassamento del terreno di 20 cm nel versante N-E dalla chiesa seguendo la strada comunale;
- A circa 20 metri a valle della chiesa si registrano due profonde fenditure;
- Sulla facciata sud della chiesa si è allargata una precedente frattura;
- Sui fabbricati vicini alla chiesa si sono create nuove fessure.

Si allega una planimetria (Figura 3) datata 24 febbraio 1967 in cui si va ad identificare una prima bozza di coronamento di quella che sarà poi la frana che oggi conosciamo. Nella planimetria, oltre alla parrocchiale, si evidenziano anche gli edifici che hanno subito danni in seguito al moto franoso del colle.

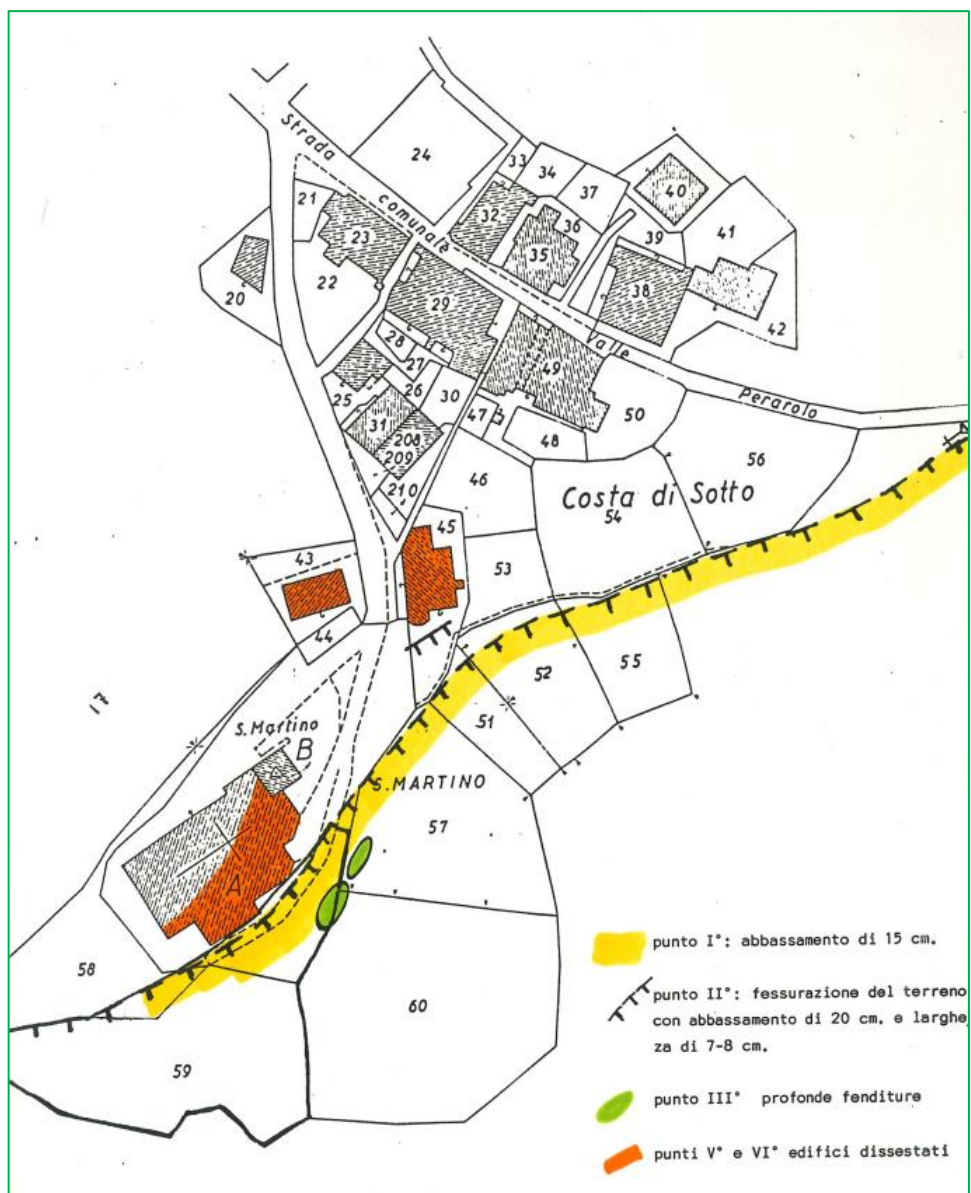


Figura 3 - Planimetria dei dissesti 1967 estratto dall'allegato [1]

Successivamente, negli anni 1969-1970 venne redatto dallo studio tecnico degli ing. Barcelloni-Corte un progetto di riassetto della chiesa in collaborazione con il geologo Cargnel.

Il progetto utilizzò come base n. 4 sondaggi (di cui non si ha a disposizione dettagliata documentazione) eseguiti nei dintorni dell'edificio di culto e portò alla realizzazione di un cordolo in calcestruzzo armato ancorato alle strutture di fondazione mediante chiodatura e poggiate su micropali spinti fino a 12 ml (metri lineari) di profondità. Tale cordolo aggirava le fondazioni del presbiterio e

dell'angolo S-E della sacrestia in corrispondenza dei cedimenti strutturali più rilevanti.

Nonostante quest'ultimo intervento, i cedimenti, sia nei terreni circostanti che nella parte sud-orientale del fabbricato, sono continuati con lento perseverare portando, nel corso del 1987, alla chiusura al culto della chiesa per insufficienti condizioni di sicurezza.

1.2. INDAGINI DICEMBRE 1988

Proprio in seguito alla chiusura al culto della parrocchia si decise di proseguire le indagini commissionando uno studio geotecnico approfondito al fine di provvedere al consolidamento dei terreni nei dintorni dell'edificio.

Si proseguì quindi con l'esecuzione di n. 3 nuovi sondaggi che si sono spinti alle profondità di 24,00 ml, 21,75 ml e 19,50 ml (che vanno ad integrarsi con i quattro eseguiti nel 1970) e disposti, ovviamente, in posizioni differenti rispetto ai precedenti (Figura 4 - Posizione dei sondaggi) in modo da poter, con questi, ricostruire la situazione stratigrafica. Inoltre, all'interno dei fori di sondaggio verranno poi posizionati dei tubi inclinometrici e piezometri.

Nei fori dei sondaggi n. 1 e n. 2 sono stati cementati due pozzi inclinometrici, utilizzati poi per monitorare nel tempo lo stato di evoluzione del dissesto franoso, e cercare di individuare la superficie di scorrimento della frana. Gli stessi fori, sono stati poi utilizzati per misure piezometriche.

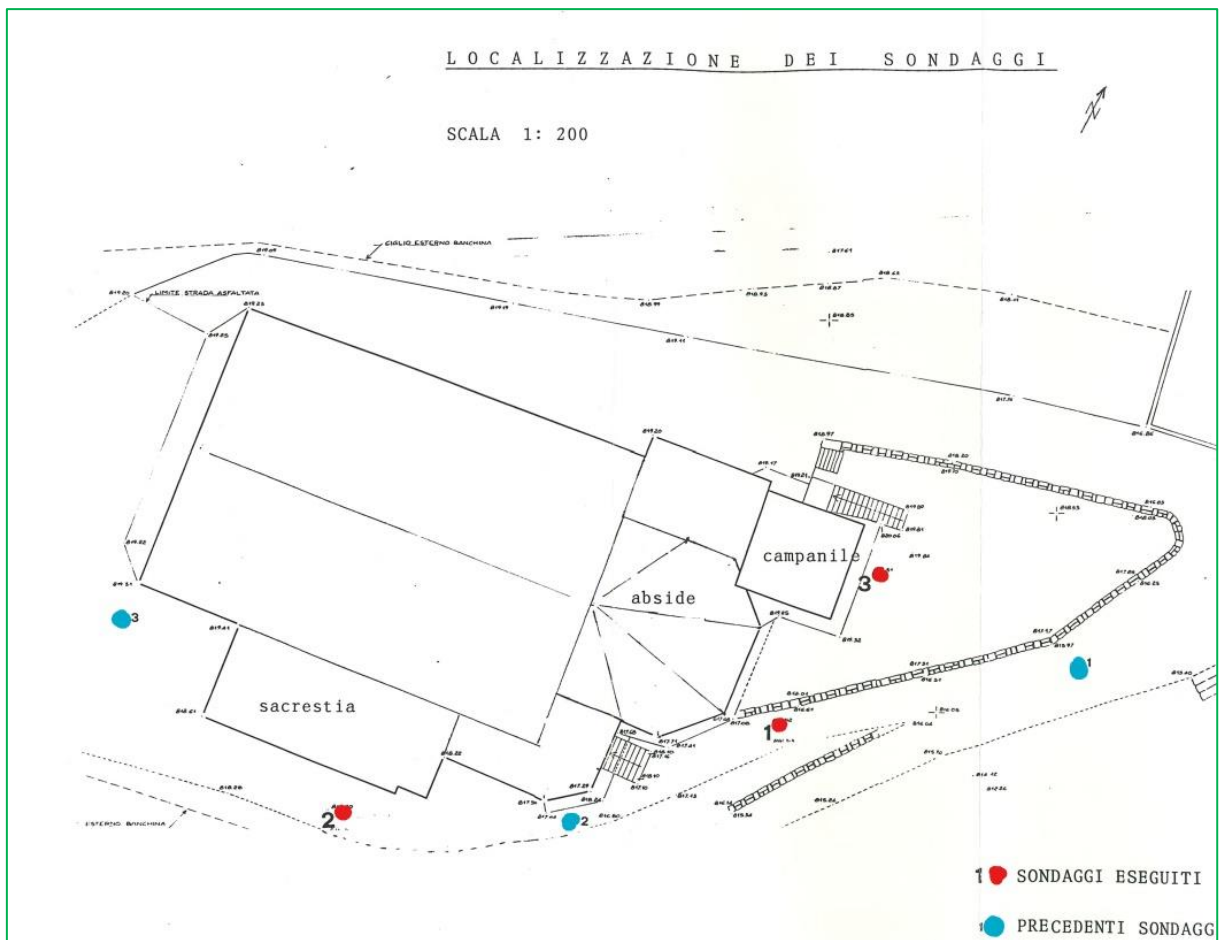


Figura 4 - Posizione dei sondaggi estratta dall'allegato [2]

Dalla relazione di campagna [2], si ricavano le seguenti informazioni stratigrafiche:

1.2.1. SONDAGGIO n. 1 (Figura 5 - Sondaggio n.1 [2])

Sotto ad un terreno di riporto la perforazione ha incontrato un terreno ciottoloso in matrice argillo-limosa che si spinge fino a 13.80 ml. Tale matrice argillosa è stata fortemente dilavata nel sondaggio, per cui la percentuale estratta durante il carotaggio risulta bassa. In tale formazione si incontrano livelli più ciottolosi o prettamente limosi; nei primi si localizzano normalmente le acque di scorrimento sotterraneo. Oltre la quota di -13,80 ml la frazione limosa aumenta ottenendo così caratteristiche di un deposito fluvioglaciale, con caratteristiche prevalentemente di morena

SONDAGGIO n.1		
Da [m]	A [m]	TERRENO
Pc	0.40	Terreno di riporto vegetale
0.40	1.80	Riporto ciottolosi in matrice terrosa con livelli limosi
1.80	5.10	Ciottoli grossolani in matrice argillo-limosa
5.10	5.50	Sabbia e limo con ghiaia
5.50	13.80	Ciottoli prevalentemente calcarei in matrice limosa, alternati a livelli argillo-limosi
13.80	14.50	Limo sabbioso
14.50	21.30	Limo sabbioso con ciottoli e ghiaia
21.30	22.00	Ciottoli e ghiaia in matrice limosa
22.00	24.00	Limo e sabbia con ciottoli e ghiaia

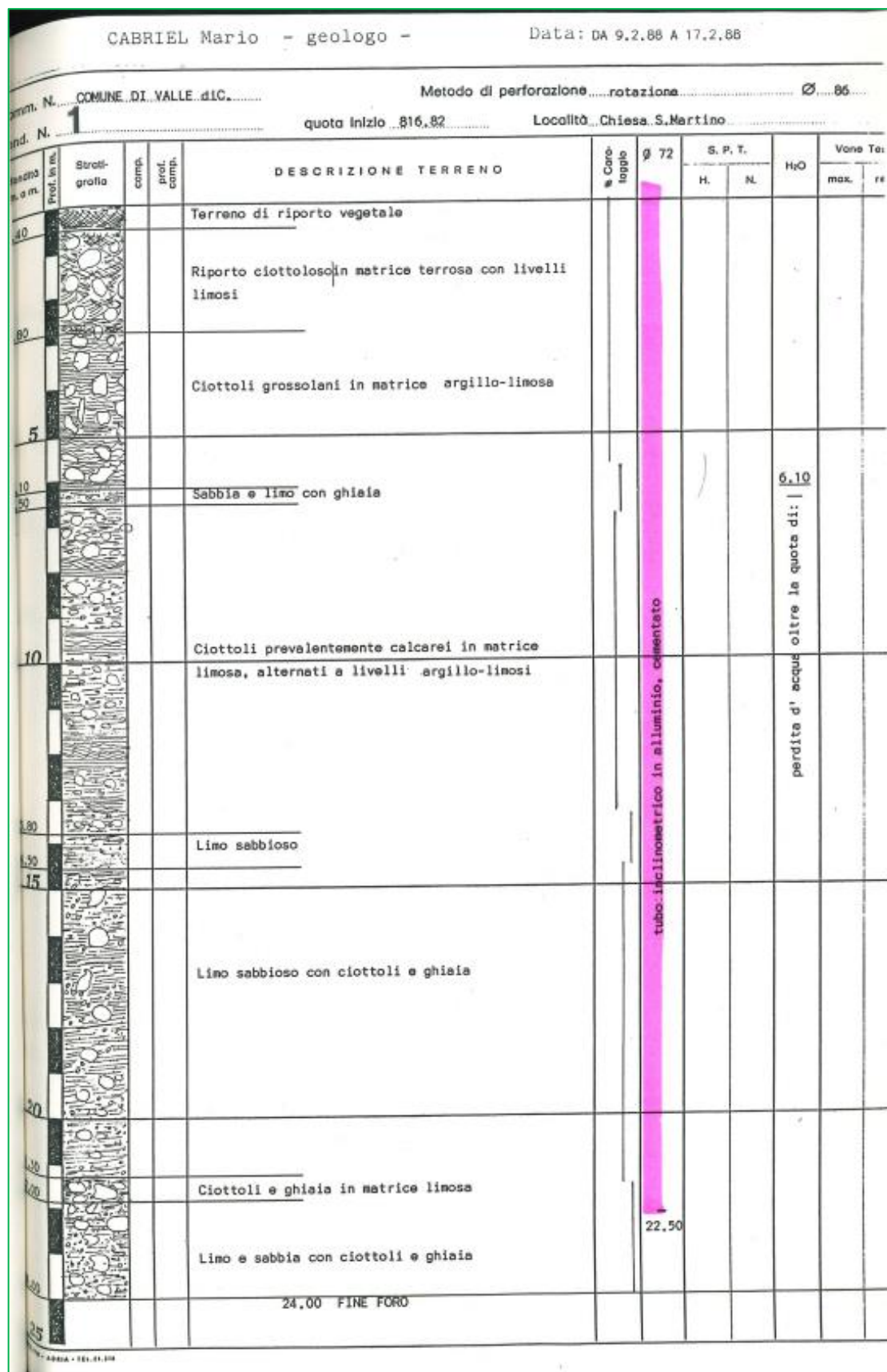


Figura 5 - Sondaggio n.1 [2]

1.2.2. SONDAGGIO n. 2 (Figura 6 - Sondaggio n. 2)

Sotto ad un riporto dovuto ai lavori di fondazione della chiesa, il sondaggio ha incontrato terreni argillosi scuri con ciottoli di varia natura. La formazione si spinge fino a circa 9 ml di profondità ed è impermeabile e compatta. A 9 ml di profondità si incontra il livello di limo sabbioso, con ghiaia e ciottoli, che dimostra una elevata permeabilità, testimoniata dalla perdita dell'acqua di perforazione. A circa 18 metri si incontra una roccia inizialmente fratturata e con limo-sabbioso, successivamente compatta, calcarea chiara. Anche in questo foro è stato cementato un tubo inclinometrico in alluminio del diametro di 76 mm dotato di quattro guide.

SONDAGGIO n.2		
Da [m]	A [m]	TERRENO
Pc	2.20	Riporto a ciottoli in matrice limo sabbiosa
2.20	7.00	Argilla limosa con ciottoli di varia natura e trovanti
7.00	9.00	Limo argilloso con ciottoli e sabbia
9.00	18.00	Limo sabbioso con ghiaia e ciottoli
18.00	18.80	Roccia fratturata con limo e sabbia
18.80	22.00	Roccia calcarea compattata

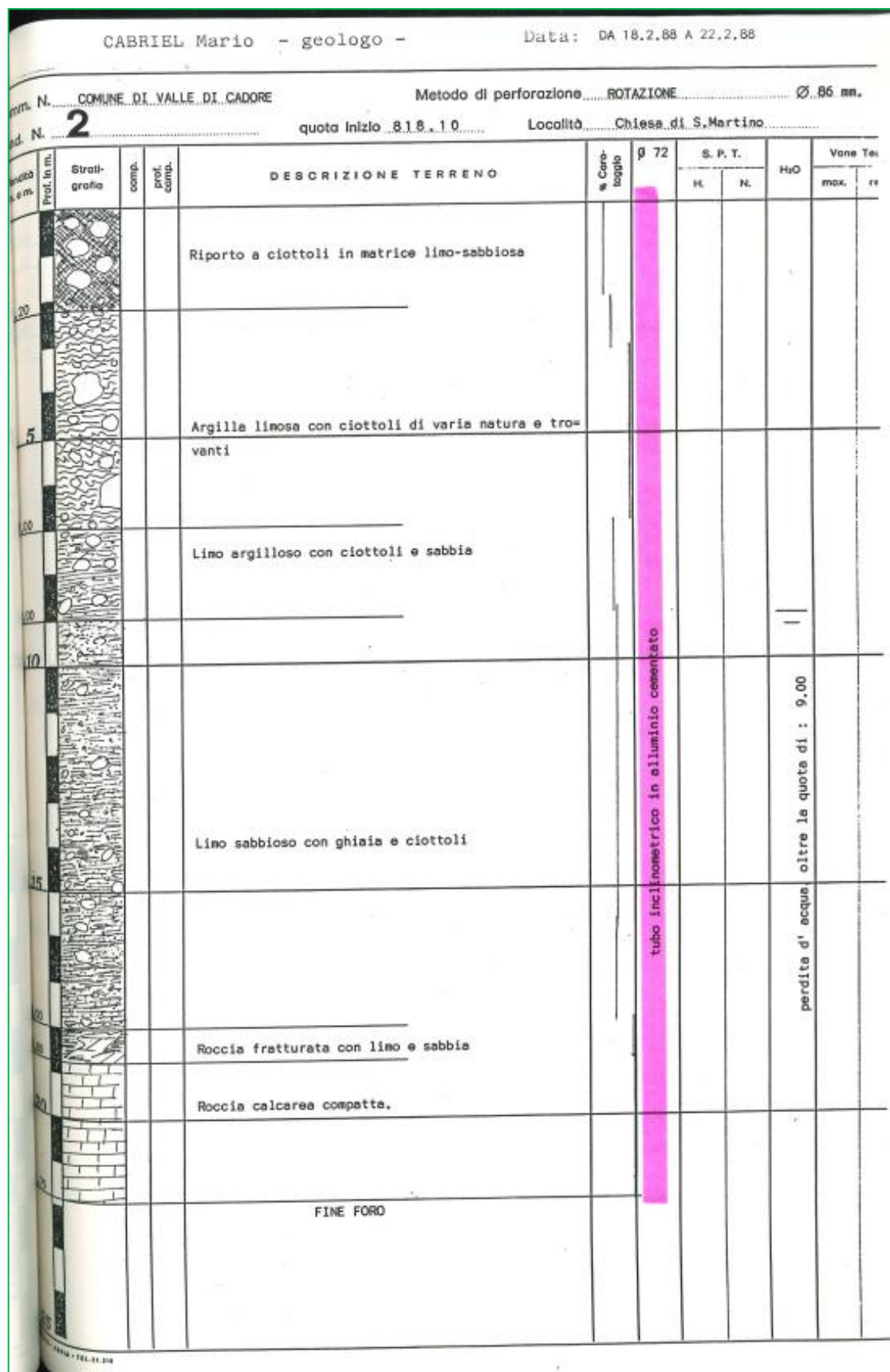


Figura 6 - Sondaggio n. 2 [2]

1.2.3. SONDAGGIO n. 3 (Figura 7 - Sondaggio n. 3 [2])

Il sondaggio è stato eseguito inclinato, in modo tale da incontrare i terreni di sottofondazione del manufatto e verificare la presenza di un'eventuale sottofondazione eseguita con palizzata in tronchi di legno. Tale sottofondazione avrebbe potuto spiegare la stabilità del campanile rispetto a quella del presbiterio adiacente soggetto a continuo e lento cedimento. Nonostante il foro eseguito inclinato non vengono trovate tracce della sottofondazione, infatti sotto ad un terreno vegetale e ad un riporto, si è incontrata una formazione limosabbiosa con ciottoli e trovati fino alla quota di circa 3,2 ml. Tale terreno potrebbe essere totalmente di riporto per migliorare le caratteristiche dei terreni più a diretto contatto con la muratura di fondazione del campanile. Oltre tale quota si è attraversato una formazione argillosa, scura, con livelli limosi e scarso ghiaietto, fino alla profondità di 11 ml. Successivamente si incontrano terreni prevalentemente limosi e ciottolosi, con ciottoli di varia natura e dimensione, livelli ghiaiosi alternati a livelli limosi. I ciottoli appaiono discretamente arrotondati e con elevata densità.

