

Politecnico di Torino

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio A.a. 2022/2023 Sessione di Laurea Marzo 2023

Studio della stabilità dell'abitato di San Lorenzo a Mongrando (BI)

Relatore:
Prof.ssa Monica Barbero
Correlatore:
Prof.ssa Marta Castelli

Candidata: Ester Colombarini



Sommario

Indice delle Figure4
Indice delle Tabelle
1. Introduzione
2. I fenomeni franosi
2.1 Classificazione
2.2 Cause predisponenti e innescanti
2.3 Monitoraggio
2.4 Focus sul fenomeno delle <i>frane superficiali</i>
3. Interventi di mitigazione del rischio per frana
4. Caso studio
4.1 Inquadramento territoriale
4.1.1 Inquadramento geografico
4.1.2 Inquadramento morfologico
4.1.3 Inquadramento geo-litologico
4.1.4 Inquadramento idrografico
4.1.5 Inquadramento idrogeologico
4.1.6 Inquadramento sismico e valanghivo
4.1.7 Inquadramento franoso
4.2 Analisi storico documentale sugli interventi eseguiti dal 1997 al 2006
INTERVENTI SETTEMBRE 1997
INTERVENTI MARZO 1998
INTERVENTI GENNAIO 1999
INTERVENTI SETTEMBRE 2001
INTERVENTI LUGLIO 2002
INTERVENTI AGOSTO 2003
INTERVENTI NOVEMBRE 2004
INTERVENTI NOVEMBRE 2006
4.3 Indagini pregresse 87

	4.3.1	Sondaggi	87
	4.3.2	Prova penetrometrica	91
	4.3.3	Prova a carico variabile	92
	4.3.4	Misure piezometriche	92
	4.3.5	Campagna indagini attuale	95
4	4.4 U	teriori informazioni su Borgo San Lorenzo	100
5.	Evento	del 4-6 Novembre 1994	105
6.	Idrolog	ia dell'evento del 4-6 Novembre 1994	112
(5.1 A	tezza di precipitazione antecedente all'evento	121
(5.2 Va	ılutazione della pioggia efficace	123
7.	Modell	o di calcolo	130
,	7.1 M	odello di Montgomery e Dietrich (1994)	131
,	7.2 M	odellazione GIS	133
	7.2.1	Parametri geotecnici	134
	7.2.2	Parametri topografici	137
	7.2.3	Parametri idrologici	139
,	7.3 Ri	sultati dell'analisi	141
	7.3.1	Verifica delle condizioni di assoluta stabilità e instabilità	141
	7.3.2	Calcolo della pioggia critica	143
	7.3.3	Calcolo del fattore di sicurezza e realizzazione della mappa di pericolosità	144
8.	Conclu	sioni	151
Bil	oliografia		153
Rir	ngraziame	nti	155
Δ11	egati		157

Indice delle Figure

Figura 1-1) Prima pagina di Nuova Stampa Sera del Novembre 1994 che riporta la notizia del
nubifragio [fonte: https://cri.it/piemonte/2019/11/05/la-grande-alluvione-del-1994/]
Figura 2-1) Frana da crollo avvenuta presso il Zion National Park, USA [fonte: Taddia G., Vigna
B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 2-2) Esempio di frana da ribaltamento [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di
Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 2-3) Esempio di frana dovuta a scivolamento rotazionale [fonte: Taddia G., Vigna B.:
Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 2-4) Esempio di frana dovuta a scivolamento planare [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense
del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 2-5) Esempio di frana da espansione laterale presso la Valle dei Templi (AG) [fonte:
Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022] 19
Figura 2-6) Esempio di frana per colata di detriti [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso
di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 2-7) Schema di classificazione delle frane (Cruden&Varnes,1996)
Figura 2-8) Classificazione delle frane in base alla velocità (Cruden & Varnes, 1996)
Figura 2-9) Classificazione delle frane in base allo stato di attività
Figura 2-10) Classificazione delle frane in base allo stato di attività nello spazio [fonte:
http://web.tiscali.it/riccardo.ruffilli-
wolit/html/glossario%20internazionale.html#:~:text=Frana%20ATTIVA%20]
Figura 2-11) Nomenclatura di una frana [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di
Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 2-12) Pluviografo [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica
Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 2-13) Strumenti per il monitoraggio topografico [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del
corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 2-14) Fessurimetro [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica
Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 2-15) Estensimetro [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica
Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 2-16) Distanziometro [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica
Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 2-17) Inclinometro [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica
Applicate a a 2021/20221 31

Figura 2-18) Frana da colamento superficiale avvenuta a Roascio (CN) [fonte: Taddia G., Vigna
B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-1) Esempio di intervento tramite riprofilatura del versante [fonte: Taddia G., Vigna B.:
Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-2) Esempio di intervento tramite inerbimento con georeti [fonte: Taddia G., Vigna B.:
Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-3) Esempio di intervento tramite realizzazione di un muro [fonte: Taddia G., Vigna B.:
Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-4) Esempio di intervento tramite realizzazione di micropali [fonte: Taddia G., Vigna B.:
Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-5) Esempio di intervento tramite realizzazione di terra armata [fonte: Taddia G., Vigna
B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-6) Esempio di intervento tramite realizzazione di gabbionate [fonte: Taddia G., Vigna
B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-7) Esempio di intervento tramite realizzazione di viminate [fonte: Taddia G., Vigna B.:
Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-8) Esempio di canalette di drenaggio superficiale [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense
del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-9) Esempio di dreni sub orizzontali in fase di realizzazione [fonte: Taddia G., Vigna B.:
Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-10) Esempio di galleria drenante [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di
Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-11) Esempio di intervento tramite Jet-grouting [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense
del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-12) Esempi di intervento tramite infissione di tiranti di ancoraggio [fonte: Taddia G.,
Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]41
Figura 3-13) Esempio di intervento tramite posa dello spritz beton [fonte: Taddia G., Vigna B.:
Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-14) Esempio di intervento tramite posa di reti metalliche [fonte: Taddia G., Vigna B.:
Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-15) Esempio di intervento tramite realizzazione di barriere paramassi [fonte: Taddia G.,
Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]
Figura 3-16) Esempio di intervento tramite realizzazione di vallo paramassi e barriere [fonte:
Γaddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022] 44
Figura 3-17) Esempio di intervento tramite costruzione di gallerie artificiali a protezione della
strada [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a.
2021/2022]44
Figura 4-1) Inquadramento del territorio comunale e di Borgo San Lorenzo, in rosso

Figura 4-2) Corine Land Cover Piemonte: copertura del suolo su Mongrando, nel riquadro Borgo
San Lorenzo [in alto: mappa CLC, in basso: legenda sottoclassi] [fonte: Geoportale Piemonte
Figura 4-3) Foglio 43 Carta Geologica d'Italia 1:100000, ritaglio dell'area di interesse e legenda [fonte: Ispra]
Figura 4-4) Carta litologica-giacimentologica su base BDTRE e relativa legenda, nel riquadro
Borgo San Lorenzo [fonte:geoportale Piemonte]
Figura 4-5) Inquadramento idrografico dell'area, nel riquadro Borgo San Lorenzo [fonte
Geoportale Piemonte]
Figura 4-6) Inquadramento idrogeologico e relativa legenda, nel riquadro Borgo San Lorenzo
[fonte: Arpa Piemonte]
Figura 4-7) Inquadramento franoso SIFraP [fonte: Arpa Piemonte]53
Figura 4-8) Inquadramento franoso SIFraP, Borgo San Lorenzo [fonte: Arpa Piemonte] 5-4
Figura 4-9) Mappatura frane [fonte: progetto esecutivo Settembre 1997, cortesia GIT s.r.l.] 55
Figura 4-10) Numerazione frane versante Nord [fonte: progetto esecutivo Settembre 1997
cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-11) Numerazione frane versante Sud [fonte: progetto esecutivo Settembre 1997, cortesia
GIT s.r.l.]
Figura 4-12) Area degli interventi Settembre 1997
Figura 4-13) Estratto tavola grafica: sezione con muri [fonte: Progetto esecutivo Settembre 1997
cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-14) Estratto tavola grafica: sezione con muri [fonte: Progetto esecutivo Settembre 1997
cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-15) Estratto tavola grafica: pannelli di funi d'acciaio e ancoraggi [fonte: Progetto
esecutivo Settembre 1997, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-16) Estratto tavola grafica: dreni sub-orizzontali [fonte: Progetto esecutivo Settembro
1997, cortesia GIT s.r.l.]60
Figura 4-17) Area degli interventi Marzo 1998
Figura 4-18) Estratto tavola grafica: interventi versante sud [fonte: Progetto esecutivo Marzo
1998, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-19) Estratto tavola grafica: particolare interventi versante sud [fonte: Progetto esecutivo
Marzo 1998, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-20) Estratto tavola grafica: terre rinforzate [fonte: Progetto esecutivo Marzo 1998
cortesia GIT s.r.l.] 63
Figura 4-21) Estratto tavola grafica: sezioni con interventi [fonte: Progetto esecutivo Marzo 1998
cortesia GIT s.r.l.] 64
Figura 4-22) Area degli interventi Gennaio 199964

Figura 4-23) Estratto tavola grafica: interventi realizzati [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999
Intervento A, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-24) Estratto tavola grafica: particolare interventi (Sezione B-B) [fonte: Progetto
esecutivo Gennaio 1999 Intervento A, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-25) Estratto tavola grafica: particolare interventi (Sezione A-A) [fonte: Progetto
esecutivo Gennaio 1999 Intervento A, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-26) Estratto tavola grafica: Opere eseguite nell'ambito dell'Intervento B [fonte: Progetto
esecutivo Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-27) Estratto tavola grafica: sezioni con muri [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999
Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-28) Estratto tavola grafica: sezione con muri [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999
Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-29) Estratto tavola grafica: sezione con muri [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999
Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-30) Estratto tavola grafica: sistemazione dissesti [fonte: Progetto esecutivo Gennaio
1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-31) Estratto tavola grafica: interventi di ingegneria naturalistica [fonte: Progetto
esecutivo Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-32) Estratto tavola grafica: sezioni con interventi di ingegneria naturalistica [fonte:
Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-33) Estratto tavola grafica: particolari palizzata e fascinata [fonte: Progetto esecutivo
Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-34) Area interventi settembre 2001
Figura 4-35) Estratto tavola grafica: sezione e interventi di ingegneria naturalistica [fonte:
Progetto esecutivo Settembre 2001, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-36) Estratto tavola grafica: particolari sezioni [fonte: Progetto esecutivo Settembre 2001,
cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-37) Estratto tavola grafica: sistemazione frane [fonte: Progetto esecutivo Settembre
2001, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-38) Estratto tavola grafica: particolare sezione [fonte: Progetto esecutivo Settembre
2001, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-39) Area interventi luglio 2002
Figura 4-40) Estratto tavola grafica: interventi Luglio 2002 [fonte: Progetto esecutivo Luglio
2002, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-41) Estratto tavola grafica: particolare sezioni e opere di sostegno [fonte: Progetto
esecutivo Settembre 2001, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-42) Area interventi agosto 2003

Figura 4-43) Estratto tavola grafica: planimetria di progetto parte A [fonte: Progetto esecutivo
Agosto 2003, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-44) Estratto tavola grafica: planimetria di progetto parte B [fonte: Progetto esecutivo
Agosto 2003, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-45) Estratto tavola grafica: sezioni e interventi [fonte: Progetto esecutivo Agosto 2003,
cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-46) Estratto tavola grafica: opere realizzate lungo il versante sud [fonte: Progetto
esecutivo Agosto 2003, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-47) Area interventi novembre 2004
Figura 4-48) Estratto tavola grafica: profilo e planimetria nuove condotte [fonte: Progetto
esecutivo Novembre 2004, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-49) Estratto tavola grafica: particolari [fonte: Progetto esecutivo Novembre 2004,
cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-50) Area interventi novembre 2006
Figura 4-51) Estratto tavola grafica: planimetria [fonte: Progetto esecutivo Novembre 2006,
cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-52) Estratto tavola grafica: sfioratore e innesto roggia [fonte: Progetto esecutivo
Novembre 2006, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-53) Estratto tavola grafica: particolari costruttivi [fonte: Progetto esecutivo Novembre
2006, cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-54) Ubicazione sondaggi S1 S2 S3 S4 a San Lorenzo [fonte: progetto esecutivo 1997,
cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-55) Ubicazione dei sondaggi
Figura 4-56) Risultato prova penetrometrica (fonte: Progetto esecutivo Novembre 1997, cortesia
GIT s.r.l.]91
Figura 4-57) Misure piezometriche 19971998 [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999, cortesia
GIT s.r.l.]
Figura 4-58) Sorgenti e piezometri [fonte: relazione geologica Dott. Quaglino, cortesia GIT s.r.l.]
94
Figura 4-59) Ubicazione dei pozzi/piezometri oggetto di indagine nel 2022 [fonte: cortesia GIT
s.r.l.]96
Figura 4-60) Porzione del DSM realizzato [fonte: cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-61) Roggia in Via Vittorio Veneto, Borgo San Lorenzo [fonte: cortesia GIT s.r.l.] 101
Figura 4-62) Fratture del manto stradale [fonte: cortesia GIT s.r.l.]
Figura 4-63) Frattura su muro perimetrale a ridosso della scarpata [fonte: cortesia GIT s.r.l.] 103
Figura 4-64) Muro inclinato in abitazione privata, in rosso è evidenziata la zona in cui è avvenuto
il distacco tra copertura e muro [fonte: cortesia GIT s.r.l.]

Figura 5-1) Comuni colpiti in provincia di Biella. in giallo i comuni alluvionati e compresi negli
elenchi di cui ai DD.P.C.M. del 26 e 29-11-1994, in grigio i comuni alluvionati non inclusi nei
DD.P.C.M. del 26 e 29-11-1994 [fonte: Arpa Piemonte]
Figura 5-2) Pluviogramma delle stazionii di Oropa e Digna Ingagna per l'evento del 4-6
Novembre 1994 (in rosso la precipitazione cumulata) [fonte: Arpa Piemonte] 107
Figura 5-3) Perimetrazione frane [fonte: Carta dei dissesti del novembre 1994, cortesia GIT s.r.l
Figura 5-4) Frana avvenuta in prossimità della chiesa di San Lorenzo [fonte: Arpa Piemonte]
Figura 5-5) Foto aerea Versante sud (in rosso sono perimetrate le frane che hanno interessato la
frazione Tana) [fonte: Arpa Piemonte]
Figura 6-1) Prima pagina de "La Stampa" del 7 Novembre 1994 112
Figura 6-2) Stazioni pluviometriche utilizzate, in rosso il punto scelto per l'interpolazione in
corrispondenza di Borgo San Lorenzo [elaborazione QGis]
Figura 6-3) Layer raster ottenuto tramite interpolazione del dato di pioggia su San Lorenzo. Il
pixel in azzurro indica il punto scelto per calcolare il valore di altezza di pioggia tramite
interpolazione [elaborazione QGis]115
Figura 6-4) Pluviogramma San Lorenzo 4-6/11/1994
Figura 6-5) Portale Atlante Piogge intense del Piemonte con localizzazione su Borgo San Lorenzo
(in rosso la cella considerata) [fonte: Arpa Piemonte]119
Figura 6-6) CPP GEV San Lorenzo
Figura 6-7) CPP Gumbel San Lorenzo
Figura 6-8) Pluviogramma San Lorenzo dal 4/10 al 4/11 1994
Figura 6-9) Pluviogramma San Lorenzo dal 4/10 al 6/11 1994
Figura 6-10) Unità geologica Pg11 "Depositi glaciali di fondo e di ablazione" [fonte: Arpa
Piemonte]
Figura 6-11) Pioggia efficace del 4-6 Novembre 1994
Figura 6-12) Confronto pioggia 4-6 Novembre 1994
Figura 7-1) Schema per il calcolo della pendenza [fonte:
https://www.nicoladeinnocentis.it/geomorfologia-analisi]
Figura 7-2) Spessore coltre e legenda
Figura 7-3) Risultato assoluta stabilità e instabilità con coesione
Figura 7-4) Risultato assoluta stabilità e instabilità in assenza di coesione
Figura 7-5) valutazione dell'altezza di pioggia critiche per la durata di 24h 144
Figura 7-6) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 2 anni. 145
Figura 7-7) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 5 anni. 146
Figura 7-8) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 10 anni 146
Figura 7-9) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 20 anni 147

igura 7-10) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 50 a	nni
	47
igura 7-11) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 100 a	nni
	48
igura 7-12) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 200 a	nni
	48
igura 7-13) Mappa di pericolosità 1	49

Indice delle Tabelle

Tabella 4-1) Classificazione campioni	89
Tabella 4-2) Limiti di Atterberg	89
Tabella 4-3) Parametri geotecnici	89
Tabella 4-4) Risultati analisi di laboratorio su sondaggio nella zona del cimitero	90
Tabella 4-5) Sorgenti zona cimitero [fonte Dott. Geol. Quaglino, cortesia GIT s.r.l.]	94
Tabella 4-6) Scheda pozzi-piezometri in località San Lorenzo [fonte Dott. Geol. Quag	lino,
cortesia GIT s.r.l.]	94
Tabella 4-7) Dati piezometri zona cimitero [fonte Dott. Geol. Quaglino, cortesia GIT s.r.l.]	95
Tabella 4-8) Valori soggiacenza [misure anno 2022, cortesia GIT s.r.l.]	96
Tabella 6-1) Valori di altezza di pioggia interpolati su San Lorenzo	. 115
Tabella 6-2) Valori di altezza di pioggia per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore su Borgo San Lor	enzo
nell'evento del 5-6 Novembre	. 120
Tabella 6-3) Classi per le diverse tipologie di suolo secondo SCS	. 125
Tabella 6-4) Valori di CN in base all'uso del suolo	. 127
Tabella 6-5) Classi AMC	. 128
Tabella 7-1) Parametri geotecnici	. 135
Tabella 7-2) Incremento coesione per diversa copertura del suolo (fonte: Campus et al., 2	005)
	. 136
Tabella 7-3) Intensità di pioggia per diversi tempi di ritorno	. 140

1. Introduzione

La presente tesi ha come argomento la messa in sicurezza da rischio frane di Borgo San Lorenzo, una piccola frazione del comune di Mongrando, in provincia di Biella.

Nel novembre del 1994 il Piemonte venne colpito da un evento alluvionale che mise in ginocchio l'intera regione.

Gli eventi verificatesi tra il 4, 5 e il 6 Novembre causarono l'esondazione dei fiumi Po, Tanaro e molti loro affluenti (in particolare il torrente Belbo), causando 70 vittime e circa 2000 sfollati (Figura 1-1).



Figura 1-1) Prima pagina di Nuova Stampa Sera del Novembre 1994 che riporta la notizia del nubifragio [fonte: https://cri.it/piemonte/2019/11/05/la-grande-alluvione-del-1994/]

Anche la provincia biellese fu colpita dall'evento. Il comune di Mongrando, ed in particolare Borgo San Lorenzo, vennero interessati dall'evento che causò l'innesco di fenomeni di instabilità sui versanti della collina morenica su cui sorge il piccolo borgo. Nella notte tra il 5 ed il 6

novembre, l'elevato apporto meteorico generò una serie di fenomeni franosi che comportarono una massiccia erosione dei versanti.

Tali fenomeni causarono una serie di conseguenze che interessarono la zona in diversi ambiti. Le conseguenze immediate dell'alluvione furono: la deposizione di detriti a valle dei versanti, sul Rio Tenerello, con conseguente ostruzione del canale; l'interruzione della viabilità di collegamento alla frazione Tana (altra frazione del comune di Mongrando, che a seguito dell'evento si trovò isolata) a motivo della deposizione dei detriti sulla sede stradale; la creazione di numerose ripide scarpate a ridosso delle abitazioni di San Lorenzo che misero in pericolo gli abitanti della zona.

Al fine di mettere in sicurezza l'area, a partire dal 1997 e fino al 2006 diversi interventi sono stati eseguiti nelle diverse aree del borgo interessate dai dissesti. Nonostante ciò, allo stato attuale il rischio associato al verificarsi di ulteriori eventi franosi risulta ancora molto elevato in quanto gli interventi finora eseguiti non si sono rivelati risolutivi.

Questa tesi, svolta presso Gruppo Ingegneria Torino (GIT), al quale è stato affidato da parte del comune di Mongrando la realizzazione di un progetto di fattibilità tecnico-economica per la messa in sicurezza di Borgo San Lorenzo, parte con la raccolta ed analisi delle informazioni disponibili, al fine di inquadrare lo stato di fatto attuale del borgo. Segue un'analisi idrologica dell'evento del 4-6 Novembre e la successiva valutazione della condizione di stabilità dei versanti. Questa è stata condotta in ambiente GIS, utilizzando una procedura nota in letteratura per lo studio delle frane superficiali. Il modello ottenuto potrà essere utilizzato a scopi previsionali.

2. I fenomeni franosi

2.1 Classificazione

Nel 1990 il Working Party on World Landslide Inventory definì il termine frana (*landslide*) nel seguente modo: *una frana è il movimento di una massa di roccia, terra o detriti lungo un pendio.*

La definizione stessa suggerisce che il fenomeno franoso può avvenire in diversi tipi di materiale, inoltre il "movimento" citato nella definizione del 1990 può essere di diverse tipologie.

Riprendendo i due aspetti appena riportati, i principali criteri per la classificazione dei fenomeni franosi si basano appunto sulla tipologia di movimento e il materiale coinvolto.

La classificazione dei fenomeni franosi più diffusa ed accettata è quella proposta da Cruden e Varnes nel 1996 (già elaborata da Varnes nel 1978).

Gli autori individuano cinque distinti tipologie di movimento:

- Frane da crollo (Falls): sono correlate all'instabilità di versanti con pendii estremamente ripidi o pareti subverticali dalle quali avviene il distacco di blocchi (blocchi singoli o crolli in massa) per effetto della gravità. I movimenti dei blocchi che si distaccano causando il crollo sono soggetti a ribaltamento o scivolamento iniziale, impatto contro il versante e successivi rimbalzi e/o movimenti rototraslativi. Il crollo si verifica quando, superato il punto di equilibrio, l'ammasso non è più in grado di autosostenersi (Figura 2-1);



Figura 2-1) Frana da crollo avvenuta presso il Zion National Park, USA [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

- Frane da ribaltamento (Topples): così come avviene nelle frane da crollo, anche nel caso dei ribaltamenti il distacco interessa un singolo blocco a partire da una parete verticale. Questa tipologia di fenomeno franoso avviene quasi esclusivamente in roccia. Particolarmente favorevole è il caso in cui sono presente discontinuità a reggipoggio con inclinazione subverticale; in questa tipologia di frane si ha la rotazione, a causa di un momento ribaltante, di un blocco di roccia attorno ad un punto o un asse situato al di sotto del suo baricentro. Nel caso di ribaltamento il distacco di un singolo blocco può causare l'instabilizzazione di blocchi adiacenti, causando un ribaltamento multiplo (Figura 2-2);



Figura 2-2) Esempio di frana da ribaltamento [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

Scorrimenti traslazionali o rotazionali (Slides): sono frane caratterizzate dallo scivolamento del materiale lungo una superficie ben definita. Tale superficie può essere piana o curva, individuando così i due diversi fenomeni: gli scorrimenti traslazionali oppure gli scorrimenti rotazionali. Molto spesso la superficie di scivolamento si crea in quello che viene definito "piano di debolezza" (strato con caratteristiche meccaniche scadenti oppure presenza di discontinuità nel materiale) lungo in quale si ha il superamento della resistenza a taglio e si instaura così il fenomeno di instabilità. In questa tipologia di fenomeno il movimento non coinvolge contemporaneamente tutta la superficie di rottura, ma la formazione di tale superficie è progressiva e avviene durante le varie fasi del fenomeno stesso (Figura 2-3, Figura 2-4);



Figura 2-3) Esempio di frana dovuta a scivolamento rotazionale [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]



Figura 2-4) Esempio di frana dovuta a scivolamento planare [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

- Espansioni laterali (Lateral spreads): in questa tipologia di fenomeni non vengono individuate le superfici di scorrimento o zone di deformazione plastica definite. Tale fenomeno avviene nei materiali rigidi adagiati su materiali a minore resistenza meccanica e maggiormente deformabili. L'insorgenza di deformazioni sul terreno a minore resistenza induce degli spostamenti nel materiale sovrastante, che a causa della sua maggiore resistenza meccanica tenderà a fessurarsi. Il risultato di tali movimenti è la formazione di porzioni di materiale distaccate dall'ammasso principale, le quali sono soggette a spostamenti in prevalenza in direzione orizzontale (Figura 2-5);



Figura 2-5) Esempio di frana da espansione laterale presso la Valle dei Templi (AG) [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

- Colate (Flow): tali fenomeni possono presentarsi sia in ammassi rocciosi sia in terreno sciolto, e sono innescati a seguito di eventi piovosi molte intesi che provocano la saturazione del materiale causando la movimentazione sottoforma di fluido viscoso. In questo tipo di fenomeni non è possibile indicare una nicchia di distacco. Durante il movimento lungo il versante, la massa fluida incrementa il proprio volume inglobando il materiale che incontra lungo il percorso (Figura 2-6). Numerosi autori hanno proposto diverse classificazioni per questo tipo di fenomeno (Hutchinson (1988), Hungr, Evans, Bovis e Hutchinson (2001)), distinguendo la presenza di diversi materiali. Di seguito sono riportati alcune tipologie:
 - Colata detritica (debris flow): costituita da materiale eterogeneo in cui è prevalente una componente grossolana;
 - Colata di fango (mud flow): costituita da particelle a granulometria più fine con comportamento coesivo;
 - Colata di terra (earth flow): costituita da materiale di diversa granulometria che, saturo d'acqua, si muove come un unico corpo.
 - Valanga di detrito: costituite da materiale di varia granulometria, può essere asciutta o parzialmente satura;
 - *Valanga di roccia*: costituite da materiale intatto che si frattura durante la fase di scivolamento lungo il versante a causa degli urti subiti.



Figura 2-6) Esempio di frana per colata di detriti [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

In molti casi però quello che avviene nella realtà è la combinazione di più movimenti che possono avvenire in tempi e spazi diversi ma all'interno dello stesso corpo frana; in questo caso si parla di *frane complesse*.

A completamento della classificazione delle frane vanno citati anche i *sinkholes* (sprofondamenti del terreno dovuti a cause naturali o antropiche) e le *deformazioni gravitative profonde*.

I fenomeni franosi sono anche distinti in base alla tipologia di materiale coinvolto. Si hanno così frane in:

- Roccia: ammasso in posto prima del movimento franoso;
- Terreno: aggregato di particelle solide formatesi a seguito dell'alterazione della roccia;

A sua volta, il terreno si distingue in

- Terra (earth): materiale con almeno l'80% di particelle di dimensioni inferiori a 2 mm;
- Fango (mud): materiale con almeno l'80% di particelle di dimensioni inferiori a 0.06 mm;
- Detriti (debris): materiale con percentuale variabile (dal 20% all' 80%) di particelle con dimensioni superiori a 2 mm;

Combinando i diversi tipi di movimento e materiale si è in grado individuare una nomenclatura per ogni tipologia di frana (Figura 2-7).

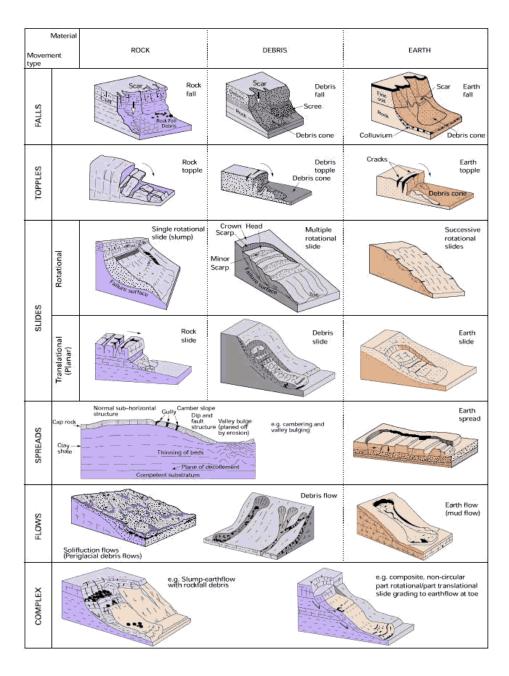


Figura 2-7) Schema di classificazione delle frane (Cruden&Varnes, 1996)

Crudes e Varnes propongono anche una classificazione delle frane in base alla velocità del movimento (Figura 2-8). In base a questa classificazione vengono individuate sette classi di velocità:

- Estremamente lento;
- Molto lento;
- Lento;
- Moderato;
- Rapido;
- Molto rapido;

- Estremamente rapido;

Velocity class	Description	Velocity (mm/s)	Typical velocity
7	Extremely rapid	5×10 ³	5 m/s
6	Very rapid	5×10 ¹	3 m/min
5	Rapid	5×10 ⁻¹	1.8 m/h
4	Moderate	5×10 ⁻³	13 m/month
3	Slow	5×10 ⁻⁵	1.6 m/year
2	Very slow	5×10 ⁻⁷	16 mm/year
1	Extremely Slow		

Figura 2-8) Classificazione delle frane in base alla velocità (Cruden & Varnes, 1996)

La classificazione delle frane può seguire anche altri criteri. Per esempio la distinzione può avvenire sulla base dello stato di attività nel tempo (Figura 2-9) e nello spazio (Figura 2-10) dei fenomeni stessi.

Per lo stato di attività nel tempo si distinguono otto differenti situazioni:

- Attivo (1): fenomeno attualmente in movimento;
- Sospeso (2): fenomeno mosso durante l'ultimo ciclo stagionale, allo stato attuale non è attivo;
- Riattivato (3): fenomeno attivo dopo un periodo di inattività;
- *Inattivo* (4): non si muove da più di un ciclo stagionale;
- Quiescente (5): inattiva da più di un ciclo stagionale ma con possibilità di riattivazione;
- *Naturalmente stabilizzato* (6): fenomeno inattivo, non più influenzato dalle sue cause scatenanti;
- Artificialmente stabilizzato (7): fenomeno inattivo a seguito di misure di stabilizzazione;
- *Relitto* (8): paleo-frana, inattiva, sviluppata in condizioni geomorfologiche diverse da quelle attuali.