SONDAGGIO n.3		
Da [m]	A [m]	TERRENO
Pc	0.60	Terreno vegetale
0.60	1.20	Riporto ciottoloso in matrice limosa
1.20	2.80	Limo sabbioso con ciottoli
2.80	3.20	Trovante
3.20	11.00	Argilla limosa con ghiaia
11.00	16.00	Limo argilloso con ciottoli e ghiaia arrotondata
16.00	19.50	Ghiaia, sabbia e limo

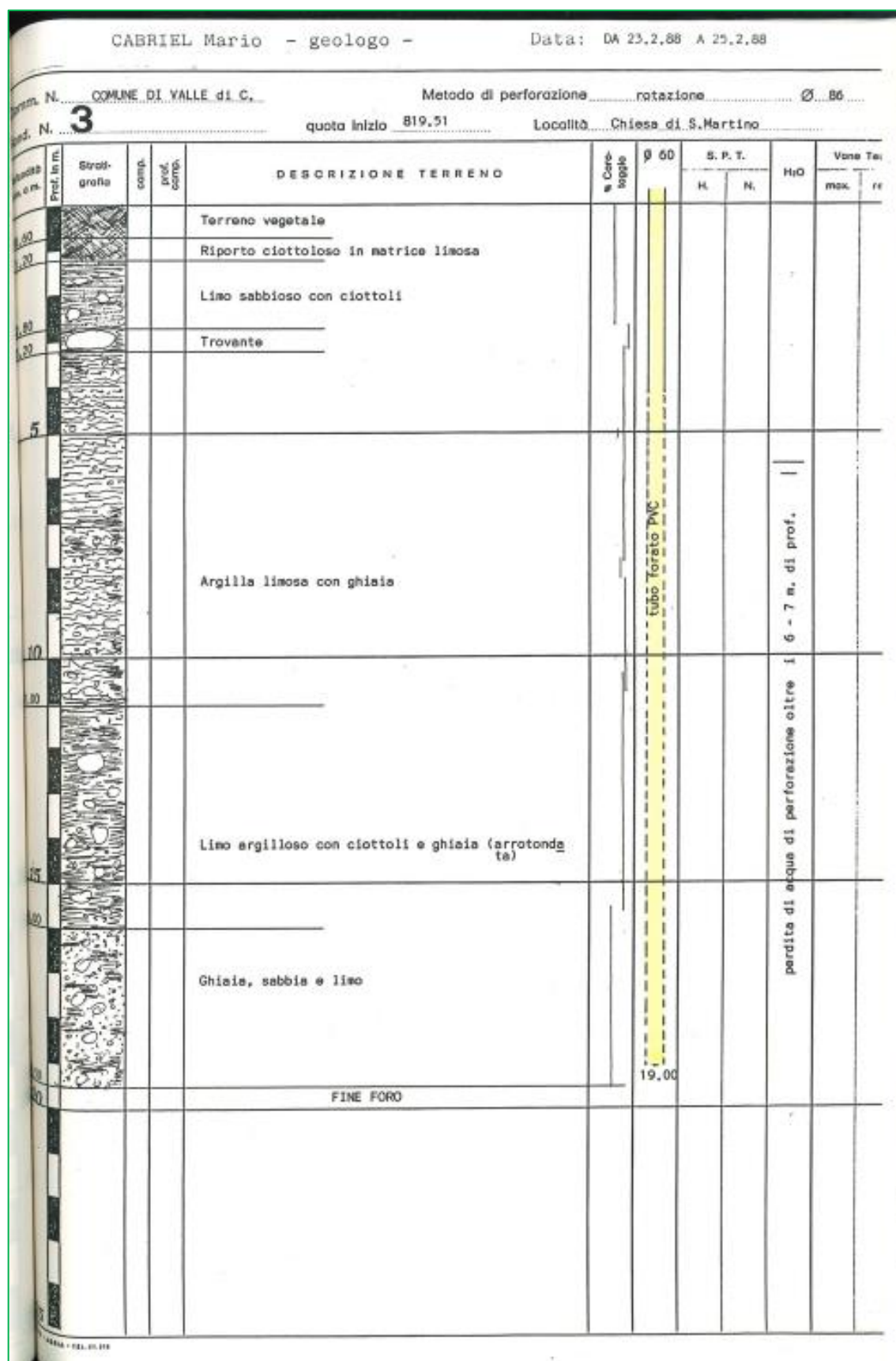


Figura 7 - Sondaggio n. 3 [2]

Anche i sondaggi che erano stati precedentemente eseguiti nel 1970 avevano suggerito la situazione stratigrafica appena ricostruita. È stato possibile tracciare quindi delle sezioni stratigrafiche (Figura 8 - Planimetria sezioni , Figura 9 - Sezione stratigrafica , Figura 10 - Sezione stratigrafica) sulla base dei sondaggi eseguiti, arrivando così a stabilire che i terreni incontrati durante le perforazioni, dopo un primo strato superficiale di riporto, si possono suddividere in due livelli, entrambi caratterizzati da una grande variabilità granulometrica tipica dei depositi di morena glaciale, con presenza di ciottoli e ghiaia, mentre cambia la matrice:

- 1) Un primo strato di circa 15 metri composto da terreni più o meno ciottolosi in matrice argillosa con livelli diversificati, sia limosi che ciottolosi di bassa permeabilità;
- 2) In profondità si trovano limi sabbiosi con ciottoli e ghiaie stratificati e con livelli sabbiosi riconducibili ad un'origine fluvioglaciale, caratterizzata da una maggiore permeabilità.

Si fa notare, inoltre che solo nel sondaggio n.2, nella parte sud-ovest dell'edificio, si è arrivati ad incontrare un livello di roccia calcarea compatta, alla profondità di 18 m.

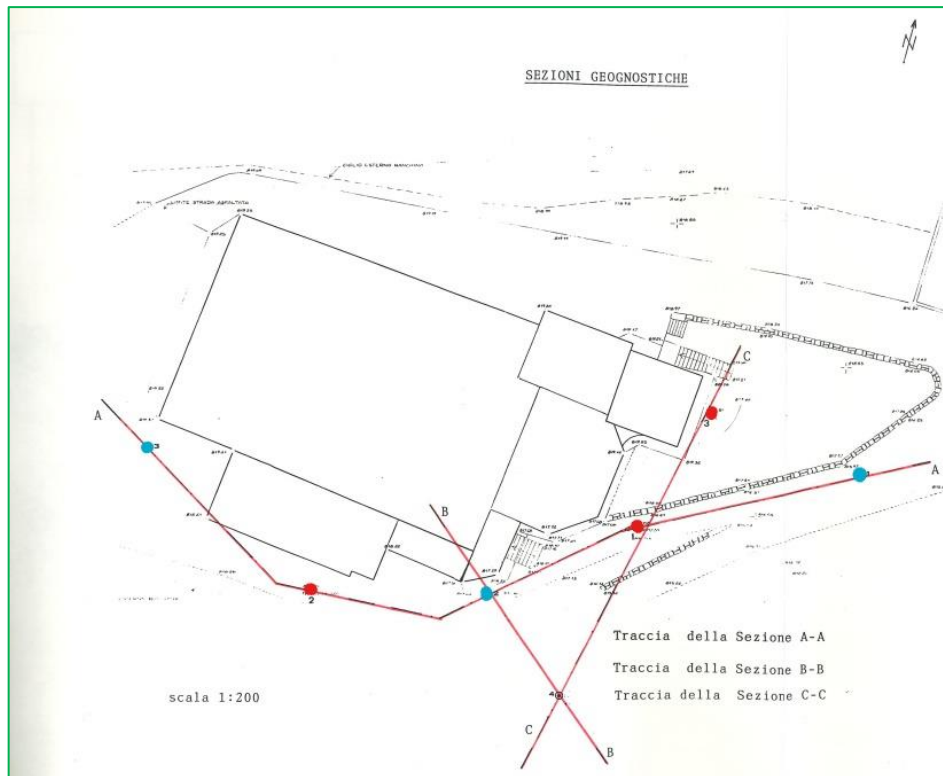


Figura 8 - Planimetria sezioni [2]

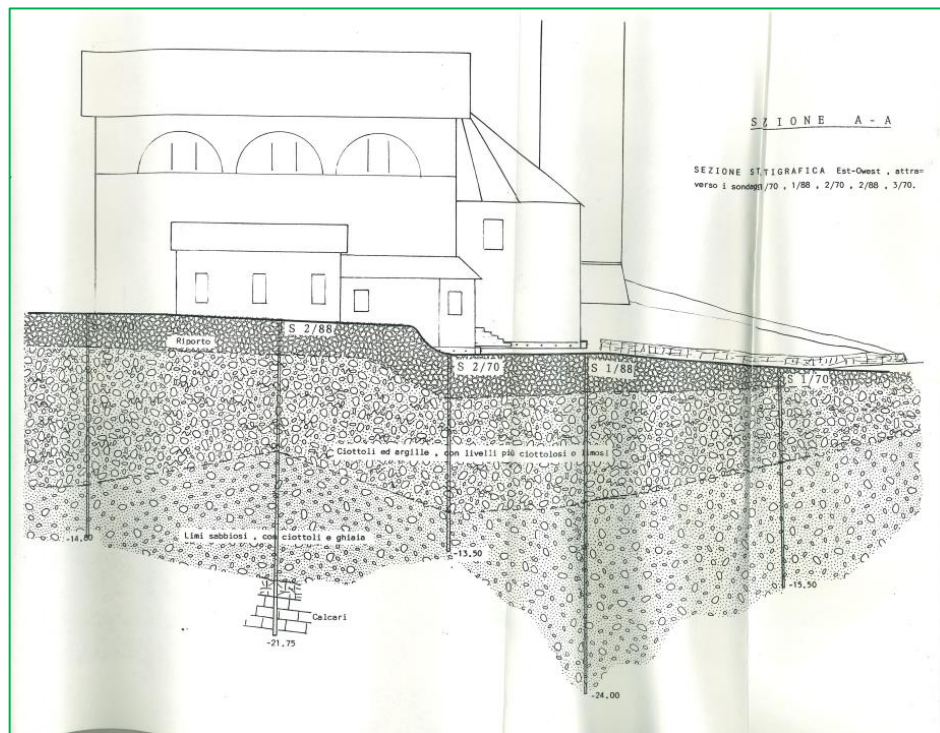


Figura 9 - Sezione stratigrafica [2]

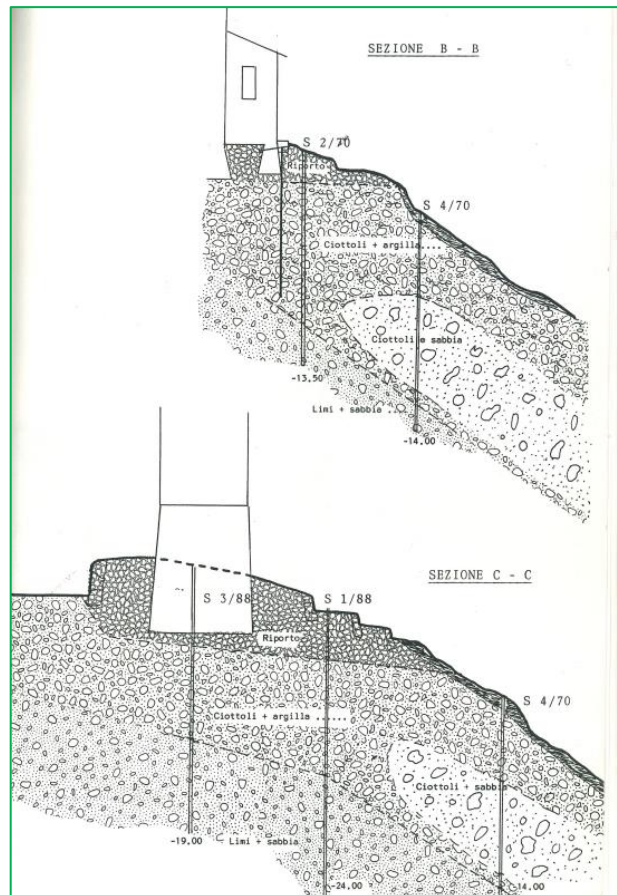


Figura 10 - Sezione stratigrafica [2]

Dai carotaggi eseguiti e dalle sezioni ricavate, è possibile osservare l'esistenza di uno sperone roccioso su cui è fondata la chiesa, ma che a sua volta poggia su un ampio deposito clastico soggetto al movimento franoso che porta ad un continuo degrado delle sovrastanti pareti rocciose.

Dal movimento della frana e da come si presentava la situazione all'epoca, il geologo Cabriel traccia una linea di dislocazione (vedi Figura 11 - Fenditure nel terreno Figura 11), così da indicare due diverse zone caratterizzate da terreni con specifiche differenti:

- 1) Una zona di calcari compatti, privi di stratificazione e caratterizzati da elevata stabilità;
- 2) Una seconda zona, di calcari fortemente fratturati e profondamente degradati in forma di un grande ammasso instabile e pericolante sulla valle del Boite, localizzato sulla parte sud-est della linea.

La seconda zona si trova in posizione depressa rispetto al piazzale della chiesa e presenta nette fratturazioni e profonde cavità (Figura 11 - Fenditure nel terreno) in cui è possibile scendere per molti metri e nelle quali vi è una corrente d'aria ascensionale, segno di un evidente collegamento esterno più in profondità.

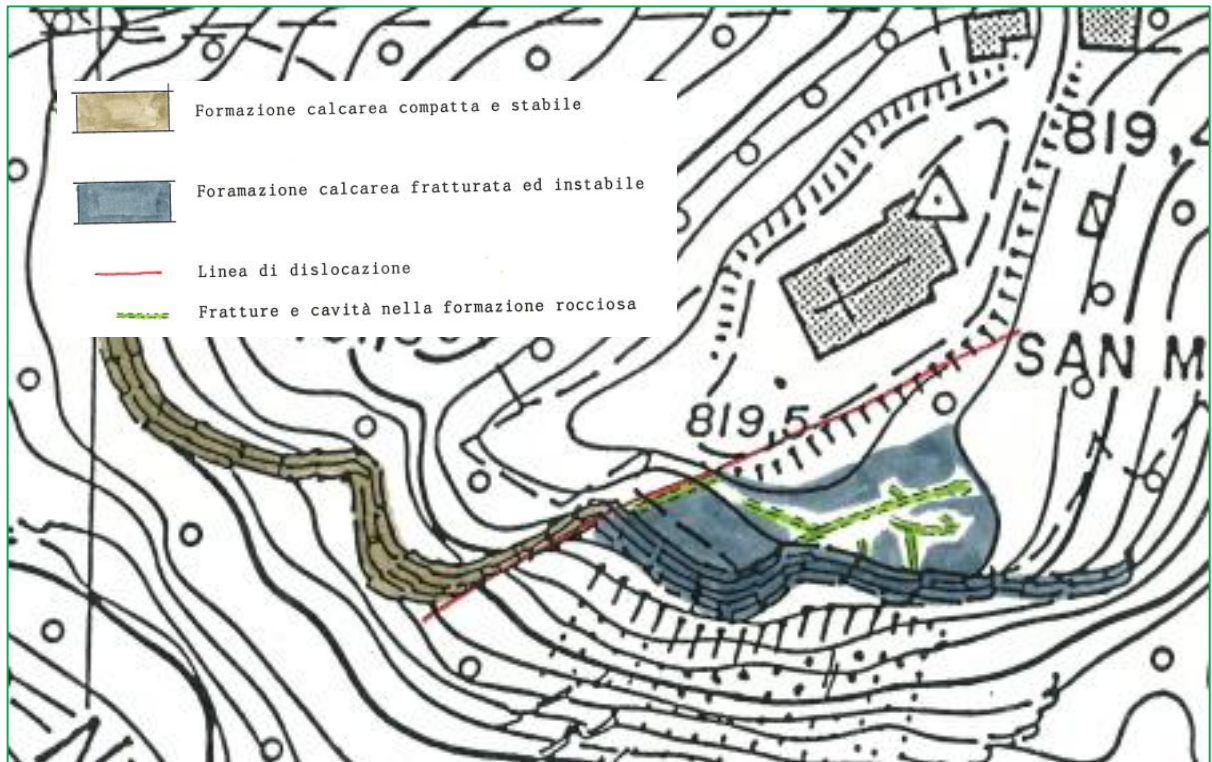


Figura 11 - Fenditure nel terreno [3]

Si riportano le parole del geologo Mario Cabriel presenti nell'allegato [3] alla conclusione delle indagini *“Oggi la zona si presenta fortemente instabile, con evidenti tracce di continui franamenti di blocchi ed è ubicata circa 3-4 m sotto il piazzale antistante la chiesa (Figura 13 - zona in abbassamento). Tale differenza di quota presenta quindi il movimento verticale di abbassamento della parte rocciosa più esterna della dorsale, valutabile quindi in circa **10 cm/anno**. La zona di abbassamento non si limita soltanto alla dorsale rocciosa ma prosegue in direzione N-E lungo il versante sottostante la chiesa”*.

Si riporta in seguito una fotografia (Figura 12 - Colle San Martino nel 1988) datata 1988 in cui è possibile vedere la situazione del colle San Martino nel momento in cui venne redatta la relazione.



Figura 12 - Colle San Martino nel 1988 [3]



Figura 13 - zona in abbassamento [3]

Nello stesso periodo, oltre alle varie indagini di carattere geologico e geotecnico si sono voluti installare n. 28 sensori internamente alla parrocchiale per poter monitorare gli spostamenti dell'edificio nei vari punti in seguito al continuo moto franoso del colle. Nell'arco di 15 mesi si sono effettuate n. 23 misurazioni tramite comparatore centesimale. Tutti i sensori sono stati posizionati sopra il ballatoio che percorre il perimetro interno della chiesa e disposti come visibile in Figura 14 - Posizionamento sensori di movimento.

Si riporta anche una planimetria (Figura 15 - Misurazione tubi inclinometrici) dove sono riportati i rilevamenti dei tubi inclinometrici citati in precedenza nel periodo che va da Marzo a Dicembre 1988. Entrambi i misuratori hanno rilevato uno spostamento rispettivamente di 1,6 cm per il primo foro e di 1,1 cm per il secondo sul piano orizzontale.