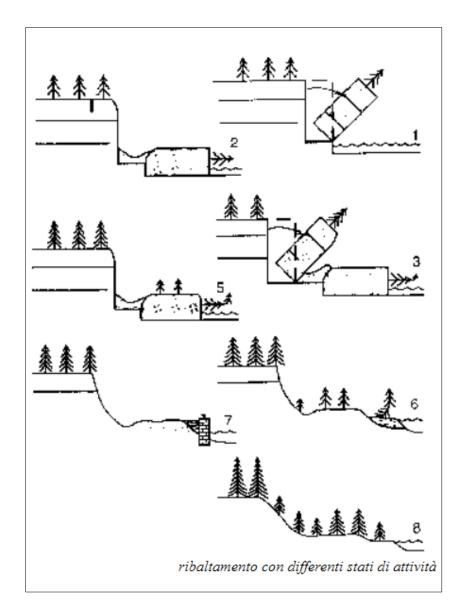


Figura 2-9) Classificazione delle frane in base allo stato di attività (da Canuti & Casagli, 1994)

In base allo stato di attività nello spazio si possono identificare sette diverse condizioni:

- Frana in avanzamento (1): la propagazione della superficie di rottura avviene nella direzione del movimento;
- Frana retrogressiva (2): la propagazione della superficie di rottura avviene in direzione opposta a quella del movimento;
- *Frana multidirezionale* (3): la propagazione della superficie di rottura avviene in due o più direzioni;
- Frana in diminuzione (4): il volume del materiale spostato diminuisce nel tempo;
- Frana confinata (5): la superficie di rottura non è visibile;
- Frana costante (6): il corpo frana si sposta senza cambiamenti della superficie di rottura e del volume del materiale movimentato;

- Frana in allargamento (7): la superficie di rottura si propaga su uno od entrambi i margini laterali.

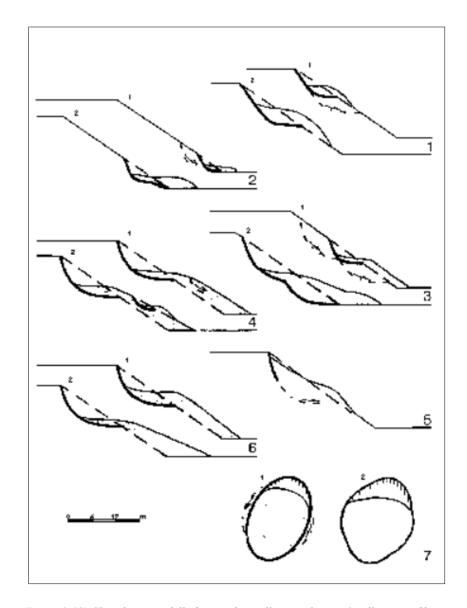


Figura 2-10) Classificazione delle frane in base allo stato di attività nello spazio [fonte: http://web.tiscali.it/riccardo.ruffilli-wolit/html/glossario%20internazionale.html#:~:text=Frana%20ATTIVA%20]

Ai fini del presente lavoro risulta utile fare un richiamo sulla terminologia relativa ad un fenomeno franoso (Figura 2-11).

In generale si distinguono tre macro zone all'interno del corpo frana: la zona di distacco, posta a monte, dove si origina la frana, la zona di scorrimento, situata al centro del versante, ed infine la zona di accumulo nella quale si accumula il materiale distaccato e il movimento si arresta.

Nello specifico si individuano i seguenti elementi geometrici:

- Scarpata principale: zona del versante in cui ha avuto origine il distacco del materiale;

- Corona (o coronamento): costituita dal materiale non mobilizzato, a ridosso delle porzioni più elevate della scarpata principale;
- Testata: parte più alta della frana, a contatto con la scarpata principale;
- Scarpate secondarie: superfici ripide che interrompono la continuità del materiale;
- Superficie di rottura: superficie lungo la quale è avvenuto il movimento;
- Corpo principale: porzione del corpo di frana che giace al di sopra della superficie di rottura;
- Fratture longitudinali e/o trasversali: indicative di movimenti delle singole porzioni del corpo frana;
- Piede: rappresenta la porzione del materiale dislocato accumulatosi a valle.

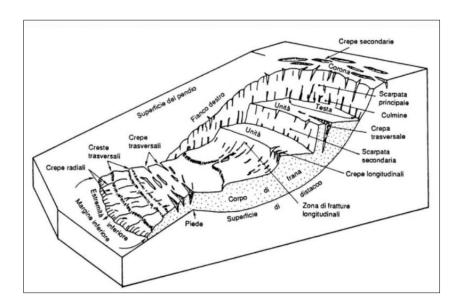


Figura 2-11) Nomenclatura di una frana [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

2.2 Cause predisponenti e innescanti

L'accadimento di un fenomeno franoso può essere ricondotto a una o più cause.

La comprensione di queste risulta necessaria al fine di mettere in atto azioni volte a prevenire il fenomeno, riducendo così il rischio legato ai fenomeni di instabilità.

I movimenti franosi di terreni e rocce sono dovuti a cambiamenti nel tempo delle condizioni statiche, dinamiche e idrauliche.

Tali cambiamenti sono da ricondurre a due diverse tipologie di cause: cause predisponenti e cause scatenanti.

Le prime sono definite come quei fattori che predispongono un versante all'accadimento di un evento franoso, e sono associate alle caratteristiche geometriche del versante e alla proprietà fisiche-meccaniche dei materiali.

Tra queste cause si ricordano in particolare la presenza di fratture, l'acclività dei versanti, e la stratificazione dei materiali a franapoggio.

Le cause scatenanti sono rappresentate dalle azioni che innescano il movimento lungo il pendio. In questo caso è poco corretto considerare solo un'unica azione come meccanismo di attivazione della frana, bensì si deve considerare l'effetto dovuto ad una possibile concatenazione di eventi. Esistono numerosi fattori che possono determinare l'innesco di una frana. Uno dei principali è l'acqua, proveniente sia da fonti naturali, come la precipitazione e la fusione nivale, sia da fonti antropiche, dovute per esempio alla perdita di canali, o alla presenza di pozzi perdenti. La pioggia che ruscella sul versante può favorire l'insorgere di fenomeni di erosione superficiale e infiltrandosi nel terreno può provocare lo sviluppo di fenomeni di colamento o scivolamento. In presenza di rocce fratturate, invece, l'aumento della quantità di acqua infiltrata, con conseguente aumento del livello idrico e quindi del carico idraulico, genera un aumento della spinta del fluido nelle discontinuità presenti e quindi la possibilità di innesco dell'instabilità. Qualora l'acqua presente passasse dallo stato liquido a quello solido l'aumento del volume genererebbe ulteriori spinte, portando all'instabilità.

Altra causa scatenante è l'erosione al piede dei versanti che ne determina l'arretramento e successivo cedimento.

Un'altra causa scatenante può essere dovuta ai terremoti, le eruzioni vulcaniche e le vibrazioni indotte dall'uomo o naturali.

L'abbassamento repentino della falda è anche esso una causa innescante in quanto la diminuzione del contenuto idrico favorisce la diminuzione degli sforzi di taglio, facilitando l'instabilità.

Un'altra causa scatenante può essere la presenza di vegetazione, che può influire sia positivamente sia negativamente alla stabilità dei versanti: infatti, se da un lato consente la riduzione del quantitativo di acqua che si infiltra nel terreno, la riduzione di acqua dal sottosuolo mediante la traspirazione e una maggiore coesione tra i grani, di contro il peso della vegetazione influisce in modo favorevole o sfavorevole a seconda della sua posizione: infatti essa comporta un carico aggiuntivo a spese del pendio.

2.3 Monitoraggio

Nonostante l'avanzamento tecnologico e il progresso sulla conoscenza dei meccanismi che generano fenomeni franosi, la previsione esatta dell'accadimento di un evento risulta ancora estremamente difficile. Nell'ottica di una sempre migliore predizione, però, è importante adottare,

ove possibile, sistemi di monitoraggio efficaci che siano in grado di dare importanti indizi prima dell'avvento del fenomeno.

Il monitoraggio di specifiche aree viene effettuato per diversi motivi:

- Perché sono stati osservati evidenti fenomeni dissestivi e se ne vuole conoscere la futura evoluzione;
- Perché l'area mostra delle caratteristiche morfologiche dubbie e si vuole perciò approfondire il grado di conoscenza;
- Perché sui fenomeni franosi noti si vogliono fornire dati a supporto delle decisioni in caso di eventi alluvionali;
- Perché si vuole verificare nel tempo l'efficacia degli interventi di sistemazione.

Vista la diversità degli elementi che definiscono una frana, sono molteplici gli aspetti che vanno valutati in fase di scelta del sistema di monitoraggio, come ad esempio:

- Tipologia del fenomeno (superficie e volumi coinvolti, meccanismo di rottura, istante di rottura, tipo di movimento, distanza di propagazione);
- Velocità e stato di attività del fenomeno;
- Accessibilità;
- Condizioni in cui si opera;
- Capacità di mantenere il sistema in efficienza;
- Clima:
- Elementi a rischio presenti.

Inoltre un altro aspetto da valutare è la scelta di un monitoraggio superficiale (studio della cinematica dei movimenti e della geometria del corpo frana) oppure di uno profondo (determinazione del campo deformativo in profondità, identificazione della superficie di rottura, misura delle pressioni interstiziali).

Quanto appena citato mostra la complessità derivante dalla scelta di un sistema di monitoraggio adeguato al tipo di fenomeno da indagare. Risulta perciò indispensabile conoscere le cause per cui un fenomeno avviene e quali sono i "segnali premonitori" da sorvegliare.

Come già detto in precedenza, l'acqua gioca un ruolo fondamentale nel meccanismo di attivazione dei fenomeni franosi. La conoscenza di eventi di precipitazione particolarmente gravosi risulta quindi utile ai fini di prevedere un possibile evento avverso. A tale scopo i pluviometri sono strumenti necessari nel monitoraggio delle precipitazioni (Figura 2-12). Il Piemonte è dotato di una vasta rete di pluviometri, e la disponibilità dei dati permette di ricavare informazioni importanti, utili a determinare il possibile innesco di un evento franoso.

La conoscenza della soggiacenza della falda può essere invece determinata tramite l'ausilio di acquisitori di livello automatici all'interno di piezometri.



Figura 2-12) Pluviografo [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

Qualora lo scopo dell'indagine sia valutare i movimenti del terreno, di fondamentale importanza sono invece i monitoraggi topografici tramite l'impiego di teodoliti, tacheometri, distanziometri, laser, GPS e stazioni totali (Figura 2-13). In questo caso bisogna conoscere la geometria del corpo frana per individuare correttamente i punti da tenere sotto controllo.



Figura 2-13) Strumenti per il monitoraggio topografico [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

Nel caso in cui si vogliano osservare e/o misurare delle deformazioni di fratture di ammassi rocciosi, fratture da detensionamento su pendii o anche fratture su edifici posti in prossimità di frane, strumenti utili a tale scopo sono: vetrini, fessurimetri, estensimetri, distanziometri, clinomerti e distomeri (Figura 2-14, Figura 2-15, Figura 2-16).

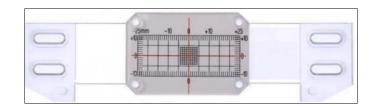


Figura 2-14) Fessurimetro [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]



Figura 2-15) Estensimetro [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]



Figura 2-16) Distanziometro [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

I controlli in profondità di un corpo frana possono invece essere effettuati tramite l'utilizzo degli inclinometri (Figura 2-17). Da tali strumenti si può ricavare la profondità del piano di scivolamento e l'entità dei movimenti nel tempo. Altro sistema di monitoraggio dei movimenti in profondità è l'utilizzo di estensimetri a filo in foro.



Figura 2-17) Inclinometro [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

2.4 Focus sul fenomeno delle frane superficiali

Le frane superficiali (*shallow landslides*) interessano la parte superiore della copertura del versante (zona radicale) di piccola profondità (solitamente tra 2 e 4 metri) e in genere si verificano in versanti piuttosto acclivi, principalmente in ambiente prealpino ed in zone collinari (Figura 2-18). Caratteristica peculiare di questo fenomeno è l'elevata velocità di propagazione, che può raggiungere anche i 9 m/s, e l'innesco improvviso del movimento, che rende quindi molto difficile presagire l'avvio della frana.

A causa dell'assenza di segnali di allarme dalle aree potenzialmente instabili, questi tipi di frane sono molto difficili da monitorare.

Questa tipologia di processi è strettamente legata alle precipitazioni di forte intensità, che risultano infatti il principale meccanismo di innesco.

La precipitazione che si infiltra nel terreno può dare luogo a due diversi meccanismi di circolazione delle acque nel pendio:

- Creazione di una falda parallela al piano di scivolamento che si innalza (saturazione dal basso). All'aumentare del livello di falda, si giunge al un'altezza critica che genera poi l'instabilità;
- Creazione di un fronte umido parallelo al piano di scivolamento che si diffonde verso il basso (meccanismo di saturazione dall'alto). All'interfaccia tra suolo umido e asciutto può verificarsi lo scivolamento.

La completa saturazione del suolo (dal basso o dall'alto) determina la perdita di coesione tra i grani (Fredlund, 1987), l'aumento della pressione interstiziale (Sidle and Swanston, 1982) e il conseguente scivolamento del terreno. Ciò può avvenire a seguito di una precipitazione di lungo

periodo di modesta intensità, oppure in seguito ad un evento di precipitazione intenso successivo a dei periodi umidi.

Durante lo scivolamento la massa erode la porzione di versante che incontra con conseguente aumento del volume della frana. Per questo tipo di fenomeni esiste una stretta relazione tra la tipologia di versante e la tipologia di frana. Sui versanti regolari si sviluppano frane di tipo subtriangolare con cumuli distribuiti alla base del versante; sui versanti con impluvi invece le frane sono di tipo canalizzato.

Tra le cause predisponenti tali movimenti franosi vanno citate la presenza di versanti acclivi e la sovrapposizione di suoli su substrati impermeabili. Infatti, sovente si nota che in questa tipologia di fenomeni le superfici di mobilitazione sono posizionate al contratto tra strati aventi permeabilità differenti.



Figura 2-18) Frana da colamento superficiale avvenuta a Roascio (CN) [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

3. Interventi di mitigazione del rischio per frana

Al fine di mitigare i rischi connessi all'evento franoso, è possibile realizzare degli interventi di prevenzione o di protezione. I primi intervengono sul versante o sulle cause di instabilità con lo scopo di ridurre la probabilità di occorrenza del fenomeno franoso, i secondi ammettono che l'instabilità avvenga ma mirano a mettere in sicurezza gli elementi esposti al rischio.

Per ogni tipologia di frana gli interventi devono essere diversificati in quanto le caratteristiche peculiari di ogni frana richiedono soluzioni specifiche.

Gli interventi di mitigazione possono essere classificati in:

- Interventi sulla geometria del pendio;
- Opere di ingegneria naturalistica;
- Opere di sostegno;
- Opere di drenaggio;
- Trattamenti del terreno;
- Interventi di rinforzo;
- Interventi di stabilizzazione superficiale;
- Opere di protezione passiva.

Gli interventi sulla geometria del pendio (Figura 3-1) consentono di ridimensionare il volume potenzialmente instabile in modo tale da incrementare il fattore di sicurezza. Tali interventi includono gli sbancamenti, ovvero opere di scavo eseguite a monte del pendio instabile al fine di diminuire le forze instabilizzanti e alleggerire la porzione di terreno potenzialmente instabile, e le riprofilature, le quali consentono di diminuire la resistenza a taglio mobilitata riducendo la pendenza del versante. Questo intervento prevede inoltre la realizzazione di canalette per il drenaggio superficiale delle acque.

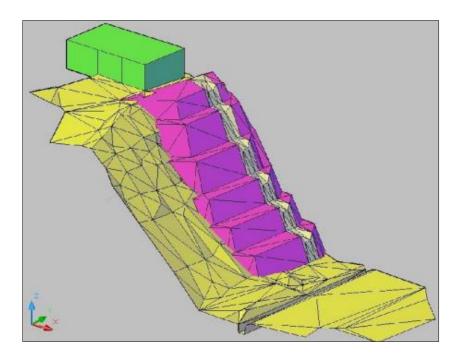


Figura 3-1) Esempio di intervento tramite riprofilatura del versante [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

Le opere di ingegneria naturalistica (Figura 3-2) sono interventi volti a stabilizzare la parte più superficiale dei versanti in frana, per questo motivo sono particolarmente indicati per quelle aree soggette a fenomeni di erosione superficiale. Tramite questi interventi si realizza l'inerbimento delle zone denudate così da ottenere l'aumento della coesione del terreno tramite l'apparato radicale delle specie vegetali coinvolte. Nonostante non preveda l'utilizzo dei classici metodi ingegneristici, questo metodo si rivela comunque molto efficace e di non immediata attuazione. Infatti nell'applicazione di tali interventi va posta molta attenzione sulle specie di piante da utilizzare. Vanno infatti individuate le tipologie di piante che non vadano in contrasto con le specie autoctone e che al contempo svolgano una valida azione antierosiva.

Per aumentare la potenzialità di tale metodo, l'inerbimento può essere abbinato alla stesa di georeti o georiglie sul terreno.



Figura 3-2) Esempio di intervento tramite inerbimento con georeti [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

Le opere di sostegno (Figura 3-4, Figura 3-4, Figura 3-5, Figura 3-6, Figura 3-7) hanno lo scopo di contrastare le spinte esercitate da un fronte di terreno instabile. Devono quindi essere fondate su porzioni stabili del versante.

In fase di realizzazione di tali interventi è necessario prevedere un sistema di drenaggio per evitare l'insorgenza di sovrappressioni idrauliche a tergo dell'opera.

Queste opere si differenziano in:

- *Opere di sostegno rigide*, che includono i muri a gravità (elementi che con il proprio peso si oppongono alle sollecitazioni) e i muri a mensola (elementi in cui è presente un incastro tra la parte in fondazione e la struttura in elevazione);
- *Opere di sostegno flessibili*, come le paratie (sistema di pali affiancati), i diaframmi (pannelli lineari o a *T* realizzati all'interno del terreno in una trincea preventivamente scavata) e i micropali (pali di piccolo diametro con elemento strutturale all'interno);
- Opere di sostegno deformabili: crib-walls (muri costruiti con maglie rettangolari riempiti di materiale che consente lo sviluppo di vegetazione), terre armate (rilevati in terra con nastri in acciaio suborizzontali vincolati con piastre prefabbricate), terre rinforzate (rilevati costituiti da strati sovrapposti di terreno intervallati da geotessili o georeti), muretti a secco (muretti di altezza massima pari a 1 metro costituiti da blocchi di roccia di piccola pezzatura), muretti di gabbioni (muretti costituiti da rete di filo di ferro riempita di pietrame), graticciate o viminate (paletti in legno infissi nel terreno intrecciati con rami di salice), fascinate e staccionate (fascine appoggiate a paletti infissi nel terreno).



Figura 3-3) Esempio di intervento tramite realizzazione di un muro [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]



Figura 3-4) Esempio di intervento tramite realizzazione di micropali [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]



Figura 3-5) Esempio di intervento tramite realizzazione di terra armata [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]



Figura 3-6) Esempio di intervento tramite realizzazione di gabbionate [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]



Figura 3-7) Esempio di intervento tramite realizzazione di viminate [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

Di grande impiego sono poi le opere di drenaggio (Figura 3-8, Figura 3-9, Figura 3-10). Infatti, come riportato al capitolo 2, l'acqua rappresenta il principale elemento che genera l'instabilità di un versante, risultano quindi molto efficaci gli interventi volti a diminuire l'apporto idrico al terreno.

Tali opere di drenaggio possono essere superficiali (canalette, fossi di guardia, dreni intercettori, intasamenti e sigillature, protezione con teli) evitando a priori che l'acqua si infiltri nel terreno, oppure sono opere di drenaggio profonde (tubi drenanti sub-orizzontali, trincee drenanti, pozzi drenanti e gallerie drenanti). In quest'ultimo caso la rimozione dell'acqua avviene successivamente alla sua infiltrazione nel terreno al fine di mantenere bassi i livelli idrici nel sottosuolo.

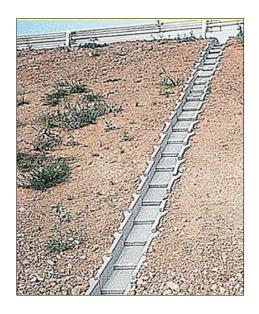


Figura 3-8) Esempio di canalette di drenaggio superficiale [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]



Figura 3-9) Esempio di dreni sub orizzontali in fase di realizzazione [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

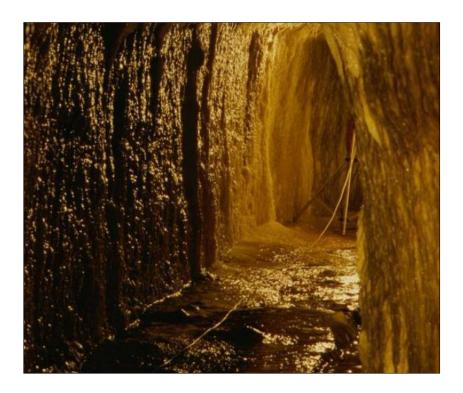


Figura 3-10) Esempio di galleria drenante [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

Gli interventi di trattamento del terreno (Figura 3-11) hanno lo scopo di migliorare la resistenza a taglio del materiale. Tali interventi possono essere attuati mediante l'iniezione di miscele consolidanti (miscele stabili, sospensioni cementizie, miscele chimiche) come avviene nel caso del grouting e Jet-grouting. Possono inoltre essere effettuati trattamenti tramite stabilizzazione chimica, elettrosmosi ed elettrosilicatazione e congelamento.



Figura 3-11) Esempio di intervento tramite Jet-grouting [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

Il rinforzo di porzioni di versante instabili permette di aumentarne la resistenza e diminuire la deformabilità del terreno. L'azione di rinforzo può essere eseguita tramite l'infissione di elementi strutturali più rigidi e resistenti del terreno stesso. Tali elementi possono essere tiranti di ancoraggio (Figura 3-12) oppure chiodi e bulloni.



Figura 3-12) Esempi di intervento tramite infissione di tiranti di ancoraggio [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

La stabilizzazione superficiale è una tipologia di intervento che consente di aumentare la stabilità di versanti potenzialmente in frana tramite l'azione contenitiva esercitata da fluidi spruzzati in pressione sulla superficie rocciosa che penetrano nelle fratture e le sigillano. Di questa tipologia

di intervento fa parte lo spritz beton (Figura 3-13), una miscela di cemento, acqua e inerti, che viene spruzzato in pressione sulla parete rocciosa la quale può essere preventivamente ricoperta da una rete elettrosaldata.



Figura 3-13) Esempio di intervento tramite posa dello spritz beton [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

Le opere di protezione passiva (Figura 3-14, Figura 3-15, Figura 3-16, Figura 3-17) si differenziano da quelle descritte fin ora perché, a differenze delle precedenti, queste non evitano l'accadimento del fenomeno, bensì prevengono gli eventuali danni su edifici, infrastrutture o altri elementi presenti nelle aree interessate, rallentando, deviando o arrestando la massa in frana durante il suo movimento. Fanno parte di questa categoria di interventi le diverse tipologie di barriere selettive e briglie para detrito, dighe di intercettazione, reti paramassi, i rilevati e valli paramassi, le barriere paramassi e le gallerie artificiali.



Figura 3-14) Esempio di intervento tramite posa di reti metalliche [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]



Figura 3-15) Esempio di intervento tramite realizzazione di barriere paramassi [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]



Figura 3-16) Esempio di intervento tramite realizzazione di vallo paramassi e barriere [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

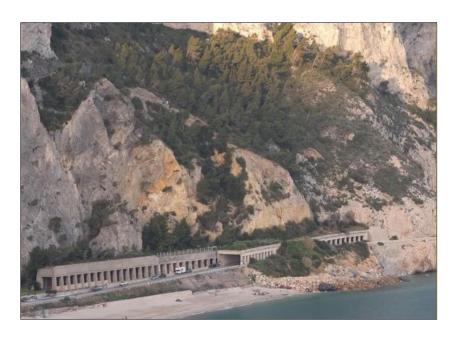


Figura 3-17) Esempio di intervento tramite costruzione di gallerie artificiali a protezione della strada [fonte: Taddia G., Vigna B.: Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata, a.a. 2021/2022]

4. Caso studio

Il caso studio presentato in questa tesi è inerente alla messa in sicurezza dell'abitato di San Lorenzo, frazione del comune di Mongrando (BI).

A seguito dell'evento meteorologico estremo del 4-6 Novembre 1994 la collina su cui sorge il borgo è stata interessata da numerosi eventi di erosione superficiale che hanno causato danni diffusi sul territorio.

Nei seguenti paragrafi sarà presentato un inquadramento dell'area di interesse dal punto di vista geografico, morfologico, geo-litologico, idrografico, idrogeologico, sismico, valanghivo e franoso.

Segue poi un excursus delle opere di stabilizzazione costruite tra il 1997 e il 2006 e i risultati delle indagini eseguite nell'ambito della redazione dei progetti precedentemente menzionati, e alcune indagini integrative eseguite da GIT nell'ambito dell'attuale progetto di fattibilità tecnico economica.

4.1 Inquadramento territoriale

4.1.1 Inquadramento geografico

Il comune di Mongrando si trova in Piemonte, in provincia di Biella a sud-ovest del capoluogo di provincia. Il territorio comunale include le seguenti frazioni: Aral Grande, Borgo-San Lorenzo, Ceresane, Ceresane-Curanuova, Curanuova, Granero, Graziano-Ruta, La Tana, Le Vignazze, Maghetto, Minazia, San Michele, Toso. Esso confina con i comuni di Borriana, Camburzano, Donato, Graglia, Netro, Occhieppo Inferiore, Ponderano, Sala Biellese, Zubiena (Figura 4-1).

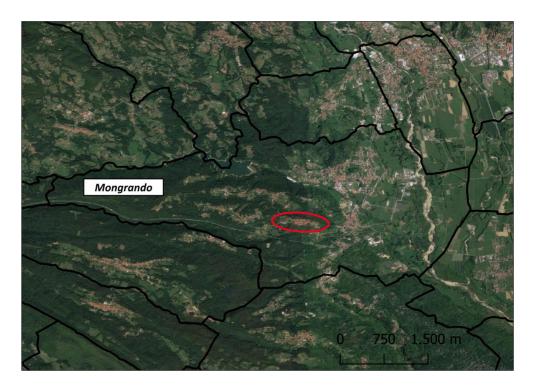


Figura 4-1) Inquadramento del territorio comunale e di Borgo San Lorenzo, in rosso [fonte: Google Earth]

Il comune presenta una popolazione di 3667 abitanti (dato ISTAT al 01/01/2022), con una densità abitativa media di circa 222 ab/ km².

Il territorio comunale di Mongrando si sviluppa sulle ultime pendici delle colline che, dalle falde del Mombarone e della Serra, scendono verso la pianura biellese. È attraversato dal torrente Elvo e dai suoi affluenti Viona e Ingagna; quest'ultimo è sbarrato da una diga che dà origine all'omonimo lago, il quale sconfina verso ovest nel territorio dei comuni limitrofi di Graglia e Netro. Una piccola parte del comune è inclusa nel territorio del Parco Regionale della Bessa, che tutela in quest'area un'antica struttura fortificata nota come il Castelliere di Mongrando.

Nello specifico la presente tesi interessa il Borgo San Lorenzo, una frazione ubicata a ovest del comune di Mongrando, a circa 1,6 km da esso Nel borgo risiedono 162 abitanti. Il borgo si sviluppa principalmente lungo la strada principale che attraversa l'abitato: via Vittorio Veneto. Di particolare interesse è la Chiesa di San Lorenzo, che si scorge sulla strada provenendo da Mongrando. Fu costruita tra il 1700 e il 1715 sui resti di una chiesa precedentemente demolita. La sua posizione elevata consente un'ampia visuale sulla vallata sottostante.

4.1.2 Inquadramento morfologico

Il territorio di Mongrando ha una superficie di circa 16,50 km², si estende tra i 298 m s.l.m. e i 567 m s.l.m., con un'altitudine media di 341 m s.l.m.

Dal punto di vista morfologico, Borgo San Lorenzo sorge su una piccola collina i cui versanti sono fortemente inclinati. I versanti settentrionale e meridionale sono contraddistinti da una elevata inclinazione di circa il 60%, mentre le aree a Est e Ovest del borgo hanno una inclinazione minore, tra il 20 e il 60%.

Per quanto riguarda l'uso del suolo, è possibile identificare quattro classi principali: territori boscati e ambienti semi naturali, territori modellati artificialmente (case, strade, cimitero, aree estrattive, aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati), superfici agricole utilizzate, specchi d'acqua (Figura 4-2).

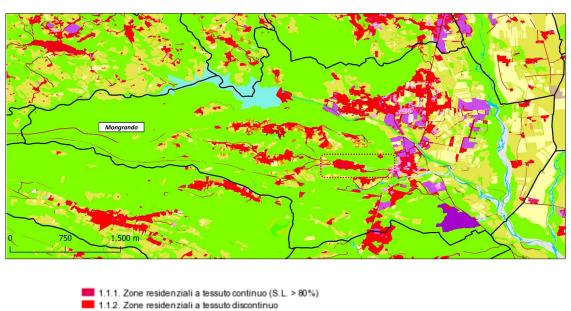




Figura 4-2) Corine Land Cover Piemonte: copertura del suolo su Mongrando, nel riquadro Borgo San Lorenzo [in alto: mappa CLC, in basso: legenda sottoclassi] [fonte: Geoportale Piemonte]

4.1.3 Inquadramento geo-litologico

Le informazioni geo-litologiche possono essere reperite dal sito dell'Ispra, facendo riferimento alla Carta Geologica d'Italia, la quale fornisce informazioni sui differenti corpi rocciosi affioranti in superficie.

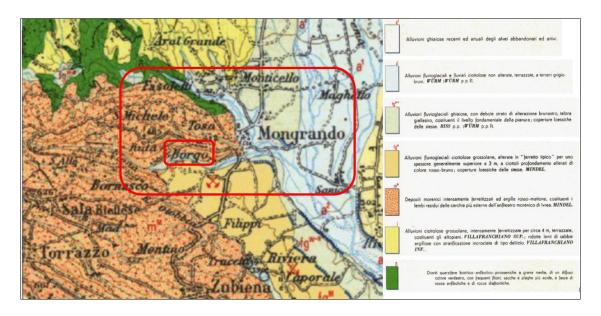


Figura 4-3) Foglio 43 Carta Geologica d'Italia 1:100000, ritaglio dell'area di interesse e legenda [fonte: Ispra]

La località di interesse è rappresentata nel Foglio 43 della carta 1:100000 dell'I.G.M. e l'area relativa al comune di Mongrando è costituita da alluvioni ghiaiose recenti ed attuali degli alvei abbandonati ed attivi, alluvioni fluvioglaciali e fluviali ciottolose non alterate, terrazzate, a terreni grigio-bruni (WURM), e depositi morenici intensamente ferrettizzati ad argille rossomattone, costituenti i lembi residui delle cerchie più esterne dell'anfiteatro morenico di Ivrea, risalenti all'Olocene e al Pleistocene. La parte più a nord del comune è costituita principalmente da alluvioni fluvioglaciali ghiaiose, con debole strato di alterazioni brunastro, talora giallastro, costituenti il livello fondamentale della pianura; coperture loessiche delle stesse (RISS) e marginalmente da alluvioni ciottolose grossolane, intensamente ferrettizzate per circa 4 m, terrazzate, costituenti gli altopiani (VILLAFRANCHIANO SUP.); ridotte lenti di sabbie argillose con stratificazione incrociata di tipo deltizio (VILLAFRANCHIANO INF.) risalenti al Pleistocene e all'ultimo periodo del Pliocene. È inoltre presente anche una formazione endogena e metamorfica composta da dioriti quarzifere biotitico-anfibolico-pirosseniche a grana media, di un diffuso colore verdastro, con frequenti filoni, sacche e plaghe più acide, e fasce di rocce anfiboliche e di rocce diaftoritiche.

Nello specifico, la zona di interesse, Borgo San Lorenzo, è caratterizzata dalla compresenza di formazioni continentali risalenti all'Olocene ed al Pleistocene, ovvero di *alluvioni fluvioglaciali*

e fluviali ciottolose non alterate, terrazzate a terreni grigio-bruni e di depositi morenici, intensamente ferrettizzati ed argille rosso mattone, costituenti i lembi residui delle cerchie più esterne dell'anfiteatro morenico di Ivrea (Figura 4-3).

Dal Geoportale della Regione Piemonte è possibile ricavare informazioni relative alle unità litologiche-giacimentologiche; con riferimento alla Figura 4-4, l'area di interesse risulta essere costituita da:

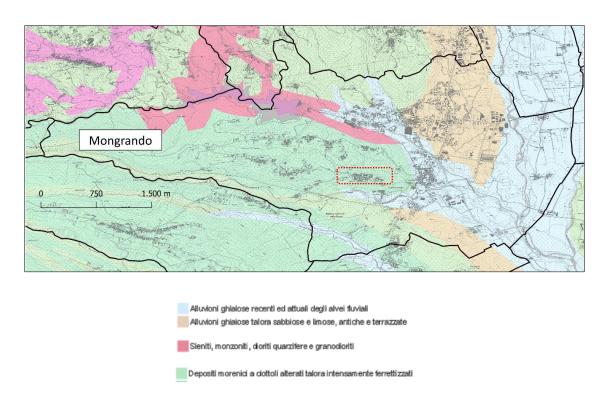


Figura 4-4) Carta litologica-giacimentologica su base BDTRE e relativa legenda, nel riquadro Borgo San Lorenzo [fonte:geoportale Piemonte]

- Alluvioni ghiaiose talora sabbiose e limose, antiche e terrazzate;
- Alluvioni ghiaiose recenti ed attuali degli alvei fluviali;
- Sieniti, monzoniti, dioriti quarzifere e granodioriti;
- Depositi morenici a ciottoli alterati talora intensamente ferrettizzati;

tutto ciò in accordo con le informazioni rilevate dalla cartografia I.G.M.

4.1.4 Inquadramento idrografico

Il comune di Mongrando è attraversato da diversi corsi d'acqua (Figura 4-5). Il principale è il torrente Ingagna, interessato dall'omonima diga, anch'essa ricadente in parte nel territorio di

Mongrando. Sono inoltre presenti altri corsi d'acqua secondari, come il Rio Tenerello, il Torrente Viona, il Rio Graffera, il Rio Omara nonché altri piccoli rii sparsi sull'intero territorio comunale.

La frazione di San Lorenzo è interessata dalla presenza di due corsi d'acqua che scorrono in direzione Ovest-Est, il Rio Tenerello ed il torrente Viona, rispettivamente a valle dei versanti Nord e Sud dell'abitato. Tale reticolo idrografico, tramite un'azione erosiva, ha accentuato le forme del rilievo sul quale sorge l'abitato.

Il territorio di San Lorenzo è compreso nel bacino idrografico del Torrente Viona. Tale corso d'acqua nasce nel comune di Donato a 2200 m circa di quota, interessa le provincie di Torino e Biella. Confluisce infine nel torrente Ingagna, nel territorio di Mongrando, a 312 m di quota.

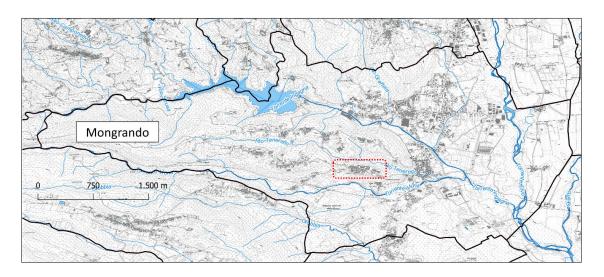


Figura 4-5) Inquadramento idrografico dell'area, nel riquadro Borgo San Lorenzo [fonte: Geoportale Piemonte]

Il dilavamento delle acque meteoriche avviene in modo diffuso lungo il pendio, con raccolta al piede direttamente nell'alveo del rio Tenerello, che costituisce il livello base dell'area. Il corso d'acqua si addensa al versante di interesse incidendo i materiali sciolti presenti al piede, con localizzati scalzamenti della sponda e conseguente innesco di smottamenti gravitativi e/o rimobilizzazione di accumuli di genesi sia colluviale che gravitativa. Il rio è a tratti fissato dalla presenza di grandi massi erratici.

Il rio Tenerello è stato, inoltre, interessato dai fenomeni franosi avvenuti a seguito dell'alluvione del '94, in quanto l'alveo è stato sede di accumulo del materiale di frana.

4.1.5 Inquadramento idrogeologico

I dati sull'idrogeologia del luogo sono stati reperiti dal portale di Arpa Piemonte che mappa i complessi idrogeologici di tutto il Piemonte.

Con riferimento al comune di Mongrando (Figura 4-6), si individuano:

- Depositi fluviali recenti o attuali;
- Depositi fluviali antichi e depositi villafranchiani;
- Depositi glaciali degli archi morenici;
- Rocce metamorfiche, vulcaniche e plutoniche.

Nello specifico, la zona di Borgo San Lorenzo è interessata principalmente dai depositi glaciali degli archi morenici.

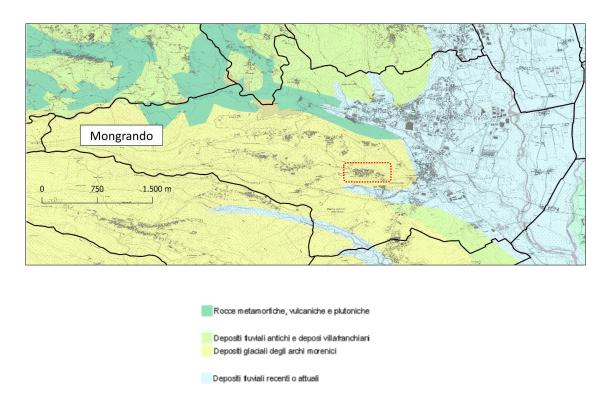


Figura 4-6) Inquadramento idrogeologico e relativa legenda, nel riquadro Borgo San Lorenzo [fonte: Arpa Piemonte]

4.1.6 Inquadramento sismico e valanghivo

Dal punto di vista sismico il comune di Mongrando ricade nella zona sismica 3. Tale zona può essere soggetta a forti terremoti ma rari. Per questa classe l'accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni è compresa tra i valori di 0,05 e 0,15 m/s².

Per quanto riguarda il rischio valanghivo, a seguito della consultazione del Sistema Informativo Valanghe (SIVA) il comune di Mongrando e Borgo San Lorenzo non risultano soggetti a tale rischio, in quanto non sono mappate, per la zona di interesse, fenomeni valanghivi.

4.1.7 Inquadramento franoso

L'inquadramento franoso della zona è stato condotto facendo riferimento ai dati derivati dal SIFraP, il Sistema Informativo Frane in Piemonte. Tale catalogo, disponibile sul sito di Arpa Piemonte, censisce e aggiunge alla banca dati del catalogo tutti i fenomeni franosi che avvengono all'interno del territorio regionale.

Nella Figura 4-7 sono identificati tutti i fenomeni franosi avvenuti all'interno del comune di Mongrando.

Il territorio è stato interessato da frane superficiali diffuse e colamenti rapidi.

Nella Figura 4-8 è invece rappresentato, a scala maggiore, solo il territorio di Borgo San Lorenzo. È possibile visualizzare la diffusione spaziale degli eventi, che hanno interessato in modo esteso i versanti nord e sud dell'abitato.

Il Geoportale fornisce anche la data di manifestazione degli eventi catalogati. Per il territorio di Mongrando sono tutti risalenti al 1994, in particolare quelli che hanno interessato Borgo San Lorenzo sono datati 5 Novembre 1994.

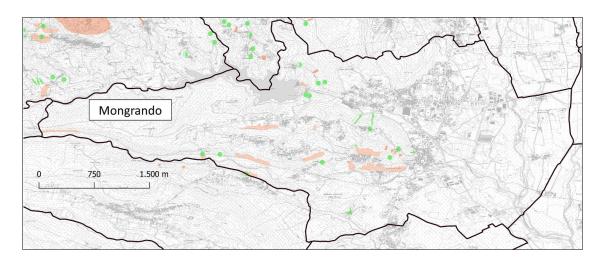


Figura 4-7) Inquadramento franoso SIFraP [fonte: Arpa Piemonte]

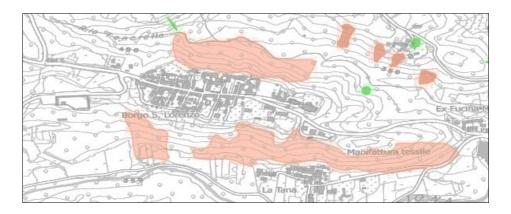


Figura 4-8) Inquadramento franoso SIFraP, Borgo San Lorenzo [fonte: Arpa Piemonte]

4.2 Analisi storico documentale sugli interventi eseguiti dal 1997 al 2006

In questo paragrafo verranno illustrati tutti gli interventi di mitigazione del rischio frana eseguiti sulla collina su cui sorge Borgo San Lorenzo. Le opere progettate e realizzate sono di seguito menzionate al fine di conoscere lo stato di fatto dell'area di interesse.

Borgo San Lorenzo è stato oggetto di una lunga fase di interventi, a partire dal 1997 fino al 2004, ma solo alcuni di quelli realizzati sono risultati efficaci. Altri hanno invece avuto scarsi risultati per quanto riguarda la loro azione stabilizzante: infatti la maggior parte di questi sono stati irrimediabilmente danneggiati da successivi eventi estremi che hanno interessato la zona; inoltre una manutenzione pressoché assente delle opere ha compromesso la durabilità delle stesse.

Solo alcuni degli interventi effettuati sul versante Nord ad oggi risultano in buono stato di conservazione e svolgono la loro funzione stabilizzante.

Le opere di stabilizzazione sono state eseguite su entrambi i versanti con lo scopo di fermare il fenomeno di erosione che ha anche interessato numerose case, arrivando al ciglio di queste.

Parte dei progetti realizzati nell'ambito della messa in sicurezza dell'abitato di Mongrando/San Lorenzo, hanno interessato anche altre località del comune, come la frazione Tana, che si trova a sud di Borgo San Lorenzo, o via Ceresane (località Faccenda).

Ai fini del presente elaborato non risulta però necessaria la conoscenza di altri interventi diversi da quelli che sono stati realizzati strettamente all'interno dell'area di Borgo San Lorenzo, quindi di seguito sono illustrati solo quelli ritenuti pertinenti.

I progetti esecutivi¹ che di seguito vengono brevemente illustrati sono stati redatti da due diversi studi di ingegneria che nel corso degli anni hanno affrontato la problematica della messa in sicurezza di Borgo San Lorenzo.

Tutti i progetti includono diversi documenti necessari per la completezza di tutte le sezioni di un progetto esecutivo. Tra i vari documenti presenti, quelli a cui si fa riferimento in questo capitolo della tesi sono la relazione geologica e la relazione tecnico-economica che contengono informazioni utili alla conoscenza dello stato di fatto dell'area.

Prima di elencare tutti gli interventi eseguiti, si ritiene opportuno presentare la cartografia che mappa tutte le aree che sono state soggette al dissesto durante l'evento del 4-6 Novembre 1994. Tali frane sono state mappate in occasione della redazione del primo progetto, nel Settembre 1997, con lo scopo di conoscere l'esatta geometria dei dissesti.

La Figura 4-9 è tratta del progetto esecutivo del Settembre 1994. La figura sottostante illustra le frane censite dopo l'evento alluvionale nella zona di San Lorenzo.

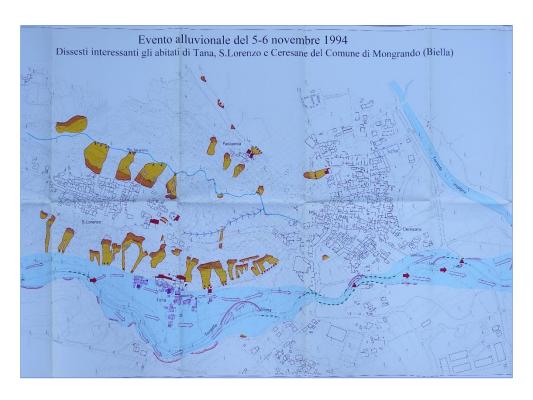


Figura 4-9) Mappatura frane [fonte: progetto esecutivo Settembre 1997, cortesia GIT s.r.l.]

In fase di censimento, alcune delle frane sono state numerate.

55

¹ I documenti di cui di seguito si riporta un estratto sono reperibili presso l'ufficio tecnico del Comune di Mongrando (BI).

Di seguito, la Figura 4-10 e Figura 4-11 tratte dalla Figura 4-9, riportano i numeri assegnati alle diverse frane.



Figura 4-10) Numerazione frane versante Nord [fonte: progetto esecutivo Settembre 1997, cortesia GIT s.r.l.]



Figura 4-11) Numerazione frane versante Sud [fonte: progetto esecutivo Settembre 1997, cortesia GIT s.r.l.]

È necessario precisare che quanto riportato nelle mappature del 1997 e degli anni successivi differisce dalla geometria attuale dei versanti in frana. Infatti durante i rilievi in situ effettuati nei mesi di agosto, ottobre, novembre e dicembre 2022 si è potuto constatare come le nicchie di distacco siano attualmente arretrate rispetto a quanto mappato, e lungo il versante sud sono ormai giunte in prossimità degli edifici, generando un problema diffuso di instabilità degli stessi.

INTERVENTI SETTEMBRE 1997



Figura 4-12) Area degli interventi Settembre 1997

Nel febbraio del 1997 è stato presentato il primo progetto esecutivo contenente i lavori di messa in sicurezza del versante Nord.

La serie di interventi del settembre 1997 risulta molto consistente in quanto ad opere realizzate. Di seguito si presenta una sintetica descrizione di quanto compiuto, corredato da alcune immagini estratte delle tavole grafiche del progetto.

Il Progetto del 1997 ha previsto:

- La realizzazione di muri in c.a. (cemento armato) a protezione dei fabbricati sommitali. Tali muri, rivestiti in pietra, sono stati localmente fondati su micropali e provvisti di tiranti. La tipologia con micropali e tiranti è stata prevista nei punti in cui si è reso necessario ridurre al minimo gli scavi di fondazione del muro per evitare scalzamenti delle fondazioni stesse dei fabbricati (Figura 4-13, Figura 4-14).

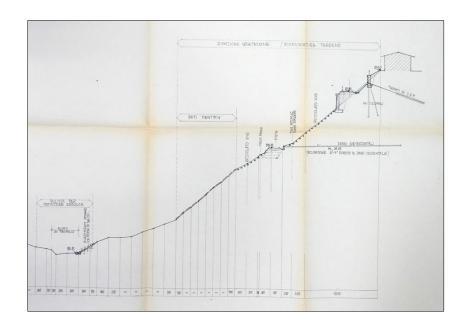


Figura 4-13) Estratto tavola grafica: sezione con muri [fonte: Progetto esecutivo Settembre 1997, cortesia GIT s.r.l.]

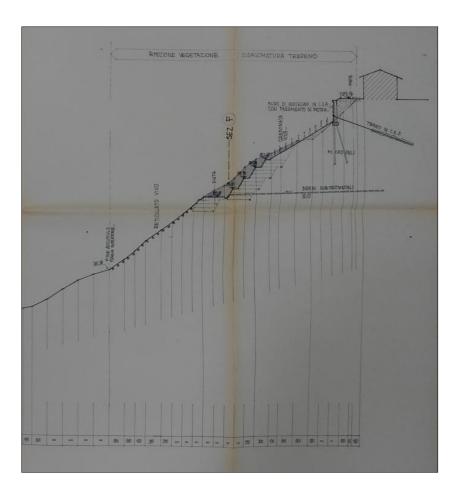


Figura 4-14) Estratto tavola grafica: sezione con muri [fonte: Progetto esecutivo Settembre 1997, cortesia GIT s.r.l.]

- L'arretramento e riprofilatura del ciglio sommitale del versante nei tratti non edificati e la realizzazione di protezione dei tratti di versante ad elevata acclività, ove non è possibile

procedere alla riprofilatura, mediante reti composte da trefoli in acciaio protetti dalla corrosione, vincolati al suolo mediante ancoraggi profondi in cavi d'acciaio (Figura 4-15).

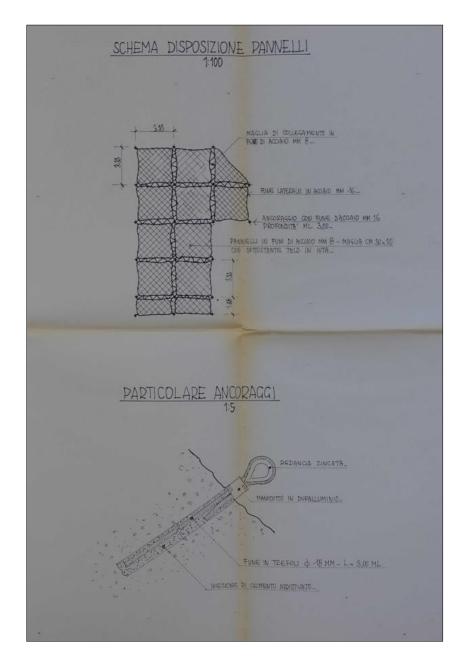


Figura 4-15) Estratto tavola grafica: pannelli di funi d'acciaio e ancoraggi [fonte: Progetto esecutivo Settembre 1997, cortesia GIT s.r.l.]

La formazione di dreni sub orizzontali a monte della pista di servizio mediante perforazione del terreno ed inserimento di tubi microfessurati, allo scopo di impedire l'innalzamento della falda acquifera in occasione di intense precipitazioni meteoriche. La quota di esecuzione di tali dreni (circa 20 m al di sotto della sommità del versante) è stata

- individuata in base alla posizione della falda rilevata dal piezometro installato e dall'analisi stratigrafica dei sondaggi geologici (Figura 4-16).
- La realizzazione di un sistema di raccolta ed allontanamento dell'acqua di falda proveniente dai dreni.

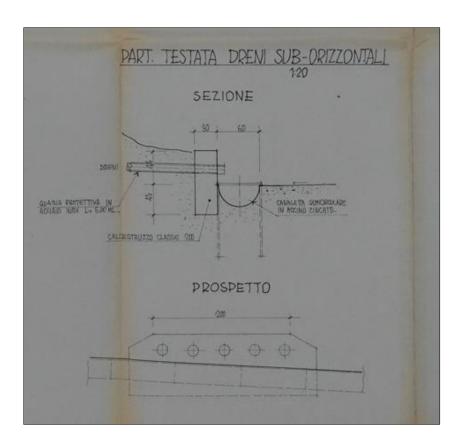


Figura 4-16) Estratto tavola grafica: dreni sub-orizzontali [fonte: Progetto esecutivo Settembre 1997, cortesia GIT s.r.l.]

- L'intercettazione delle acque di scorrimento lungo il versante mediante un sistema a
 reticolo costituito da palizzate e gradonate verdi ubicate secondo file leggermente
 inclinate rispetto alle curve di livello del versante e trincee drenanti con fasciame vivo
 posizionate secondo la linea di massima pendenza;
- La formazione di reti di raccolta ed allontanamento delle acque superficiali mediante sistema di canalette e raccolte fino al rio Tenerello;
- La ricostruzione del rivestimento vegetale sull'intero versante mediante idrosemina su tutta l'area di intervento previa risagomatura e regolarizzazione del terreno;
- La rimozione e l'allontanamento dei materiali detritici che ostruivano il Rio Tenerello, con successiva protezione di alcuni tratti delle sponde erosi dalle acque mediante interventi di ingegneria naturalistica quali copertura diffusa con astoni di salice, cataste di salici e collane di massi vincolati con funi d'acciaio.

Contestualmente alla realizzazione degli interventi di stabilizzazione vera e propria sono stati eseguiti dei lavori propedeutici. Tali lavori riguardavano la costruzione di una pista a servizio del cantiere che si sviluppava sui fianchi a valle del Rio Tenerello per consentire il traffico di mezzi pesanti, e una pista sommitale lungo il versante al fine di effettuare la manutenzione periodica delle opere.

INTERVENTI MARZO 1998



Figura 4-17) Area degli interventi Marzo 1998

Nel marzo del 1998, oggetto di interventi di sistemazione è stato il versante sud dell'abitato di San Lorenzo (Figura 4-17).

Lungo il versante Sud i dissesti hanno interessato muri di recinzione, orti, fabbricati accessori e la sede stradale di Via della Cerchia, che circonda la frazione di San Lorenzo.

Inoltre le colate di fango, alberi e massi provenienti dal versante Sud hanno coinvolto parte delle abitazioni della sottostante frazione Tana e la strada di collegamento al capoluogo.

Gli interventi progettati in questa serie di lavori sono stati (Figura 4-18, Figura 4-19, Figura 4-20, Figura 4-21):

- Arretramento e riprofilatura del crinale che incombe sulle abitazioni più a est e sulla strada di accesso alla frazione Tana;
- Formazione di dreni sub orizzontali mediante perforazione del terreno ed inserimento di tubi microfessurati, allo scopo di impedire l'innalzamento della falda acquifera in occasione di intense precipitazioni meteoriche;
- Costruzione di un piede in terra rinforzata in corrispondenza delle nicchie della frana principale n.7 (vd. Figura 4-11). La terra rinforzata aveva l'obiettivo di consentire il

- consolidamento dell'opera di sostegno in muratura di pietrame della "Strada della Cerchia". È stata inoltre prevista la sottomurazione parziale ed il rincalzo della suddetta opera di contenimento;
- Realizzazione di protezione dei tratti di versante ad elevata acclività, ove non è possibile procedere alla riprofilatura, mediante reti composte da trefoli in acciaio protetti dalla corrosione, vincolate al suolo mediante ancoraggi profondi in cavi d'acciaio. Nelle zone dove un eventuale dissesto interessava beni di maggior valore economico o costituisce forte rischio per le sottostanti abitazioni, gli ancoraggi sono stati previsti con micropali;
- Realizzazione di una pista di servizio che consenta ai mezzi di cantiere di raggiungere le zone dove sono previste le terre rinforzate;
- Raccolta e convogliamento nell'esistente fosso di deflusso delle acque intercettate o
 drenate lungo il versante. Il convogliamento è stato realizzato mediante un canale
 realizzato con tronchi di castagno e fondo protetto con massicciata di pietrame. Le pareti
 del canale sono state poi rinverdite con talee di salice;
- Rimozione della vegetazione in esubero, pericolante ed abbattuta dai movimenti franosi, in modo da eliminare eventuali situazioni di pericolo e predisporre le aree per gli interventi di sistemazione;
- Ricostituzione del rivestimento vegetale sull'intero versante mediante idrosemina su tutta l'area di intervento previa risagomatura e regolarizzazione del terreno.



Figura 4-18) Estratto tavola grafica: interventi versante sud [fonte: Progetto esecutivo Marzo 1998, cortesia GIT s.r.l.]

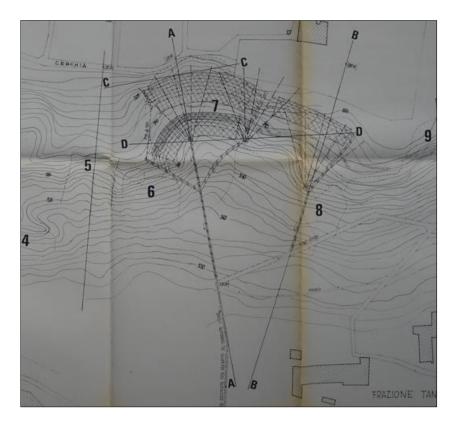


Figura 4-19) Estratto tavola grafica: particolare interventi versante sud [fonte: Progetto esecutivo Marzo 1998, cortesia GIT s.r.l.]

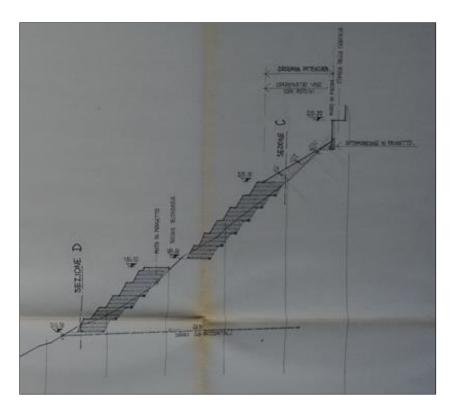


Figura 4-20) Estratto tavola grafica: terre rinforzate [fonte: Progetto esecutivo Marzo 1998, cortesia GIT s.r.l.]

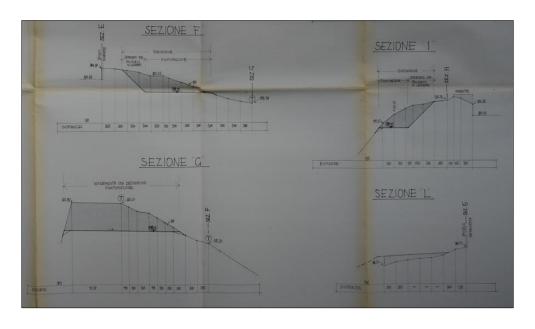


Figura 4-21) Estratto tavola grafica: sezioni con interventi [fonte: Progetto esecutivo Marzo 1998, cortesia GIT s.r.l.]

INTERVENTI GENNAIO 1999



Figura 4-22) Area degli interventi Gennaio 1999

Nel gennaio 1999 la sede di diversi interventi è stata la zona del cimitero di San Lorenzo, in quanto durante l'evento alluvionale del 1994 anch'essa fu soggetta a dissesti.

Il progetto si è articolato nella messa in sicurezza del settore di versante dove è ubicato l'impianto cimiteriale e la strada di collegamento tra il cimitero e la frazione di San Lorenzo.

Il progetto ha previsto la rimodellazione del versante con risagomatura a gradoni e sistemazione naturalistica dei settori più acclivi, abbinati a opere di drenaggio a gravità (trincee e dreni sub-orizzontali) finalizzate all'intercettazione, alla raccolta ed allo smaltimento delle acque percolanti.

Il progetto complessivo è stato suddiviso in due diversi interventi di realizzazione.

L'intervento A includeva (Figura 4-23, Figura 4-24, Figura 4-25):

- La realizzazione di un muro in c.a. di lunghezza pari a circa 80 m e altezza media di circa 1,5 m, con rivestimento esterno in pietrame;
- Nella parte anteriore della platea di fondazione era prevista una serie di micropali del diametro di 100 mm, disposti ad un interasse di 0.5 m, immorsati nel getto di fondazione per 20 cm, per una profondità di 8 m, con l'armatura del micropalo realizzata in tubi d'acciaio aventi diametro di 93 mm e spessore di 3.5 mm. La scelta di tale soluzione progettuale fu determinata al fine di poter far fronte ad ulteriori carichi portati dalla costruzione di un nuovo raccordo con la strada provinciale che sarebbe stato ubicato appena a monte del muro in progetto;
- La realizzazione di una trincea drenante di larghezza pari a metri 1.5 e profondità di 4.5 m per il drenaggio del terrapieno che insisteva sul nuovo muro in c.a;
- La posa, a lato del muro in c.a. e sul fondo della trincea, di un'apposita tubazione fessurata di PEAD del diametro di 200 mm, protetta da uno strato di materiale geocomposito drenante allo scopo di convogliare le acque allo smaltimento;
- La realizzazione di una cunetta realizzata nella platea di fondazione del nuovo muro in c.a. e mandata, parallelamente a quelle della trincea drenante, a due pozzetti di raccolta che le convoglieranno a loro volta in una tubazione in PEAD del diametro di 250 mm, con una lunghezza di circa 250 m, al termine del quale, in un'area non coltivata e pianeggiante, verrà realizzato un pozzetto a perdere;
- Per garantirne la perfetta impermeabilizzazione fu realizzato, subito a ridosso della trincea drenante, a valle dei pozzetti di raccolta, un setto in cls. dello spessore di 0.5 m e della profondità di circa 4,5 m.