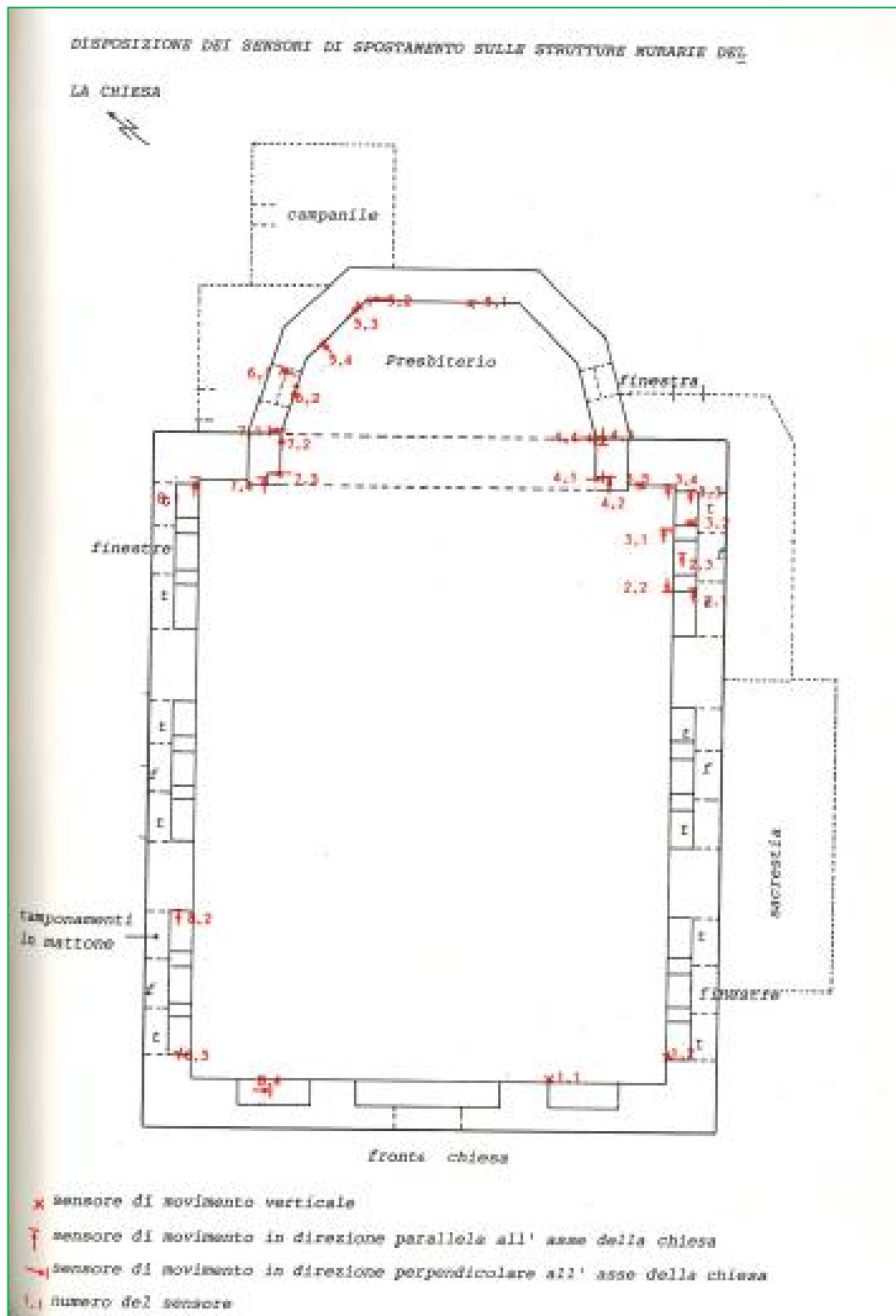


Figura 14 - Posizionamento sensori di movimento [4]

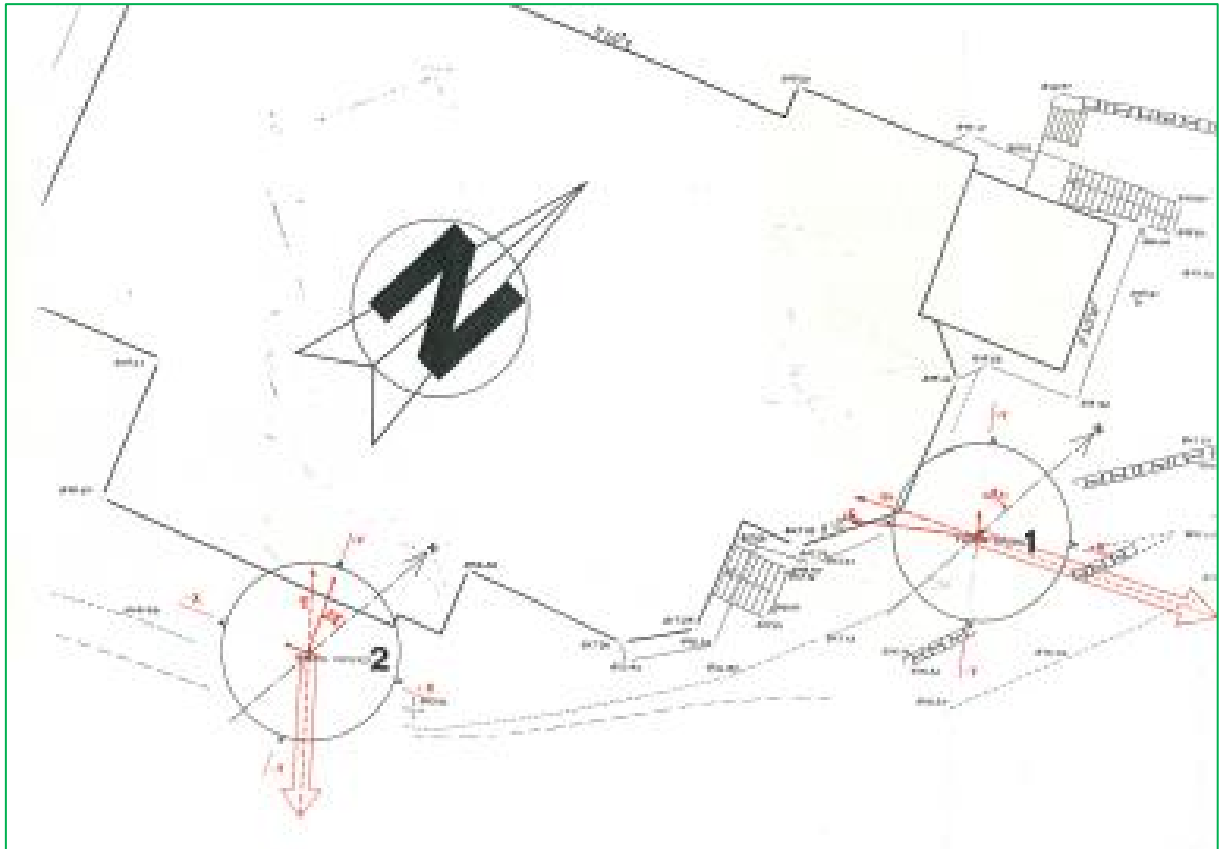


Figura 15 - Misurazione tubi inclinometrici [5]

1.3. APPROFONDIMENTO: TUBI INCLINOMETRICI

I tubi inclinometrici (Figura 16 - Funzionamento tubi inclinometrici) sono realizzati in metallo, alluminio o PVC, vengono installati entro fori di sondaggio e sono utilizzati ovunque sia necessario rilevare uno spostamento laterale causato da un taglio di frana. Hanno lo scopo di monitorare gli spostamenti di masse rocciose o di strutture.

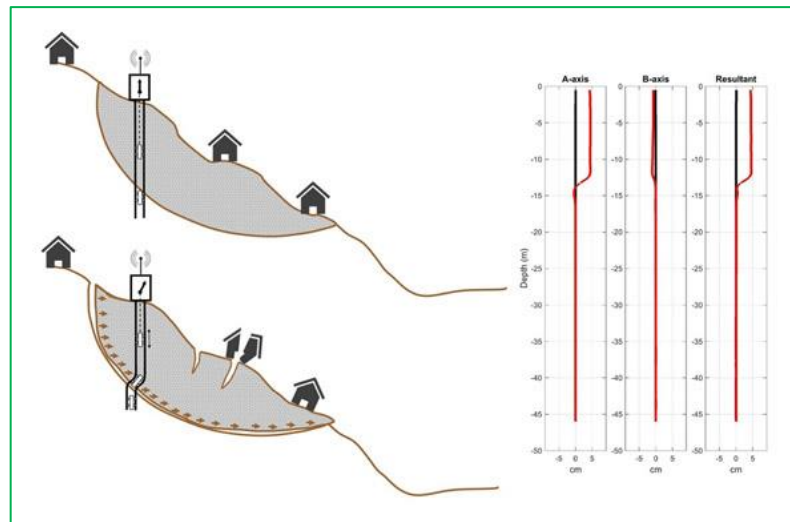


Figura 16 - Funzionamento tubi inclinometrici

Un tubo inclinometrico presenta 4 scanalature che servono da guida per la sonda. Il tubo deve essere in grado di resistere alla pressione laterale del terreno e, allo stesso tempo, deve essere in grado di deformarsi se sollecitato a taglio. Il diametro del tubo varia da 50 a 90 mm e viene scelto in funzione del carotiere che si è utilizzato per la realizzazione del sondaggio. Nel caso in cui fosse necessario, il tubo inclinometrico può essere forato in modo da garantire il passaggio dell'acqua ed essere utilizzato come piezometro.

La sonda è composta da un tubo metallico di lunghezza definita con delle ruote (la sonda può essere detta anche "carrello") e viene calata all'interno del tubo inclinometrico. Ad intervalli regolari durante la discesa del carrello viene misurato l'angolo di inclinazione rispetto alla verticale in modo da poter ricavare di conseguenza la deformata e lo spostamento con una semplice formula:

$$s(z) = \sum_{i=1}^{n_z} l_i \cdot \sin \theta_i$$

Nell'equazione viene indicato con $s(z)$ lo spostamento, pari alla sommatoria degli delle profondità moltiplicate per il seno dell'angolo di inclinazione rispetto alla verticale. In questo modo si ottiene l'inclinazione punto per punto.

Dal monitoraggio tramite gli inclinometri si individua l'entità e la direzione dello spostamento con una sensibilità pari a 0.1mm/m.

Considerando che gli spostamenti si variano nel tempo, l'unico metodo per valutare l'evoluzione cinematica del corpo in frana e stabilire la velocità di spostamento è quello di garantire un monitoraggio frequente e costante nel tempo. Va inoltre precisato che, nel caso in cui lo spostamento risulti eccessivo, la sonda non è più in grado di attraversare il tubo inclinometrico e, di conseguenza, non sarà più possibile effettuare misurazioni da quel foro.

1.4. PROGETTO DI MESSA IN SICUREZZA – DICEMBRE 1988

Poiché il periodo di osservazione dei cedimenti della chiesa e dei terreni circostanti è corrisposto ad un'annata in cui le precipitazioni hanno superato di gran lunga la media, e poiché queste ultime sono di particolare importanza quando si vogliono studiare i cedimenti, il geologo Cabriel nel 1988 concluse richiedendo di approfondire le indagini geotecniche.

Per poter proseguire al meglio le indagini si predispongono gli interventi seguenti:

- 1) Posa in opera di sensori di spostamento sulle fratture rocciose dell'ammasso in cedimento sul versante meridionale della dorsale;
- 2) Posa in opera di altri sensori sulle fratture presenti sulle strutture murarie della chiesa e mantenimento di quelli già in funzione;
- 3) Perforazione di un foro per la posa di un ulteriore inclinometro presso il n.1 attuale ma inclinato verso monte, in modo da intersecare la superficie di scoscendimento dei terreni. Così facendo sarà possibile dimensionare al meglio le opere di ritenuta del terreno;
- 4) Proseguo delle letture inclinometriche sui fori n. 1 e 2;
- 5) Misurazione topografiche di precisione sulla posizione delle teste dei pozzi inclinometrici;
- 6) Esecuzione di uno scavo in trincea o di un sondaggio a limitata profondità (circa 6 ml) sul versante nord della chiesa, presso la scarpata, per valutare le caratteristiche geotecniche dei terreni in loco.

Sulla base di quanto osservato dai sondaggi realizzati, si ritiene che i cedimenti delle strutture della chiesa NON siano imputabili a scarse caratteristiche geotecniche dei terreni di sottofondazione, bensì al cedimento di questi, dovuto ad un abbassamento differenziale del substrato roccioso che costituisce la dorsale su cui sorge la chiesa. Si prosegue quindi progettando un intervento di consolidamento.

Ovviamente, si ritiene impossibile fermare l'abbassamento del substrato roccioso, per cui si prosegue in maniera più limitata cercando di limitare i fattori che provocano tale abbassamento e contrastando il cedimento del fabbricato.

L'intervento proposto si suddivide in due fasi:

2. FASE 1: intervento sui fattori che provocano l'abbassamento

Il cedimento del substrato roccioso è di natura gravitativa e quindi mantenuto attivo dal peso stesso delle masse in dissesto. Un primo intervento dovrà avvenire sulla pendice rocciosa che costituisce il versante sud della dorsale. Si prevede un profondo disgaggio delle masse instabili e di quelle totalmente fratturate. La demolizione di queste ultime deve avvenire utilizzando metodi che non provocano onde d'urto sulla restante massa. Con i prodotti della demolizione si andranno a riempire le cavità in modo da poter diminuire l'afflusso d'acqua meteorica in profondità. Questa scelta è giustificata dal fatto che le acque meteoriche che penetrano nelle cavità sono parte delle cause del moto franoso. Per ridurre maggiormente la compenetrazione d'acqua si provvede anche al miglioramento del precedente sistema di scolo e smaltimento delle stesse con particolare attenzione al versante sud.

Si nota inoltre che, nella zona N-E fra la chiesa e l'abitato vi è un punto di sella che attrae a sé l'acqua di scolo dell'abitato e della chiesa. Per evitare l'accumulo d'acqua si predispone in questa posizione una canaletta trasversale per lo smaltimento.

3. FASE 2: consolidamento delle strutture di fondazione e dei terreni di sottofondazione.

Questa seconda parte di intervento interessa principalmente i terreni nella zona dell'abside (lato N-E) in modo da coinvolgere il minor volume possibile di terreno.

L'intervento, per motivi puramente operativi, viene suddiviso in tre parti:

- Il primo step di lavoro consiste nel realizzare due strutture in cls armato tipo berlinesi ubicate sui lati opposti della dorsale e collegate da tiranti in trefoli. Essendo infatti stabili i terreni sul lato Nord della chiesa, viene costruito un uro in calcestruzzo armato dal quale sono state eseguite una serie di perforazioni parallele che, attraversando la dorsale, si ritrovano immediatamente al di sotto della strada nella zona di dissesto. Le perforazioni sono di circa 35 ml inclinate del 10% verso S-E. In ogni foro viene poi inserito un tirante composto da 8 trefoli che può sostenere un carico di esercizio di 120 tonnellate ma che è soggetto a circa metà del carico;
- Per contrastare i movimenti verticali, vengono posti in opera, alla base del muro di valle sotto l'abside, micropali di grosso diametro inclinati verso il centro dell'abside di 45° con profondità di 14 ml;
- L'ultima parte dell'intervento prevede l'esecuzione di fori di drenaggio, ubicati sul versante a valle della chiesa.

Successivamente si allegano (Figura 17 - Progetto muro di ancoraggio Figura 18 - Progetto muro di sostegno) le immagini direttamente dall'allegato [6] da cui si sono tratte le informazioni riguardanti i muri di ancoraggio e di sostegno.

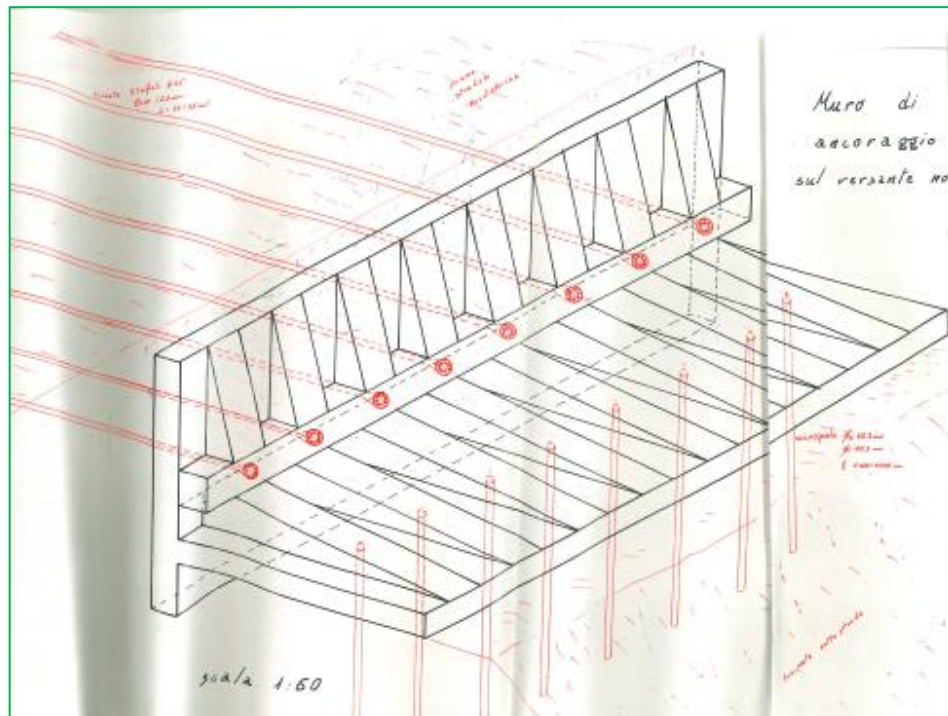


Figura 17 - Progetto muro di ancoraggio [6]

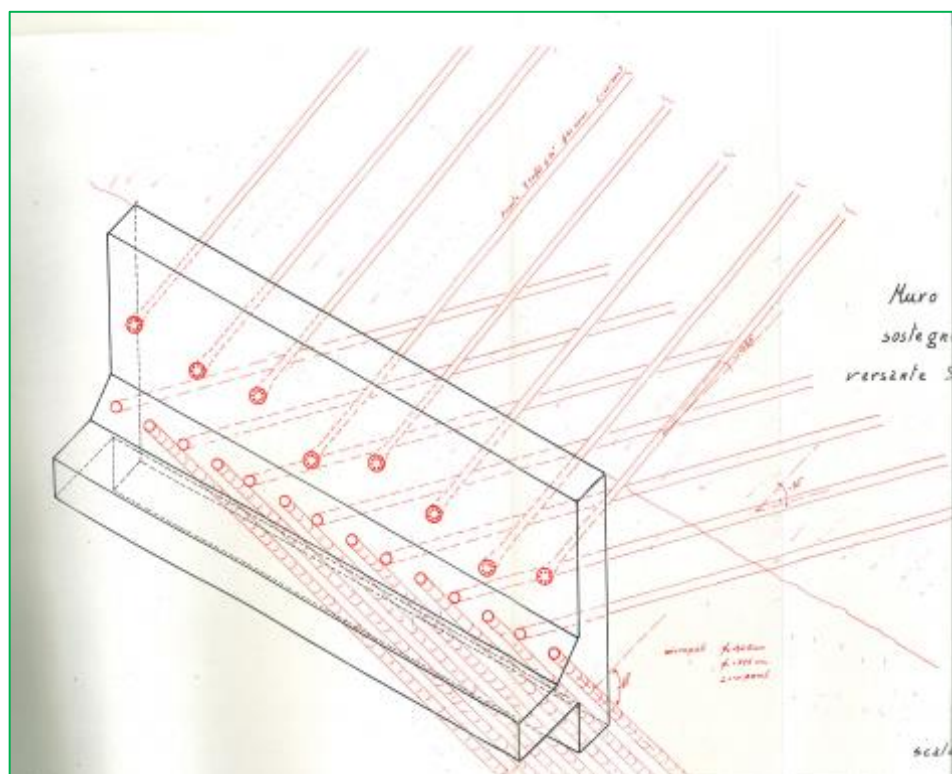


Figura 18 - Progetto muro di sostegno [6]

1.5. CONCLUSIONE INDAGINI 1988

Si arriva così alla conclusione delle indagini datate dicembre 1988. Gli avvenimenti fino ad ora registrati si possono riassumere come di seguito riportato:

In principio i sondaggi eseguiti negli anni '70 sono stati poi integrati con dei nuovi sondaggi eseguiti tramite carotaggio continuo fino alla profondità massima di 24 metri in modo da poter ricostruire una prima sezione stratigrafica. Oltre ai sondaggi si sono installate delle sonde in grado di rilevare gli spostamenti interni all'edificio, in modo da poter tener controllate le fessurazioni e i distaccamenti dell'opera muraria.

La sequenza stratigrafica è stata così determinata: sono stati identificati due strati principali; il primo su cui è fondata la chiesa non presenta criticità ed è formato da calcari compatti. Il secondo strato invece, dalla profondità di circa 15 m, formato da calcari fortemente degradati e dal deposito glaciale, si presenta fortemente instabile e pericolante.

Si prosegue quindi con un progetto di intervento, il quale prevede rilievi topografici, un aumento dei sensori di movimento, il disgaggio di una parte dell'ammasso roccioso pericolante, opere di smaltimento delle acque meteoriche e, per concludere, la realizzazione di due "berlinesi" in grado di contenere il terreno di fondazione dell'edificio parrocchiale.