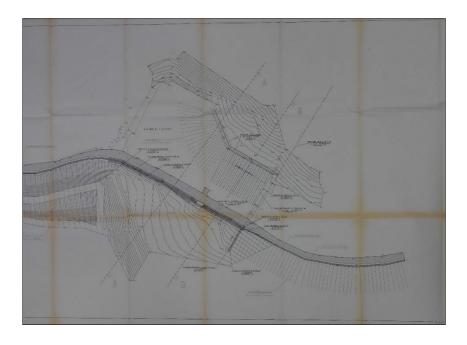


Figura 4-23) Estratto tavola grafica: interventi realizzati [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento A, cortesia GIT s.r.l.]

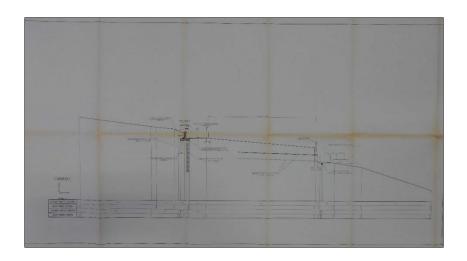


Figura 4-24) Estratto tavola grafica: particolare interventi (Sezione B-B) [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento A, cortesia GIT s.r.l.]

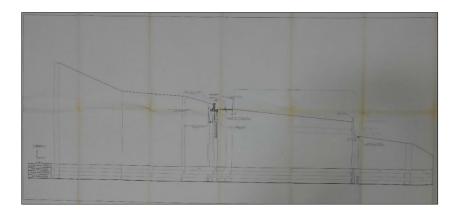


Figura 4-25) Estratto tavola grafica: particolare interventi (Sezione A-A) [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento A, cortesia GIT s.r.l.]

Di seguito vengono invece riportati gli interventi realizzati nell'ambito di quello che è denominato "Intervento B", il quale prevede due fasi progettuali: una, in prossimità dell'area cimiteriale, a completamento delle opere previste con il progetto relativo all'intervento A, l'altra tesa a ricostruire un'idonea condizione di sicurezza relativamente a tre smottamenti ubicati a Sud dell'abitato di S. Lorenzo (Figura 4-26, Figura 4-27, Figura 4-28, Figura 4-29).

Nella zona antistante il cimitero è stata prevista:

- La realizzazione di un muro di c.a. con rivestimento esterno in pietrame in collegamento, per una lunghezza di circa 100 m, verso monte con il muro di sostegno della Strada Provinciale, verso valle con la nuova muratura prevista dall'intervento A;
- La realizzazione di una riprofilatura del pendio che insiste sul nuovo muro, con l'ottenimento di una inclinazione compatibile con le caratteristiche del materiale esistente, ovvero pari a ψ =25°;
- La realizzazione di interventi di ingegneria naturalistica sulle superfici dei terrapieni;
- La costruzione di una serie di dreni sub-orizzontali di lunghezza variabile tra 10 e 35 m, e trincea drenante ubicata tra la platea di fondazione e la parte in elevazione del nuovo muro in c.a. per ridurre l'apporto idrico proveniente dagli strati più profondi del pendio;
- La posa di una tubazione in PEAD dal diametro di 200 mm posta sul fondo della trincea stessa per assicurare lo smaltimento della fase liquida proveniente dalla trincea, mentre la parte in arrivo dai dreni sub-orizzontali e dalla strada di collegamento tra l'abitato di San Lorenzo ed il cimitero è stata raccolta da una cunetta ottenuta nella platea di fondazione del nuovo muro in c.a.

A valle dell'area cimiteriale è stata inoltre prevista:

- La realizzazione di un muro in c.a. per una lunghezza di circa 90 m, per il collegamento tra l'opera progettata con l'intervento A e la muratura in c.a. esistente. In questo caso i

- dreni sono stati previsti di una lunghezza di soli 15 m a motivo della minore estensione e inclinazione del pendio sovrastante.
- La realizzazione di una serie di dreni sub-orizzontali disposti a raggiera con una lunghezza di circa 20 m per migliorare l'assetto statico dell'area cimiteriale.

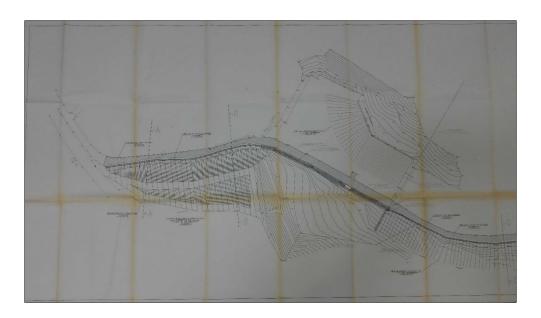


Figura 4-26) Estratto tavola grafica: Opere eseguite nell'ambito dell'Intervento B [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]

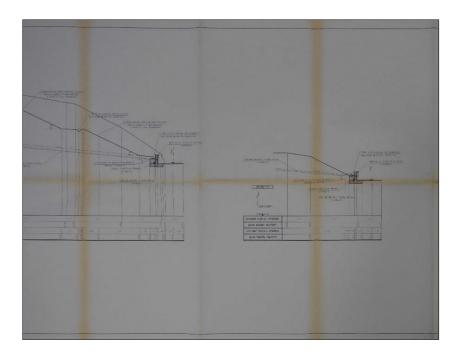


Figura 4-27) Estratto tavola grafica: sezioni con muri [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]

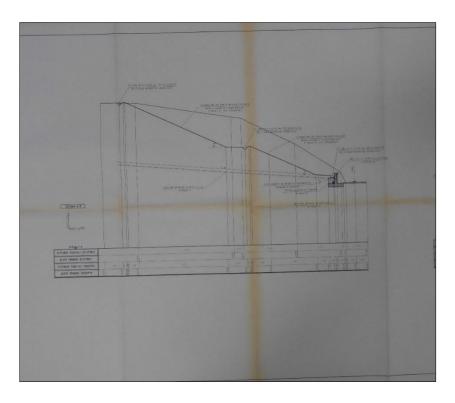


Figura 4-28) Estratto tavola grafica: sezione con muri [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]

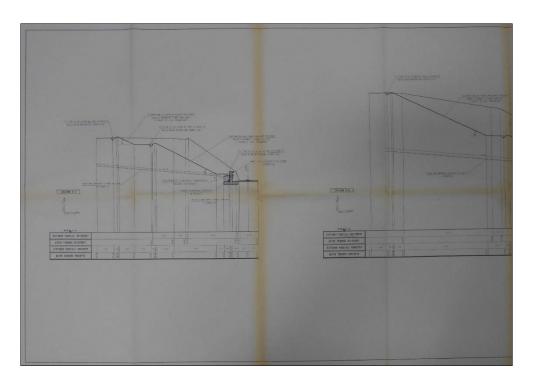


Figura 4-29) Estratto tavola grafica: sezione con muri [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]

Per quanto riguarda la sistemazione dei dissesti localizzati a sud dell'abitato, sono stati utilizzati esclusivamente interventi di ingegneria naturalistica che prevedevano: l'infissione, alla distanza

di 1-2 m, di pali di castagno per una profondità di 1 m, in modo tale da avere una sporgenza di almeno 50 cm, la posa di mezzi tronchi di castagno con lo scopo di trattenere il materiale di risulta posto a tergo dell'opera e la successiva messa a dimora di talee o piantine radicate (Figura 4-30, Figura 4-31, Figura 4-32, Figura 4-33).



Figura 4-30) Estratto tavola grafica: sistemazione dissesti [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]

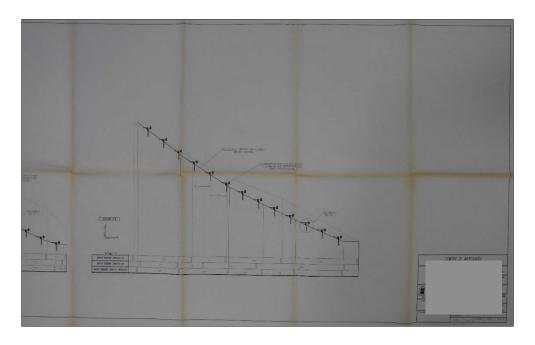


Figura 4-31) Estratto tavola grafica: interventi di ingegneria naturalistica [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]

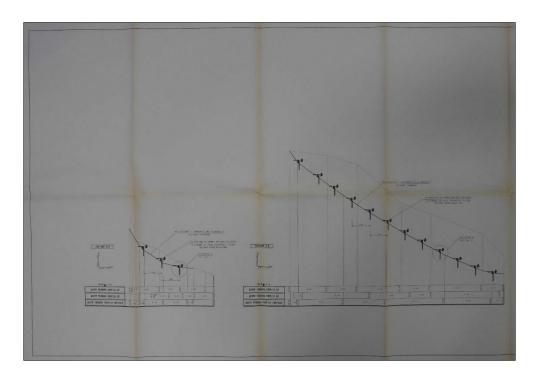


Figura 4-32) Estratto tavola grafica: sezioni con interventi di ingegneria naturalistica [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]

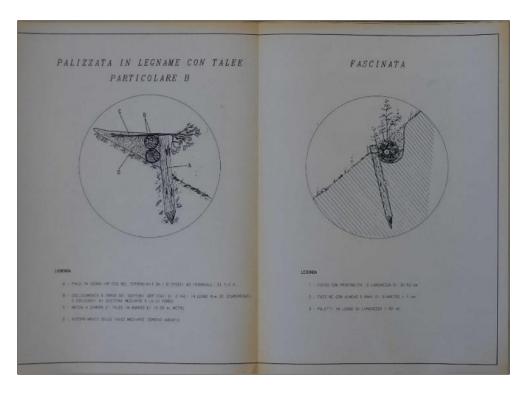


Figura 4-33) Estratto tavola grafica: particolari palizzata e fascinata [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999 Intervento B, cortesia GIT s.r.l.]

INTERVENTI SETTEMBRE 2001



Figura 4-34) Area interventi settembre 2001

Nel settembre 2001 fu redatto un nuovo progetto esecutivo che costituiva l'accorpamento e l'integrazione del progetto redatto nel Gennaio 1999 (suddiviso in due interventi distinti denominati Intervento A e intervento B), a seguito della Conferenza dei servizi di giugno 2001.

I principali interventi previsti dal presente progetto sono in gran parte simili a quelli previsti dai progetti di Gennaio 1999 ed in parte a integrazione e modifica degli stessi (Figura 4-35, Figura 4-36, Figura 4-37, Figura 4-38). Di seguito si richiamano i punti principali di tale progetto:

- Messa in sicurezza del settore di versante ove è ubicato l'impianto cimiteriale della suddetta frazione mediante la realizzazione di un muro in c.a. con rivestimento esterno in pietrame, inserimento di trincee drenanti, profilatura e gradonatura dei pendii, interventi di ingegneria naturalistica;
- Eliminazione del tratto stradale soggetto maggiormente all'instabilità di versante di monte e sua sostituzione con un nuovo tracciato stradale di collegamento tra il cimitero e dell'abitato di frazione San Lorenzo dello sviluppo totale di 150 m;
- Piccoli interventi di ingegneria naturalistica per la sistemazione di modesti fenomeni dissestivi intervenuti, in seguito all'evento alluvionale del novembre '94, a carico della ripida scarpata delimitante a sud l'abitato di frazione San Lorenzo.

La messa in sicurezza della zona dell'impianto cimiteriale prevedeva la realizzazione di una trincea drenante spinta in profondità sino ad attestarsi sull'orizzonte di materiale argilloso impermeabile al fine di creare un'efficace azione di sbarramento alle acque percolanti sotterranee potenzialmente in grado di raggiungere l'impianto cimiteriale. Nella zona antistante il cimitero i lavori prevedevano inoltre una riprofilatura del pendio che insiste sul nuovo muro, con

l'ottenimento di una inclinazione compatibile con le caratteristiche del materiale esistente, pari a ψ =25°.

Interventi di ingegneria naturalistica, inoltre, erano previsti sulle superfici dei terrapieni destinati alla dimora di biotipi arbustivi locali tramite cicli di inerbimento potenziato attraverso i quali, con una serie di fascinature trasversali, si intendeva facilitare l'attecchimento dello strato vegetativo antropico ripristinando un idoneo strato impermeabile superficiale.

Nell'area cimiteriale era inoltre prevista la realizzazione di un muro in c.c.a. con rivestimento esterno in pietrame per una lunghezza di circa 90 m e altezza media di 1.5m, e la realizzazione di una trincea drenante larga 1 m e profonda circa 5 m per drenare opportunamente il terrapieno che insiste sul nuovo muro in c.a.

A lato del muro e sul fondo della trincea drenante è stata posta un'apposita tubazione microfessurata in PEAD dal diametro di 200 mm protetta da uno strato di materiale geocomposto allo scopo di convogliare le acque allo smaltimento.

Le acque di superficie provenienti dalla strada adiacente il cimitero di S.Lorenzo sono state raccolte da una cunetta in pietra realizzata nella platea di fondazione del nuovo muro in c.a. e mandata, parallelamente a quelle della trincea drenante, a due pozzi di raccolta che le convoglieranno a loro volta in una tubazione in pead di opportuno diametro, con una lunghezza di circa 250 m, al termine della quale in un'area non coltivata e pianeggiante, verrà realizzato un pozzetto a perdere.

Per garantire la perfetta impermeabilizzazione è stato realizzato, subito a ridosso della trincea drenante, a valle dei pozzi di raccolta, un setto in calcestruzzo dello spessore di 0,5 m e profondità di circa 3,5 m.

A valle dell'area cimiteriale è stato previsto un muro in c.a. con rivestimento esterno in pietrame collegato per una lunghezza di circa 100 m verso monte con il muro precedentemente descritto e verso valle con la muratura esistente.

L'apporto idrico dagli strati più profondi del pendio è stato ridotto tramite l'impiego di una serie di dreni sub-orizzontali di lunghezza variabile tra 10 e 35 m ed una trincea drenante ubicata tra la platea di fondazione e la parte in elevazione del nuovo muro in c.a.

Lo smaltimento della fase liquida proveniente dalla trincea è stato assicurato da una tubazione drenante in PEAD dal diametro di 200 mm, posta sul fondo della trincea stessa, mentre la parte in arrivo dai dreni sub-orizzontali e dalla strada di collegamento tra l'abitato di S.Lorenzo ed il cimitero è stata raccolta da una cunetta in pietra ottenuta nella platea di fondazione del nuovo muro in c.a.

Per la sistemazione dei tre piccoli smottamenti localizzati a sud dell'abitato di san Lorenzo sono stati utilizzati esclusivamente interventi di ingegneria naturalistica che prevedevano la preparazione e modellazione del pendio nonché la sua stabilizzazione superficiale.

È stata anche prevista la realizzazione di idonee palizzate lignee, mediante l'infissione di pali di castagno seguita dalla posa di mezzi tronchi di castagno con lo scopo di trattenere il materiale di risulta posto a tergo dell'opera con la successiva messa a dimora di talee o piantine radicanti.

Questa azione è stata preceduta da un'operazione di riprofilatura e gradonatura del terreno avente finalità di addolcire le pendenze nei tratti maggiormente esposti e di raccogliere e regimare i ruscellamenti idrici superficiali.

Il progetto prevedeva infine anche la realizzazione di un nuovo tratto di strada di collegamento tra il cimitero e l'abitato di frazione San Lorenzo.

Nel mese di ottobre 2004 fu redatta una perizia suppletiva e di variante per l'introduzione di alcune modeste migliorie dell'opera tra cui il prolungamento verso sud della trincea drenante prevista a monte del complesso cimiteriale.

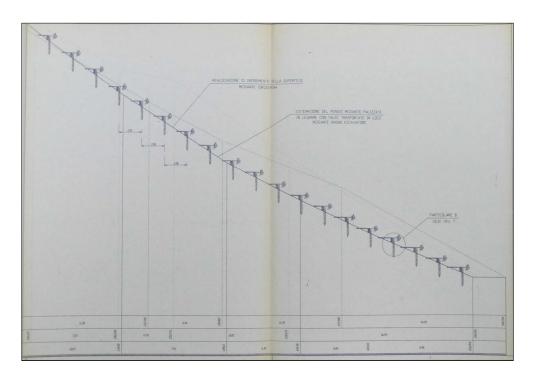


Figura 4-35) Estratto tavola grafica: sezione e interventi di ingegneria naturalistica [fonte: Progetto esecutivo Settembre 2001, cortesia GIT s.r.l.]

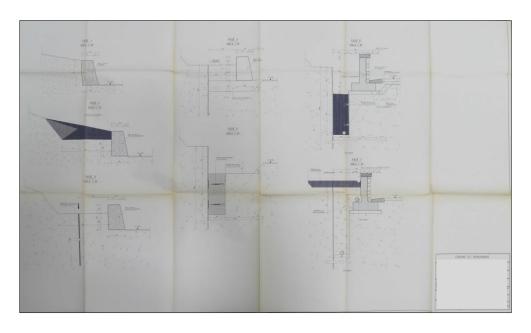


Figura 4-36) Estratto tavola grafica: particolari sezioni [fonte: Progetto esecutivo Settembre 2001, cortesia GIT s.r.l.]

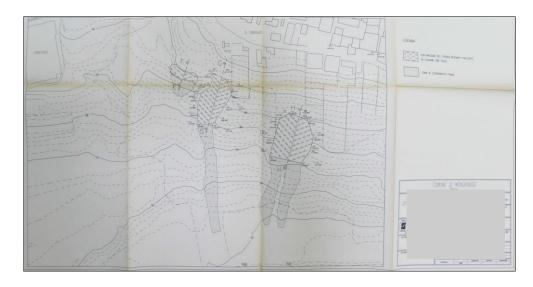


Figura 4-37) Estratto tavola grafica: sistemazione frane [fonte: Progetto esecutivo Settembre 2001, cortesia GIT s.r.l.]

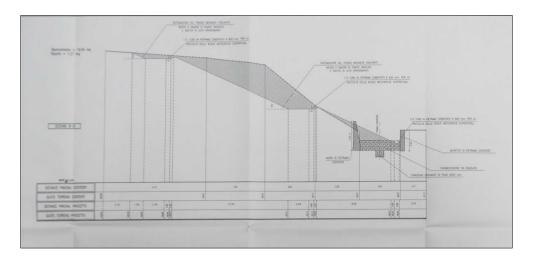


Figura 4-38) Estratto tavola grafica: particolare sezione [fonte: Progetto esecutivo Settembre 2001, cortesia GIT s.r.l.]

INTERVENTI LUGLIO 2002



Figura 4-39) Area interventi luglio 2002

Nel luglio del 2022 è stata redatta una perizia di variante e suppletiva perché a seguito dell'evento alluvionale del 2000 le opere in fase di realizzazione lungo il versante sud della collina di San Lorenzo avevano subito notevoli danneggiamenti principalmente a causa del crollo di un muro di contenimento in pietrame a secco posto a monte dell'area di cantiere e per le erosioni causate dalle acque meteoriche di scorrimento superficiale che hanno percorso il versante durante l'evento.

Le macerie del muro hanno investito le terre rinforzate, la parte emergente dei dreni suborizzontali e soprattutto hanno completamente distrutto il sistema di raccolta e smaltimento delle acque superficiali (pozzetti, canalette, parte delle tubazioni) nella parte sottostante il muro crollato.

Nella restante aree di cantiere si sono verificati fenomeni erosivi che si sono rivelati particolarmente gravosi in quanto non erano ancora completate le opere di regimazione delle acque e le protezioni superficiali (vd. interventi di Marzo 1998).

Inoltre, a seguito del nubifragio del 5 Giugno 2002, è crollata una porzione di muro di contenimento posto a monte della strada della cerchia. Anche in questo caso le macerie hanno investito le opere di sostegno in terra rinforzata poste a valle.

Gli interventi realizzati nell'ambito della perizia del luglio 2002 riguardano sia il completamento dei lavori previsti nel progetto principale, sia la formazione di nuove opere.

Le opere previste in perizia sono rivolte principalmente alla messa in sicurezza della zona dove si è manifestato il crollo del muro ed all'integrazione delle opere di raccolta e smaltimento delle acque di scorrimento superficiale dell'intero versante (Figura 4-40, Figura 4-41).

Il crollo del muro, che sosteneva la strada comunale della cerchia, ha causato il successivo crollo di una porzione del muro di contenimento dei giardini e orti privati posti a monte.

Come opera di ripristino e contenimento si prevedeva:

- La sopraelevazione delle terre rinforzate, già costruite nella parte posta a quota inferiore della nicchia di frana, in modo da costruire un valido sostegno sia per la strada comunale da ricostruire ma soprattutto a salvaguardia delle opere di contenimento poste a monte;
- Il rifacimento del tratto di muro di contenimento a monte crollato, da realizzarsi in calcestruzzo con paramento in pietrame locale e adeguata fondazione in c.a.;
- Il completamento della posa di reti di protezione "Pentifix", in parte già previste nel progetto principale ed in parte aggiunte ove necessario,nei versanti ad elevata acclività;
- La costruzione di apposite canalette in acciaio zincato da posarsi lungo le piste di servizio, per la raccolta di acque superficiali, mentre il convogliamento a valle è stato disposto con canalette in legname e pietrame già previste nel progetto principale;
- L'esecuzione di vari interventi di manutenzione alle piste, ai fossi di guardia e di scolo ed alle scarpate delle terre rinforzate, mediante rimozione delle macerie e dei materiali franati; taglio di arbusti, cespugli e rovi; riprofilatura di piste e di fossi, manutenzione e ripristino di tubazioni, testate e dreni e canalette di raccolta acque.



Figura 4-40) Estratto tavola grafica: interventi Luglio 2002 [fonte: Progetto esecutivo Luglio 2002, cortesia GIT s.r.l.]

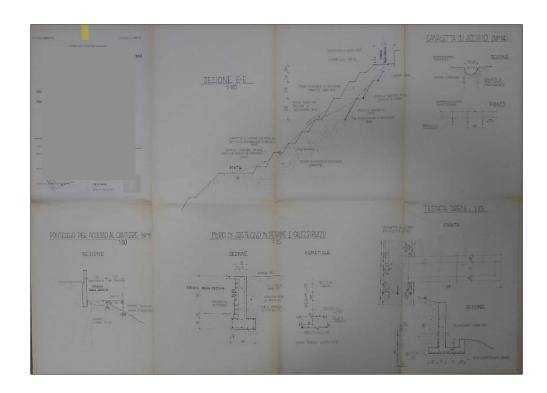


Figura 4-41) Estratto tavola grafica: particolare sezioni e opere di sostegno [fonte: Progetto esecutivo Settembre 2001, cortesia GIT s.r.l.]

INTERVENTI AGOSTO 2003



Figura 4-42) Area interventi agosto 2003

Nel mese di Agosto 2003, il versante sud è stato oggetto di ulteriori interventi.

L'area di intervento è localizzata nella parte sud-est del Borgo, in corrispondenza delle frane numero 9-10-11 (vd. Figura 4-11).

In quest'area erano già state effettuate alcune opere per aumentare la stabilità del versante. A quelle già esistenti, quando non danneggiate da successivi eventi di dissesto, furono aggiunte ulteriori opere nell'ambito del presente progetto.

Le opere in progetto prevedevano (Figura 4-43, Figura 4-44, Figura 4-45, Figura 4-46):

- La realizzazione di diversi ordini di terre rinforzate in corrispondenza della frana 9-10. Tali opere erano anche provviste di un sistema di raccolta delle acque, che venivano successivamente convogliate in canalette già esistenti;
- La realizzazione o il ripristino di canalette in acciaio.

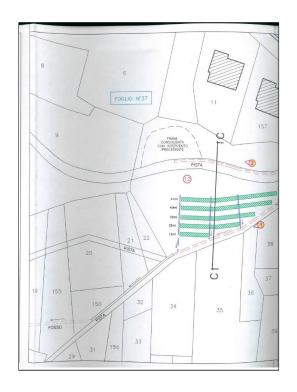


Figura 4-43) Estratto tavola grafica: planimetria di progetto parte A [fonte: Progetto esecutivo Agosto 2003, cortesia GIT s.r.l.]

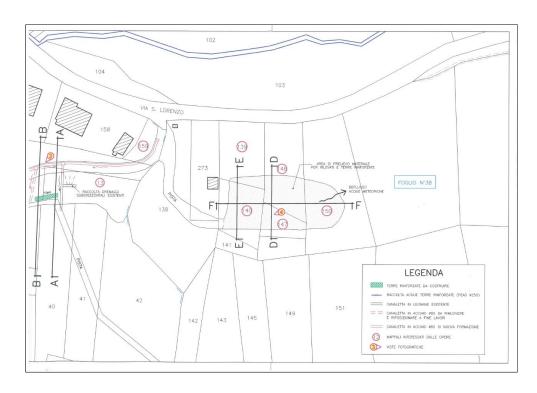


Figura 4-44) Estratto tavola grafica: planimetria di progetto parte B [fonte: Progetto esecutivo Agosto 2003, cortesia GIT s.r.l.]

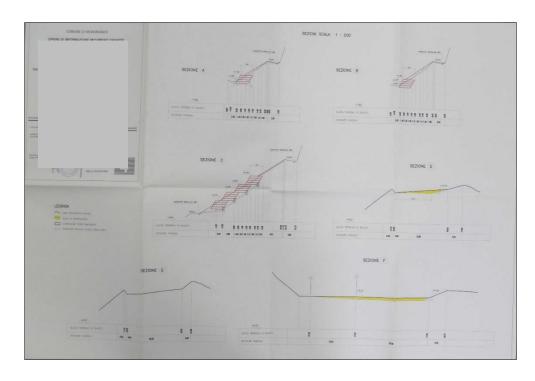


Figura 4-45) Estratto tavola grafica: sezioni e interventi [fonte: Progetto esecutivo Agosto 2003, cortesia GIT s.r.l.]

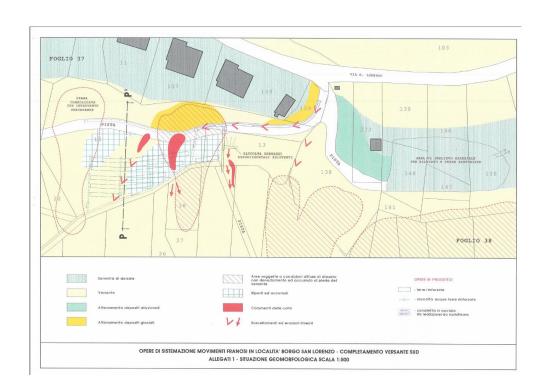


Figura 4-46) Estratto tavola grafica: opere realizzate lungo il versante sud [fonte: Progetto esecutivo Agosto 2003, cortesia GIT s.r.l.]

INTERVENTI NOVEMBRE 2004



Figura 4-47) Area interventi novembre 2004

A seguito degli eventi alluvionali del 2000 e 2002, si sono resi necessari degli interventi nelle zone interessate da dissesti.

Il progetto definitivo del Novembre 2004 prevedeva l'intervento in tre località distinte all'interno del comune di Mongrando: Località Vignazze sul torrente Viona, località Tana, e località San Lorenzo (strada della Cerchia).

L'intervento a San Lorenzo prevedeva (Figura 4-48, Figura 4-49):

- La costruzione di una condotta per la raccolta delle acque meteoriche lungo il percorso della strada della cerchia e il recapito delle acque nella roggia intubata che percorre la strada provinciale;
- La realizzazione di piccoli interventi quali: sistemazione piste d'accesso ai luoghi delle lavorazioni, limitati interventi localizzati in disalveo e sistemazione massi in alveo, taglio della vegetazione presente sulle zone di cantiere e sulle piste d'accesso, limitati interventi di manutenzione alle difese spondali esistenti, ricerca di servizi interrati, eventuali allacciamenti di caditoie esistenti sul tracciato in strada della cerchia alla condotta di acque bianche.

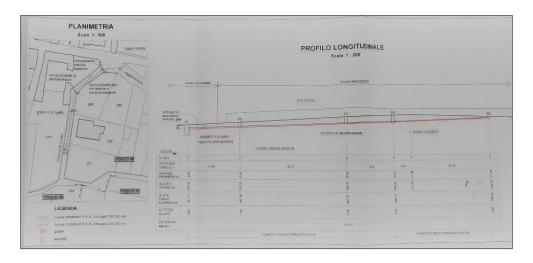


Figura 4-48) Estratto tavola grafica: profilo e planimetria nuove condotte [fonte: Progetto esecutivo Novembre 2004, cortesia GIT s.r.l.]

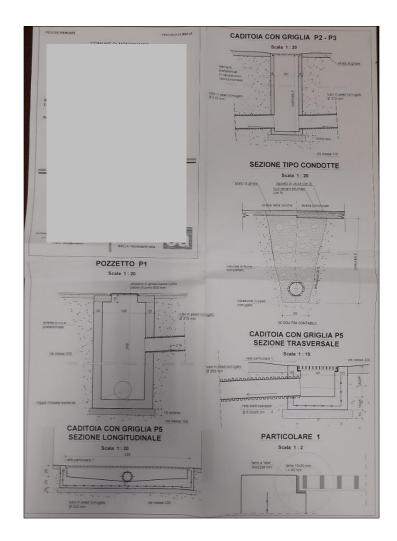


Figura 4-49) Estratto tavola grafica: particolari [fonte: Progetto esecutivo Novembre 2004, cortesia GIT s.r.l.]

INTERVENTI NOVEMBRE 2006



Figura 4-50) Area interventi novembre 2006

Nel novembre del 2006, furono effettuate delle operazioni di manutenzione straordinaria di alcune opere all'interno del Borgo San Lorenzo.

Gli interventi si concentrarono in due zone (Figura 4-51, Figura 4-52, Figura 4-53):

- L'Intervento 1, previsto a monte della frazione Tana, lungo il versante sud della collina, prevedeva la pulizia (taglio di alberi di piccola dimensione e estirpazione di rovi e arbusti) e la straordinaria manutenzione dei fossi di guardia per uno sviluppo complessivo di 600 ml. A pulizia effettuata fu realizzata la risagomatura dei fossi con mezzi meccanici, depositando i materiali di scavo a valle in modo da creare un argine ed aumentare la sezione utile dei fossi;
- L'intervento 2 ha interessato direttamente la zona abitata del borgo. Infatti, nell'ambito di questo intervento era prevista la manutenzione straordinaria della condotta di raccolta acque (meteoriche e reflui domestici) e la creazione di una nuova condotta specifica per le acque meteoriche, in quanto la condotta esistente si rivelava insufficiente per il convogliamento di tutte le acque. Tra gli interventi di straordinaria manutenzione figurava la realizzazione di uno scolmatore sulla condotta esistente in modo da derivare da questa le acque meteoriche.

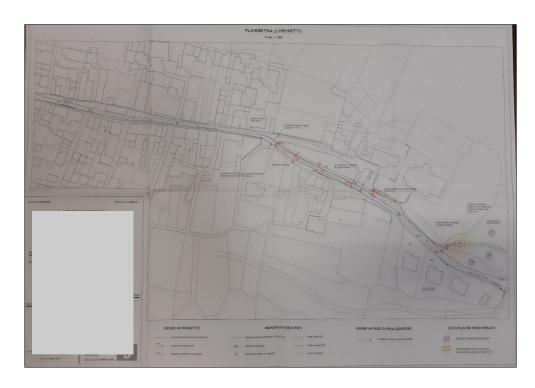


Figura 4-51) Estratto tavola grafica: planimetria [fonte: Progetto esecutivo Novembre 2006, cortesia GIT s.r.l.]

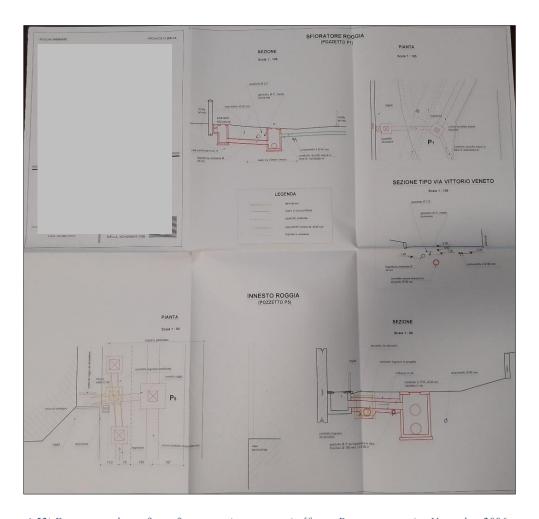


Figura 4-52) Estratto tavola grafica: sfioratore e innesto roggia [fonte: Progetto esecutivo Novembre 2006, cortesia GIT s.r.l.]

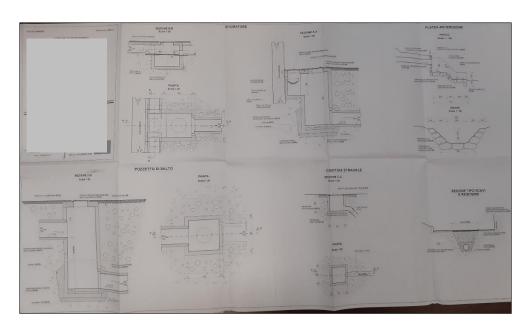


Figura 4-53) Estratto tavola grafica: particolari costruttivi [fonte: Progetto esecutivo Novembre 2006, cortesia GIT s.r.l.]

4.3 Indagini pregresse

In seguito all'evento del novembre 1994 e con la progettazione delle opere di stabilità dei versanti, il territorio di San Lorenzo è stato interessato da indagini in situ per meglio comprendere la natura geo-litologica del luogo.

Questo paragrafo riporta tutti i dati emergenti dalle indagini effettuate nell'area di Borgo San Lorenzo.

In aggiunta alle indagini eseguite nell'ambito dei progetti di messa in sicurezza del borgo, sono anche presenti alcune stratigrafie del 2007 e 2020 provenienti dallo scavo di alcuni fori per il posizionamento di piezometri per il monitoraggio della falda, e altre informazioni derivate da alcuni ulteriori studi geologici effettuati nell'area di San Lorenzo, sempre volti a individuare le cause che nel 1994 scatenarono gli eventi franosi. In ultimo sono presentati i dati più recenti, proveniente da alcune indagini eseguite nel 2022 nell'ambito della redazione del progetto di fattibilità tecnico-economica a cura di GIT.

La campagna di indagine recente include il monitoraggio dei livelli falda di alcuni pozzi e piezometri in località San Lorenzo e il rilievo effettuato tramite drone per la costruzione del DSM dell'area.

Di seguito si riporta quanto emerso dalle campagne di indagine che sono state effettuate tra il 1994 e il 2020. Quanto riportato di seguito è estrapolato dalle relazioni geologiche dei progetti eseguiti dal 1997 al 2004 e da documenti redatti successivamente da consulenti del Comune di Mongrando.

4.3.1 Sondaggi

Nel 1997, con la redazione dei primi progetti di opere di stabilità, sono stati eseguiti 4 sondaggi.

L'ubicazione dei sondaggi è rappresentata nella Figura 4-54:

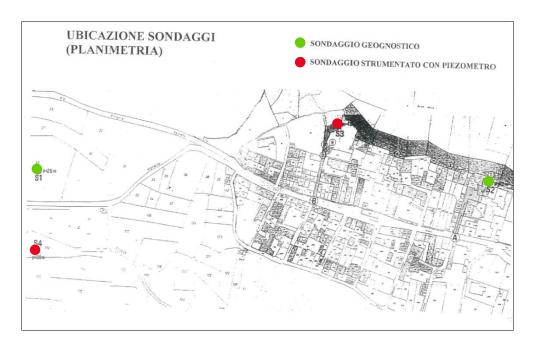


Figura 4-54) Ubicazione sondaggi S1 S2 S3 S4 a San Lorenzo [fonte: progetto esecutivo 1997, cortesia GIT s.r.l.]

Le perforazioni S2 e S3 (con profondità di 40 e 25 m dal p.c.) sono ubicate nella porzione settentrionale di S.Lorenzo. la scelta di tale ubicazione è stata effettuata in modo da caratterizzare i settori di distacco dei fenomeni gravitativi. Da tali sondaggi sono stati prelevati alcuni campioni per successive analisi di laboratorio (n.1 indisturbato da S2; n.2 disturbati da S3 e n.1 da S2). Nel sondaggio S3 è stato inoltre installato un piezometro a tubo aperto, presso il quale sono state eseguite misurazioni nel periodo maggio/agosto 1997.

Le perforazioni S1 e S4 sono invece ubicate in prossimità del cimitero. Anche da questi sondaggi sono stati prelevati dei campioni per successive analisi: n.1 indisturbato e n.1 disturbato da S1, n.2 indisturbati da S4. Dalla planimetria riportata nella figura precedente, risulta che anche il sondaggio S4 fosse dotato di piezometro, non sono però presenti i risultati di monitoraggi presso questo piezometro.

In Allegato 1 si riportano i risultati di tali sondaggi: stratigrafie e prove condotte sui materiali.

Di seguito sono riportate alcune tabelle (Tabella 4-1, Tabella 4-2, Tabella 4-3) che riassumono alcuni dei parametri ottenuti dalle analisi di laboratorio per tutti i campioni analizzati.

Tabella 4-1) classificazione campioni

Campione	Tipo	Profondità [m]	Classificazione AGI
S1-A	disturbato	6	Sabbia con ghiaia limose debolmente argillose
S1-1	indisturbato	12,1-12,6	Limo con argilla debolmente sabbiosi
S2-1	indisturbato	5,85-6,45	Limo con sabbia debolmente argillosi
S2-A	disturbato	12	Sabbia con limo ghiaiosi
S3-A	disturbato	2,5	Limo con sabbia argillosi
S3-B	disturbato	10	Sabbia con limo debolmente ghiaiosi
<i>S4-1</i>	indisturbato	6,2-6,3	Limo con sabbia debolmente argillosi
<i>S4-2</i>	indisturbato	15,3-15,9	Limo debolmente sabbioso-argilloso

Tabella 4-2) Limiti di Atterberg

Campione	LL %	LP %	IP %	Wn %	IC
S1-A	31,5	18,0	13,5	-	-
S1-1	64,9	31,0	34,0	-	-
S2-1	31,2	20,9	10,3	24,62	0,6
S2-A	30,2	24,6	5,6	-	-
S3-A	43,2	30,1	13,1	-	-
S3-B	24,9	22,0	2,9	-	-
S4-1	48,4	27,1	21,2	-	-
S4-2	41,3	29,8	11,6	-	-

Tabella 4-3) parametri geotecnici

Parametro	S2-1	S4-1	<i>S4-2</i>
Angolo di attrito [°]	29,5°	38,7°	23,6°
Coesione [kPa]	18,7	33	39,8

Quanto appena riportato fa riferimento ai sondaggi geognostici effettuati nel 1997 in occasione della redazione dei primi progetti.

Altri sondaggi sono stati eseguiti, nell'ambito di nuovi studi, in tempi più recenti.

Nell'Agosto del 2020 sono stati installati due nuovi piezometri a monte del versante sud della frazione, a circa 12 metri dal ciglio della frana. Lo scopo di tali sondaggi era quello di verificare la successione litostratigrafica locale e la profondità della falda.

Tali perforazioni sono state eseguite a circa 2.5 m di distanza l'una dall'altra, e raggiungono profondità diverse perché intercettano la falda superficiale e quello più profonda.

I due sondaggi sono stati effettuati con tecniche differenti: il sondaggio S1 a carotazione continua, mentre S1 bis a distruzione di nucleo. Entrambi sono dotati di piezometro a tubo aperto.

La stratigrafia del terreno in prossimità della frana presenta una granulometria principalmente ghiaioso sabbiosa con elevata percentuale limosa.

All'interno dell'Allegato 2 è riportata la stratigrafia completa rilevata dal sondaggio.

Nel gennaio del 2007 anche l'area del cimitero, ubicata a sud-ovest rispetto all'abitato di San Lorenzo, è stata oggetto di indagini, in quanto soggetta a fenomeni gravitativi. In particolare sono stati effettuati due sondaggi (sondaggi meccanici a rotazione con carotaggio continuo) ed analisi di laboratorio sui campioni indisturbati.

Le stratigrafie complete dei sondaggi sono riportate all'interno dell'Allegato 3.

Di seguito si riporta la Tabella 4-4 che indica i limiti di Atterberg e il risultato dell'analisi granulometrica per vagliatura eseguiti su un campione (CR1) di terreno prelevato alla profondità di 6.20-6.60 m all'interno del sondaggio S1.

Tabella 4-4) Risultati analisi di laboratorio su sondaggio nella zona del cimitero

Parametro	S1-CR1
LL (%)	33,00
LP (%)	24,06
IP (%)	8,94
Classificazione	Limo argilloso debolmente sabbioso

La Figura 4-55 mostra l'ubicazione dei sondaggi a cui si è fatto riferimento.



Figura 4-55) Ubicazione dei sondaggi

4.3.2 Prova penetrometrica

Il sito in esame è stato anche oggetto di altre prove geotecniche. In particolare è stata effettuata una prova penetrometrica mediante penetrometro dinamico leggero modello SUNDAL DL 30. Si riporta in Figura 4-56 l'esito della prova eseguita in località Faccenda.

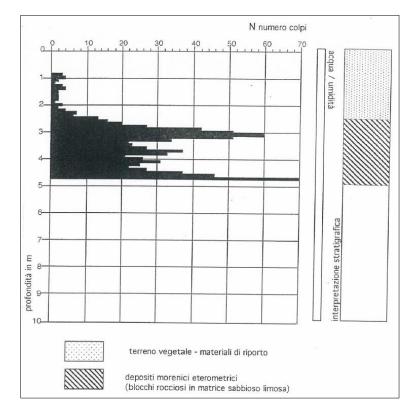


Figura 4-56) Risultato prova penetrometrica (fonte: Progetto esecutivo Novembre 1997, cortesia GIT s.r.l.]

Un'ulteriore prova penetrometrica dinamica leggera è stata eseguita all'interno dell'area cimiteriale. La prova è stata spinta fino alla profondità di 4 metri. Dalla prova si evince: "che il terreno indagato sia di riporto, i modesti valori di Q_{amm} entro i primi 2 metri sono anche da imputare non solamente alla presenza di granulometrie fini (sabbia-limo) ma anche alla presenza della falda freatica individuata alla profondità di 2,5 metri, e si ritiene che tale profondità possa diminuire ogniqualvolta le pompe presenti nei superiori pozzi di drenaggio si mettono in funzione, come in precedenza scritto l'acqua pompata fuoriesce abbondantemente in superficie in prossimità della fontanella tale fatto evidenzia che la tubazione di scarico è sicuramente danneggiata e va sostituita²."

4.3.3 Prova a carico variabile

È stata inoltre eseguita una prova a carico variabile al fine di avere un valore indicativo della permeabilità del superficiale terreno di inumazione. È stata quindi eseguita una prova di assorbimento a carico variabile utilizzando un pozzetto in PVC della lunghezza di 0,7 metri preventivamente immesso nel terreno. La misurazione della velocità di permeazione ha consentito di valutare la permeabilità, che a seguito dell'elaborazione dei dati di campagna è risultata essere pari a: 2,3 *10⁻⁶ cm/s, definito un drenaggio "povero".

Sempre all'interno dell'area del cimitero è stata eseguita una analisi granulometrica su un campione rappresentativo del superficiale terreno. La classificazione AGI classifica il terreno come: limo con sabbia ghiaiosa. Si rimanda all'Allegato 3 per i risultati completi delle prove.

4.3.4 Misure piezometriche

Tra il mese di maggio 1997 e marzo 1998 è stato eseguito un monitoraggio della falda attraverso la misurazione al piezometro all'interno del sondaggio S3.

Di seguito (Figura 4-57) si riporta il grafico con i valori misurati e l'andamento della superficie piezometrica.

una parte esce tramite una tubazione in PVC dal muro di contenimento a valle. Tale situazione, unitamente al fatto che l'imponente muratura rappresenta una barriera idraulica, satura in parte la zona più bassa dell'area cimiteriale [...]"

² Nella relazione si fa riferimento a tre pozzi di emungimento all'interno dell'area cimiteriale, di profondità pari a 4 metri circa. In data Aprile 2018 " [...] solo una delle pompe risulta funzionante e che l'acqua pompata viene scaricata entro la zona più ribassata dell'area cimiteriale fuoriuscendo in superfice mentre una parte esce tramite una tubazione in PVC dal muro di contenimento a valle. Tale situazione, unitamente

data misurazione	livello piezometrico
6-5-97	-22,19
14-5-97	-22,36
26-5-97	-22,46
16-6-97	-22,52
1-7-97	-22,41
24-7-97	-22,42
18-8-97	-22,51
15-9-97	-22,57
7-1-98	-22,87
7-2-98	-23,11
30-3-98	-23,14

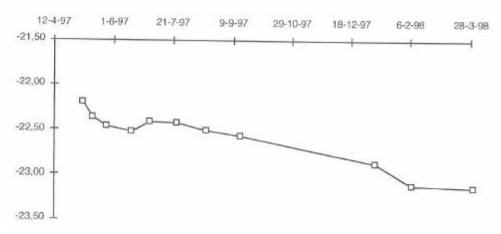


Figura 4-57) Misure piezometriche 19971998 [fonte: Progetto esecutivo Gennaio 1999, cortesia GIT s.r.l.]

A completamento dell'analisi dei livelli di acquifero presenti presso l'area di studio, si cita lo studio del Dott. Geol. Quaglino, datato febbraio 2022, nel quale vengono riportati i dati inerenti alle sorgenti perimetrate nei pressi del cimitero e dei pozzi ivi presenti, nonché dei pozzi/piezometri presenti in località San Lorenzo.

Sebbene non si abbiano informazioni circa la data/periodo di misurazione, né delle relative modalità, si ritiene opportuno citare tali dati per completezza di studio.



Figura 4-58) Sorgenti e piezometri [fonte: relazione geologica Dott. Quaglino, cortesia GIT s.r.l.]

Nella Tabella 4-5, Tabella 4-6 e

Tabella 4-7 si riportano i dati desunti dal documento citato.

Tabella 4-5) Sorgenti zona cimitero [fonte Dott. Geol. Quaglino, cortesia GIT s.r.l.]

Sorgente	Quota assoluta (m s.l.m.)
<i>S</i> 1	403
<i>S2</i>	404
S3	388
S3'	393
<i>S4</i>	391
<i>S4'</i>	395
<i>S</i> 5	390
<i>S6</i>	385
<i>S7</i>	381

Tabella 4-6) Scheda pozzi-piezometri in località San Lorenzo [fonte Dott. Geol. Quaglino, cortesia GIT s.r.l.]

Punti	m.l.m	Profondità [m]	Livello statico [m]	Altezza acqua [m]	m s.l.m. del livello statico	Ubicazione
121	421	15	12,00	3,0	409	Pozzo presso proprietà della Parrocchia
122	423	10	15,10	5,1	417,9	Piezometro eseguito tra le proprietà Vallivero/Varalda

122′	423	26	25,00	1,0	422	Piezometro eseguito tra le proprietà Vallivero/Varalda
123	428	24	23,70	0,3	404,3	Pozzo privato verso versante Nord Orientale, Via Vittorio Veneto n.46
124	427	27	23,00	4,0	404	Pozzo privato saltuariamente in funzione. Via Vittorio Veneto n.100
125	429	25	20,60	4,4	404,4	Pozzo comunale lungo via Vittorio Veneto presso n.83
126	428	19,30	16,50	2,8	411,5	Pozzo privato saltuariamente in funzione, Via della Cerchia n.10

Tabella 4-7) Dati piezometri zona cimitero [fonte Dott. Geol. Quaglino, cortesia GIT s.r.l.]

Piezometri	Quota assoluta [m s.l.m.]	Profondità [m]	Quota assoluta livello statico [m s.l.m.]
Piezometro 1	394	10	390
Piezometro 2	388	26	363

4.3.5 Campagna indagini attuale

Nell'ambito dello studio di fattibilità redatto da Gruppo Ingegneria Torino, si è scelto di approfondire le indagini attraverso la misurazione della soggiacenza della falda a attraverso un rilievo topografico che restituisse l'andamento della superficie del terreno nelle condizioni attuali. Durante il primo sopralluogo, in data 16 Agosto 2022 è stata anche effettuata una perlustrazione delle aree in cui si sono verificati i fenomeni dissestivi nel Novembre del 1994. Durante questo sopralluogo è stato anche possibile verificare la presenza di lesioni più o meno evidenti sugli edifici, posti al margine delle zone in frana, causate dell'instabilità del terreno su cui si fondano.

Per ciò che riguarda il monitoraggio della falda, sono stati monitorati nell'arco di alcuni mesi 4 piezometri e 6 pozzi tutti ricadenti all'interno dell'abitato di San Lorenzo.

Di seguito la Figura 4-59 riporta planimetria con l'ubicazione dei pozzi e dei piezometri, mentre a seguire è presente la Tabella 4-8 che illustra i valori di soggiacenza misurati.

Ciò che emerge dai dati è che la falda non ha avuto variazioni significative di profondità ma si è mantenuta costante nel periodo agosto-dicembre 2022. Questo potrebbe essere attribuito alle scarsissime precipitazioni nell'area in esame nei mesi in cui è stato effettuato il monitoraggio.

Per meglio comprendere il fenomeno si rendono quindi necessarie ulteriori misure nel tempo.



Figura 4-59) Ubicazione dei pozzi/piezometri oggetto di indagine nel 2022 [fonte: cortesia GIT s.r.l.]

Tabella 4-8) Valori soggiacenza [misure anno 2022, cortesia GIT s.r.l.]

		Data misura				
	Distanza piano campagna - testa pozzo	16/08/202 2	28/09/202	19/10/202 2	17/11/202 2	13/12/202 2
Piezometro 1	-11 cm	×	4,42 m da testa piezometro	4,32 m da testa piezometro	4,43 m da testa piezometro	secco
Piezometro 2	+25cm	×	secco o ostrutito	26,49 m da testa piezometro	secco o ostrutito	secco o ostrutito

Pozzo	0 cm	×	×	1,31 m da p.c.	1,25 m da p.c	1,27 m da p.c.
P1	+90 cm	13,50 da chiusino	13,50 da testa pozzo	13,50 da testa pozzo	13,53 da testa pozzo	13,51 da testa pozzo
P2	-18 cm	×	27,76 da testa piezometro	27,98 da testa piezometro	27,74 da testa piezometro	27,93 da testa piezometro

P3	-14 cm	×	15,01 da testa piezometro	15,08 da testa piezometro	15,07 da testa piezometro	15,13 da testa piezometro
P4	+63 cm	×	24,33 da testa pozzo	24,11 da testa pozzo	23,46 da testa pozzo	23,93 da testa pozzo
P5	0 cm	×	CHIUSO	CHIUSO	osoes	CHIUSO
P6	+88 cm	×	CHIUSO	24,58 da testa pozzo	24,68 da testa pozzo	24,79 da testa pozzo

P7	+78 cm	×	23,56 da testa pozzo	23,59 da testa pozzo	23,63 da testa pozzo	23,67 da testa pozzo
----	--------	---	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

Oltre al monitoraggio dei pozzi e piezometri, è stata effettuata una sessione di rilevo topografico.

Il rilievo è stato effettuato tramite stazione GPS per la definizione della quota esatta di alcuni punti utili a indentificare con precisione la quota di bocca pozzo o piezometro, valore utile al fine collocare la soggiacenza della falda rispetto al piano campagna. Contestualmente al rilievo tramite GPS è stata eseguita una sessione di rilievo tramite drone. Il drone ha restituito quella che viene definita "nuvola punti" dalla quale è poi estratto il DSM (Digital Surface Model). Il DSM, con risoluzione di 8x8 cm, permette di tracciare delle sezioni sulla superficie investigata e di ottenerne il profilo topografico, il tutto tramite l'ausilio di software GIS. Ciò consente di conoscere nel dettaglio l'andamento della superficie lungo i pendii, anche senza che vi sia stato un rilievo sull'esatta zona, in quanto questi ultimi sono di difficile accesso a causa delle elevate pendenze.



Figura 4-60) Porzione del DSM realizzato [fonte: cortesia GIT s.r.l.]

Il risultato del rilievo tramite drone è visibile nella figura precedente, che mostra un estratto del DSM ottenuto in seguito al rilievo. Sono ben visibili gli edifici, la strada principale del piccolo borgo e il versante sud con la folta vegetazione. Proprio a causa di quest'ultima il rilievo del versante non è stato accurato, poiché la vegetazione molto fitta, nonostante il rilievo sia stato effettuato a dicembre proprio per ridurre questo inconveniente, non ha permesso il riconoscimento dei punti sul terreno a meno di qualche punto sporadico rilevato tra i vuoti della vegetazione, motivo per cui il profilo che viene tracciato a partire da questo DSM risente a volte della presenza delle piante. Al fine di risolvere tale problema, può risultare utile "ricostruire" la geometria del versante, nelle zone dove l'andamento non è quello corretto, interpolando i punti isolati che sono stati rilevati sul terreno.

4.4 Ulteriori informazioni su Borgo San Lorenzo

Al fine di completare il quadro delle informazioni relative al Borgo San Lorenzo, utili ad una comprensione maggiore dei fenomeni in atto sulla località di interesse, è utile citare la presenza di una roggia, in parte intubata ed in parte a cielo aperto, che attraversa il borgo in direzione Ovest-Est.

La roggia ha la funzione di alimentare una serie di lavatoi posti lungo la via principale di San Lorenzo.



Figura 4-61) Roggia in Via Vittorio Veneto, Borgo San Lorenzo [fonte: cortesia GIT s.r.l.]

Da quanto riferito dal sindaco del Comune di Mongrando, tale roggia risulta chiusa da 2 anni circa. Non si esclude però che, nonostante non vi sia la presenza di acqua fluente proveniente molto probabilmente dalla diga Ingagna, la roggia funzioni come canale di scolo di diverse grondaie di abitazioni private che si affacciano su via Vittorio Veneto.

La conoscenza di questo eventuale utilizzo della roggia si ritiene molto utile, in fasi più avanzate delle indagini, al fine di valutare una possibile correlazione tra la presenza di acqua nella roggia e il livello di falda. Infatti la falda sottostante potrebbe essere alimentata dalle perdite della roggia, e quindi il livello di falda risentirebbe di questo apporto anche con la roggia non ufficialmente funzionante.

L'ultima informazione che si vuole presentare in questo paragrafo è lo stato di fatto degli edifici di Borgo San Lorenzo che si trovano in prossimità dei versanti.

Durante il sopralluogo del 16 Agosto 2022 sono state ispezionate alcune abitazioni che nel corso degli anni hanno subito dei danneggiamenti a causa dei cedimenti del terreno.

I danni si riscontrano non solo nelle abitazioni ma anche il manto stradale risente della condizione di precaria stabilità della zona, presentando diverse fratture dovute al cedimento del terreno sottostante.

Le immagini seguenti (Figura 4-62, Figura 4-63 e Figura 4-64) mostrano la situazione attuale. La presenza di evidenti lesioni e il disallineamento di alcuni muri perimetrali mette in evidenza la precaria stabilità degli edifici, che potrebbero essere soggetti ad ulteriori danni nel caso in cui si verificassero ulteriori eventi estremi, simili a quelli del Novembre 1994.



Figura 4-62) Fratture del manto stradale [fonte: cortesia GIT s.r.l.]



Figura 4-63) Frattura su muro perimetrale a ridosso della scarpata [fonte: cortesia GIT s.r.l.]



Figura 4-64) Muro inclinato in abitazione privata, in rosso è evidenziata la zona in cui è avvenuto il distacco tra copertura e muro [fonte: cortesia GIT s.r.l.]

5. Evento del 4-6 Novembre 1994

L'autunno del 1994 è stato caratterizzato da una forte instabilità metereologica. In particolare, a partire dalla seconda metà di ottobre, la regione è stata interessata da precipitazioni a carattere temporalesco. A causa di un afflusso di aria instabile, l'ultima decade del mese è stata poi soggetta all'intensificarsi dei fenomeni.

Le precipitazioni più consistenti sono iniziate il 4 Novembre, e si sono intensificate tra la notte del 4 e la giornata del 5 Novembre, per poi iniziare ad esaurirsi a partire dal 6 Novembre.

Al Nord la zona più colpita è stata quella della Val Sangone, il Canavese e il Biellese. Nel sud è stata particolarmente colpita la Valle Tanaro, il bacino del Belbo, le alte valli Bormida e la testata del bacino dell'Orba.

L'evento del '94 si colloca tra i più gravosi degli ultimi 50 anni dal punto di vista dei danni avvenuti a causa dell'elevata di precipitazione.

La provincia di Biella è stata abbondantemente interessata da diversi fenomeni franosi causati dall'evento meteorologico eccezionale del 4-6 Novembre.

La Figura 5-1 evidenzia quali sono stati i Comuni interessati.

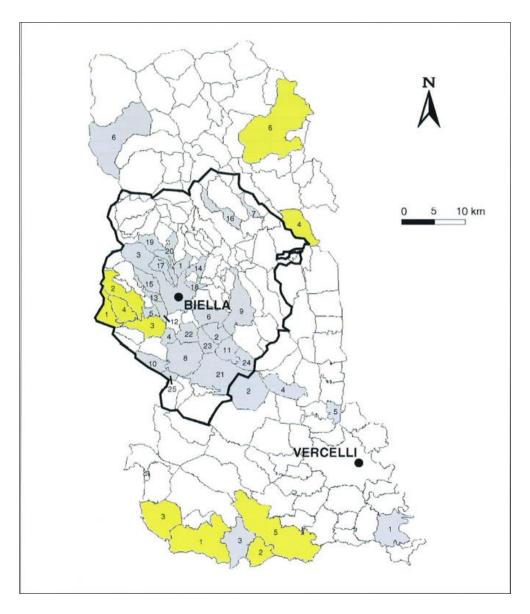


Figura 5-1) Comuni colpiti in provincia di Biella. in giallo i comuni alluvionati e compresi negli elenchi di cui ai DD.P.C.M. del 26 e 29-11-1994, in grigio i comuni alluvionati non inclusi nei DD.P.C.M. del 26 e 29-11-1994 [fonte: Arpa Piemonte]

Mongrando, indicato in Figura 5-1 con il numero 3 nella provincia di Biella, è stato tra i Comuni più colpiti. Il Comune è stato infatti interessato da dissesti lungo aste di corsi d'acqua montani o collinari ed in conoide e da processi su versanti per frane di diversa tipologia, ciò ha avuto come conseguenza il grave danneggiamento di alcuni edifici, altri ancora sono stati completamente distrutti.

Sulla base della documentazione consultata, gli effetti principali si sono registrati presso la località San Lorenzo, posta sulla sommità del rilievo collinare che si erge immediatamente a ovest del concentrico comunale. Dai dati di pioggia ricavati da diverse fonti, e che nel capitolo successivo saranno nel dettaglio analizzate, il territorio comunale di Mongrando è stato interessato da un'altezza di pioggia significativa di poco inferiore a 500 mm per le sole giornate del 4-6 Novembre (Figura 5-2).