1.6. PROGETTO DI CONSOLIDAMENTO ANNO 2000

Con il passare degli anni si è continuato a mantenere il dissesto della chiesa sotto controllo. I cedimenti, di fatto, non si sono mai fermati e, nel mese di Aprile del 2000, vengono eseguiti n.2 nuovi sondaggi a carotaggio continuo. Il primo (n.5 in Figura 19) si trova sul lato sud della chiesa inclinato di 25° rispetto alla verticale per una profondità di 30 ml. In questo foro è stato poi posato un tubo inclinometrico. Il secondo sondaggio (n.6 in Figura 19) invece viene eseguito sul lato nord dell'edificio in posizione verticale e spinto ad una profondità di 10 ml. In Figura 19 viene riportata l'ubicazione dei nuovi sondaggi.

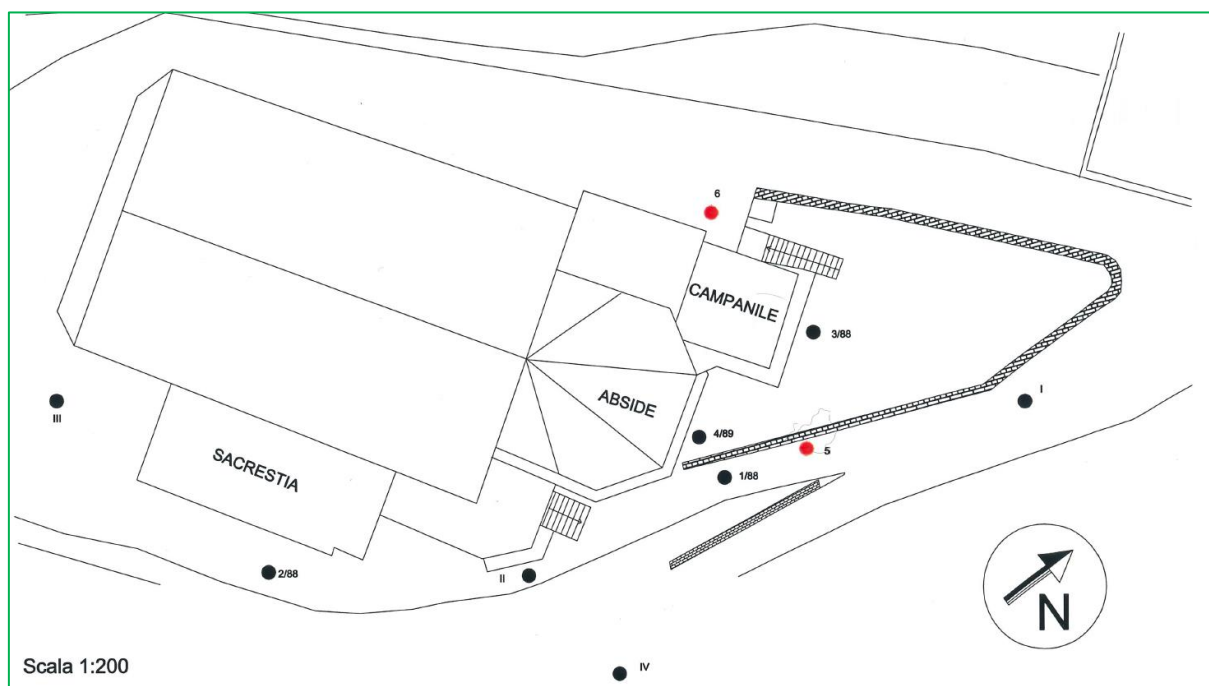


Figura 19 - Ubicazione sondaggi [7]

I due nuovi sondaggi confermano quanto già trovato con le ispezioni eseguite negli anni precedenti (1970-1988-1989).

1.6.1. PRIMO SONDAGGIO ANNO 2000

Il primo (Figura 20, Figura 21) ha incontrato esclusivamente terreni sciolti limosi e limo-sabbiosi compatti, con ciottoli e ghiaie.

SONDAGGIO n.5		
Da [m]	A [m]	TERRENO
Pc	0.40	Terreno di riporto vegetale
0.40	2.20	Riporto ciottoloso in matrice limo-sabbiosa
2.20	4.30	Ciottoli in matrice limosa compatta
4.30	4.80	Limo moderatamente sabbioso compatto
4.80	10.50	Limo sabbioso compatto con ciottoli e ghiaia di varia natura
10.50	11.80	Ciottoli e ghiaia grossolana in matrice limo-sabbiosa
11.80	12.20	Limo sabbioso compatto con ciottoli
12.20	13.10	Ghiaia con ciottoli in matrice sabbiosa
13.10	14.00	Limo sabbioso compatto con ciottoli
14.00	15.80	Limo sabbioso con ghiaia grossolana in matrice limosa
15.80	16.30	Ghiaie con sabbia e limo
16.30	20.10	Limo sabbioso compatto con ghiaie e ciottoli
20.10	21.50	Ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso limosa con livelli limosi
21.50	25.00	Limo sabbioso con ciottoli e ghiaie grossolane
25.00	30.00	Limo sabbioso con ciottoli e ghiaie grossolane

1.6.2. SECONDO SONDAGGIO ANNO 2000

Il secondo (Figura 22) ha incontrato terreni di riporto fino a 4 metri di profondità oltre i quali si vedono strati di limo sabbioso compatto con ciottoli e ghiaie.

SONDAGGIO n.6		
Da [m]	A [m]	TERRENO
Pc	0.70	Riporto ciottoloso con livelli terrosi
0.70	3.00	Ciottoli e ghiaia in matrice terrosa e limosa
3.00	4.00	Limo sabbioso con ciottoli e ghiaia
4.00	4.70	Ciottoli e ghiaia grossolana in matrice sabbioso limosa
4.70	5.80	Ciottoli e trovanti con ghiaia e sabbia
5.80	9.00	Limo sabbioso compatto con ghiaia e ciottoli
9.00	10.00	Limo argilloso compatto con ghiaia e ciottoli

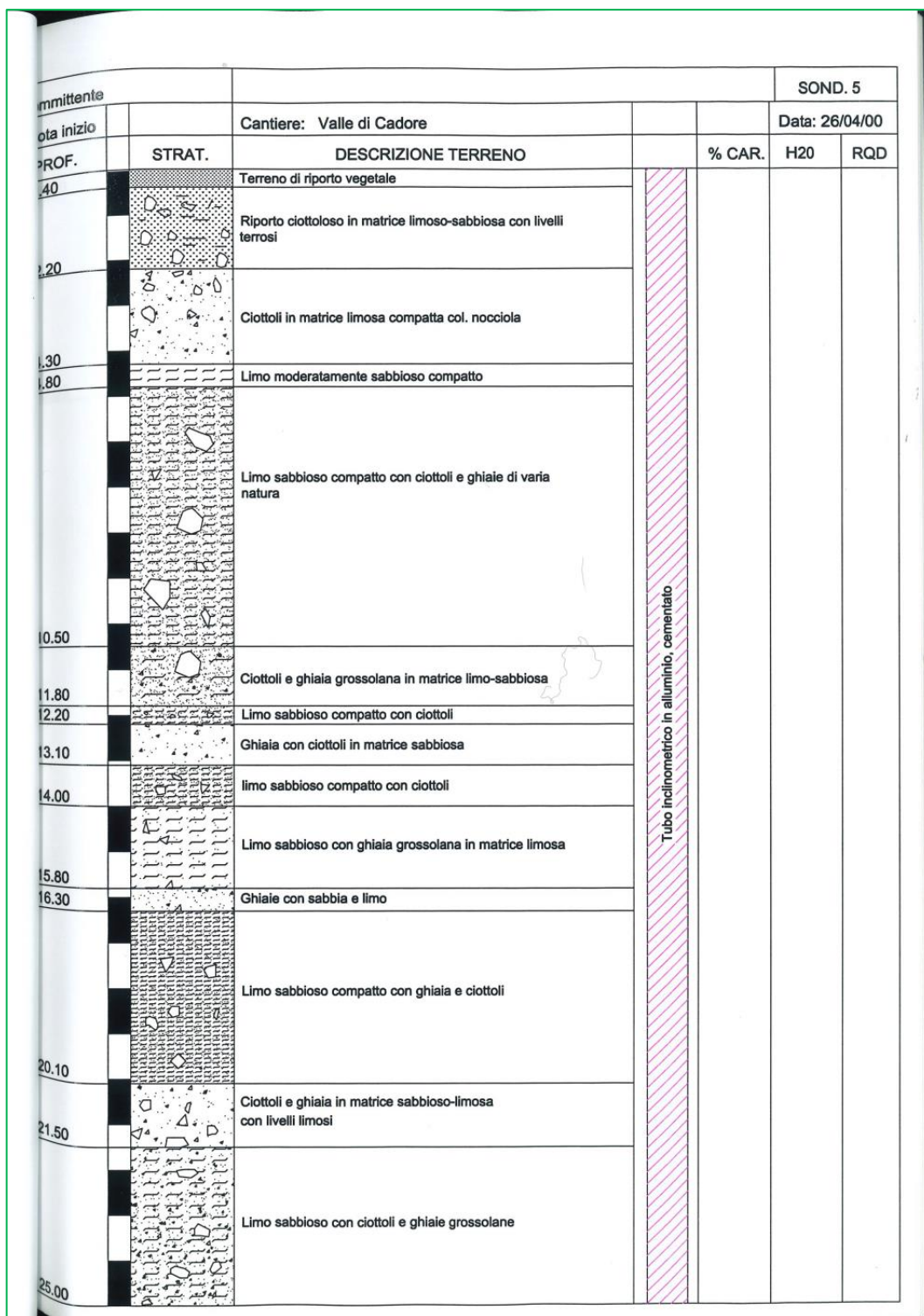


Figura 20 - Sondaggio n.5 [7]

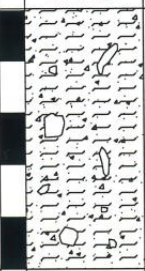
Committente		SOND. 5			
Quota inizio		Cantiere: Valle di Cadore			Data: 26/04/00
PROF.	STRAT.	DESCRIZIONE TERRENO	% CAR.	H2O	RQD
5.00		Limo sabbioso con ciottoli e ghiaie grossolane			
0.00		FINE FORO			

Figura 21 - Sondaggio n.5 [7]

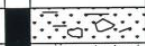
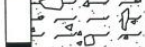
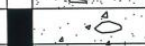
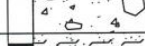
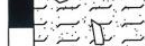
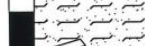
Committente		SOND. 6			
Quota inizio		Cantiere: Valle di Cadore			Data: 26/04/00
PROF.	STRAT.	DESCRIZIONE TERRENO	PROF.	% CAR.	H2O
70		Riporto ciottoloso con livello terrosi			
		Ciottoli e ghiaia in matrice terrosa e limosa			
00		Limo sabbioso con ciottoli e ghiaia			
00		Ciottoli e ghiaia grossolana in matrice sabbioso-limosa			
70		Ciottoli e trovanti con ghiaia e sabbia			
80		Limo sabbioso compatto con ghiaia e ciottoli			
00		Limo argilloso compatto con ghiaia e ciottoli			
0.00		FINE FORO			

Figura 22 - Sondaggio n.6 [7]

Conclusi i sondaggi si è deciso di effettuare uno scavo sotto il cordolo in c.a. che cinge la base S-E della chiesa realizzato negli anni '70 in modo da cercare di trovare una fondazione per poter spiegare la stabilità di quella zona rispetto al resto dell'edificio. Lo scavo ha portato alla luce soltanto un muro in pietrame di fondazione dell'abside e non di una presunta palificazione. Dato che il muro in

pietrame risulta distaccato dal sottostante terreno per via dei cedimenti, non sembra fornire alcun contributo alla stabilità della chiesa o alla trasmissione dei carichi in profondità. Lo stesso cordolo inoltre è ancorato alla muratura di base soltanto per alcuni metri, mentre per il resto della lunghezza è ancorato alla fondazione della sacrestia che, di fatto, costituisce un corpo aggiunto a parte rispetto alla chiesa.

Alla luce dei sondaggi e degli scavi eseguiti si definisce una nuova fase progettuale per la messa in sicurezza della parrocchiale. Pur mantenendo inalterata l'ipotesi progettuale della berlinese, dati i continui cedimenti avvenuti negli anni, si decide di eseguire un secondo intervento di consolidamento della struttura mediante un'ulteriore berlinese con ancoraggi di rinforzo posta alla base dell'edificio. La paratia viene ancorata con tiranti passanti ed ancorati ad un'analogia paratia posta sul lato opposto della chiesa.

L'intervento sul lato sud, dove ha sede il dissesto della falda di terreno viene previsto fino a raggiungere una profondità di 25 metri in modo che la palificata si ancori al terreno stabile. La paratia sul lato opposto (che di fatto ha la sola funzione di ancoraggio) viene realizzata con profondità minore, pari a circa 10 metri. I tiranti vengono posti totalmente entro guaina in modo da poter variare il loro tensionamento all'occorrenza nel tempo. L'intervento ha lo scopo di consolidare i terreni su cui poggia la chiesa riducendo la possibilità di cedimenti progressivi di questa. Si ritiene che un intervento di consolidazione della chiesa tramite sottofondazione delle strutture murarie esistenti possa essere effettuato in una seconda fase. Si precisa inoltre che è di fondamentale importanza l'allontanamento delle acque meteoriche, e quindi viene considerato necessario anche asfaltare e impermeabilizzare le superfici scoperte circostanti la chiesa affinché le acque discendenti lungo la dorsale non possano giungere nei terreni sottostanti la parrocchiale.

Grazie alle osservazioni eseguite sui cedimenti avvenuti negli anni, si riesce negli anni 2000 a tracciare il coronamento della frana verso il Boite come indicato con la linea tratteggiata gialla in Figura 23 presa dal documento [8].

Di fatto, questa linea di dislocazione corrisponde a quella precedentemente ipotizzata e va quindi a confermarla.



Figura 23 - Coronamento frana anno 2000 [8]

1.7. MONITORAGGIO ANNO 2004

L'intervento realizzato nel 2000 ha portato al consolidamento della parte di versante più direttamente interessata dai cedimenti, lasciando ad una seconda fase il consolidamento delle parti marginali. All'interno della relazione geologica stilata nel 2004 [9] si fa notare la necessità di demolire un ammasso roccioso incombente sulla valle del Boite in quanto, nel caso in cui la mole di roccia dovesse cedere, rappresenta una minaccia per il paese di Perarolo di Cadore posto anch'esso lungo il fiume Boite. Il pericolo è dato dal fatto che, se l'ammasso di roccia dovesse staccarsi, andrebbe a ricadere nel fiume sottostante. Nel momento in cui il fiume varia la sua portata in seguito al disgelo, tutta la roccia franata si andrebbe a muovere verso il paese di Perarolo.

Nel dicembre 2001 si è osservato un marcato abbassamento della falda rocciosa assieme ad un allargamento della fessura già presente ed approfondimento della stessa. La fenditura risulta lunga circa 40 metri, larga da 1 a 5 m e profonda circa

15 m. La fenditura va a delimitare un ammasso roccioso di circa 5000 mc pericolante e in fase di collasso.

Gli intensi eventi piovosi del 2002 hanno evidenziato ulteriori leggeri cedimenti della falda di terreno posta sul versante sud della chiesa immediatamente sotto l'abside, la sacrestia ed il campanile, con un abbassamento di circa 10 cm conclusosi verso monte contro la palificata tirantata realizzata nel 2000.

1.7.1. INTERVENTO DI DEMOLIZIONE ANNO 2004

Verificata la pericolosità del corpo in roccia, si è segnalato immediatamente il problema al sindaco del comune di Valle di Cadore e, in seguito ad una riunione avvenuta il 16 gennaio 2004 presso la sede della Amministrazione provinciale di Belluno, si è deciso di intervenire con urgenza con l'abbattimento controllato del fronte roccioso.

Si è deciso di intervenire immediatamente per evitare che il crollo avvenisse naturalmente nella successiva stagione primaverile quando le portate del fiume passano da 0,5 mc/sec a circa 1000 mc/sec (in seguito al disgelo), ponendo in pericolo l'abitato di Perarolo di Cadore. I lavori di demolizione sono stati effettuati per mezzo di martinetti idraulici, disgaggio tradizionale e cariche esplosive e si sono conclusi nel mese di Marzo 2004 abbattendo un volume di circa 8000 mc.

1.7.2. SONDAGGI ANNO 2004 (Allegato [9])

In concomitanza con l'abbattimento del fronte roccioso sono stati realizzati n. 3 nuovi fori con tecnica di perforazione a distruzione di nucleo. Il primo foro è stato realizzato ad alcuni metri verso Sud dall'angolo della facciata della chiesa raggiungendo una profondità di 30 metri. Questa nuova ispezione conferma la presenza di un deposito fluvioglaciale fino ad una profondità di 23 m,

per trovare poi un tratto di 3 m di roccia marnosa e a seguire un ammasso di roccia dolomitica a partire da quota 26m fino alla fine del foro.

Il secondo foro è stato realizzato nella zona antistante l'edificio verso sud con una profondità di 18 m inclinato di 5 gradi verso sud in modo da incontrare la linea di scivolamento. Anche questo sondaggio ha identificato la presenza di un primo strato di deposito fluvioglaciale fino a 9m di profondità per poi incontrare uno strato di roccia dolomitica fino a conclusione del foro. Avendo incontrato la superficie di scivolamento, è inserito successivamente un tubo inclinometrico per poter monitorare il movimento franoso.

Il terzo foro è stato realizzato nella zona di accesso alla chiesa sulla salita prima dell'abside a fianco della strada comunale. Questo sondaggio ha incontrato un deposito alluvionale fino a 15 metri e, successivamente, ha riportato il deposito fluvioglaciale fino alla profondità massima di 30 metri. Anche quest'ultimo sondaggio è stato attrezzato con un tubo inclinometrico.

1.7.3. PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

Alla luce dei numerosi sondaggi effettuati, come riportato nell'allegato [9], si conferiscono al terreno fluvioglaciale le seguenti caratteristiche tecniche:

- Classificazione HRB A-1-b (vedi Figura 24);
- Peso specifico 2050-2150 daN/mc;
- Densità relativa 75%-80%;
- Permeabilità $10^{-4} - 10^{-5}$ cm/sec;
- Coesione 0,2 – 0,6 daN/cm²;
- Angolo di attrito 26°-28°.

Classificazione generale	Terre ghiaia - sabbiosa							Terre limo - argillose					Torbe e terre organiche palustri	
	Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332 ≤ 35%							Frazione passante al setaccio 0,075 UNI 2332 >35%						
Gruppo	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7		A8	
Sottogruppo	A1 a	A1 b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7							
Analisi granulometrica - Frazione passante al setaccio														
2 UNI 2332 %	≤ 80													
0,4 UNI 2332 %	≤ 30	≤ 80	≥80											
0,075 UNI 2332 %	≤15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35		
Caratteristiche della frazione passante al setaccio 0,4 UNI 2332														
Limite liquido	0			≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40		
Indice di plasticità	≤ 6		N.P.	≤ 10	≤10max	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	>10 (IP>LL30)	>10 (IP>LL30)		
Indice di gruppo	0		0	0		≤4		≤ 8	≤ 12	≤ 18	≤ 20			
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	ghiaia e breccia, sabbione, sabbia grossa, pomice, scorie vulcaniche, pozzolane		Sabbia fine	ghiaia e sabbia limosa e argillosa				Limi poco compressibili	Limi fort. compressibili	Argille poco compressibili	Argille fort. compressibili med. plastiche	Argille fort. compressibili fort. plastiche	Torbe di recente o remota formazione e, detriti organici di origine palustre	
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	da eccellenti a buone							Da mediocre a scadente					Da scartare come sottofondo	
Azione del gelo sulla qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna o lieve			Media				media	elevata	Media	elevata	Media		
Ritiro o rigonfiamento	Nullo			Nullo o lieve				Lieve o media		elevato	elevato	molto elevato		
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa					Scarsa o nulla					
Identificazione dei territori in sito	Facilmente individuabili a vista		Aspri al tatto Incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo - Aspri al tatto - Una tenacità media e elevata allo strato asciutto indica la presenza di argilla				Reagiscono alla prova di scuotimento - Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto - Non facilmente modellabili allo stato umido		Non reagiscono alla prova di scuotimento - Tenaci allo stato asciutto - Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido				Fibrosi di colore bruno a nero - facilmente individuabili a vista

Figura 24 - Classificazione HRB

1.7.4. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO ANNO 2004

A causa degli ulteriori cedimenti del terreno dovuti agli eventi piovosi consistenti nel periodo che va dall'anno 2000 al 2004, si decide di intervenire nuovamente per consolidare i terreni circostanti e sottostanti la pieve di San Martino. Il consolidamento viene effettuato per mezzo dei seguenti interventi:

- Prolungamento del cordolo in c.a. tirantato e poggiante su micropali (berlinese) fino al fronte della chiesa passando in adiacenza alla sacrestia, luogo in cui si osserva un continuo arretramento del terreno. A differenza della berlinese già realizzata, questa verrà fondata su micropali profondi 23 metri (al posto di 20m) in modo da ancorarsi alla roccia dolomitica trovata dai sondaggi fra i 19 m e i 23 m.