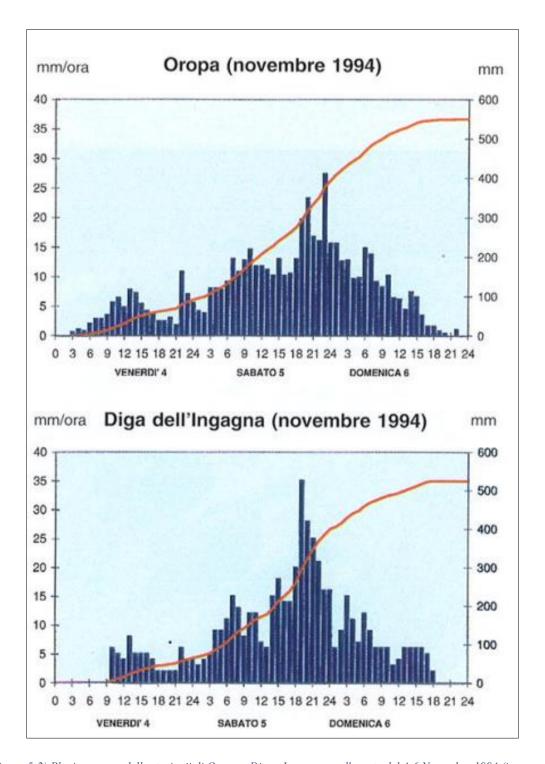
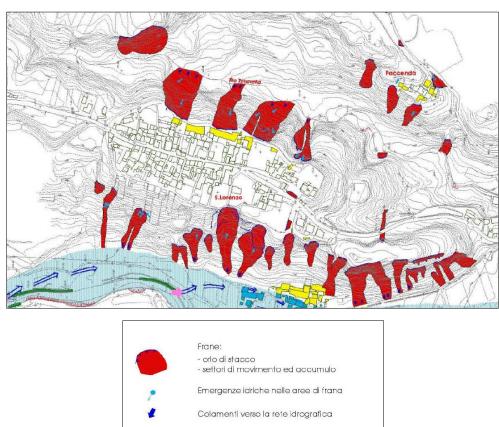


Figura 5-2) Pluviogramma delle stazionii di Oropa e Digna Ingagna per l'evento del 4-6 Novembre 1994 (in rosso la precipitazione cumulata) [fonte: Arpa Piemonte]

L'intensità maggiore dell'evento è stata raggiunta il 5 Novembre tra le 18 e le 21, costituendo l'evento più rilevante che sia mai stato registrato nella zona. Proprio nella fase di massima intensità, essendo il terreno ormai saturo a motivo delle precipitazioni antecedenti, sono anche avvenuti gli eventi di dissesto.

A seguito dell'evento idrogeologico, sono state mappate tutte le frane avvenute nella zona di San Lorenzo. La Figura 5-3 illustra la perimetrazione delle frane in zona Borgo San Lorenzo, includendo le due località adiacenti: frazione Tana e località Faccenda.



Frane:
- orlo di stacco
- settori di movimento ed accumulo

Emergenze idriche nelle aree di frana

Colamenti verso la rete idrografica

Edifici e manufatti danneggiati o minacciati:
- dai dissesti gravitativi
- dalla dinamica del corso d'acqua

Area esondata

Principali linee di deflusso
delle acque di piena

Zone di rotta spondale

Accentuati fenomeni di erosioni
di sponda

Ponti danneggiati o minacciati

Opere di difesa spondale

Figura 5-3) Perimetrazione frane [fonte: Carta dei dissesti del novembre 1994, cortesia GIT s.r.l.

I gravi dissesti che si sono verificati sul versante Nord di San Lorenzo hanno minacciato direttamente gli edifici posti in prossimità del ciglio della dorsale, giungendo con le nicchie di distacco a pochi metri dagli stessi o da manufatti di loro pertinenza, ed incombendo sull'alveo del rio Tenerello, corso d'acqua che poco a valle attraversa il capoluogo comunale. I dissesti in questa area sono stati pochi (sono mappate solo quattro colate) ma di dimensioni notevoli, interessando quasi completamente la superficie del versante.

I dissesti che si sono verificati sul versante Sud, hanno minacciato sia l'abitato di San Lorenzo, giungendo con le nicchie di distacco delle frane in prossimità di manufatti o strade, sia l'abitato di Tana, posto al piede dei ripidi versanti e soggetto pertanto alla caduta sia di blocchi che delle colate fluidificate degli scoscendimenti maggiori, causando l'interruzione della strada di accesso alla frazione.



Figura 5-4) Frana avvenuta in prossimità della chiesa di San Lorenzo [fonte: Arpa Piemonte]



Figura 5-5) Foto aerea Versante sud (in rosso sono perimetrate le frane che hanno interessato la frazione Tana) [fonte: Arpa Piemonte]

I dissesti, principalmente, si sono verificati per distacco della coltre superficiale in corrispondenza della parte più elevata del versante, immediatamente al piede dell'edificato, con innesco di serie di colamenti di materiale fluidificato (colate di fango, alberi e massi). I materiali collassati nel loro percorso verso il fondovalle hanno coinvolto e rimobilizzato le coperture e/o depositi di precedenti frane, sradicando anche alberi ad alto fusto. Infine, i materiali costituenti la colata fangosa si sono depositati alla base del pendio in parte ostruendo il Rio Tenerello.

In occasione delle piogge intense degli anni 2000, 2002 e 2014, inoltre, si sono verificati ulteriori fenomeni di dissesto, a seguito di riattivazioni di dissesti non sistemati e di accentuazione delle erosioni su aree denudate.

I fattori che hanno determinato i dissesti possono essere distinti in:

- Elementi predisponenti:
 - Elevata acclività dei versanti, particolarmente accentuata nella fascia superiore morenica;
 - Presenza di coltri superficiali sciolte, derivanti dalla progressiva alterazione dei depositi morenici, con conseguente diminuzione dell'addensamento e riduzione della coesione;
 - Presenza di alberi ad alto fusto, le cui radici non possono penetrare in profondità nel complesso morenico, a causa della sua compattezza.

- Fattore scatenante:

- Intensissime piogge del 5 novembre, le quali hanno dato luogo a due diverse conseguenze:
 - (a) Imbibimento e saturazione della coltre, con aggravio di peso e riduzione della resistenza a taglio;
 - (b) Innalzamento marcato degli acquiferi e in particolare di quello al tetto dei depositi grossolani, che così è giunto ad interessare il complesso morenico.

I fenomeni di dissesto sono progrediti in questi ultimi vent'anni, in maniera continua, portando (attualmente) il margine delle frane in prossimità delle abitazioni.

6. Idrologia dell'evento del 4-6 Novembre 1994

L'evento meteorico del Novembre 1994 viene ricordato per essere uno dei maggiori del recente passato (Figura 6-1).



Figura 6-1) Prima pagina de "La Stampa" del 7 Novembre 1994

La sua sviluppata estensione territoriale (ha infatti interessato diverse province del Piemonte) e le altezze di precipitazione registrate, fanno di questo evento uno dei più intensi degli ultimi 50 anni.

Al fine di comprendere la magnitudo dell'evento in questione, si è ritenuto utile valutare le altezze di precipitazione sul territorio di Borgo San Lorenzo, per risalirne al tempo di ritorno.

Per il comune di Mongrando non sono disponibili misurazioni dei livelli di precipitazione in quanto sul territorio comunale non è presente alcuna stazione di misura.

Al fine di valutare l'afflusso meteorico sulla località di interesse, si è fatto ricorso ai dati registrati presso altre stazioni meteoriche. Tramite interpolazione spaziale si è poi risaliti al valore di precipitazione su Borgo San Lorenzo.

Per la valutazione dell'altezza di pioggia dell'evento del 4-6 Novembre si sono scelte le stazioni limitrofe (all'interno di un raggio di circa 30 km) alla zona interessata (Figura 6-2).

Le stazioni considerate sono quelle di: Albano Vercellese (155 m s.l.m.), Borgofranco d'Ivrea (337 m s.l.m.), Diga Ingagna (365 m s.l.m.), Massazza (226 m s.l.m.), Masserano (243 m s.l.m.), Meugliano (650 m s.l.m.), Oropa (1180 m s.l.m.), Piverone (230 m s.l.m.), Rassa (950 m s.l.m.) e Zubiena.



Figura 6-2) Stazioni pluviometriche utilizzate, in rosso il punto scelto per l'interpolazione in corrispondenza di Borgo San Lorenzo [elaborazione QGis]

I dati di altezza di pioggia con aggregazione oraria sono stati reperiti dal portale regionale di Arpa Piemonte. I dati relativi alle stazioni Diga Ingagna e Zubiena hanno invece diversa origine: le altezze di pioggia misurate dal pluviometro della Diga Ingagna sono state estratte dalle relazioni geologiche allegate ai progetti esecutivi delle opere realizzate tra il 1997 e il 2006, mentre i dati della stazione Zubiena sono stati estratti dal portale della meteorologia e del clima Nimbus.

L'analisi spaziale di questi dati è stata eseguita con l'ausilio del software QGis. Il software mette a disposizione degli strumenti di analisi che permettono di eseguire attività di geoprocessing come l'interpolazione dei dati. Esistono diversi metodi di interpolazione, quelli maggiormente utilizzati sono il metodo IDW (Distanze inverse pesate) e il metodo TIN (Reti irregolari triangolari). Per le analisi di questa tesi è stato utilizzato il primo metodo, che si presta maggiormente all'interpolazione di dati di tipo pluviometrico.

Nel metodo IDW i punti campione vengono pesati durante l'interpolazione in modo che l'influenza di ogni punto rispetto agli altri diminuisca in base alla distanza dal punto in cui si vuole conoscere il valore interpolato. Il peso è assegnato ai campioni attraverso un coefficiente che controlla come l'influenza del peso diminuisca man mano che la distanza dal nuovo punto aumenta. Maggiore è il coefficiente, minore è l'effetto che i punti distanti dal punto sconosciuto avranno durante il processo di interpolazione. All'aumentare del coefficiente, il valore del punto sconosciuto si avvicina al valore del punto osservato più vicino.

L'output del processo di interpolazione è un layer raster bidimensionale che riporta, per ogni pixel, il valore di precipitazione ottenuto dall'interpolazione.

Questa operazione può essere effettuata scegliendo un'area all'interno della quale i vari pixel mostrano il dato ottenuto, oppure, come nel caso in esame, si è ritenuto più opportuno, viste anche le modeste estensioni superficiali della zona di interesse, scegliere un singolo punto che rappresentasse il valore di altezza di pioggia per tutta l'area (Figura 6-3).



Figura 6-3) Layer raster ottenuto tramite interpolazione del dato di pioggia su San Lorenzo. Il pixel in azzurro indica il punto scelto per calcolare il valore di altezza di pioggia tramite interpolazione [elaborazione QGis]

L'interpolazione è stata effettuata seguendo la scansione oraria dei dati.

Quindi, dati in input le varie altezze di precipitazione oraria registrate in ogni stazione presa in considerazione, si è ottenuto in output il valore di precipitazione nel punto considerato di Borgo San Lorenzo.

La Tabella 6-1 mostra i risultati ottenuti evidenziando gli intervalli orari in cui si sono raggiunti i massimi valori di altezza di pioggia:

Tabella 6-1) Valori di altezza di pioggia interpolati su San Lorenzo

Data [mm/gg/aaaa]	Ora	h pioggia [mm]	h max per diverse durate [mm]	cumulata giornaliera [mm]
11/04/1994	00:00	0,01		
11/04/1994	01:00	0,23		
11/04/1994	02:00	0,78		
11/04/1994	03:00	0,98		
11/04/1994	04:00	1,32		
11/04/1994	05:00	2,41		
11/04/1994	06:00	2,97		
11/04/1994	07:00	3,19		
11/04/1994	08:00	4,47		
11/04/1994	09:00	6,45		
11/04/1994	10:00	5,19		
11/04/1994	11:00	5,67		
11/04/1994	12:00	8,15		
11/04/1994	13:00	5,56		

11/04/1994					
11/04/1994	11/04/1994	14:00	5,03		
11/04/1994	11/04/1994	15:00	4,83		
11/04/1994 18:00 2,45 11/04/1994 19:00 2,00 11/04/1994 20:00 5,38 11/04/1994 21:00 6,81 11/04/1994 22:00 4,72 11/05/1994 00:00 3,13 11/05/1994 00:00 3,13 11/05/1994 00:00 5,67 11/05/1994 03:00 8,21 11/05/1994 05:00 10,97 11/05/1994 07:00 12,36 11/05/1994 09:00 11,39 11/05/1994 09:00 11,39 11/05/1994 10:00 1,53 11/05/1994 10:00 1,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 13:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 13:00 21,36 11/05/1994 13:00 21,36 11/05/1994 15:00 21,36 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 5,67 11/05/1994 15:00 5,67 11/05/1994 15:00 5,67 11/05/1994 15:00 10,92 11/05/1994 15:00 21,36 11/05/1994 20:00 21,36 11/05/1994 20:00 5,45 11/05/1994 00:00 5,45 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65 11/06/1994 00:00 5,65	11/04/1994	16:00	3,57		
11/04/1994 19:00 2,00 11/04/1994 20:00 5,38 11/04/1994 21:00 6,81 11/04/1994 22:00 4,72 11/05/1994 00:00 3,13 11/05/1994 00:00 4,92 11/05/1994 03:00 8,21 11/05/1994 03:00 8,21 11/05/1994 05:00 10,97 11/05/1994 05:00 10,97 11/05/1994 05:00 10,97 11/05/1994 06:00 12,99 11/05/1994 07:00 12,36 11/05/1994 09:00 11,39 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 10:00 11,75 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 19:00 23,41 <tr< td=""><td>11/04/1994</td><td>17:00</td><td>2,22</td><td></td><td></td></tr<>	11/04/1994	17:00	2,22		
11/04/1994	11/04/1994	18:00	2,45		
11/04/1994	11/04/1994	19:00	2,00		
11/04/1994 22:00 4,72 11/04/1994 23:00 4,19 11/05/1994 00:00 3,13 11/05/1994 01:00 4,92 11/05/1994 02:00 5,67 11/05/1994 03:00 8,21 11/05/1994 04:00 8,58 11/05/1994 05:00 10,97 11/05/1994 06:00 12,99 11/05/1994 07:00 12,36 11/05/1994 07:00 11,36 11/05/1994 09:00 11,39 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,8 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 21:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994	11/04/1994	20:00	5,38		
11/04/1994 23:00 4,19 11/05/1994 00:00 3,13 11/05/1994 01:00 4,92 11/05/1994 03:00 8,21 11/05/1994 03:00 8,21 11/05/1994 05:00 10,97 11/05/1994 06:00 12,99 11/05/1994 07:00 11,39 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 15:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 15:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 15:00 23,41 11/05/1994 15:00 23,41 11/05/1994 15:00 23,41 11/05/1994 15:00 21,36 11/05/1994 15:00 13,11 11/05/1994 15:00 13,11 11/05/1994 15:00 13,11 11/05/1994 15:00 13,11 11/05/1994 15:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 15:00 23,41 11/05/1994 15:00 21,36 11/05/1994 21:00 21,36 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,64 11/06/1994 00:00 5,55 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 11:00 3,30	11/04/1994	21:00	6,81		
11/05/1994 00:00 3,13 11/05/1994 01:00 4,92 11/05/1994 02:00 5,67 11/05/1994 03:00 8,21 11/05/1994 04:00 8,58 11/05/1994 06:00 10,97 11/05/1994 06:00 12,99 11/05/1994 07:00 12,36 11/05/1994 07:00 11,36 11/05/1994 07:00 11,33 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 13,11 11/05/1994 15:00 13,11 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 21:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 22:00	11/04/1994	22:00	4,72		
11/05/1994 01:00 4,92 11/05/1994 02:00 5,67 11/05/1994 03:00 8,21 11/05/1994 04:00 8,58 11/05/1994 05:00 10,97 11/05/1994 06:00 12,99 11/05/1994 06:00 12,99 11/05/1994 07:00 12,36 11/05/1994 09:00 11,39 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 21:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 </td <td>11/04/1994</td> <td>23:00</td> <td>4,19</td> <td></td> <td>88,55</td>	11/04/1994	23:00	4,19		88,55
11/05/1994 02:00 5,67 11/05/1994 03:00 8,21 11/05/1994 04:00 8,58 11/05/1994 05:00 10,97 11/05/1994 06:00 12,98 11/05/1994 07:00 12,36 11/05/1994 08:00 9,64 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/06/1994 03:00 5,45 205,40 max 12 h	11/05/1994	00:00	3,13		
11/05/1994 03:00 8,21 11/05/1994 04:00 8,58 11/05/1994 05:00 10,97 11/05/1994 06:00 12,99 11/05/1994 07:00 12,36 11/05/1994 08:00 9,64 11/05/1994 09:00 11,39 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 19:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h	11/05/1994	01:00	4,92		
11/05/1994 04:00 8,58 11/05/1994 05:00 10,97 11/05/1994 06:00 12,99 11/05/1994 07:00 12,36 11/05/1994 08:00 9,64 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00	11/05/1994	02:00	5,67		
11/05/1994 05:00 10,97 11/05/1994 06:00 12,99 11/05/1994 07:00 12,36 11/05/1994 08:00 9,64 11/05/1994 09:00 11,39 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 21:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 23:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00	11/05/1994	03:00	8,21		
11/05/1994 06:00 12,99 11/05/1994 07:00 12,36 11/05/1994 08:00 9,64 11/05/1994 09:00 11,39 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 03:00 <	11/05/1994	04:00	8,58		
11/05/1994 07:00 12,36 11/05/1994 08:00 9,64 11/05/1994 09:00 11,39 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 21:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00	11/05/1994	05:00	10,97		
11/05/1994 08:00 9,64 11/05/1994 09:00 11,39 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 14:00 14,79 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994	11/05/1994	06:00	12,99		
11/05/1994 09:00 11,39 11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 14:00 14,79 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 <t< td=""><td>11/05/1994</td><td>07:00</td><td>12,36</td><td></td><td></td></t<>	11/05/1994	07:00	12,36		
11/05/1994 10:00 11,53 11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 14:00 14,79 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 <tr< td=""><td>11/05/1994</td><td>08:00</td><td>9,64</td><td></td><td></td></tr<>	11/05/1994	08:00	9,64		
11/05/1994 11:00 7,88 11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 14:00 14,79 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 06:00 6,93	11/05/1994	09:00	11,39		
11/05/1994 12:00 7,10 11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 14:00 14,79 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 <td< td=""><td>11/05/1994</td><td>10:00</td><td>11,53</td><td></td><td></td></td<>	11/05/1994	10:00	11,53		
11/05/1994 13:00 13,75 11/05/1994 14:00 14,79 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 <td< td=""><td>11/05/1994</td><td>11:00</td><td>7,88</td><td></td><td></td></td<>	11/05/1994	11:00	7,88		
11/05/1994 14:00 14,79 11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994	11/05/1994	12:00	7,10		
11/05/1994 15:00 12,35 11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 10:00 3,30 11/06/1994 10:00 3,30 11/06/1994 1	11/05/1994	13:00	13,75		
11/05/1994 16:00 13,11 11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 10:00 4,44	11/05/1994	14:00	14,79		
11/05/1994 17:00 19,14 11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/05/1994	15:00	12,35		
11/05/1994 18:00 29,71 29,71 max 1 h 11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/05/1994	16:00	13,11		
11/05/1994 19:00 23,41 11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/05/1994	17:00	19,14		
11/05/1994 20:00 21,36 74,48 max 3 h 11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/05/1994	18:00	29,71	29,71 max 1 h	
11/05/1994 21:00 21,94 11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 04:00 5,64 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/05/1994	19:00	23,41		
11/05/1994 22:00 15,33 130,89 max 6 h 11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 04:00 5,64 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/05/1994	20:00	21,36	74,48 max 3 h	
11/05/1994 23:00 15,06 314,32 11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 04:00 5,64 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/05/1994	21:00	21,94		
11/06/1994 00:00 5,45 205,40 max 12 h 11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 04:00 5,64 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/05/1994	22:00	15,33	130,89 max 6 h	
11/06/1994 01:00 7,30 11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 04:00 5,64 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/05/1994	23:00	15,06		314,32
11/06/1994 02:00 10,92 324,27 max 24 h 11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 04:00 5,64 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/06/1994	00:00	5,45	205,40 max 12 h	
11/06/1994 03:00 8,29 11/06/1994 04:00 5,64 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/06/1994	01:00	7,30		
11/06/1994 04:00 5,64 11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/06/1994	02:00	10,92	324,27 max 24 h	
11/06/1994 05:00 9,13 11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/06/1994	03:00	8,29		
11/06/1994 06:00 6,93 11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/06/1994	04:00	5,64		
11/06/1994 07:00 5,15 11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/06/1994	05:00	9,13		
11/06/1994 08:00 4,62 11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44	11/06/1994	06:00	6,93		
11/06/1994 09:00 4,58 11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44					
11/06/1994 10:00 2,52 11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44					
11/06/1994 11:00 3,30 11/06/1994 12:00 4,44		09:00	4,58		
11/06/1994 12:00 4,44		10:00	2,52		
	· ·	11:00	3,30		
11/06/1994 13:00 4,48					
	11/06/1994	13:00	4,48	J	

11/06/1994	14:00	4,44
11/06/1994	15:00	4,24
11/06/1994	16:00	3,44
11/06/1994	17:00	1,33
11/06/1994	18:00	0,54
11/06/1994	19:00	0,26
11/06/1994	20:00	0,00
11/06/1994	21:00	0,65
11/06/1994	22:00	0,00
11/06/1994	23:00	0,00
11/07/1994	00:00	0,00

97,66

Da quanto riportato in Tabella 6-1 si evince che la massima altezza di pioggia è stata registrata alle ore 18 del 5 Novembre, raggiungendo il valore di circa 30 mm in 1 ora. Tale valore è cresciuto nel tempo, raggiungendo poco più di 324 mm in 24 ore (dalle ore 3:00 del 5 Novembre alle 2:00 del 6 Novembre).

Relativamente ai giorni solari del 4, 5 e 6 Novembre, le altezze di pioggia sono state rispettivamente di circa 88 mm, 314 mm e 97 mm. Complessivamente si è raggiunto il valore di quasi 500 mm di pioggia in soli due giorni.

Al fine di comprendere la magnitudo di tale evento è utile confrontare il dato appena ottenuto con le altezze di precipitazione attese annualmente in Piemonte.

Arpa Piemonte riporta in una pubblicazione annuale (*Il Clima in Piemonte*) l'altezza di precipitazione cumulata annua attesa valutata su un campione di un certo numero di anni. L'ultima pubblicazione disponibile è quella che analizza il clima in Piemonte nell'anno 2021.

Nella pubblicazione appena citata, Arpa valuta, per la Provincia di Biella, un'altezza di pioggia cumulata sull'intero anno di circa 1250 mm, calcolata su un periodo climatico che va dal 1991 al 2020.

Risulta quindi immediata la comprensione della portata dell'evento del 1994: in sole 72 ore è piovuto poco meno della metà del quantitativo di pioggia atteso in un anno.

Dai dati interpolati si può quindi tracciare il pluviogramma relativo ai giorni 4-6 Novembre 1994, riportato nella Figura 6-4.

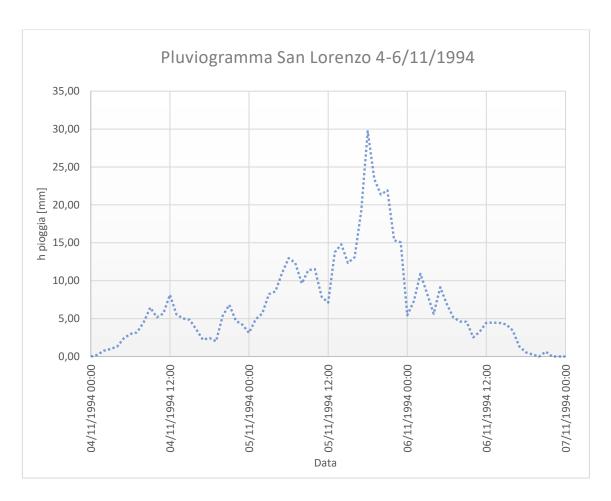


Figura 6-4) Pluviogramma San Lorenzo 4-6/11/1994

Dal grafico si nota come le piogge più violente siano concentrate tra le ore 18 e le ore 21 del 5 Novembre. In questo intervallo di tempo si sono anche verificati la maggior parte dei fenomeni di dissesto gravitativo sui versanti della collina su cui sorge l'abitato.

La conoscenza dei valori di altezza di pioggia permette di risalire al tempo di ritorno dell'evento. In idrologia si definisce tempo di ritorno il tempo medio che intercorre tra due eventi di assegnata intensità.

Il tempo di ritorno può essere valutato facendo riferimento alle curve di possibilità pluviometrica (CPP).

Queste curve esprimono la relazione che esiste tra l'altezza di precipitazione e la loro durata, per un assegnato valore del tempo di ritorno. Le CPP vengono ricavate a partire dalle serie storiche dei massimi annuali delle piogge di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore, utilizzando poi analisi statiche tramite l'ausilio di predefiniti modelli probabilistici (per esempio distribuzione di Gumbel o GEV).

L'Alante Piogge Intense del Piemonte fornisce l'andamento delle CPP calcolate tramite la distribuzione Gumbel e GEV.

All'interno del webgis di Arpa Piemonte è possibile selezionare la cella ricadente all'interno del

territorio di interesse per visualizzare i diversi parametri utili a definire una CPP per il luogo selezionato.



Figura 6-5) Portale Atlante Piogge intense del Piemonte con localizzazione su Borgo San Lorenzo (in rosso la cella considerata) [fonte: Arpa Piemonte]

Ogni casella è identificata da coordinate di Longitudine e Latitudine espresse nel sistema UTM (WGS84) che identificano la posizione del punto centrale della cella stessa.

Borgo San Lorenzo ricade all'interno di diverse celle. Si è scelto di considerare i valori presenti nella cella centrale in quanto all'interno di questa ricade il punto impostato su QGis per calcolare le altezze di pioggia durante l'evento del 4-6 Novembre. Va comunque precisato che trovandoci nelle condizioni di estensione areale molto limitata, non si commette un grosso errore se si considerano i valori di altezza di pioggia delle CPP sull'intero borgo utilizzando sono quelli della cella centrale. Infatti i valori di altezza di pioggia delle CPP nelle celle contigue a quella considerata differiscono di qualche millimetro, motivo per cui si è ritenuto sufficiente considerare quelli di una sola cella, non estendendo il calcolo a quelle contigue.

La cella scelta è identificata dalle coordinate: Longitudine: 421.655, Latitudine: 5.040.960.

Per conoscere i tempi di ritorno di una precipitazione di assegnata durata bisogna inserire nello stesso grafico delle CPP i valori di altezza di pioggia per le diverse durate rilevate durante l'evento meteorico.

Nella seguente tabella sono riportate le altezze di pioggia su Borgo San Lorenzo per gli intervalli di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, calcolati a partire dai dati interpolati tramite QGis.

Tabella 6-2) Valori di altezza di pioggia per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore su Borgo San Lorenzo nell'evento del 5-6 Novembre

t [ore]	h [mm]
1	33,5
3	82,9
6	130,9
12	205,4
24	324,2

Tali valori vengono quindi inseriti all'interno delle CPP fornite da Arpa Piemonte (Figura 6-6 e Figura 6-7).

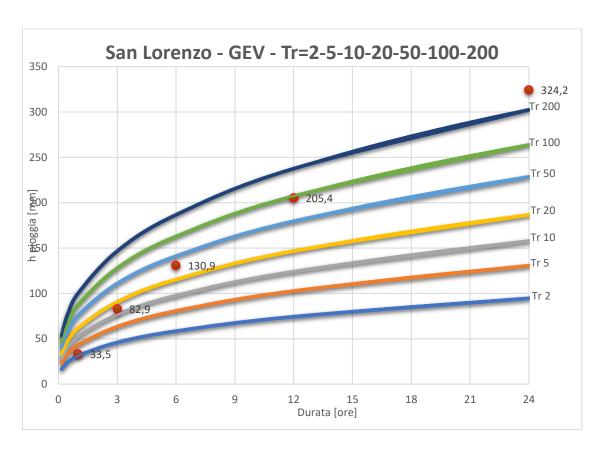


Figura 6-6) CPP GEV San Lorenzo

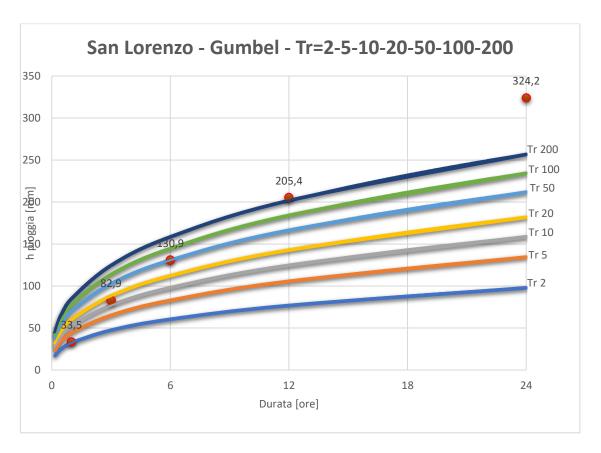


Figura 6-7) CPP Gumbel San Lorenzo

I risultati ottenuti dai due grafici mostrano come l'evento del 1994 abbia avuto, per le diverse durate, tempi di ritorno diversi, crescenti con la durata dell'evento.

Nonostante la GEV riporti valori più alti delle altezze di pioggia per le diverse durate e tempi di ritorno³, l'evento del 5-6 Novembre supera comunque il tempo di ritorno di 200 anni per la durata di 24 ore.

6.1 Altezza di precipitazione antecedente all'evento

Come anticipato nei capitoli precedenti, una delle cause di innesco delle *shallow landslide* è una pioggia costante e prolungata per tempi lunghi.

³ Il motivo per cui la CPP calcolata con la distribuzione di Gumbel restituisce valori minori di altezza di pioggia per le diverse durate e tempi di ritorno è dovuto al numero di parametri della distribuzione stessa, in quanto la distribuzione di Gumbel, rispetto alla distribuzione GEV, non tiene conto del momento del terzo ordine che risente della presenza di *outlier*.

Le relazioni geologiche allegate ai progetti relativi alle opere di stabilizzazione dei versanti realizzate negli anni successivi l'evento del '94, riportano che al momento degli eventi di dissesto il suolo era completamente saturato a motivo delle prolungate piogge.

Per questo motivo si è valutata anche l'altezza di precipitazione del mese antecedente all'evento analizzato.

In questa analisi sono stati presi in considerazione i valori di altezza di pioggia registrati dai pluviometri presso le seguenti località: Albano Vercellese, Borgofranco d'Ivrea, Massazza, Masserano, Meugliano, Oropa, Piverone e Rassa. Non sono presenti le stazioni di Diga Ingagna e Oropa poiché non è stato possibile reperire i dati per l'intervallo di tempo considerato.

Anche in questo caso si è proceduto tramite interpolazione spaziale dei dati tramite software QGis così come descritto nel paragrafo precedente.

Per brevità non si riporta la tabella delle altezze di pioggia su San Lorenzo, ma si illustra direttamente il pluviogramma risultante.

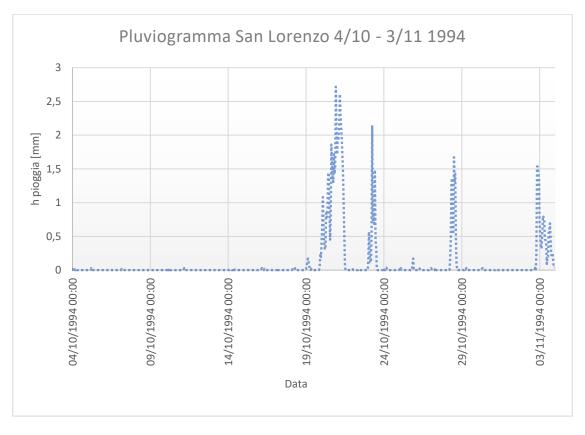


Figura 6-8) Pluviogramma San Lorenzo dal 4/10 al 4/11 1994

Dalla Figura 6-8 si evince chiaramente la presenza di eventi di precipitazione antecedenti al 4 Novembre.

Tali eventi sono comunque minoritari rispetto a quanto registrato in data 4-6 Novembre

Considerando i trenta giorni precedenti l'evento analizzato, l'altezza di pioggia registrata è pari a 84 mm.

Valutando complessivamente il periodo di tempo considerato (4 Ottobre – 6 Novembre 1994) la quantità di pioggia precipitata è stata di 550 mm circa (quasi la metà di tutta la precipitazione attesa in un anno in provincia di Biella), di cui circa 500 mm nell'arco di 72 ore (4-6 Novembre 1994) (Figura 6-9).

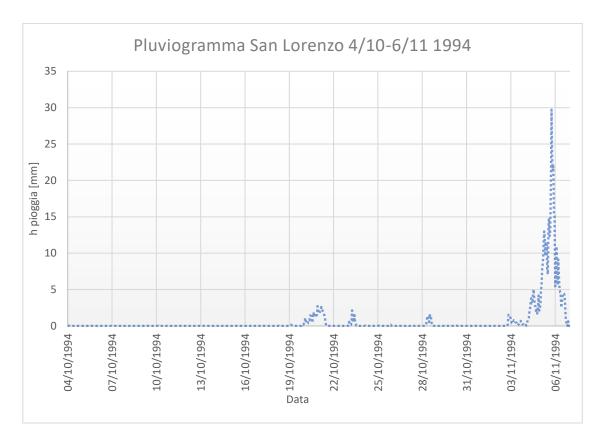


Figura 6-9) Pluviogramma San Lorenzo dal 4/10 al 6/11 1994

6.2 Valutazione della pioggia efficace

L'altezza di precipitazione calcolata fin ora viene definita precipitazione lorda.

La precipitazione lorda è quella che effettivamente raggiunge il suolo (a meno delle perdite di evapotraspirazione che in questo caso si sono ritenute trascurabili), mentre la pioggia efficace (o netta) è quella che effettivamente produce il deflusso. Infatti, la precipitazione, raggiunto il suolo,

si divide in due componenti: una si infiltra nel terreno, mentre la restante produce il deflusso superficiale.

Nei capitoli precedenti, tra le cause delle *shallow landslide* è stato indicato il fenomeno dell'erosione dovuto al ruscellamento superficiale dell'acqua. Per questo motivo, si è ritenuto opportuno valutare il valore di precipitazione efficace.

Il metodo adottato per questa analisi è il metodo afflussi-deflussi SCS CN Curve Number. Questo metodo studia la risposta idrologica di un bacino per la stima dei deflussi superficiali (o pioggia netta).

Il metodo, proposto dal Soil Conservation Service, assume che il volume specifico del deflusso superficiale (P_e) sia proporzionale alla precipitazione cumulata lorda (P), depurata dell'assorbimento iniziale (I_a), secondo il rapporto tra il volume specifico infiltrato (F) e il volume specifico di saturazione del terreno (S) (Equazione 6.1):

$$P_e = \frac{(P - I_a)F}{S} \tag{6.1}$$

Con:

- P_e: pioggia netta [mm];
- P: pioggia lorda [mm];
- S: volume specifico di saturazione del terreno [mm];
- I_a: assorbimento iniziale, pari a 0.15S [mm];
- F: volume specifico infiltrato [mm].

Sostituendo ad F l'espressione 6.2 ottenuta dall'equazione di continuità:

$$F = P - I_a - P_e \tag{6.2}$$

Si ottiene l'equazione 6.3:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \tag{6.3}$$

Il volume specifico di saturazione dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, globalmente rappresentati dal parametro CN, secondo la relazione 6.4:

$$S = S_0(\frac{100}{CN} - 1) \tag{6.4}$$

Con:

- CN: parametro compreso tra 0 e 100 (con CN=0 tutta la precipitazione si infiltra, CN=100 tutta la precipitazione si trasforma in deflusso superficiale);
- S₀: fattore di scala pari a 254 mm.

Il parametro CN è dipendente da:

- Natura litologica del suolo;
- Tipo di copertura (uso del suolo);
- Condizioni di umidità del suolo antecedenti un evento meteorico;
- Stagione di riposto o crescita della vegetazione.

Per facilitare la determinazione di tale parametro sono a disposizione delle tabelle che classificano i suoli.

Per prima cosa bisogna individuare la tipologia di terreno. La Tabella 6-3, fornita dal Soil Conservation Service, aiuta ad individuare la classe corretta tra le quattro proposte.

Tabella 6-3) Classi per le diverse tipologie di suolo secondo SCS

CLASSE	TIPOLOGIA DI TERRENO
CEASSE	THI GEOGRA DI TERRENO
	Scarsa potenzialità di deflusso:
А	comprende strati profondi di sabbia con scarsissimo limo e argilla, strati profondi
	di limo calcareo, limi aggregati. Si ha un tasso d'infiltrazione elevato anche
	quando i terreni sono completamente bagnati.
	Potenzialità di deflusso mediamente bassa:
В	comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi di quelli
	appartenenti al gruppo A, strati sottili di limo calcareo, loam (mistura di sabbia,
	limo, argilla e humus).
	Potenzialità di deflusso mediamente alta:
С	comprende suoli sottili contenenti considerevoli quantità di argilla, loam argillosi,
	strati sottili di loam sabbiosi, terreni con ridotti contenuti organici.
	Potenzialità di deflusso molto alta:
D	comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento,
	sabbie saline e suoli sottili con orizzonti impermeabili in vicinanza della superficie.

L'area considerata si può ascrivere alla tipologia B, di permeabilità bassa, non totalmente impermeabile.

Nel dettaglio, come deducibile dalla Figura 6-10, la litologia dell'area in esame risulta essere contraddistinta prevalentemente da depositi glaciali.



Figura 6-10) Unità geologica Pg11 "Depositi glaciali di fondo e di ablazione" [fonte: Arpa Piemonte]

Va poi definita la classe del suolo (uso del suolo). Per l'uso del suolo si riferimento alla Tabella 6-4:

Tabella 6-4) Valori di CN in base all'uso del suolo

Valori del parametro CN (adimensionale)		o idrol	ogico S	Suolo
↓ Tipologia di Uso del Territorio	Α	В	С	D
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m^2 (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500+1000 m² (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m^2 (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali , lotti di 1500+2000 m^2 (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000+5000 m^2 (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m^2 (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade,		98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio		98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terrra	72	82	87	89

Con riferimento alle informazioni sulla mappa Land Cover presente sul Geoportale della regione Piemonte (Figura 4-2), il territorio di San Lorenzo può essere così sinteticamente suddiviso: boschi e foreste (50%), zone residenziali (37%), strade pavimentate o asfaltate (5%), spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50% ed il 75% dell'area (8%).

Il parametro CN complessivo della situazione in esame viene calcolato come media pesata delle quattro zone individuate, ottenendo un valore pari a 70.

Il valore di CN individuato si riferisce a condizioni medie. Per una corretta valutazione di questo parametro va considerata la condizione di umidità antecedente (AMC) l'inizio dell'evento. La Tabella 6-5 individua la classe AMC tenendo conto della precipitazione dei 5 giorni precedenti l'evento considerato.

Dai dati a disposizione, l'altezza di precipitazione nei 5 giorni antecedenti l'evento (30/10 - 3/11 1994) risulta essere complessivamente pari a 16 mm.

Tabella 6-5) Classi AMC

Classe AMC	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7 mm	<35.5 mm
II	12.7-28.0 mm	35.5-53.3 mm
III	>28.0 mm	>53.3 mm

La stagione in cui è avvenuta la precipitazione è considerata stagione di riposo. Quindi con riferimento a quanto riportato sopra, si ricade all'interno della classe AMCII e perciò il valore di CN da considerare sarà il CN(II), ovvero quello in condizioni medie, già calcolato e pari a 70.

Si può procedere quindi al calcolo della precipitazione efficace tramite la 6.3.

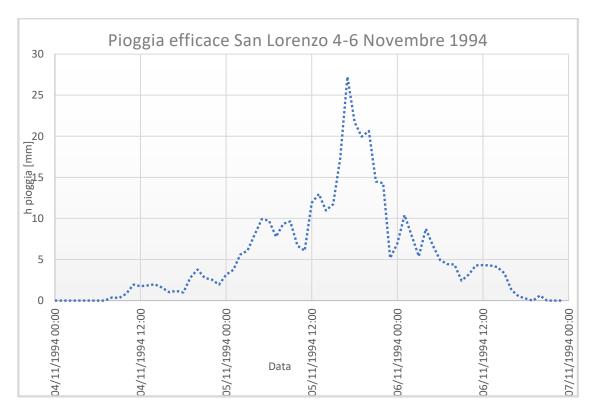


Figura 6-11) Pioggia efficace del 4-6 Novembre 1994

Dalla Figura 6-11 si evince che nelle prime ore del 4/11 non si è avuto deflusso superficiale. Questo è dovuto al fatto che l'assorbimento iniziale (I_a) è maggiore della precipitazione (P) che arriva al suolo, quindi tutta l'acqua che raggiunge il terreno viene assorbita.

La formazione del deflusso si ha quando il valore di precipitazione cumulato è superiore al valore dell'assorbimento iniziale. Questo avviene a partire dalle ore 9 del 4 Novembre.

Risulta utile la conoscenza dell'altezza di precipitazione infiltrata (che ha determinato la completa saturazione del suolo) che ha contribuito all'innesco dei fenomeni di instabilità. Tale valore è dato dalla differenza tra pioggia lorda e netta, a meno di trascurare il valore delle perdite iniziali I_a. Considerando come ora di riferimento per l'innesco dei fenomeni franosi le ore 18 del 5 Novembre, i risultati delle elaborazioni idrologiche indicano un'altezza di precipitazione infiltrata pari a 100 mm nel periodo che va dal 4 Novembre alle ore 18 del 5 Novembre. Tale valore di altezza di precipitazione è considerato quello che ha causato la completa saturazione del suolo.

La Figura 6-12 illustra infine il confronto tra la precipitazione lorda e quella efficace (o netta). Il grafico mostra come a partire dalle ore 18 del 5 Novembre il terreno si sia saturato completamente. A causa di ciò tutta la pioggia lorda si trasforma in precipitazione efficace formando deflusso.

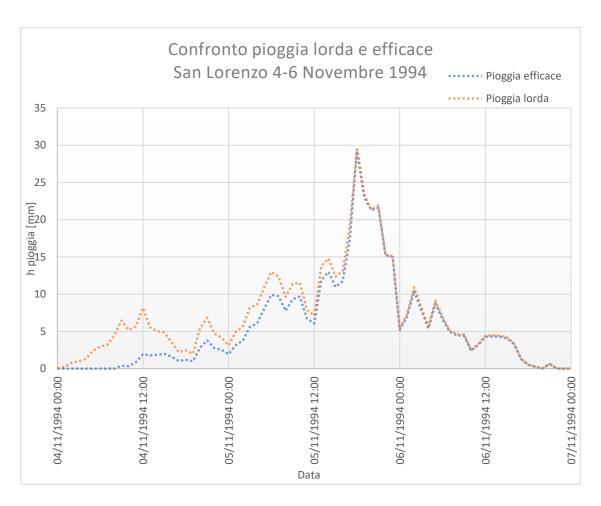


Figura 6-12) Confronto pioggia 4-6 Novembre 1994

7. Modello di calcolo

I capitoli precedenti hanno delineato lo stato di fatto della zona in esame. Risulta evidente che quanto progettato tra il 1997 e il 2006 è in gran parte irrimediabilmente danneggiato non svolgendo più alcuna azione stabilizzante. L'abitato di San Lorenzo si trova quindi in una condizione di precaria stabilità a causa dell'inesistenza di interventi risolutori. Inoltre la presenza delle nicchie di distacco in prossimità delle abitazioni è una chiara indicazione sulla possibilità che durante un ulteriore evento meteorico estremo come quello del novembre 1994, le frane potrebbero interessare direttamente le abitazioni causandone gravi danni.

Il presente capitolo ha quindi lo scopo di individuare le condizioni di innesco, nello specifico le soglie minime di precipitazione che potrebbero causare i fenomeni di dissesto, tramite l'applicazione di un modello idrologico e di stabilità dei pendii all'equilibrio limite. Uno dei principali motivi di innesco di frane superficiali è legato infatti all'infiltrazione di acqua nel terreno, che genera una falda temporanea nella zona di contatto tra strati a diversa permeabilità provocando l'aumento della pressione interstiziale e di conseguenza la riduzione della resistenza a taglio del terreno, fino alla formazione di una superficie di scorrimento nel pendio, lungo la quale avviene la frana).

Con un modello semplificato e parametri stimati alla media-grande scala, è stato possibile quindi correlare i livelli critici di precipitazione alla distribuzione spaziale delle aree potenzialmente instabili.

La scelta di dedicare una parte di questa tesi ad indagini di tipo previsionale a media-grande scala, rientra nell'ottica di coniugare la realizzazione del progetto di fattibilità per l'abitato di San Lorenzo con aspetti teorici e pratici appresi durante il corso di studi in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio, in particolare con riferimento agli argomenti di protezione civile.

Per la definizione delle soglie critiche di precipitazione e della carta di pericolosità si è fatto riferimento al modello di Montgomery e Dietrich (1994). Nonostante l'area di interesse, argomento di questa tesi, sia solo l'abitato di San Lorenzo, il modello è stato applicato ad una zona più estesa avente al centro di essa la zona in questione. Tale scelta si è ressa necessaria in quanto i parametri di cui necessita il modello risentono degli effetti di bordo. Scegliendo quindi una zona più ampia, si può affermare con una certa ragionevolezza che il modello funziona bene nella zona di interesse, in quanto gli effetti di bordo sono risolti prima che si arrivi alla computazione dei parametri al centro dell'area considerata.

Il modello di Montgomery e Dietrich è stato applicato con l'ausilio di un sistema informativo geografico (GIS), in particolare si è ricorsi all'uso del software QGis. In ambienti GIS è infatti possibile rappresentare diverse variabili mantenendone l'attributo della localizzazione geografica.

Quindi, definite le varie caratteristiche idrologiche, geologiche e pedologiche del terreno, la possibilità di implementare le equazioni del metodo di Montgomery e Dietrich all'interno del software permette di ottenere agevolmente i risultati sottoforma di mappe.

Tra i vari modelli disponibili in letteratura la scelta è ricaduta su quello di Montgomery e Dietrich in quanto tale modello, che è già stato utilizzato per la redazione della Carta della Pericolosità per instabilità dei versanti – foglio 211, DEGO, come descritto nelle Note Illustrative (Campus, Forlati & Nicolò, 2005):

- È un metodo conosciuto e universalmente accettato;
- È di facile implementazione e richiede la conoscenza di relativamente pochi parametri;
- Fornisce risultati accettabili in rapporto ai bassi costi di realizzazione della base dati che richiede;
- Modella bene i processi legati ad eventi meteorologici di lunga durata.

7.1 Modello di Montgomery e Dietrich (1994)

L'approccio di Montgomery e Dietrich accoppia un modello idrologico ed uno di stabilità dei pendii all'equilibrio limite.

Tale modello si basa su delle assunzioni che di seguito vengono elencate:

- Pendio indefinito (si intende quella situazione stratigrafica in cui la profondità dello strato instabile è molto minore rispetto all'estensione longitudinale di instabilità; attraverso l'assunzione di tale ipotesi è possibile svolgere le analisi su un solo elemento rappresentativo, ed estendere poi i risultati a tutta la superficie instabile);
- Superficie di rottura piana, parallela al pendio e localizzata al contatto tra la coltre detritica alterata superficiale e lo strato sottostante a minore permeabilità;
- Criterio di resistenza del terreno espresso secondo Mohr-Coulomb in termini di tensioni efficaci: $(\tau_f = c' + \sigma_n' tan \varphi')$;
- Flusso stazionario parallelo al pendio;
- Assenza di drenaggio profondo e di flusso nel substrato.

Il principio degli sforzi efficaci mette in relazione l'altezza dello strato di terreno saturo alla tensione normale al piano di rottura, nello specifico all'aumentare dell'altezza h dello stato di terreno saturo si ha una diminuzione della tensione agente normalmente al piano di rottura con la conseguente riduzione della resistenza a taglio lungo la medesima superficie.

È possibile stabilire una relazione tra altezza dello strato di terreno saturo indicato con h e spessore totale della coltre detritica, indicato con z. La relazione tra queste due grandezze è espressa dalla Equazione 7.1:

$$\frac{h}{z} = \frac{q}{T} \cdot \frac{a}{b \cdot \sin \theta} = W \tag{7.1}$$

Con:

- q : pioggia netta infiltrata [L/T];
- $T: K \cdot z \cdot cos\theta$ = trasmissività idraulica [L²/T];
- K : coefficiente di permeabilità del terreno saturo [L/T];
- a : area contribuente (superficie drenata a monte di ogni cella) [L²];
- b : larghezza della sezione di deflusso [L];
- W : rapporto tra lo spessore dello strato saturo e lo spessore totale della coltre detritica;
- θ : inclinazione del versante [rad]

I parametri idrologici e topografici su cui si basa il modello di Montgomery e Dietrich compaiono nell' Equazione 7.1. In particolare a secondo membro il termine idrologico è quello in funzione della pioggia netta infiltrata e della trasmissività idraulica. Il termine topografico include i parametri a, b e θ . Le informazioni su questi ultimi parametri sono state ottenute a partire dal modello digitale del terreno, tramite operazioni in ambiente GIS.

Come detto in precedenza, al modello idrologico, il metodo di Montgomery e Dietrich accoppia un modello di stabilità che permette di valutare nell'area in esame il fattore di sicurezza relativo all'innesco del fenomeno di scivolamento superficiale.

Tale fattore di sicurezza (Equazione 7.2) tiene conto delle ipotesi precedentemente assunte ovvero pendio indefinito con filtrazione parallela alla superficie e resistenza a taglio espressa secondo il criterio di Mohr-Coulomb. Introducendo il termine W, dato dal rapporto tra spessore del terreno in condizioni di saturazione e spessore verticale della coltre detritica, il fattore di sicurezza può essere così espresso:

$$F = \frac{c' + (\gamma - W \cdot \gamma_w) \cdot z \cdot \cos^2 \theta \cdot tan\varphi}{\gamma \cdot z \cdot sin\theta \cdot cos\theta}$$
 [7.2]

Tale formulazione riprende quella di Skempton e De Lory (1957), i cui termini hanno il seguente significato:

- c': coesione efficace [M /T²L];
- z : profondità verticale della superficie di scivolamento [L];
- γ : peso del terreno umido per unità di volume [M/L³];
- γ_w : peso dell'acqua per unità di volume [M/L³];
- φ': angolo di resistenza a taglio del terreno [rad];

Il metodo di Montgomery e Dietrich premette quindi in individuare la condizione di instabilità per ogni cella del dominio di calcolo.

Tale condizione è espressa dall'Equazione 7.3

$$\frac{a}{b} \ge \left[\frac{c'}{\gamma_w \cdot z \cdot \cos^2 \theta \cdot tan\varphi'} + \frac{\gamma}{\gamma_w} \cdot \left(1 - \frac{tan\theta}{tan\varphi'} \right) \right] \cdot \frac{T}{q} \cdot \sin\theta$$
 [7.3]

Questa condizione è però affiancata da altre due condizioni:

 Condizione di assoluta stabilità, che si verifica in quelle celle del dominio in cui è valida l'equazione 7.4:

$$tan\theta \le (1 - \frac{\gamma_w}{\gamma}) \cdot tan\varphi' \tag{7.4}$$

Questa condizione è soddisfatta da tutti gli elementi topografici che sono stabili anche in condizione di completa saturazione del terreno (ovvero W=1). Tale relazione, non includendo l'eventuale presenza di coesione del terreno, è definita in modo conservativo;

- Condizione di assoluta instabilità, che si verifica in quelle celle del dominio in cui è valida l'Equazione 7.5:

$$tan\theta \ge \frac{c'}{\gamma \cdot z \cdot \cos^2 \theta} + tan\varphi' \tag{7.5}$$

Questa condizione è soddisfatta invece da tutti quegli elementi che risultano instabili anche in assenza di pioggia.

Dalla Equazione 7.3 è inoltre possibile ricavare la soglia di infiltrazione critica che porta a condizioni di equilibrio limite (Equazione 7.6), ovvero F pari a 1. Infatti, imponendo l'uguaglianza tra primo e secondo termine e valutando il valore di q, si ottiene l'Equazione 7.6

$$q_{cr} = \left[\frac{c'}{\gamma_w \cdot z \cdot \cos^2 \theta \cdot tan\varphi'} + \frac{\gamma}{\gamma_w} \cdot \left(1 - \frac{tan\theta}{tan\varphi'}\right)\right] \cdot \frac{T \cdot b \cdot sin\theta}{a}$$
 [7.6]

Tale equazione identifica, per ogni cella, il valore critico di precipitazione infiltrata che porta l'elemento topografico ad una condizione di instabilità.

7.2 Modellazione GIS

Lo scopo di questa analisi è quindi di valutare le condizioni di stabilità del territorio di San Lorenzo per diversi scenari di pioggia, tramite l'implementazione delle equazioni sopra riportate. Come già accennato, il modello richiede la conoscenza di diversi parametri. Di seguito si riporta il procedimento effettuato per la determinazione di tali parametri inseriti in input all'interno di QGis.

7.2.1 Parametri geotecnici

Tra i parametri da valutare, molti sono di natura geotecnica. È noto che questi parametri risentano di una forte incertezza poiché l'analisi su campioni di dimensioni limitate ed estrapolati dal loro contesto naturale può spesso essere causa di errori nell'interpretazione delle misure. Inoltre l'elevata estensione dell'area di studio e la presenza di indagini limitata alla sola area di San Lorenzo, fanno sì che l'incertezza derivante da essi sia ancora maggiore. Risulta quindi necessario specificare che i parametri di seguito valutati sono di carattere puntuale e quindi non rappresentativi dell'area circostante. Però in assenza di altre prove sul dominio di calcolo e vista l'omogeneità della litologia della zona (tutta l'area è interessata dalla formazione morenica) è stata fatta l'assunzione semplificativa di considerare tali parametri omogenei in tutto il dominio di calcolo.

I parametri geotecnici richiesti in input al modello sono:

- Peso del suolo in condizioni umide;
- Angolo di attrito e coesione del terreno, provenienti dal criterio di rottura secondo l'espressione di Mohr-Coulomb;
- Permeabilità dello strato interessato.

I valori di tali parametri sono stati desunti da prove effettuate nella zona di San Lorenzo.

Come riportato nel capitolo 4, nel corso degli ultimi 25 anni il sito è stato oggetto di diverse prove, utili per caratterizzare i materiali presenti il loco e per monitorare lo stato della falda. Avendo a disposizione diverse prove si è scelto quindi di determinare il valore di peso del suolo in condizioni umide e angolo di attrito effettuando una media pesata tra i vari risultati delle varie prove a disposizione, dando maggior peso ai parametri desunti da prove effettuate negli strati più superficiali, appartenenti alla coltre detritica superficiale soggetta allo scivolamento.

Per il valore di permeabilità, invece si dispone di un'unica prova effettuata nei pressi della zona del cimitero di San Lorenzo. Tale valore si è assunto costante per tutta l'area di San Lorenzo e per tutto il dominio di calcolo.

I risultati di tali prove sono riportati negli allegati 1, 2 e 3, di seguito è riportata una tabella riepilogativa (Tabella 7-1) con i parametri adottati per la modellazione.

Tabella 7-1) Parametri geotecnici

Grandezza	Valore
Peso in condizioni di suolo umido	19,02 kN/m³
Angolo di attrito	32°
Coesione di base	25 KPa
Permeabilità	2,3 e-6 m/s

Per la valutazione della coesione nell'area di studio non si è scelto di considerare un solo valore omogeneo per tutta l'estensione del dominio, ma si è applicato il metodo suggerito nelle Note Illustrative della Carta della Pericolosità per instabilità dei versanti alla scala 1:50.000 foglio 211 DEGO (Campus et al. 2005).

Il valore della coesione è stato calcolato tenendo conto dell'influenza che hanno gli apparati radicali su questo parametro. È infatti riconosciuto che la presenza di apparati radicali svolge la funzione di incrementare la coesione naturale del terreno. Considerata la copertura del suo derivante dal Corine Land Cover si è ritenuto appropriato differenziare il valore di coesione secondo la seguente relazione (Equazione 7.7):

$$c' = c'_{suolo} + \Delta c \tag{7.7}$$

La coesione del solo terreno è stata valutata durante alcune prove effettuate nel 1997 nell'ambito della redazione dei primi progetti per le opere di stabilizzazione dei versanti. Per la misura della coesione del terreno si dispone di tre prove di taglio diretto che hanno restituito valori di coesione compresi tra 18 e 39 kPa. Si è quindi scelto di assumere un valore costante per tutta l'area pari a 25 kPa inteso come contributo della coesione del solo terreno. La componente derivante dagli apparati radicali è stata valutata, per ciascuna classe CORINE, in base al tipo di copertura vegetale descritta nella carta di copertura del suolo (*land cover*).

La Tabella 7-2, che riporta un estratto della tabella⁴ presente nelle Note Illustrative della Carta della Pericolosità per instabilità dei versanti alla scala 1:50.000 foglio 211 DEGO (Campus et al., 2005), indica i valori di incremento di coesione adottati per ciascuna classe di copertura del suolo presente nel dominio di calcolo. Nell'elenco sono incluse nella valutazione della pericolosità anche le superfici artificiali, che sono generalmente prive di suolo e non caratterizzabili dal punto di vista geomeccanico, poiché:

- occupano in larga parte aree pianeggianti o sub-pianeggianti che il modello di pericolosità individua, a priori, come stabili;

⁴ Note Illustrative della Carta della Pericolosità per instabilità dei versanti alla scala 1:50.000 foglio 211 DEGO, pag. 165

- le porzioni di superfici artificiali che non rientrano nel caso precedente, insistenti su aree caratterizzate da pendenze potenzialmente sufficienti per l'innesco di fenomeni franosi, sono ubicate nelle zone perimetrali di tale classe di copertura dove possono essere presenti coltri potenzialmente mobilizzabili;
- la classe in oggetto comprende la sottoclasse "Aree estrattive, discariche e cantieri (1.3)" in cui rientrano superfici chiaramente artificiali e prive di copertura vegetale ma con accumuli di materiale di riporto potenzialmente rimobilizzabili (Campus et al., 2005).

Tabella 7-2) Incremento coesione per diversa copertura del suolo (fonte: Campus et al., 2005)

Classe Corine	Definizione	Classe di incremento di	Incremento di coesione
Land Cover		coesione	[kPa]
1	Superfici artificiali	0	0
2.1.1	Seminativi in perimetri irrigui	2	3
2.2	Colture permanenti	3	3
2.3	Prati e pascoli	5	12
3.1.1	Boschi di latifoglie	5	12
3.1.2	Boschi di conifere	6	15
3.2	Zone a vegetazione arbustiva	3	6
	e/o erbacea		
3.3.1	Greti fluviali	0	0

La classe di incremento di coesione per diverse coperture del suolo deriva dalla sintesi di due aspetti: la densità della copertura del suolo da parte della vegetazione e l'approfondimento degli apparati radicali. Ognuno dei due aspetti è suddiviso in quattro sottoclassi (che vanno da 0 a 3). La somma dei valori delle sottoclassi dei due aspetti considerati definisce la classe di incremento di coesione, che può oscillare tra 0 (quando entrambe le sottoclassi di densità di copertura del suolo e approfondimento dell'apparato radicale sono pari a 0) e 6 (quando le sottoclassi di densità di copertura del suolo e approfondimento dell'apparato radicale sono entrambe pari a 3). A ogni classe di incremento di coesione è quindi correlato un certo valore (che oscilla tra 0 e 15 kPa) di incremento di coesione.

Quindi, con riferimento alla Tabella 7-2, il valore di coesione di base è stato incrementato con i valori riportati per ottenere la coesione del suolo che tiene conto della presenza degli apparati radicali.