- Prolungamento del cordolo in c.a. esistente sul lato est e intervento di raccordo con la pista di accesso alla chiesa. Il nuovo cordolo ha dimensioni minori e un interasse maggiore fra i micropali che vengono infissi nel terreno ad una profondità di 18 metri così da raggiungere il deposito fluvio-glaciale, avente caratteristiche geotecniche migliori rispetto allo strato sovrastante.
- Prolungamento verso ovest nel cordolo esistente sul versante nord così da consentire l'allargamento della strada di accesso alla chiesa.
- Realizzazione di un sistema di convogliamento e scarico di tutte le acque meteoriche e di sgrondo dei tetti.

Assieme ai lavori di consolidamento, vengono eseguiti anche i lavori di sistemazione e messa in sicurezza delle aree circostanti all'edificio tramite l'installazione di ringhiere in corrispondenza dei cordoli.

1.7.5. CONCLUSIONE LAVORI ANNO 2006

Gli interventi previsti nel 2004 sono stati realizzati nell'arco di due anni e, nel 2006 la situazione si possono riassumere come riportato in seguito e come si può trovare nell'allegato [10]:

- 1) Sul lato sud della chiesa è stata posta in opera una berlinese ancorata con n. 71 micropali $\phi 127$ mm con spessore di 10 mm della lunghezza di 23 metri disposti in fila doppia ad interasse di 50 cm e cordolatura in testa in c.a. di sezione pari a 100 cm x 80 cm;
- 2) Sul lato nord è stata installata una berlinese posata su n. 32 micropali, anch'essi con $\phi 127$ mm e spessore di 10 mm ma con una profondità di 10 m disposti su un'unica fila ad interasse di 50 cm;
- 3) Sul lato sud-est è stata realizzata un'altra berlinese ancorata su n.65 micropali di pari diametro e spessore dei precedenti con una lunghezza di 19 metri disposti su un'unica fila con interasse di 50 cm;

- 4) Si è posto in opera, in collegamento tra le berlinesi nord e sud, n. 8 tiranti a barra $\phi 32$ mm ad interasse di 2 m e lunghezza variabile tra i 26 e i 34 m con inclinazione dell'8%;
- 5) Per la berlinese sul lato est si sono realizzati n. 12 tiranti (vedi Figura 25) ad ancoraggio attivo di tipo permanente da 45 ton e di lunghezza pari a 15m;
- 6) Si è realizzato un sistema di allontanamento delle acque piovane con tubazioni in pvc;
- 7) Si sono realizzate delle opere di finitura mediante scavi e spostamenti di terreno al fine di rendere agibili in modo confortevole le piste di accesso soprattutto in previsione delle manutenzioni da eseguire sulle berlinesi realizzate. In fine sono state poste in opera delle scatole in acciaio per l'ispezione dei tiranti.

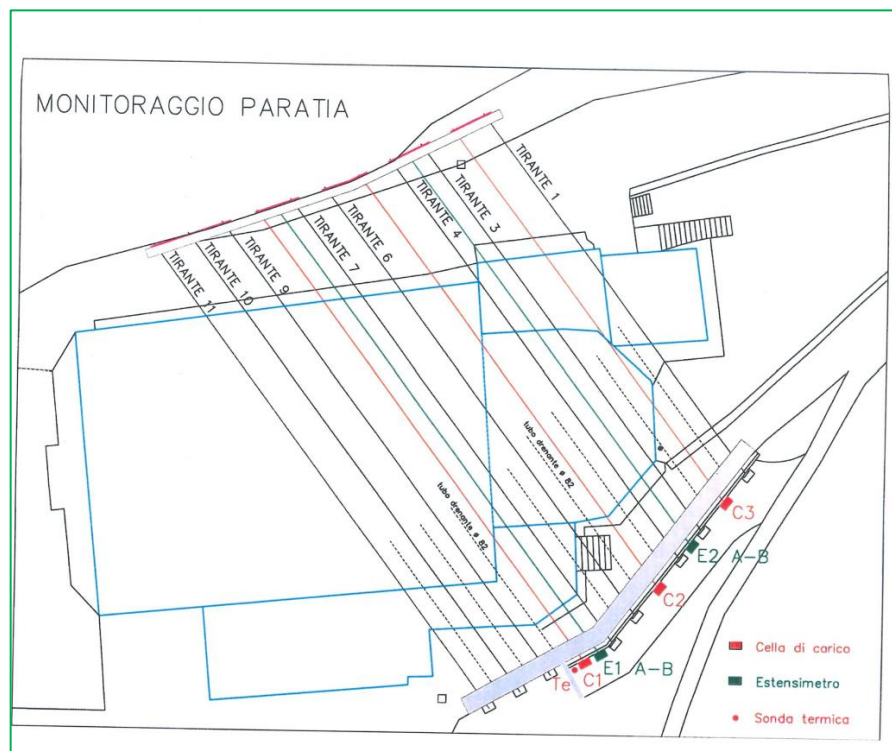


Figura 25 - Posizionamento Tiranti [10]

1.8. MONITORAGGIO ANNO 2012

Con il passare del tempo, il movimento franoso del colle San Martino non si è mai fermato e, nel 2012, la situazione appare come in Figura 26.



Figura 26 - Frana nel 2012 [10]

Come si può vedere, il continuo e lento degrado del colle ha portato all'esposizione dei micropali all'ambiente esterno. Si riporta quanto presente nel documento [10] "Studio del dissesto idrogeologico

a valle della chiesa di san Martino”: *Nel meccanismo di evoluzione del movimento assume particolare importanza, come già detto, la **circolazione delle acque superficiali e profonde nel corpo di frana ed i conseguenti fenomeni di dissoluzione delle formazioni gessifere***”.

Nonostante il continuo movimento del corpo in frana, gli interventi realizzati sino al 2006 hanno consentito di limitare e contenere in maniera eccellente l'evoluzione dei dissesti sulla chiesa pievanale di Valle di Cadore.

Al fine di arginare ulteriormente i fenomeni di dissesto, si predispone un piano di intervento per impermeabilizzare il piazzale di accesso all'edificio e le aree pianeggianti nel suo intorno. L'intervento consiste nella predisposizione nelle zone verdi e nei piazzali non bituminati di una membrana impermeabile al di sotto del manto erboso ed un sistema di drenaggio delle acque meteoriche. Oltre alle acque meteoriche si prevede anche un sistema di raccolta e drenaggio attraverso un canale dell'acqua proveniente dalle linee di gronda della chiesa.

Alla luce di quanto riscontrato dalla relazione idrogeologica, è importante evidenziare la presenza di formazioni gessose in profondità le quali, a contatto con l'acqua, si sciolgono portando ad un conseguente collasso del terreno soprastante. È naturale pensare quindi che, il movimento franoso del colle sia da imputare direttamente dalla presenza di gesso negli strati più profondi. Questa affermazione trova un punto di forza se si considera il fatto che, a poche centinaia di metri (in linea d'aria), nel comune di Perarolo di Cadore, è situata un'altra frana causata proprio dalla presenza di formazioni gessose in profondità. Altra conferma della possibile correlazione fra i due luoghi è data dall'estratto di carta geologica visibile in Figura 27. Figura 27 - Carta Geologica delle tre Venezie, foglio 12 dove è possibile vedere che sia il comune di Perarolo che quello di Valle sono caratterizzati dalle stesse formazioni. Si identifica per entrambe le zone la presenza di morene, la formazione Carnica superiore (caratterizzata dalla presenza di gessi) e Carnica inferiore (caratterizzata invece dalle marne).

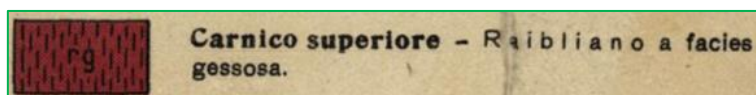
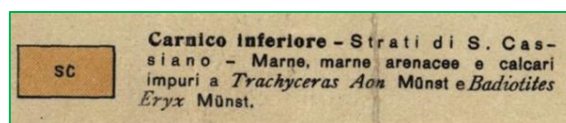


Figura 27 - Carta Geologica delle tre Venezie, foglio 12

1.9. MONITORAGGIO ANNO 2015

Nel mese di Maggio del 2015 viene redatta dal geologo Mario Cabriel una relazione tecnica (riportata all'allegato [11]) di monitoraggio che rileva che dall'anno 2013, caratterizzato da continue ed intense precipitazioni piovose, si è potuto rilevare un'importante accelerazione dei dissesti già in atto. La fondazione in micropali della berlinese realizzata nel 2004 risulta scoperta per un'altezza di circa 3 metri e, la paratia non tirantata invece ha "seguito" il lento processo di frana del terreno, e risulta ora distaccata dal resto dell'opera. La berlinese tirantata invece, seppur in parte allo scoperto, risulta integra ma soggetta a tensioni

notevolmente

aumentate.

Anche i movimenti della struttura della chiesa risultano essere limitati dimostrando l'efficacia degli interventi di consolidamento realizzati, da eccezione una rotazione del campanile dimostrata dall'ampliamento della fessura che lo collega all'abside (vedi Figura 28 - Fessura fra abside e campanile)



Figura 28 - Fessura fra abside e campanile [11]

Il continuo cedimento di terreno ha portato ad una notevole variazione della dorsale che si è avvicinata alle mura della parrocchia di San Martino come si vede in Figura 29 e in Figura 30.

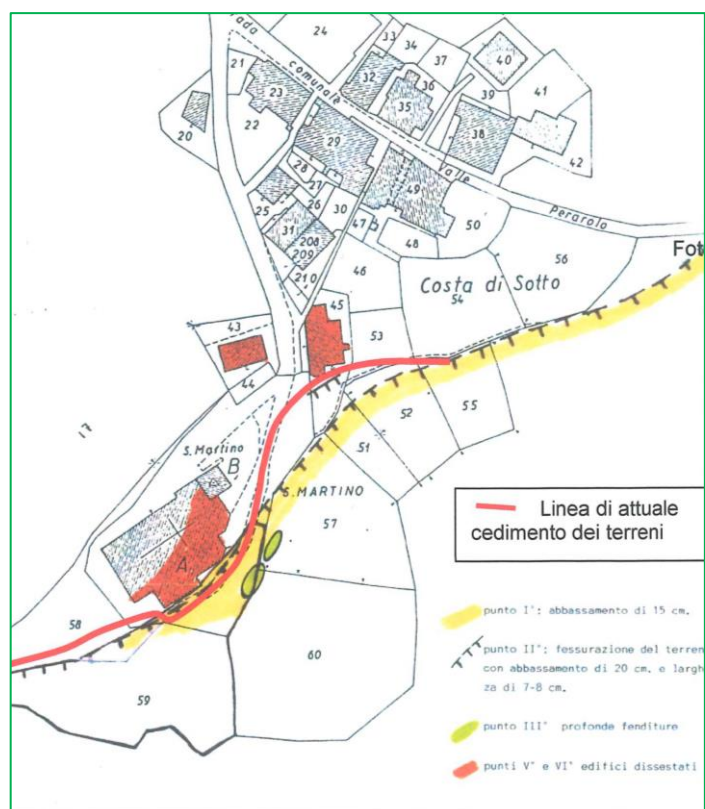


Figura 29 - Dorsale nel 2015 [11]

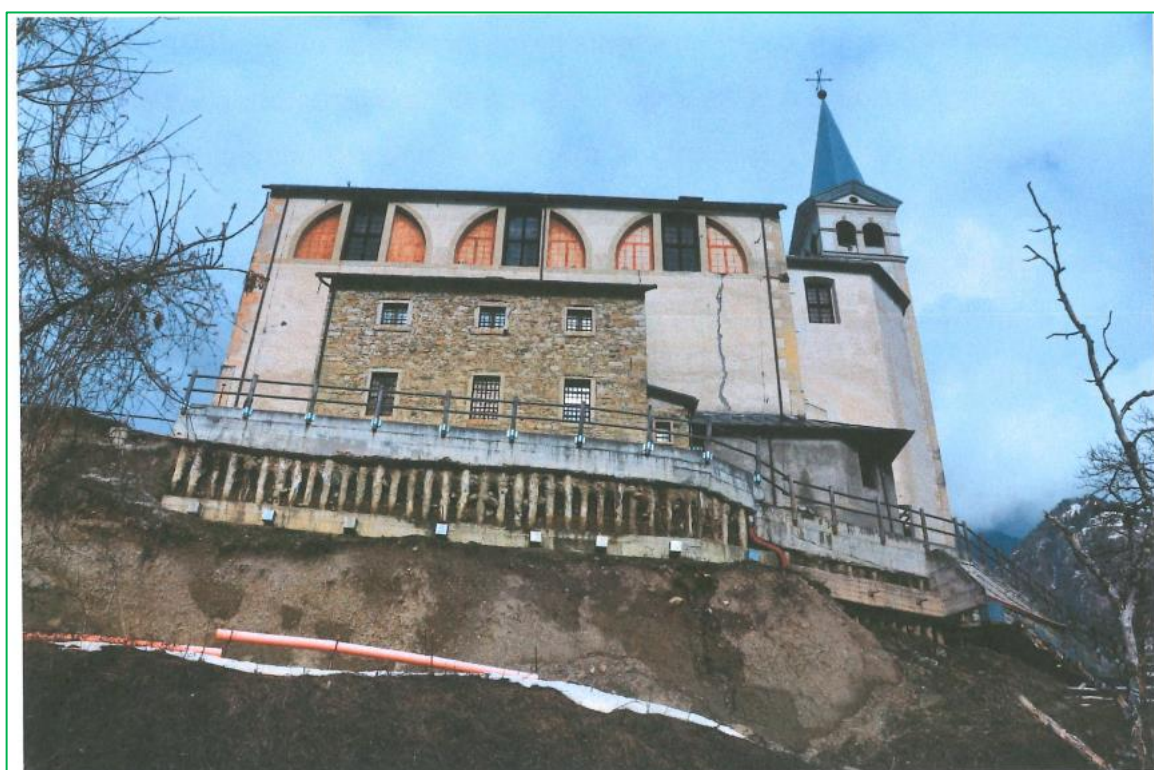


Figura 30 - Vista della dorsale da Sud [11]

2. PARTE SECONDA

INTERVENTO DI CONSOLIDAZIONE E MESSA IN SICUREZZA

ANNI 2021-2023

2.1. INDAGINI PRELIMINARI

Nell'inverno 2020, a causa di un fulmine, l'intero impianto di monitoraggio delle berlinesi e delle strutture della chiesa si è guastato in maniera irreparabile. Questo avvenimento ha reso l'edificio della pievanale pericolante e, di conseguenza, non utilizzabile al culto. Si sono eseguite quindi nuove indagini e nuove valutazioni.

Data l'impossibilità continuare a monitorare direttamente gli spostamenti e le sollecitazioni, si decide di proseguire indirettamente tramite l'utilizzo di software appositi quali "BulkCAD" e "Concrete" che permettono anche di calcolare le sollecitazioni agenti sulle berlinesi di contenimento. Ne risulta un valore di coefficiente di sicurezza ricavato è pari a **0.37** e che i tiranti $\phi 32$ che collegano le paratie si trovano in fase di snervamento. Anche la paratia realizzata sul versante est non risulta allo stato corrente verificata sia per le sollecitazioni date dal momento flettente che per le tensioni dei tirafondi in trefoli.

Il basso coefficiente di sicurezza e lo stato di tensionamento in cui si trovano i trefoli delle berlinesi sono dovuti al continuo movimento del terreno sottostante la chiesa che, muovendosi, spinge contro la paratia tirantata. Visti i risultati di queste prime indagini si dichiara la parrocchia di San Martino pericolante e in stato di crollo imminente in quanto non è possibile prevedere per quanto tempo la struttura esistente sarà ancora in grado di resistere alle sollecitazioni agenti. Lo stato in cui verge la frana e l'edificio nel momento delle indagini nel 2021 è visibile in Figura 31 e Figura 32 come riportato dell'allegato [12].



Figura 31 - Stato delle opere nel 2021 [12]



Figura 32 - Stato delle opere 2021 [12]

2.1.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le indagini geognostiche sono state eseguite nei mesi di ottobre e novembre del 2021 sono riportate nell'allegato [13] e consistono in:

- Esecuzione di n. 4 sondaggi profondi a carotaggio continuo denominati:
 - A21 spinto ad una profondità di 60 m da p.c.;
 - B21 spinto fino a 59.4 m da p.c.;
 - C21 spinto fino a 60 m da p.c.;
 - D21 spinto fino a 34 m da p.c.
- Esecuzione di n. 20 prove SPT in foro divise in 5 prove per ogni sondaggio;
- Installazione di due piezometri in PVC nei fori C21 e D21;
- Installazione di tubi in PVC da 3" nei fori di sondaggio A21 e B21 per l'esecuzione di prove sismiche in foro;
Installazione di estensimetri a filo nei fori A21, B21 e C21.

L'ubicazione dei sondaggi è visibile in Figura 33 e i primi dati sono riportati in Tabella 1.

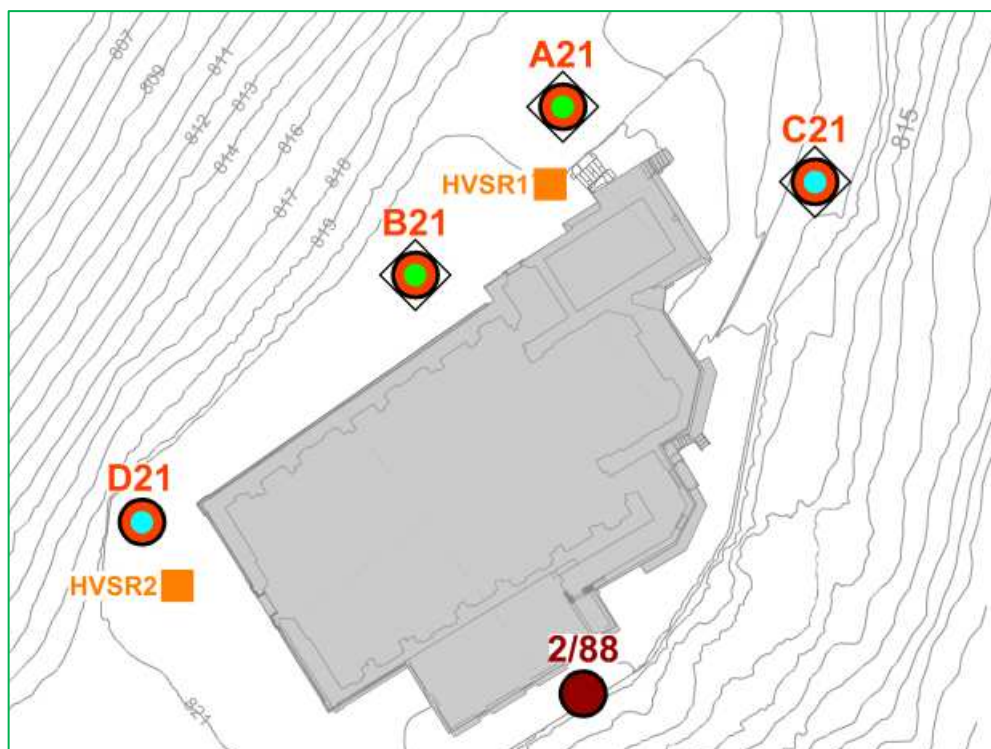


Figura 33 - Ubicazione sondaggi 2021 [13]

Sigla sondaggio	Tecnica di perforazione	Coordinate (Gauss Boaga fuso W - EPSG 3003)	Quota assoluta (m slm)	Profondità da p.c. (m)	Diametro perforazione (mm)	Profondità falda da p.c. (m)
A21	Carotaggio continuo	N 5.145.333,88	818,86	60	127	Non rilevata
		E 1.755.794,26				
B21	Carotaggio continuo	N 5.145.322,76	819,50	59,4	127/152	Non rilevata
		E 1.755.784,54				
C21	Carotaggio continuo	N 5.145.328,91	816,28	60	127/152	-32,18 (5/11/2021)
		E 1.755.810,92				
D21	Carotaggio continuo	N 5.145.306,43	819,38	34	127/152	Assente
		E 1.755.766,42				

Tabella 1 - Sondaggi 2021 [13]

2.1.2. SONDAGGIO A21

STUDIO DI GEOLOGIA GEOTECNICA GEOFISICA E AMBIENTE Dott. Geol. Danilo BELLI Cesiomaggiore (BL)			PRIMI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FRANA IN CORRISPONDENZA DELLA CHIESA PARROCCHIALE, MONITORAGGI E DRENAGGI <i>Chiesa di San Martino, Comune di Valle di Cadore, Provincia di Belluno</i>			SONDAGGIO A21 da 0.0 a 10.0 m. scala 1: 50					
			COMMITTENTE:  COMMISSARIO DELEGATO <i>Primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato il territorio della Regione Veneto, dal 27 ottobre al 5 novembre 2018 - O.C.D.P.C. n. 558 del 15 novembre 2018</i>								
			IMPRESA ESECUTRICE: Son.geo s.r.l. ASSISTENZA TECNICA: Dott. Geol. Danilo Belli DATA ESECUZIONE: dal 11/10/2021 al 16/10/2021 UBICAZIONE: vedere Allegato 1 QUOTA p.c.: 818,86 m slm (da rilievi)								
QUOTA DI RIFERIMENTO (m da p.c.)	COLONNA STRATIGRAFICA	S.P.T.		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA (A.G.I. 77)	POCKET (kPa)	TORVANE (kPa)	R.Q.D.	CAMPIONI	FALDA ACQUIFERA	DATI PERFORAZIONE	ATTREZZAMENTO FORO
		N (colpi)	H (cm)								
0.0				Conglomerato bituminoso							
0.5											
1.0											
1.5											
2.0											
2.5											
3.0											
3.5			19	3,15							
			26	3,30							
			34	3,45							
4.0											
4.5											
5.0											
5.5											
6.0			16	6,15							
			29	6,30							
			36	6,45							
7.0											
7.5											
8.0											
8.5											
9.0											
9.5		21	9,15								
		30	9,30								
		41	9,45								
Comune di Valle di Cadore Prot 0000591 in ARRIVO del 31/01/2022											
v. successivo											

STUDIO DI GEOLOGIA GEOTECNICA GEOFISICA E AMBIENTE Dott. Geol. Danilo BELLI Cesiomaggiore (BL)			PRIMI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FRANA IN CORRISPONDENZA DELLA CHIESA PARROCCHIALE, MONITORAGGI E DRENAGGI Chiesa di San Martino, Comune di Valle di Cadore, Provincia di Belluno				SONDAGGIO A21 da 10.0 a 20.0 m. scala 1: 50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
			COMMITTENTE:		 COMMISSARIO DELEGATO Primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato il territorio della Regione Veneto, dal 27 ottobre al 5 novembre 2018 - O.C.D.P.C. n. 558 del 15 novembre 2018																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
			IMPRESA ESECUTRICE: Son.geo s.r.l.		ASSISTENZA TECNICA: Dott. Geol. Danilo Belli																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
			DATA ESECUZIONE: dal 11/10/2021 al 16/10/2021		UBICAZIONE: vedere Allegato 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
QUOTA p.c.: 818,86 m slm (da rilievi)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
QUOTA DI RIFERIMENTO (m da p.c.)	COLONNA STRATIGRAFICA	S.P.T.		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA (A.G.I. 77)	POCKET (kPa)	TORVANE (kPa)	R.Q.D.	CAMPIONI	FALDA ACQUIFERA	DATI PERFORAZIONE	ATTREZZAMENTO FORO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
		N (colpi)	H (cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
10.0		19 34 rif.	12,15 12,30 4 cm	Alternanze di limi con ghiaie argillosi sabbiosi talora debolmente ciottolosi grigi, estremamente consistenti, da poco plastici a plastici e ghiaie con limi argillose sabbiose talora debolmente ciottolose grigie, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da spigolosi a subarrotondati Variazioni cromatiche= grigio: -2,85/-12,65; grigio/rosato: -12,65/-14,30 presenti clasti tuftitici (pietra verde)				A21-1 geot																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
10.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
11.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
11.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
12.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
12.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
13.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
13.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
14.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
14.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
15.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
15.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
16.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
16.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
17.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
17.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
18.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
18.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
19.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
19.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				12 18 26	15,15 15,30 15,45	Alternanze di ghiaie con sabbie limose talora debolmente ciottolose, ghiaie limose sabbiose talora debolmente ciottolose e ghiaie sabbiose limose, nocciola chiaro, grigio chiaro e grigio scure, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da subspigolosi ad arrotondati livelli debolmente limosi da -18,00/-19,50; -20,50/-21,00 Variazioni cromatiche= nocciola chiaro: -14,30/-20,00 e -30,00/-34,70 ; grigio chiaro: -20,00/-30,00 e -34,70/-35,00; grigio scuro: -35,00/-37,40 presenti rari clasti tuftitici (pietra verde)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

STUDIO DI GEOLOGIA GEOTECNICA GEOFISICA E AMBIENTE Dott. Geol. Danilo BELLI Cesiomaggiore (BL) 			PRIMI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FRANA IN CORRISPONDENZA DELLA CHIESA PARROCCHIALE, MONITORAGGI E DRENAGGI <i>Chiesa di San Martino, Comune di Valle di Cadore, Provincia di Belluno</i>				SONDAGGIO A21 da 20.0 a 30.0 m. scala 1: 50						
			COMMITTENTE: 		COMMISSARIO DELEGATO Primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato il territorio della Regione Veneto, dal 27 ottobre al 5 novembre 2018 - O.C.D.P.C. n. 558 del 15 novembre 2018								
			IMPRESA ESECUTRICE: Son.geo s.r.l. ASSISTENZA TECNICA: Dott. Geol. Danilo Belli DATA ESECUZIONE: dal 11/10/2021 al 16/10/2021 UBICAZIONE: vedere Allegato 1 QUOTA p.c.: 818,86 m slm (da rilievi)										
QUOTA DI RIFERIMENTO (m da p.c.)	COLONNA STRATIGRAFICA	S.P.T.		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA (A.G.I. 77)	POCKET (kPa)	TORVANE (kPa)	R.Q.D.	CAMPIONI	FALDA ACQUIFERA	DATI PERFORAZIONE	ATTREZZAMENTO FORO		
		N (colpi)	H (cm)										
20.0				Alternanze di ghiaie con sabbie limose talora debolmente ciottolose, ghiaie limose sabbiose talora debolmente ciottolose e ghiaie sabbiose limose, nocciola chiaro, grigio chiaro e grigio scure, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da subspigolosi ad arrotondati livelli debolmente limosi da -18,00/-19,50; -20,50/-21,00 Variazioni cromatiche= nocciola chiaro: -14,30/-20,00 e -30,00/-34,70 ; grigio chiaro: -20,00/-30,00 e -34,70/-35,00; grigio scuro: -35,00/-37,40 presenti rari clasti tuftici (pietra verde)									
20.5													
21.0													
21.5													
22.0													
22.5													
23.0													
23.5													
24.0													
24.5													
25.0													
25.5													
26.0													
26.5													
27.0													
27.5													
28.0													
28.5													
29.0													
29.5													
Comune di Valle di Cadore Prot 0000591 in ARRIVO del 31/01/2022 v. successivo													

STUDIO DI GEOLOGIA GEOTECNICA GEOFISICA E AMBIENTE Dott. Geol. Danilo BELLI Cesiomaggiore (BL)			PRIMI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FRANA IN CORRISPONDENZA DELLA CHIESA PARROCCHIALE, MONITORAGGI E DRENAGGI Chiesa di San Martino, Comune di Valle di Cadore, Provincia di Belluno COMMITTENTE: COMMISSARIO DELEGATO Primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato il territorio della Regione Veneto, dal 27 ottobre al 5 novembre 2018 - O.C.D.P.C. n. 558 del 15 novembre 2018 IMPRESA ESECUTRICE: Son.geo s.r.l. ASSISTENZA TECNICA: Dott. Geol. Danilo Belli DATA ESECUZIONE: dal 11/10/2021 al 16/10/2021 UBICAZIONE: vedere Allegato 1 QUOTA p.c.: 818,86 m slm (da rilievi)					SONDAGGIO A21 da 30.0 a 40.0 m. scala 1: 50					
QUOTA DI RIFERIMENTO (m da p.c.)	COLONNA STRATIGRAFICA	S.P.T.		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA (A.G.I. 77)	POCKET (kPa)	TORVANE (kPa)	R.Q.D.	CAMPIONI	FALDA ACQUIFERA	DATI PERFORAZIONE	ATTREZZAMENTO FORO		
		N (colpi)	H (cm)										
30.0				Alternanze di ghiaie con sabbie limose talora debolmente ciottolose, ghiaie limose sabbiose talora debolmente ciottolose e ghiaie sabbiose limose, nocciola chiaro, grigio chiaro e grigio scure, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da subspigolosi ad arrotondati livelli debolmente limosi da -18,00/-19,50; -20,50/-21,00 Variazioni cromatiche= nocciola chiaro: -14,30/-20,00 e -30,00/-34,70 ; grigio chiaro: -20,00/-30,00 e -34,70/-35,00; grigio scuro: -35,00/-37,40 presenti rari clasti tuffitici (pietra verde)				A21-3 geot	NON RILEVATA	Diametro perforazione ϕ 127 mm	Estensimetro con filo d'acciaio Tubo PVC da 3" per esecuzione prove sismiche in foro DH		
30.5													
31.0													
31.5													
32.0													
32.5													
33.0													
33.5													
34.0													
34.5													
35.0													
35.5													
36.0													
36.5													
37.0													
37.5													
38.0				Ghiaie con sabbie limose grigie, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da subspigolosi ad arrotondati prevalenti ghiaie fini presenti clasti tuffitici (pietra verde)				A21-4 geot					
38.5													
39.0													
39.5													
Comune di Valle di Cadore Prot 0000591 in ARRIVO del 31/01/2022												v. successivo	

STUDIO DI GEOLOGIA GEOTECNICA GEOFISICA E AMBIENTE Dott. Geol. Danilo BELLI Cesiomaggiore (BL) 			PRIMI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FRANA IN CORRISPONDENZA DELLA CHIESA PARROCCHIALE, MONITORAGGI E DRENAGGI Chiesa di San Martino, Comune di Valle di Cadore, Provincia di Belluno				SONDAGGIO A21 da 40.0 a 50.0 m. scala 1: 50					
			COMMITTENTE:  COMMISSARIO DELEGATO Primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato il territorio della Regione Veneto, dal 27 ottobre al 5 novembre 2018 - O.C.D.P.C. n. 558 del 15 novembre 2018		IMPRESA ESECUTRICE: Son.geo s.r.l. ASSISTENZA TECNICA: Dott. Geol. Danilo Belli DATA ESECUZIONE: dal 11/10/2021 al 16/10/2021 UBICAZIONE: vedere Allegato 1 QUOTA p.c.: 818,86 m slm (da rilievi)							
QUOTA DI RIFERIMENTO (m da p.c.)	COLONNA STRATIGRAFICA	S.P.T.		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA (A.G.I. 77)	POCKET (kPa)	TORVANE (kPa)	R.Q.D.	CAMPIONI	FALDA ACQUIFERA	DATI PERFORAZIONE	ATTREZZAMENTO FORO	
		N (colpi)	H (cm)									
40.0				Ghiaie con limi sabbiose ciottolose marron scuro, da addensate a molto addensate; clasti prev. calcareo/dolomitici da spigolosi ad subarrotondati trovante calcareo/dolomitico da -40,20 a -40,45 presenti clasti tufitici (pietra verde)				A21-5 geot				
40.5												
41.0												
41.5												
42.0												
42.5												
43.0					Ghiaie con sabbie limose debolmente argillose grigie, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici subspigolosi/spigolosi, talora arrotondati presenza di sottili livelli a diverse quote di ghiaie limose sabbiose e livelli più sabbiosi presenti clasti tufitici (pietra verde)							
43.5												
44.0												
44.5												
45.0												
45.5												
46.0					Ghiaie con limi sabbiose debolmente argillose nerastre, molto addensate; clasti prev. calcareo/dolomitici da spigolosi ad arrotondati presenti numerosi frustoli carboniosi mm presenti clasti tufitici (pietra verde)				A21-6 geot			
46.5												
47.0												
47.5					Limi con ghiaie sabbiosi marron chiaro con tonalità rossicce, da consistenti a molto consistenti; clasti prev. calcareo/dolomitici da spigolosi ad arrotondati presenti clasti tufitici (pietra verde)							
48.0												
48.5				Ghiaie sabbiose limose debolmente ciottolose biancastre, da addensate a molto addensate; clasti totalmente calcareo/dolomitici da spigolosi a subarrotondati variazioni cromatiche (da biancastre a grigio scure) da -49,00/-49,35; -52,60/-53,40 livelli a maggior contenuto limo-sabbioso da -48,90/-49,00; -49,40/-49,80 livelli prev. ciottolosi da -53,40/-53,65								
49.0												
49.5												
Comune di Valle di Cadore Prot 0000591 in ARRIVO del 31/01/2022			v. successivo									

2.1.3. SONDAGGIO B21

STUDIO DI GEOLOGIA
GEOTECNICA GEOFISICA E
AMBIENTE

Dott. Geol. Danilo BELLÌ
Cesiomaggiore (BL)

PRIMI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FRANA IN CORRISPONDENZA
DELLA CHIESA PARROCCHIALE, MONITORAGGI E DRENAGGI

Chiesa di San Martino, Comune di Valle di Cadore, Provincia di Belluno

COMMITTENTE:

COMMISSARIO DELEGATO
Primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza degli
eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato il territorio della
Regione Veneto, dal 27 ottobre al 5 novembre 2018 - O.C.D.P.C. n. 558 del
15 novembre 2018

IMPRESA ESECUTRICE: Son.geo s.r.l.

ASSISTENZA TECNICA: Dott. Geol. Danilo Belli

DATA ESECUZIONE: dal 18/10/2021 al 23/10/2021

UBICAZIONE: vedere Allegato 1

QUOTA p.c.: 819,50 m slm (da rilievi)

SONDAGGIO

B21

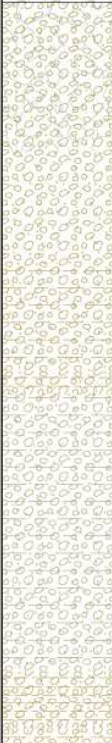
da 0.0 a 10.0 m.

scala 1: 50

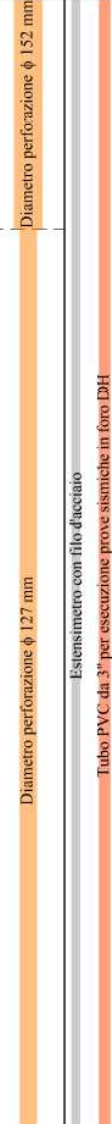
QUOTA DI RIFERIMENTO (m da p.c.)	COLONNA STRATIGRAFICA	S.P.T.		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA (A.G.I. 77)	POCKET (kPa)	TORVANE (kPa)	R.Q.D.	CAMPIONI	FALDA ACQUIFERA	DATI PERFORAZIONE	ATTREZZAMENTO FORO
		N (colpi)	H (cm)								
0.0				Conglomerato bituminoso							
0.5											
1.0				Ghiaie sabbiose limose ciottolose marron, da poco addensate a moderatamente addensate							
1.5				clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da spigolosi a subarrotondati (riporto antropico)							
2.0											
2.5											
3.0											
3.5			31	3,15							
			28	3,30							
			rif.	6 cm							
4.0											
4.5											
5.0											
5.5					Alternanze di limi con ghiaie argillosi sabbiosi talora debolmente ciottolosi prev. grigi e ocra scuro, estremamente consistenti, da poco plastici a plastici e ghiaie con limi argillose sabbiose talora debolmente ciottolose prev. grigi e ocra scuro, da addensate a molto addensate;						
6.0			12	6,15	clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da spigolosi a subarrotondati						
6.5			18	6,30	Variations cromatiche= livello marron da -2,60/-3,10; grigio: -4,50/-7,00 e -13,00/-13,20; grigio/rosato: -3,10/-4,50; -7,00/-8,00; ocra scuro -8,00/-11,00						
			22	6,45	presenti clasti tuftitici (pietra verde)						
7.0											
7.5											
8.0											
8.5											
9.0											
9.5		15	9,15								
		21	9,30								
		24	9,45								

Comune di Valle di Cadore
Prot 0000591 in ARRIVO del 31/01/2022

v. successivo

STUDIO DI GEOLOGIA GEOTECNICA GEOFISICA E AMBIENTE Dott. Geol. Danilo BELLI Cesiomaggiore (BL) 			PRIMI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FRANA IN CORRISPONDENZA DELLA CHIESA PARROCCHIALE, MONITORAGGI E DRENAGGI <i>Chiesa di San Martino, Comune di Valle di Cadore, Provincia di Belluno</i>					SONDAGGIO B21 da 10.0 a 20.0 m. scala 1: 50					
			COMMITTENTE:		COMMISSARIO DELEGATO <i>Primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato il territorio della Regione Veneto, dal 27 ottobre al 5 novembre 2018 - O.C.D.P.C. n. 558 del 15 novembre 2018</i>								
			IMPRESA ESECUTRICE: Son-geo s.r.l. ASSISTENZA TECNICA: Dott. Geol. Danilo Belli DATA ESECUZIONE: dal 18/10/2021 al 23/10/2021 UBICAZIONE: vedere Allegato 1 QUOTA p.c.: 819,50 m slm (da rilievi)										
QUOTA DI RIFERIMENTO (m da p.c.)	COLONNA STRATIGRAFICA	S.P.T.		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA (A.G.I. 77)			POCKET (kPa)	TORVANE (kPa)	R.Q.D.	CAMPIONI	FALDA ACQUIFERA	DATI PERFORAZIONE	ATTREZZAMENTO FORO
		N (colpi)	H (cm)										
10.0		18	12,15	Alternanze di limi con ghiaie argillosi sabbiosi talora debolmente ciottolosi prev. grigi e ocra scuro, estremamente consistenti, da poco plastici a plastici e ghiaie con limi argillose sabbiose talora debolmente ciottolose prev. grigi e ocra scuro, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da spigolosi a subarrotondati <i>Variazioni cromatiche= livello marron da -2,60/-3,10; grigio: -4,50/-7,00 e -13,00/-13,20; grigio/rosato: -3,10/-4,50; -7,00/-8,00; ocra scuro -8,00/-11,00 presenti clasti tuftitici (pietra verde)</i>						B21-1 geot	NON RILEVATA	Diametro perforazione ϕ 152 mm	Estensimetro con filo d'acciaio
10.5		27	12,30										
11.0		33	12,45										
11.5													
12.0													
12.5													
13.0													
13.5													
14.0													
14.5													
15.0		14	15,15	Ghiaie sabbiose limose da debolmente ciottolose a ciottolose ocracee/beige, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da subspigolosi ad arrotondati <i>ghiaie talora grossolane livello più ciottoloso da -27,15/-28,70 trovante calcareo dolomitico da -26,85/-27,15 livello di ghiaie con limi sabbiose nerastro da -30,60/-31,00 livello a matrice fine grigio/verdastra da -22,60/-22,70 presenti rari clasti tuftitici (pietra verde)</i>									
15.5		22	15,30										
16.0		29	15,45										
16.5													
17.0													
17.5													
18.0													
18.5													
19.0													
19.5													
Comune di Valle di Cadore Prot 0000591 in ARRIVO del 31/01/2022			v. successivo										

STUDIO DI GEOLOGIA GEOTECNICA GEOFISICA E AMBIENTE Dott. Geol. Danilo BELLI Cesiomaggiore (BL) 			PRIMI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FRANA IN CORRISPONDENZA DELLA CHIESA PARROCCHIALE, MONITORAGGI E DRENAGGI Chiesa di San Martino, Comune di Valle di Cadore, Provincia di Belluno					SONDAGGIO B21 da 20.0 a 30.0 m. scala 1: 50					
			COMMITTENTE:  COMMISSARIO DELEGATO Primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato il territorio della Regione Veneto, dal 27 ottobre al 5 novembre 2018 - O.C.D.P.C. n. 558 del 15 novembre 2018		IMPRESA ESECUTRICE: Son.geo s.r.l. ASSISTENZA TECNICA: Dott. Geol. Danilo Belli DATA ESECUZIONE: dal 18/10/2021 al 23/10/2021 UBICAZIONE: vedere Allegato 1 QUOTA p.c.: 819,50 m slm (da rilievi)								
QUOTA DI RIFERIMENTO (m da p.c.)	COLONNA STRATIGRAFICA	S.P.T.		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA (A.G.I. 77)	POCKET (kPa)	TORVANE (kPa)	R.Q.D.	CAMPIONI	FALDA ACQUIFERA	DATI PERFORAZIONE	ATTREZZAMENTO FORO		
		N (colpi)	H (cm)										
20.0				Ghiaie sabbiose limose da debolmente ciottolose a ciottolose ocracee/beige, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da subspigolosi ad arrotondati ghiaie talora grossolane livello più ciottoloso da -27,15/-28,70 trovante calcareo dolomitico da -26,85/-27,15 livello di ghiaie con limi sabbiose nerastro da -30,60/-31,00 livello a matrice fine grigio/verdastra da -22,60/-22,70 presenti rari clasti tuffitici (pietra verde)				B21-2 geot	NON RILEVATA	Diametro perforazione ϕ 152 mm Estensimetro con filo d'acciaio Tubo PVC da 3" per esecuzione prove sismiche in foro DH			
20.5													
21.0													
21.5													
22.0													
22.5													
23.0													
23.5													
24.0													
24.5													
25.0													
25.5													
26.0													
26.5													
27.0													
27.5													
28.0													
28.5													
29.0								B21-3 geot					
29.5													
Comune di Valle di Cadore Prot 0000591 in ARRIVO del 31/01/2022			v. successivo										

STUDIO DI GEOLOGIA GEOTECNICA GEOFISICA E AMBIENTE Dott. Geol. Danilo BELLI Cesiomaggiore (BL) 			PRIMI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FRANA IN CORRISPONDENZA DELLA CHIESA PARROCCHIALE, MONITORAGGI E DRENAGGI <i>Chiesa di San Martino, Comune di Valle di Cadore, Provincia di Belluno</i>				SONDAGGIO B21 da 30.0 a 40.0 m. scala 1: 50						
			COMMITTENTE: 		COMMISSARIO DELEGATO <i>Primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato il territorio della Regione Veneto, dal 27 ottobre al 5 novembre 2018 - O.C.D.P.C. n. 558 del 15 novembre 2018</i>								
			IMPRESA ESECUTRICE: Son.geo s.r.l. ASSISTENZA TECNICA: Dott. Geol. Danilo Belli DATA ESECUZIONE: dal 18/10/2021 al 23/10/2021 UBICAZIONE: vedere Allegato 1 QUOTA p.c.: 819,50 m slm (da rilievi)										
QUOTA DI RIFERIMENTO (m da p.c.)	COLONNA STRATIGRAFICA	S.P.T. N (colpi)		H (cm)	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA (A.G.I. 77)	POCKET (kPa)	TORVANE (kPa)	R.Q.D.	CAMPIONI	FALDA ACQUIFERA	DATI PERFORAZIONE	ATTREZZAMENTO FORO	
30.0					Ghiaie sabbiose limose da debolmente ciottolose a ciottolose ocracee/beige, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da subspigolosi ad arrotondati <i>ghiaie talora grossolane</i> <i>livello più ciottoloso da -27,15/-28,70</i> <i>trovante calcareo dolomitico da -26,85/-27,15</i> <i>livello di ghiaie con limi sabbiose nerastro da -30,60/-31,00</i> <i>livello a matrice fine grigio/verdastra da -22,60/-22,70</i> <i>presenti rari clasti tuffitici (pietra verde)</i>						Diametro perforazione ϕ 152 mm		
30.5					Ghiaie con limi sabbiose grigio scure, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da subspigolosi ad arrotondati <i>presenti rari clasti tuffitici (pietra verde)</i>								
31.0					Ghiaie con limi sabbiose marron scuro, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da spigolosi a subarrotondati <i>trovante calcareo/dolomitico da -33,30/-34,00</i>								
31.5													
32.0													
32.5													
33.0													
33.5													
34.0													
34.5													
35.0													
35.5						Ghiaie sabbiose limose debolmente ciottolose grigio/ocracee, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da subspigolosi ad arrotondati <i>presenti rari clasti tuffitici (pietra verde)</i>				B21-4 geot	NON RILEVATA		Diametro perforazione ϕ 127 mm
36.0													
36.5													
37.0													
37.5						Ghiaie con limi sabbiose e ghiaie limose sabbiose grigiastre, da addensate a molto addensate; clasti poligenici prev. calcareo/dolomitici da subspigolosi ad arrotondati <i>livello a prevalenti ghiaie fini da -37,80/-38,00</i> <i>presenti clasti tuffitici (pietra verde)</i>							
38.0													
38.5													
39.0													
39.5					Ghiaie con argille limose sabbiose rosate, molto addensate; clasti esclusivamente dolomitici da spigolosi a subspigolosi <i>livelli di limi ghiaiosi sabbiosi ocracei da -38,90/-39,00 e da</i> <i>-39,60/-40,00</i>				B21-4bis geot				
Comune di Valle di Cadore Prot 0000591 in ARRIVO del 31/01/2022 v. successivo													

STUDIO DI GEOLOGIA GEOTECNICA GEOFISICA E AMBIENTE Dott. Geol. Danilo BELLI Cesiomaggiore (BL) 			PRIMI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FRANA IN CORRISPONDENZA DELLA CHIESA PARROCCHIALE, MONITORAGGI E DRENAGGI Chiesa di San Martino, Comune di Valle di Cadore, Provincia di Belluno					SONDAGGIO B21 da 40.0 a 50.0 m. scala 1: 50					
			COMMITTENTE: 		COMMISSARIO DELEGATO Primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato il territorio della Regione Veneto, dal 27 ottobre al 5 novembre 2018 - O.C.D.P.C. n. 558 del 15 novembre 2018								
			IMPRESA ESECUTRICE: Son.geo s.r.l. ASSISTENZA TECNICA: Dott. Geol. Danilo Belli DATA ESECUZIONE: dal 18/10/2021 al 23/10/2021 UBICAZIONE: vedere Allegato 1 QUOTA p.c.: 819,50 m slm (da rilievi)										
QUOTA DI RIFERIMENTO (m da p.c.)	COLONNA STRATIGRAFICA	S.P.T.		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA (A.G.I. 77)	POCKET (kPa)	TORVANE (kPa)	R.Q.D.	CAMPIONI	FALDA ACQUIFERA	DATI PERFORAZIONE	ATTREZZAMENTO FORO		
		N (colpi)	H (cm)										
40.0				Ghiaie con argille limose sabbiose rosate, molto addensate; clasti esclusivamente dolomitici da spigolosi a subspigolosi livelli di limi ghiaiosi sabbiosi ocracei da -38,90/-39,00 e da -39,60/-40,00				B21-5 geot	NON RILEVATA	Diametro perforazione ϕ 127 mm	Estensimetro con filo d'acciaio Tubo PVC da 3" per esecuzione prove sismiche in foro DH		
40.5													
41.0													
41.5													
42.0													
42.5													
43.0													
43.5													
44.0													
44.5													
45.0				Ghiaie con ciottoli sabbiose limose argillose grigie e ocre/beige, da addensate a molto addensate; clasti esclusivamente calcareo/marnosi con abbondanti livelli calcitici, da subspigolosi a spigolosi (substrato roccioso in calcari marnosi grigi con abbondanti vene calcitiche molto alterato/fratturato) livelli a maggior contenuto argillo-sabbioso da -49,70/-49,90; -50,00/-50,20 blocco da -45,85/-46,10 Variazioni cromatiche= grigio da -44,10/-45,5; ocre/beige da -45,5/-53,70				B21-6 geot	NON RILEVATA	Diametro perforazione ϕ 127 mm	Estensimetro con filo d'acciaio Tubo PVC da 3" per esecuzione prove sismiche in foro DH		
45.5													
46.0													
46.5													
47.0													
47.5													
48.0													
48.5													
49.0													
49.5													
Comune di Valle di Cadore Prot 0000591 in ARRIVO del 31/01/2022			v. successivo										

STUDIO DI GEOLOGIA GEOTECNICA GEOFISICA E AMBIENTE Dott. Geol. Danilo BELLI Cesiomaggiore (BL) 				PRIMI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA FRANA IN CORRISPONDENZA DELLA CHIESA PARROCCHIALE, MONITORAGGI E DRENAGGI <i>Chiesa di San Martino, Comune di Valle di Cadore, Provincia di Belluno</i>				SONDAGGIO B21 da 50.0 a 60.0 m. scala 1: 50								
COMMITTENTE: 				COMMISSARIO DELEGATO <i>Primi interventi urgenti di Protezione Civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici che hanno interessato il territorio della Regione Veneto, dal 27 ottobre al 5 novembre 2018 - O.C.D.P.C. n. 558 del 15 novembre 2018</i>												
IMPRESA ESECUTRICE: Son.geo s.r.l. ASSISTENZA TECNICA: Dott. Geol. Danilo Belli DATA ESECUZIONE: dal 18/10/2021 al 23/10/2021 UBICAZIONE: vedere Allegato 1 QUOTA p.c.: 819,50 m slm (da rilievi)																
QUOTA DI RIFERIMENTO (m da p.c.)	COLONNA STRATIGRAFICA	S.P.T.		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA (A.G.I. 77)				POCKET (kPa)	TORVANE (kPa)	R.Q.D.	CAMPIONI	FALDA ACQUIFERA	DATI PERFORAZIONE	ATTREZZAMENTO FORO		
		N (colpi)	H (cm)													
50.0				Ghiaie con ciottoli sabbiose limose argillose grigie e ocra/beige, da addensate a molto addensate; clasti esclusivamente calcareo/marnosi con abbondanti livelli calcitici, da subspigolosi a spigolosi (substrato roccioso in calcari marnosi grigi con abbondanti vene calcitiche molto alterato/fratturato) <i>livelli a maggior contenuto argillo-sabbioso da -49,70/-49,90; -50,00/-50,20 blocco da -45,85/-46,10 Variazioni cromatiche= grigio da -44,10/-45,5; ocra/beige da -45,5/-53,70</i>												
50.5																
51.0																
51.5																
52.0																
52.5																
53.0																
53.5																
54.0																
54.5									Ghiaie debolmente limose e sabbiose beige chiaro, da addensate a molto addensate; clasti dolomitici da subspigolosi a spigolosi (substrato roccioso in dolomie microcristalline fratturato/alterato)							
55.0																
55.5																
56.0																
56.5				Substrato roccioso in dolomie biancastre microcristalline con locali venature mm in solfuri Fe <i>R(%) = 95-100 F = 4-5 RQD medio (56.0-59.0) = 80-90</i>												
57.0																
57.5																
58.0																
58.5																
59.0																
59.5				<i>fine sondaggio</i>												
Comune di Valle di Cadore Prot 0000591 in ARRIVO del 31/01/2022																

2.1.4. SONDAGGI C21 D21

Data la somiglianza dei sondaggi C21 e D21 con i sondaggi A21 e B21 sopra riportati, per visionare le stratigrafie si rimanda direttamente all'allegato [13].

2.1.5. ELABORAZIONE SONDAGGI

Grazie ai nuovi sondaggi eseguiti, che vanno ad integrare la documentazione preesistente, si sono eseguite delle sezioni geologiche in grado di descrivere al meglio la composizione del terreno sottostante l'edificio della parrocchiale. Si riportano in Figura 34, Figura 35, Figura 36 e Figura 37 alcune sezioni, la tavola completa contenente questi elaborati si può trovare all'allegato [15].

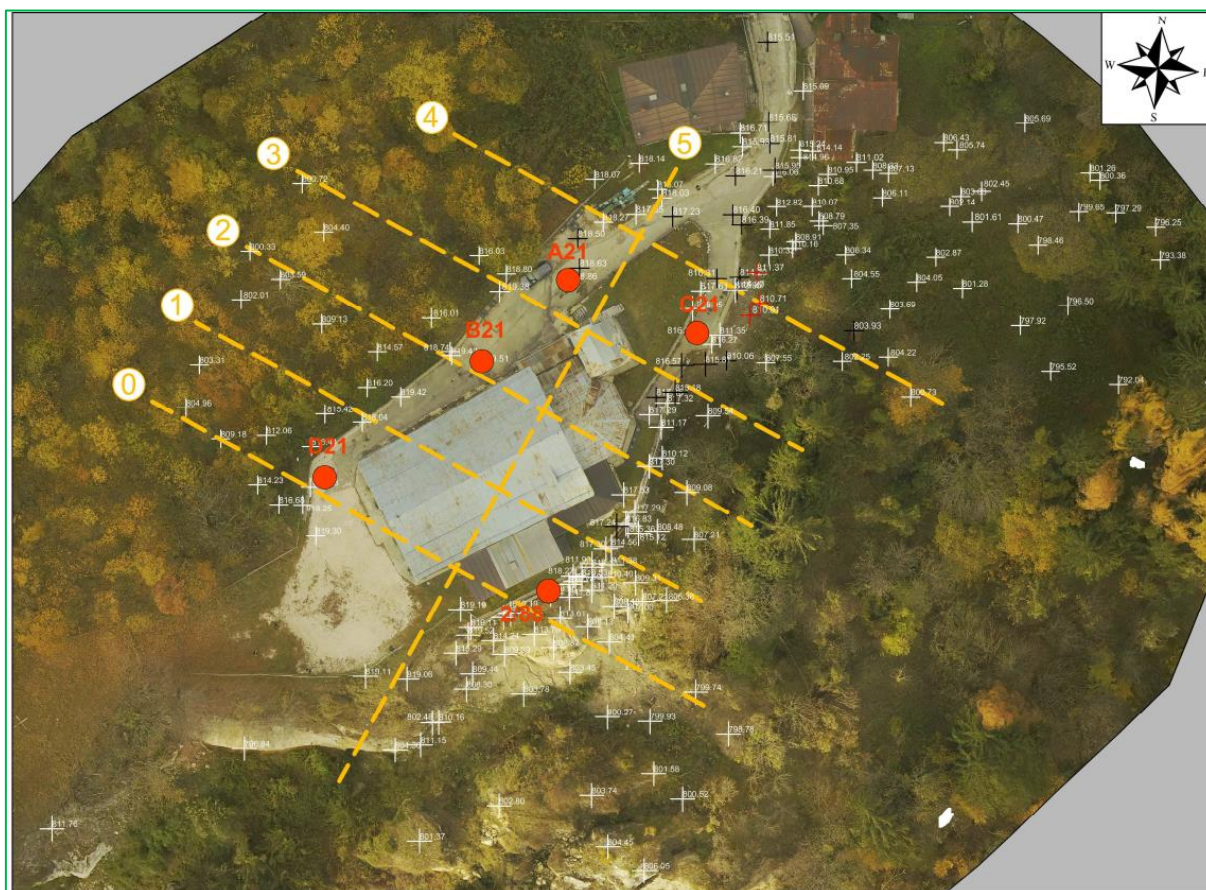


Figura 34 - Sezioni S.D.F. 2021 [15]

LEGENDA

-  Profilo topografico
-  Terreni di riporto
-  Terreni prevalentemente limoso-ghiaiosi
-  Terreni prevalentemente ghiaiosi-sabbiosi
-  Substrato roccioso (Fm. di Heiligkreuz)
A= facies carbonatica
B= facies pelitico/arenacea
-  Falda acquifera/correnti freatiche
-  Zona di contatto tettonico/stratigrafico
-  Sondaggio geognostico
(Vista in prospettiva)
-  Berlinese esistente

Sezione 1

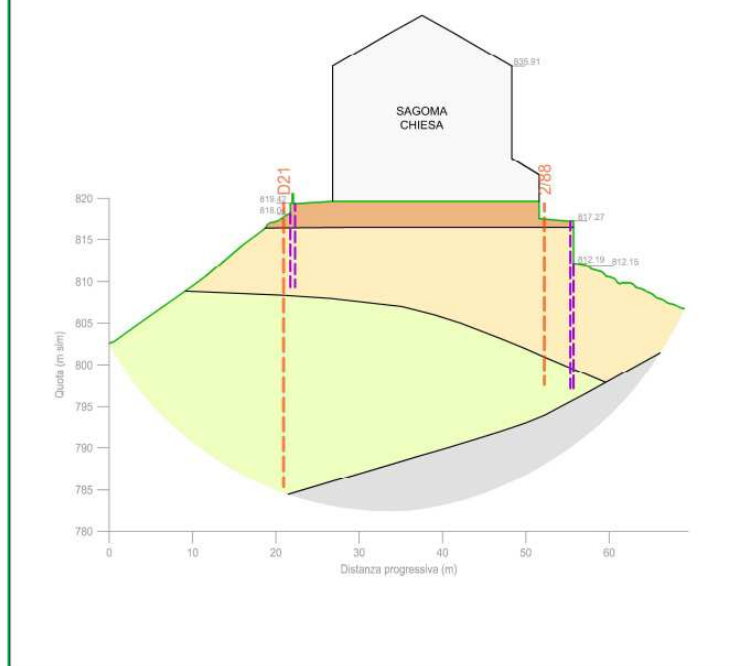


Figura 35 - Sezione n. 1 [15]

Sezione 3

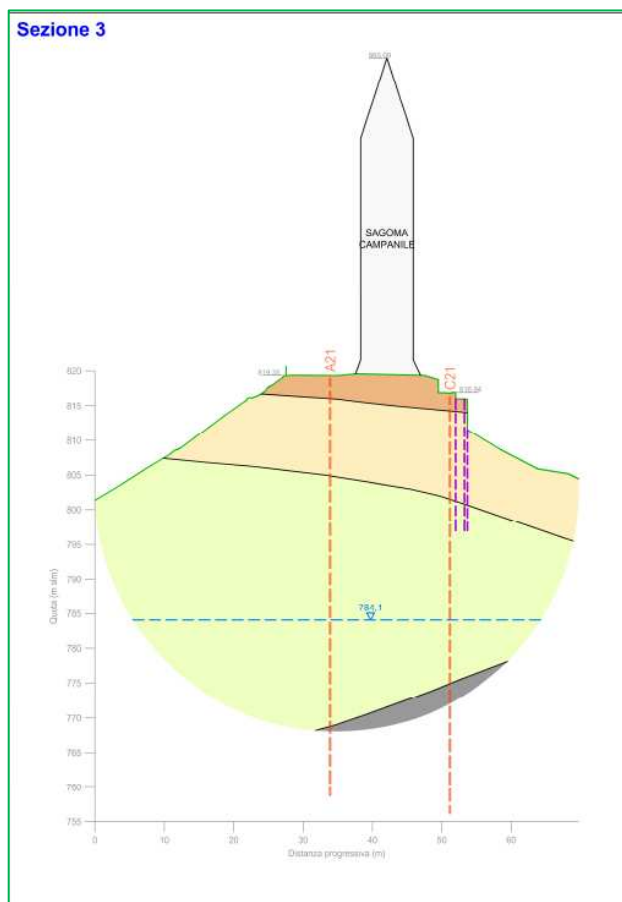


Figura 36 - Sezione n.3 [15]

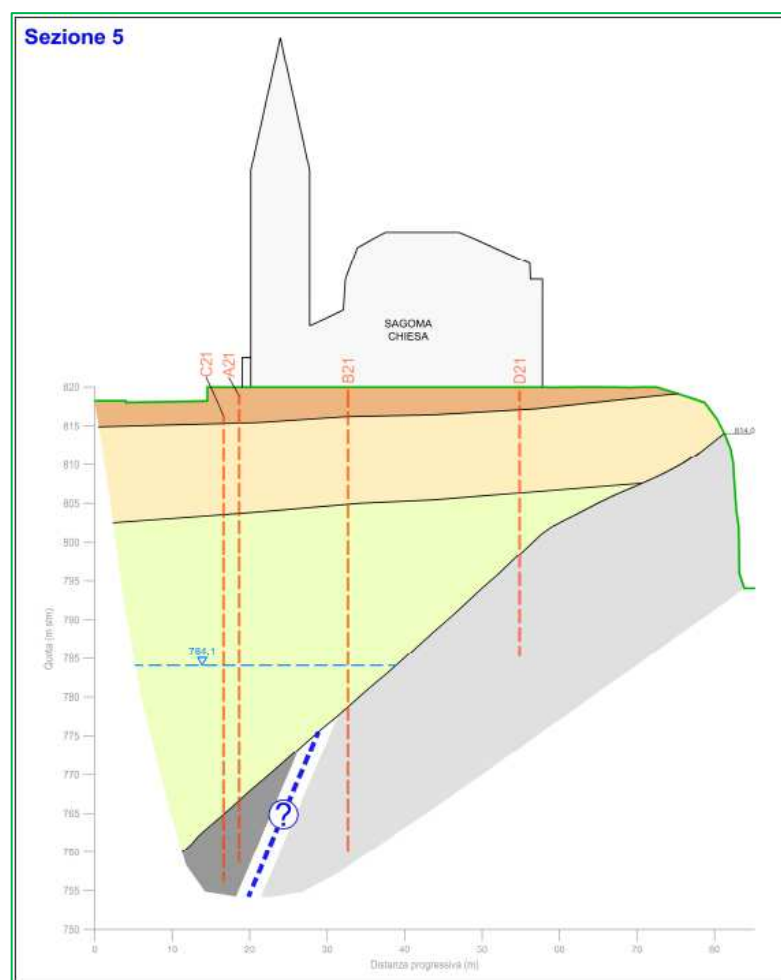


Figura 37 - Sezione n.5 [15]

Dai sondaggi si è inoltre definito che la formazione rocciosa affiorante sul versante del colle su cui sorge la chiesa dedicata a San Martino è attribuita alla formazione di Heiligkreuz. Per essere più specifici, la parte affiorante indica il substrato calcareo-dolomitico della formazione. Dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati, quali prove SPT e prove a compressione, si è determinato che lo strato calcareo-dolomitico sui cui poggia la chiesa possiede un valore di resistenza a compressione decisamente elevato, tanto da poterlo classificare (facendo riferimento a ISRM 78) come roccia Resistente – R4 con elevato peso di volume e bassissima porosità. Questa caratteristica consente di spiegare come mai l'intervento realizzato negli anni 2000 non ha ceduto. È importante sottolineare che al momento delle indagini (nel 2021) i pali su cui si fonda la berlinese preesistente si trovavano

completamente scoperti e non più infissi nel terreno. Da qui è facile intuire che la resistenza dei micropali a taglio e flessione, poiché non più infissi, è praticamente nulla. La grande resistenza a compressione della roccia, il suo peso di volume elevato e la porosità di piccolissima entità, hanno consentito che lo strato roccioso provocasse spinte sui pali minime! Negli anni, inoltre, si è provveduto a mantenere sotto stretto monitoraggio il cedimento del colle tramite l'utilizzo di strumenti topografici. In Figura 38 si riporta l'evolversi del movimento franoso. Vedi allegato [16].

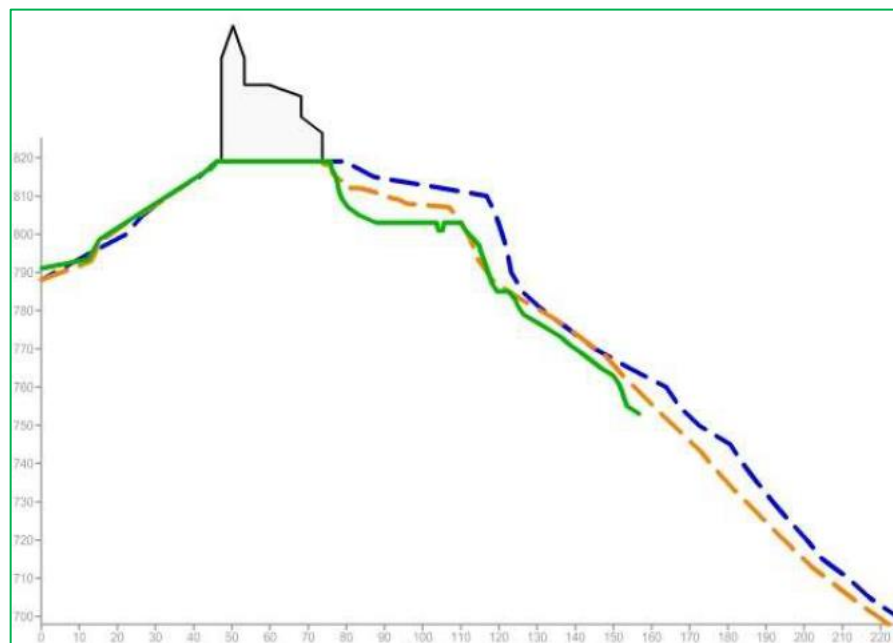


Figura 38 - Rilievo topografico dal 1982 al 2021 [16]

Nell'immagine si può notare in blu il rilievo eseguito nel 1982, in giallo quello fatto nel 2012 e in verde il rilievo del 2021. Questi rilievi hanno consentito di classificare il movimento franoso come una frana di scivolamento nella parte superiore (zona sottostante la chiesa) e di collasso nella parte inferiore in vicinanza al fiume

2.1.6. PROVE SISMICHE DOWN HOLE

Si decide di commissionare a Geodelta Geophysical Analysis Studio le prove geosismiche di tipo Down Hole per il colle San Martino. Questa tipologia di indagine geofisica consiste nella determinazione delle velocità sismiche dei vari strati del sottosuolo. Per la determinazione di tali velocità si fa riferimento alla misura dei tempi necessari ad un impulso sismico per percorrere lo spazio che separa il punto di origine dai vari punti di posizionamento dei sensori. La propagazione dell'onda sismica avviene seguendo le leggi fisiche della rifrazione e riflessione. Il metodo Down Hole si riferisce alla misurazione del tempo di percorrenza delle onde P e S nel tragitto tra la sorgente sismica in superficie e i sensori posti all'interno del foro di sondaggio. Dai risultati dell'indagine riportati nell'allegato [13], si sono definite le velocità delle onde P ed S nei vari strati di terreno, si è classificata la zona oggetto di intervento di tipo B facendo riferimento alle NTC 2018 e si sono calcolati i parametri dinamici del sito per la progettazione in zona sismica secondo la normativa vigente. Per qualsiasi altra informazione sui sondaggi eseguiti si rimanda direttamente all'allegato [13].

2.1.7. MONITORAGGIO DELLA FALDA

La presenza d'acqua rappresenta sempre un potenziale pericolo per i fenomeni di instabilità sui pendii in frana. È dunque sempre importante riuscire a monitorarla per capire come varia il livello dell'acqua e se questo rappresenta o meno una minaccia per la stabilità. Nel foro C21, una volta prelevato il campione di terreno, è stato inserito un piezometro proprio per poter mantenere sotto controllo il livello della falda. Per questa ispezione si è fatto riferimento al periodo che va da Novembre a Dicembre 2021 caratterizzato da piogge e quindi con forte probabilità di movimento della falda.

Nonostante il periodo favorevole al movimento della falda, si è registrato che il livello è rimasto costante nel tempo alla quota di circa -32,2 m. Anche la temperatura della falda è rimasta costante e pari a circa 8,2°C.

2.2. INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DELLA BERLINESE ESISTENTE E MESSA IN SICUREZZA DELLA CHIESA

La zona del sito che è stata oggetto di intervento è quella perimetrata dalla palificata eretta negli anni 2000, ovvero la berlinese sul fronte est-sud. I lavori eseguiti consistono nel consolidamento della palificata esistente per una lunghezza in pianta di 47 m e si sono divisi in tre interventi.

2.2.1. REALIZZAZIONE CORDOLO IN C.A.

Il primo intervento (vedi Figura 39 e Figura 40) ha visto la realizzazione di un secondo cordolo in c.a. orizzontale davanti alla berlinese esistente ad una profondità di 8 m rispetto all'estradosso del cordolo esistente (realizzato nel 2000). Questo nuovo elemento ha una sezione di 80x80 cm ed è ancorato mediante tiranti inseriti nel sottosuolo ad interasse di 2 m per una lunghezza di 40 m formati da barre dywidag $\phi 40$ mm. Questi nuovi tiranti sono stati post-tesi con un carico di 40000 dN per imprimere una contropinta alla parete della berlinese e diminuire così il momento flettente che sollecitava i pali della paratia precedente. In questo modo si è anche andati a ridurre il tensionamento dei tiranti presenti nel cordolo sommitale.



Figura 39 - Nuovo cordolo in c.a. descritto al punto a - foto scattata in cantiere in fase di esecuzione



Figura 40 - Particolare dei tiranti inseriti nel cordolo in c.a. - foto scattata in cantiere in fase di esecuzione

2.2.2. REALIZZAZIONE PLACCAGGIO IN C.A.

Il secondo intervento (Figura 41, Figura 42 e Figura 43) ha previsto la realizzazione di un placcaggio con calcestruzzo armato su tutta la superficie della palificata in grado di contenere la fuoriuscita di terreno fra i pali messi a nudo dagli smottamenti ma, soprattutto, in grado di collegare strutturalmente le due file di micropali. Questo sistema così realizzato ha permesso che il sistema reagisca come un'unica sezione resistente per sopportare le sollecitazioni di flessione e taglio. Proprio per questo scopo, l'armatura interna è stata prevista con barre in acciaio trasversali saldate sui micropali interni ed esterni che assicureranno il loro collegamento. Assieme al placcaggio in c.a. è stata realizzata un'apposita condotta per il drenaggio dell'acqua che potrebbe accumularsi dietro al paramento. Il muro di placcaggio è stato quindi realizzato con dei drenaggi che consentono il convoglio dell'acqua all'interno di questa tubazione.



Figura 41 - Sistema di ancoraggio dei micropali tramite barre saldate - foto scattata in cantiere

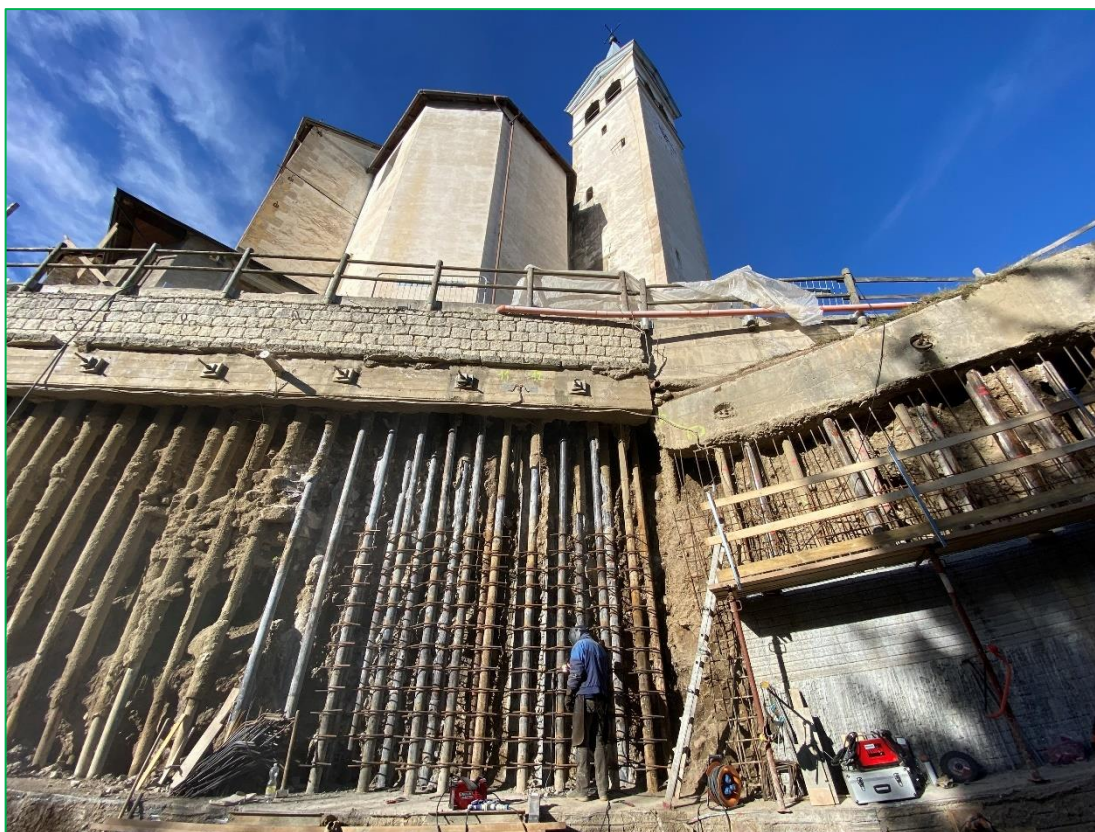


Figura 42 - Sistema di ancoraggio dei micropali tramite barre saldate - foto scattata in cantiere



Figura 43 – Placcaggio in calcestruzzo – foto scattata in cantiere

2.2.3. TIRANTAGGIO DEL CORDOLO IN C.A.

Il terzo passo è stato quello di realizzare una nuova berlinese (Figura 40 e Figura 44) lunga 31,5 m incastrata al nuovo cordolo (descritto al punto a)) costituita da micropali di diametro 220 mm con armatura costituita da tubi ϕ 152mm con spessore di 12,5 mm.

I micropali di questa nuova palificata hanno sono posti ad un interasse di 66 cm e hanno una lunghezza pari a 22 m. La funzione di questa nuova struttura è quella di incrementare la resistenza della palificata esistente retrostante.



Figura 44 - Tiranti inseriti nel cordolo in c.a. - foto scattata in cantiere



Figura 45 - foto aerea del cantiere



Figura 46 - foto aerea del cantiere e della frana

Si riporta quanto descritto dall'ing. Andrich, progettista dell'opera, all'interno dell'allegato [14]:” *Questi tre interventi assicureranno la stabilità del promontorio della chiesa di S. Martino anche da ulteriori smottamenti della frana che potrà abbassare il profilo sotto il nuovo tirante del cordolo ancora di 3,0 m prima di mettere in crisi la stabilità di tutta la struttura. Questo significa che il terreno a valle della berlinese potrà, per ulteriori smottamenti, avere una profondità di 11 m rispetto alla testa della palificata.*”

3. PARTE TERZA

CONSIDERAZIONI PERSONALI

Il primo aspetto che si vuole trattare è legato alle cause che hanno provocato il movimento franoso del colle San Martino. Come anticipato ai paragrafi 1.8 e 2.1.5 il terreno su cui poggia la chiesa parrocchiale di Valle di Cadore è caratterizzato dalla formazione di Heiligkreuz, caratterizzata dalla presenza di ammassi gessosi in profondità. Va anche fatto notare che, al paragrafo 2.1.7 viene riportato che la falda, nonostante il periodo in cui è stata tenuta sotto osservazione sia stato caratterizzato da eventi piovosi di grande entità, è rimasta ad un livello costante, pari a -32,2 m con oscillazioni inferiori ai 10cm. Dalle indagini eseguite si può dedurre che le acque meteoriche non riescano ad arrivare al livello della falda, ciò però non significa che l'acqua piovana non riesca ad arrivare in profondità per altri percorsi. Il fatto che la falda rimanga stabile, facendo riferimento al piezometro posto in C21, ci indica solamente che la formazione di Heiligkreuz in quel punto presenta uno strato apparentemente impermeabile formato dal substrato roccioso che si trova al di sotto.

Il fiume Boite, come già detto in precedenza, è di origine glaciale e viene alimentato principalmente dal disgelo delle nevi, dallo scolo delle acque meteoriche e dai vari ruscelli d'acqua che si trovano lungo il suo percorso. È quindi possibile pensare che, al di sotto dello strato roccioso, in corrispondenza della matrice gessosa, vi sia la presenza di una seconda falda che raccoglie le acque piovane e che allo stesso tempo alimenta il fiume Boite che scorre proprio ai piedi del colle San Martino. Questa ipotesi andrebbe a spiegare alcuni aspetti fondamentali del movimento franoso, primo fra tutti il fatto che la frana vede i suoi massimi movimenti proprio in corrispondenza delle stagioni più soggette alle intemperie e alle piogge. L'altro aspetto da considerare è che il movimento della frana è di scivolamento nella parte superiore e di collasso nella parte inferiore. In Figura 38 - Rilievo topografico dal 1982 al 2021 [16] è possibile notare questo

andamento. Si nota infatti che la parte inferiore è soggetta ad un progressivo abbassamento.

Questo movimento verrebbe dunque giustificato dall'ipotesi in cui la causa scatenante il dissesto siano proprio le formazioni gessose che a contatto con l'acqua si sciolgono provocando un collasso dell'intero strato e il conseguente movimento del terreno al di sopra di esso.

Infine, a sostegno di questa ipotesi, vi è l'esempio della frana situata nel vicino comune di Perarolo di Cadore, distante poche centinaia di metri dal colle San Martino e caratterizzato dalla medesima formazione. Anche in quel caso il movimento del corpo in frana è causato dal substrato gessoso che a contatto con l'acqua provoca il dissesto.

Come secondo aspetto è importante fare una considerazione sull'intervento di consolidamento della chiesa che si è svolto nel 2022 e concluso agli inizi del 2023. Con riferimento all'intervento va sottolineato che lo scopo del lavoro è stato quello di garantire la stabilità alla chiesa pievanale di Valle di Cadore e non di bloccare il movimento della frana. Proprio in quest'ottica, l'intervento è un proseguimento del lavoro svolto nei primi anni 2000, infatti anche questo si basa sulla realizzazione di una berlinese in grado di contenere il terreno che si trova al di sotto della chiesa, in modo da stabilizzare l'edificio e garantire il suo funzionamento in completa sicurezza.

Come detto dal progettista ing. Siro Andrich nell'allegato [14], l'intervento è in grado di garantire sicurezza e stabilità all'edificio fino al momento in cui il terreno raggiunge quota -11 m dalla testa della palificata. Vale a dire che il terreno può abbassarsi di ulteriori 3 m rispetto alla quota del cordolo appena realizzato. Quando, in seguito ai prossimi sviluppi della frana, il terreno si sarà abbassato alla quota stabilita sarà necessario intervenire nuovamente.

Come ottica per il futuro si può immaginare che l'intervento che dovrà essere eseguito consisterà nel proseguimento dell'opera appena realizzata.

L'ultimo aspetto che è interessante sottolineare fa riferimento al fatto che, nel periodo che va dal 2000 al 2021, la frana ha continuato a muoversi portando allo scoperto la palificata di sostegno della prima berlinese realizzata. Come spiegato

nel paragrafo 2.1.5, i pali non essendo infissi nel terreno posseggono una resistenza a taglio e flessione quasi nulla, questo porterebbe a pensare che data la spinta del terreno sui pali, la chiesa sarebbe potuta collassare in qualunque momento. Ciò che ha reso possibile il mancato disastro è la resistenza della roccia presente nel terreno che si trova sotto l'edificio. Dalle prove SPT infatti risulta classificabile come roccia resistente R4 caratterizzata da un'elevata resistenza a compressione, un elevato peso di volume e una bassissima porosità. Queste sue caratteristiche hanno fatto sì che la spinta del terreno gravante sulla palificata fosse minima evitando così il collasso.

BIBLIOGRAFIA

I documenti riportati in seguito sono tutti disponibili presso l'archivio del comune di Valle di Cadore (BL).

- [1] Chiesa di San Martino – analisi dei dissesti e progetto generale di consolidamento – allegato 1A ;
- [2] Chiesa di San Martino – analisi dei dissesti e progetto generale di consolidamento – allegato 3B ;
- [3] Chiesa di San Martino – analisi dei dissesti e progetto generale di consolidamento – allegato 2A ;
- [4] Chiesa di San Martino – analisi dei dissesti e progetto generale di consolidamento – allegato 3C ;
- [5] Chiesa di San Martino – analisi dei dissesti e progetto generale di consolidamento – allegato 3D ;
- [6] Chiesa di San Martino – analisi dei dissesti e progetto generale di consolidamento – allegato 4A ;
- [7] Progetto di consolidamento della chiesa di San Martino – allegato n.2 ;
- [8] Progetto di consolidamento della chiesa di San Martino – allegato n.6 ;
- [9] Consolidamento pendio franoso in corrispondenza della chiesa parrocchiale di San Martino – Progetto definitivo-esecutivo – allegato n.2 ;
- [10] Studio del dissesto idrogeologico a valle della chiesa di San Martino;
- [11] Relazione tecnica di monitoraggio;
- [12] Chiesa di San Martino, progetto per i primi interventi di messa in sicurezza della frana in corrispondenza della chiesa, monitoraggio e sondaggi – Elaborato A.02 ;

- [13] Chiesa di San Martino, progetto per i primi interventi di messa in sicurezza della frana in corrispondenza della chiesa, monitoraggio e sondaggi – Elaborato A.03.05 ;
- [14] Chiesa di San Martino, progetto per i primi interventi di messa in sicurezza della frana in corrispondenza della chiesa, monitoraggio e sondaggi – Elaborato A.01 ;
- [15] Chiesa di San Martino, progetto per i primi interventi di messa in sicurezza della frana in corrispondenza della chiesa, monitoraggio e sondaggi – Elaborato A.03.04 ;
- [16] Chiesa di San Martino, progetto per i primi interventi di messa in sicurezza della frana in corrispondenza della chiesa, monitoraggio e sondaggi – Elaborato A.03.