L'ultimo parametro geotecnico da stimare è la potenza degli strati. Questo parametro valuta la profondità dell'ipotetico spessore instabile, quindi è tra i parametri di maggiore importanza. Per

la zona in esame non si dispone di alcun rilievo utile al fine di valutare gli spessori dello strato superficiale. Si è quindi fatto riferimento ad altri dati al fine di ricavare le informazioni per la definizione di questo parametro: le stratigrafie dei sondaggi effettuati in situ e ad alcune informazioni circa la geometria delle frane avvenute nel novembre del 1994. Tramite queste informazioni si è indicativamente valutato uno spessore medio dello strato superficiale. I sondaggi di cui si dispone di stratigrafia sono quelli già citati nel capitolo 4, relativi alla sola area di Borgo San Lorenzo. Per l'attribuzione della profondità degli stati si è quindi deciso di differenziare le diverse profondità nella zona interessata dai sondaggi, in base ai dati desunti dalle informazioni presenti, e di attribuire un valore medio alla profondità dello strato superficiale nell'area circostante.

7.2.2 Parametri topografici

I parametri topografici di pendenza e immersione richiesti nel modello di Montgomery e Dietrich sono stati derivati tramite funzioni di processing implementate nel software QGis.

La pendenza è un parametro fondamentale perché è l'elemento discriminante per la valutazione della stabilità in ogni cella del dominio.

L'analisi delle variazioni locali di pendenza del terreno si basa sul calcolo delle derivate prima e seconda dell'equazione della superficie topografica, che è nella forma z = f(x,y), e ricopre un ruolo primario nella valutazione della stabilità dei versanti poiché ad una maggiore variazione di pendenza corrisponde una maggiore instabilità dei terreni.

Nel software QGis il calcolo della pendenza di un terreno viene effettuato sulla base di una struttura dati raster GRID le cui celle contengono l'informazione altimetrica. Per ogni cella la quota viene calcolata come rapporto tra la differenza di quota (*rise*) tra la cella immediatamente vicina e quella corrente e la distanza (*run*) tra i centri delle due celle.

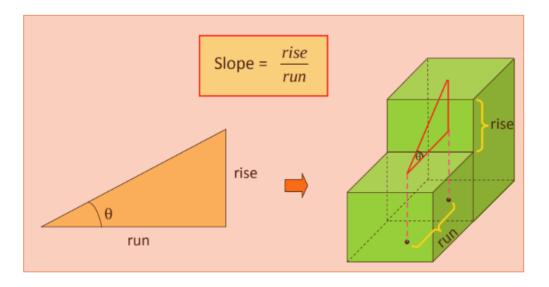


Figura 7-1) Schema per il calcolo della pendenza [fonte: https://www.nicoladeinnocentis.it/geomorfologia-analisi]

Il calcolo della pendenza viene effettuato valutando le variazioni di quota tra una cella e le sue otto adiacenti (finestra mobile 3x3). Dall'insieme di valori di pendenza così calcolati, alla cella viene assegnato uno dei seguenti parametri statistici: il massimo, la media, la mediana.

Un ulteriore parametro richiesto dal modello è l'immersione, detta anche esposizione, di ciascuna cella. L'esposizione di una superficie esprime l'orientamento dei versanti rispetto ai punti cardinali. Può essere considerato come il calcolo della direzione della massima pendenza, motivo per cui tale parametro non ha significato per le superfici parallele al piano orizzontale.

Il layer dell'esposizione contiene valori da 0 a 360° che esprimono la direzione dell'inclinazione, partendo dal nord (0°) e continuando in senso orario. Il valore di ogni cella viene calcolato tramite una finestra mobile 3x3 che "visita" ogni cella del raster in input e incorporando i valori delle 8 celle adiacenti restituisce un valore per ogni cella al centro della finestra.

È utile ricordare nuovamente che le informazioni a disposizione sono di carattere puntuale e quindi non rappresentativi di aree vaste. Le assunzioni fatte nella scelta dei parametri, risultano però coerenti con quanto visto in campo.

La mappa di Figura 7-2 riporta le diverse attribuzioni della profondità dello strato superficiale nel dominio di calcolo.



Figura 7-2) Spessore coltre e legenda

7.2.3 Parametri idrologici

Come detto precedentemente, il modello di Montgomery e Dietrich accoppia un modello di stabilità ad un modello idrologico. Risulta quindi necessario definire anche alcuni parametri di natura idrologica al fine di definire il completo dataset dei parametri in input. Tali parametri sono:

- Area contribuente: che è definita come l'area a monte di ogni cella che contribuisce al drenaggio dell'acqua netta infiltrata.

È stata calcolata tramite lo strumento di processing *r.flow* implementato in QGis, che restituisce tre diverse informazioni: *flowlines*, *flowpath length* e *flowaccumulation*. *r.flow* genera delle linee di flusso partendo da dati input proveniente da una mappa raster di quote (come lo è il DTM), o anche da mappe raster dei valori di immersione. L'output *flowline* è generato da monte verso valle.

I segmenti lineari dei vettori *flowline* hanno un punto finale sui bordi di una griglia formata disegnando linee immaginarie attraverso il centro delle celle del DTM. Una *flowline* si interrompe se il segmento successivo inverte la direzione del flusso (da sopra a sotto o viceversa), incontra una barriera o incontra una cella con un valore indefinito di quota o immersione.

Il layer raster delle *flowpath length* contiene, per ogni cella, la somma delle lunghezze planari di tutti i segmenti di *flowline* generate da quella cella.

Il raster *flowaccumulation* è ricavato infine partendo da monte verso valle o viceversa e contiene, per ogni cella, il numero di celle a monte che drenano nella cella in questione. L'area contribuente è quindi calcolata come prodotto tra il layer raster *flowaccumation* e

l'area di ogni singola cella costituente il DTM ovvero 25 m², ottenendo un nuovo layer raster che in ogni cella individua l'area a monte di essa che drena nella cella interrogata.

- Larghezza della sezione di deflusso: tale valore è definito tramite l'Equazione 7.8:

$$b = \frac{l}{\cos\beta} \tag{7.8}$$

Con:

- 1: lato della cella (che in questo caso è pari a 5m);
- β: angolo di immersione (calcolato in precedenza) riportato al primo e ottavo ottante della circonferenza goniometrica.

L'ultimo parametro idrologico da determinare è il valore di pioggia netta, ovvero l'altezza di precipitazione che si infiltra nel terreno durante un evento meteorico. A tal scopo si è scelto di utilizzare un modello di infiltrazione, in questo caso il metodo afflussi-deflussi SCS Curve Number, per valutare il quantitativo di precipitazione infiltrata partendo da dei dati di precipitazione lorda per vari tempi di ritorno. Per la determinazione di tali valori si è fatto ricorso a quanto riportato sull'Atlante delle piogge intense del Piemonte che riporta i valori di precipitazione per 7 diversi tempi di ritorno (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 anni). A partire da tali valori e con l'applicazione del metodo del CN si è determinato il quantitativo di pioggia infiltrata che è stato usato all'interno del modello.

Con riferimento all'uso del suolo riportato nel Corine Land Cover Piemonte, analogamente a quanto fatto nel capitolo 6, si è calcolato il valore di CN per il dominio di calcolo. Considerate tutte le diverse coperture del suolo, si è ottenuto un valore di CN pari a 68. Tramite l'applicazione dell'Equazione 6.1 si è quindi calcolato il quantitativo di precipitazione infiltrato.

La tabella 0-2 riporta i valori di altezza di pioggia lordi, desunti dal portale Arpa Piemonte, e quelli netti, ricavati a seguito dell'applicazione del metodo del CN.

Tabella 7-3) Intensità di pioggia per diversi tempi di ritorno

Tempo di ritorno [anni]	h pioggia lorda[mm/24h]	h pioggia infiltrata [mm/24h]
2	97.8	69.6
5	134.4	81.3
10	158.6	87.23
20	181.8	91.94
50	211.8	96.97
100	234.3	100.13
200	256.7	102.88

7.3 Risultati dell'analisi

I paragrafi precedenti hanno mostrato come sono stati ricavati i dati in input al modello. A partire da questi tramite l'ausilio del raster calculator presente in QGis, è stato possibile ottenere i risultati tramite l'implementazione delle equazioni presenti nel modello di Montgomery e Dietrich.

7.3.1 Verifica delle condizioni di assoluta stabilità e instabilità

La prima applicazione è stata fatta per la valutazione delle aree di assoluta stabilità e instabilità. L'applicazione delle Equazioni 7.4 e 7.5 permette di valutare quali porzioni di territorio sono completamente stabili anche in condizioni di terreno saturo e quali sono completamente instabili anche in condizioni di suolo asciutto.

L'analisi per l'assoluta stabilità è indipendente dalla coesione e quindi risente solo dall'angolo di inclinazione del terreno e dall'angolo di attrito del materiale. In particolare, l'assoluta stabilità è verificata se la tangente dell'angolo di inclinazione è minore o uguale alla metà circa della tangente dell'angolo di attrito.

La valutazione dell'assoluta instabilità è invece dipendente dalla coesione, oltre che da altri parametri tra cui lo spessore della coltre detritica e l'angolo di attrito del materiale. Per tenere conto anche degli scenari più sfavorevoli si è simulato un doppio scenario per la condizione di assoluta instabilità, valutando il caso estremo di coesione nulla e il caso in cui sia presente la coesione. La Figura 7-3 riporta il risultato ottenuto dall'implementazione delle Equazioni 0.3 e 0.4.

La valutazione della stabilità assoluta mostra che la maggior parte del territorio in esame risulta assolutamente stabile, e ciò in accordo con quanto detto precedentemente, poiché l'angolo di attrito è maggiore della pendenza del terreno. Trovandoci in prossimità di zone di pianura, è evidente che la pendenza del terreno risulti minima, a fronte di un angolo di attrito che rimane costante in tutta la zona, motivo per cui gran parte del territorio è stabile.

Le zone di assoluta instabilità, valutata in presenza di coesione, sono invece molto ridotte e si trovano sui versanti di Borgo San Lorenzo e in prossimità della diga Ingagna (Figura 7-3). La presenza di zone assolutamente instabili, che nella realtà invece non sono presenti è legata alla conservatività del metodo; infatti al fine di mantenere un approccio cautelativo si tende a non sovrastimare la coesione, inoltre la presenza delle aree assolutamente instabili potrebbe essere data dalla presenza di terreno parzialmente saturo, che non viene considerato all'interno del modello, e in ultimo dalla presenza di opere di stabilizzazione di versante, che a fronte di una geometria poco favorevole alla stabilità, mantengono invece in equilibrio il pendio.

È stata successivamente valutata l'assoluta instabilità anche in assenza di coesione (Figura 7-4). Questo scenario è stato simulato per prevedere anche una situazione particolarmente sfavorevole che però nella realtà raramente accade. Può però capitare che aree limitate siano interessate da suoli privi di coesione, e che quindi necessitino di un particolare monitoraggio.

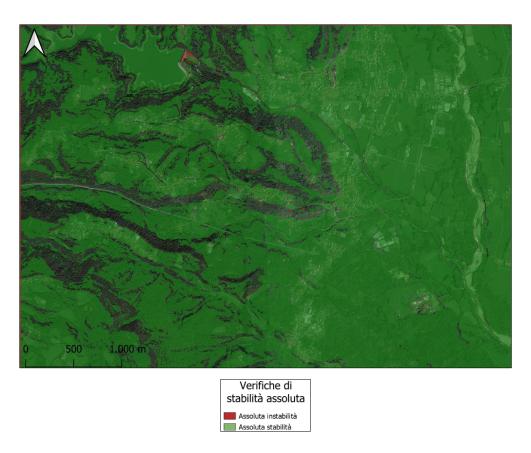


Figura 7-3) Risultato assoluta stabilità e instabilità con coesione

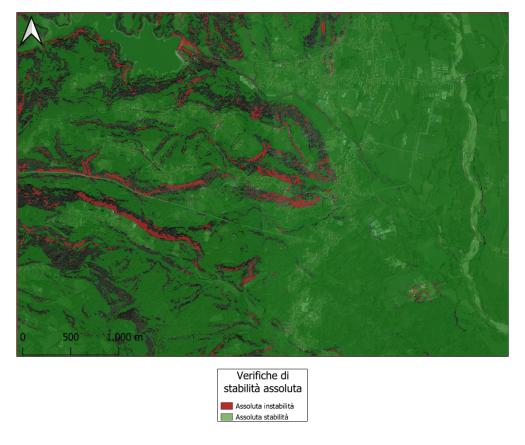


Figura 7-4) Risultato assoluta stabilità e instabilità in assenza di coesione

L'analisi di assoluta instabilità in assenza di coesione mostra una quantità maggiore di aree soggette all'instabilità. Questo risultato è coerente con i principi della geotecnica, ovvero che l'assenza di coesione rendo un pendio maggiormente instabile. Tenuto conto però della poca attinenza alla realtà della condizione di suoli privi di coesione, si è ritenuto poco opportuno valutare i successivi parametri di pioggia critica e fattore di sicurezza anche in assenza di coesione. Le valutazioni successive sono quindi effettuate implementando le equazioni del metodo di Montgomery e Dietrich solo in presenza di coesione.

7.3.2 Calcolo della pioggia critica

La pioggia critica è l'altezza di precipitazione infiltrata che porta il pendio ad una condizione di equilibrio limite, ovvero al raggiungimento di un valore del fattore di sicurezza pari a 1.

A partire dall'Equazione 7.6 è stato possibile ricavare per ogni cella del dominio di calcolo quel valore di precipitazione che la rende instabile. I risultati ottenuti sono mostrati nella Figura 7-5, la quale riporta le altezze di precipitazione per una durata di 24 ore che rendono instabile ogni cella. Le altezze di pioggia crescenti sono rappresentate dal colore più scuro a quello più chiaro.

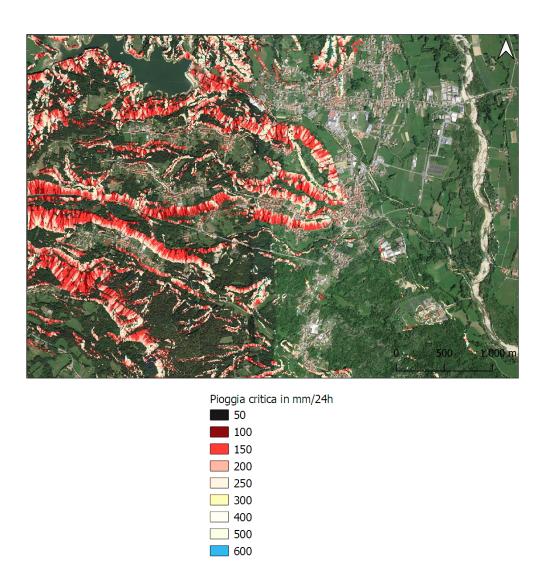


Figura 7-5) valutazione dell'altezza di pioggia critiche per la durata di 24h

7.3.3 Calcolo del fattore di sicurezza e realizzazione della mappa di pericolosità

L'applicazione dell'Equazione 7.2 permette di valutare il fattore di sicurezza per ogni cella al variare della precipitazione infiltrata.

L'altezza di precipitazione infiltrata, riportata in Tabella 7-3, è stata ricavata a partire dalle Curve di Possibilità Pluviometrica presenti nell'Atlante delle Piogge intense del Piemonte. Nel caso in esame è stata considerata solo la durata di 24 ore, e tramite l'applicazione del metodo del SCS Curve Number, è stata ricavata la pioggia infiltrata. Tale parametro condiziona il valore del fattore di sicurezza poiché rientra all'interno del termine W, presente al numeratore dell'Equazione 7.2.

Calcolato il valore di W a partire dai dati della Tabella 7-3 sono stati ricavati i risultati presentati nelle figure da 7-6 a 7-12, che mostrano le porzioni di territorio interessate dall'instabilità al variare del quantitativo di pioggia infiltratosi.

Le immagini evidenziano con diversi colori tre intervalli del fattore di sicurezza ottenuto. Nello

specifico in rosso sono evidenziate le celle aventi un fattore di sicurezza minore di 0.9, che è indice di sicura instabilità del pendio per le determinate condizioni di pioggia. In giallo sono indicate le celle il cui fattore di sicurezza è prossimo all'unità, variano cioè da 0.9 a 1.1. In tali celle la stabilità non è assicurata poiché, a causa dell'incertezza con cui vengono determinati i parametri che rientrano all'interno della formula, è largamente riconosciuto che valori molto vicini all'unità non diano certezza della stabilità del pendio proprio a causa degli errori che possono essere insiti nel calcolo dei diversi parametri. Per quanto appena detto, sono classificate come stabili le celle che hanno un fattore di sicurezza maggiore di 1.1, evidenziate in verde nelle figure.

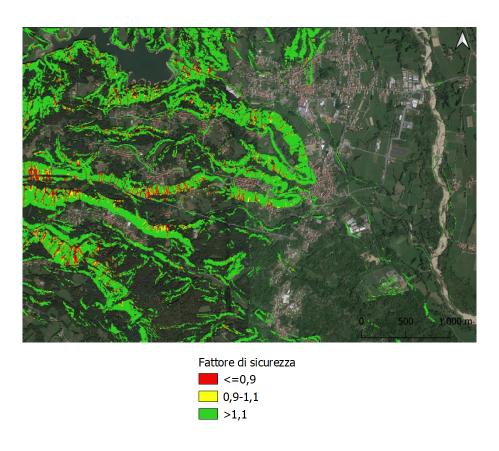


Figura 7-6) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 2 anni

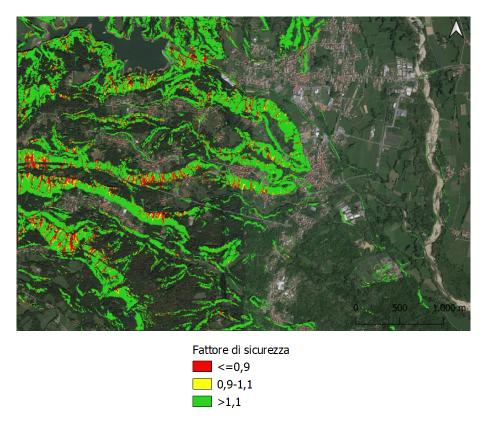


Figura 7-7) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 5 anni

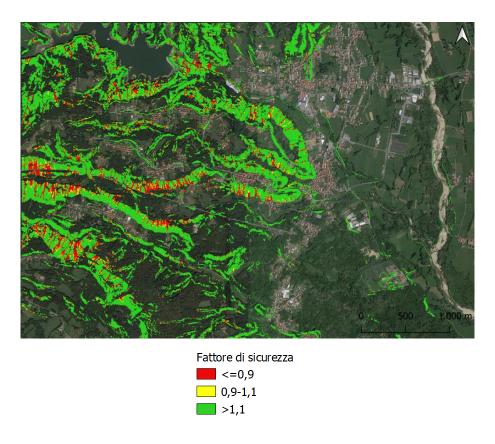


Figura 7-8) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 10 anni

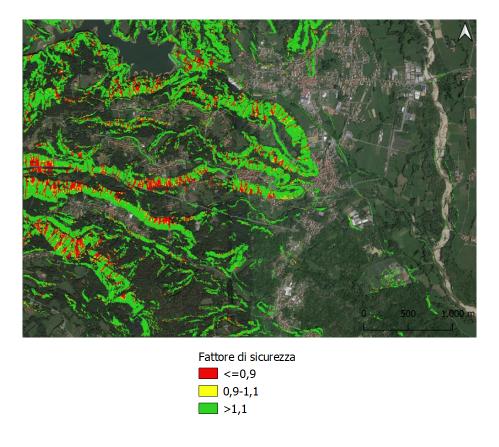


Figura 7-9) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 20 anni

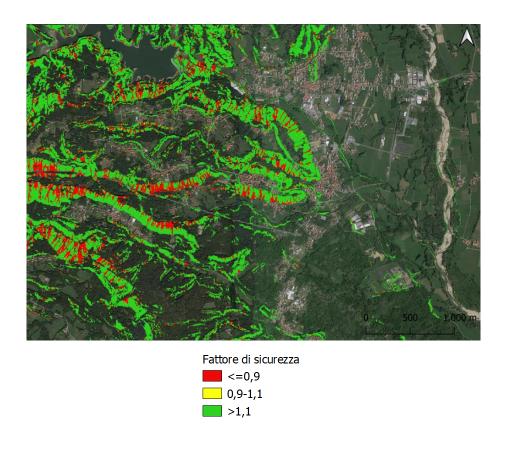


Figura 7-10) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 50 anni

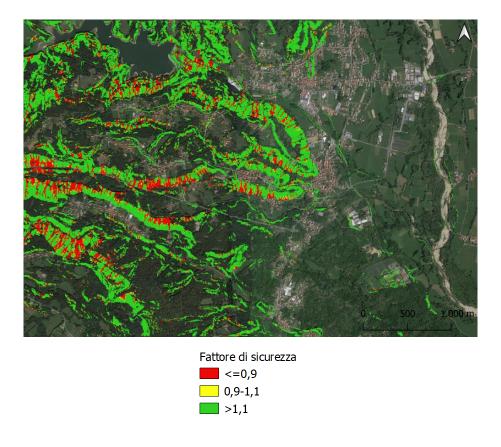


Figura 7-11) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 100 anni

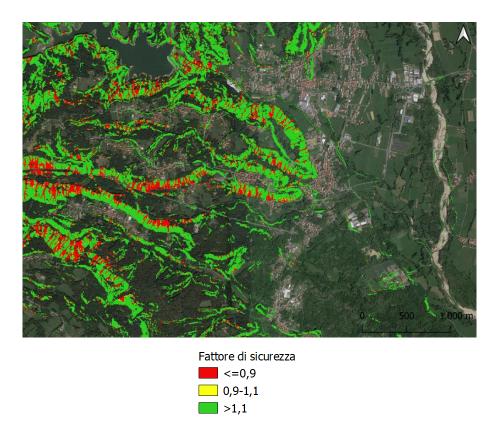


Figura 7-12) Fattore di sicurezza per una precipitazione avente tempo di ritorno pari a 200 anni

Le figure appena riportate mostrano quanto ci si aspettava: le zone instabili aumentano di estensione man mano che aumenta il tempo di ritorno (e quindi l'intensità di pioggia), poiché sempre più celle sono interessate da un'altezza di pioggia critica che genera l'instabilità.

A partire da quanto appena ricavato è possibile costruire la mappa di pericolosità.

Una mappa di pericolosità illustra le diverse aree che vengono interessate dai fenomeni al variare del tempo di ritorno.

In particolare nella mappa di Figura 7-13 sono rappresentate con colori diversi le aree soggette a fenomeni di instabilità superficiale al variare del tempo di ritorno delle precipitazioni.

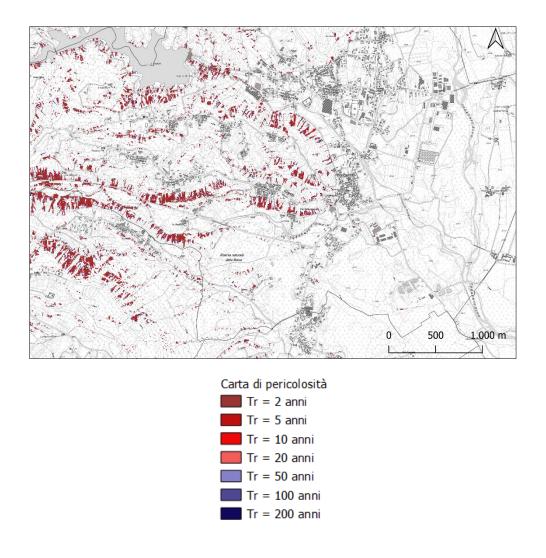


Figura 7-13) Mappa di pericolosità

La Figura 7-13 mostra come diverse aree siano soggette a fenomeni di instabilità per tempi di ritorno che vanno da 0 a 200 anni. La maggior parte dell'area considerata (che non è stata precedentemente classificata come assolutamente stabile o instabile) è invece soggetta a frane superficiali relativi ad eventi avente tempo di ritorno maggiore di 200 anni. Tali porzioni di territori non sono state rappresentata nella mappa.

La mappa di pericolosità ottenuta permette di fare un confronto con l'evento del 1994. Dai dati ottenuti risulta evidente che eventi simili a quelli del 1994 potrebbero ripetersi e avere effetti devastanti. Va ricordati che i risultati ottenuti sono generalmente cautelativi e nonostante le semplificazioni adottate per l'applicazione del modello risultano però coerenti con quanto avvenuto in passato.

8. Conclusioni

Nel Novembre del 1994 il territorio comunale di Borgo San Lorenzo, frazione del comune di Mongrando fu colpito da un violento evento meteorico. L'elevato apporto di precipitazione sul territorio fu la causa scatenante di numerose frane superficiali (*shallow landslides*) che interessarono diverse aree del comune, in particolare la piccola collina su cui sorge Borgo San Lorenzo. A distanza di quasi 30 anni dall'evento, lo scopo centrale di questa tesi è stato la valutazione delle attuali condizioni di stabilità del territorio e l'analisi preliminare della pericolosità legata alle frane superficiali con riferimento alla piovosità storica della zona.

Dopo una breve introduzione sulla classificazione dei fenomeni franosi, dei metodi di stabilizzazione di versante e degli strumenti di monitoraggio delle frane, la prima parte della tesi è stata dedicata alla presentazione di tutti i diversi progetti che hanno interessato Borgo San Lorenzo aventi la finalità di mettere in sicurezza l'abitato. Da quanto riportato emerge la chiara realtà che allo stato attuale solo una minima parte delle opere progettate è ancora in condizioni tali da svolgere un'azione stabilizzante. L'abitato di San Lorenzo è quindi altamente suscettibile a nuovi fenomeni franosi che potrebbero verificarsi a seguito di eventi estremi di pioggia.

In seguito sono state riportate tutte le informazioni raccolte sulle indagini geologiche e geotecniche effettuate in passato sul territorio ed è stato anche presentato il piano indagini attualmente in corso.

I dati così acquisiti sono stati utilizzati nell'ambito di un metodo semplificato di valutazione della stabilità dei versanti in funzione della quantità di pioggia infiltrata, proposto da Montgomery e Dietrich (1994).

A completamento dello studio dell'area si è quindi applicato il metodo di Montgomery e Dietrich il cui risultato è stato quello di fornire indicazioni sulla probabilità che nuove frane si inneschino all'interno dell'area in esame. L'analisi ha interessato non solo la frazione di San Lorenzo, ma una porzione più estesa del territorio di Mongrando. Ciò è stato imposto dal modello che deve essere applicato a piccola scala affinché i parametri idrologici vengano ben calibrati.

Il risultato delle analisi ha fornito indicazioni su quali siano le aree potenzialmente suscettibili a fenomeni franosi per diversi tempi di ritorno, che permettono di definire preliminarmente le possibili azioni da intraprendere durante un evento meteorologico estremo, nonché di impostare una priorità di intervento sulle zone da stabilizzare.

Il risultato dello studio mostra come i versanti Nord e Sud di Borgo San Lorenzo siano particolarmente suscettibili a fenomeni franosi, mentre l'area nei pressi del cimitero risulta più stabile e solo una piccola parte di essa risulterebbe interessata da eventuali fenomeni franosi. Il

risultato sembra inoltre mostrare tempi di ritorno minori per fenomeni che avvengono nel versante Sud, e maggiori sul versante Nord.

I risultati ottenuti dal lavoro svolto nella presente tesi possono fornire un importante contributo alla gestione, protezione e valorizzazione del territorio. In particolare:

- È possibile impostare una scala di priorità degli interventi. Conoscere i tempi di ritorno degli eventi franosi permette intervenire prima nelle zone maggiormente suscettibili a fenomeni di instabilità;
- La conoscenza delle altezze di pioggia critiche consente di impostare delle soglie di attenzione a cui fare riferimento durante eventi meteorologici estremi. Tali dati sono utili principalmente nei piani di protezione civile, i quali delineano le azioni da intraprendere al superamento di determinati valori soglia.

In conclusione, l'analisi proposta in questa tesi è speditiva e preliminare. I risultati ottenuti sono certamente cautelativi, per tale motivo al fine di giungere a risultati ancora più attinenti alla realtà e che non sovrastimino gli eventi attesi, soprattutto nelle zone più critiche che necessitano quindi di una maggiore attenzione, è necessario un affinamento del lavoro tramite la raccolta di nuovi dai per una migliore caratterizzazione dei parametri geotecnici e idrologici.

Bibliografia

- Arpa Piemonte. (s.d.). *Atlante Piogge Intense in Piemonte*. Tratto da http://webgis.arpa.piemonte.it/atlante pioggia webapp/
- Autorità di bacino del fiume Po. (s.d.). Piano per l'assetto idrogeologico.
- Castelli, D. (1999). Opere di protezione e consolidamento in frazione San Lorenzo e Tana Intervento A. Progetto esecutivo, Studio Tecnico STECI, Vercelli.
- Castelli, D. (1999). Opere di protezione e consolidamento in frazione San Lorenzo e Tana Intervento B. Progetto esecutivo, Studio Tecnico STECI, Vercelli.
- Castelli, D. (2004). *Opere di protezione e consolidamento in frazione San Lorenzo e Tana*. Perizia modificativa e suppletiva di variante, Studio Tecnico STECI, Vercelli.
- Castelli, E. (2001). Opere di protezione e consolidamento in frazione San Lorenzo e Tana. Progetto esecutivo, Studio Tecnico STECI, Vercelli.
- Croce Rossa Italiana. (s.d.). Tratto da https://cri.it/piemonte/2019/11/05/la-grande-alluvione-del-1994/
- Deangeli, C. (2021). Dispense del corso di Landslides and slope Engineering. Politecnico di Torino.
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides* 11, 167-194.
- Innocentis, N. D. (s.d.). Tratto da https://www.nicoladeinnocentis.it/geomorfologia-analisi
- Italia in dettaglio. (s.d.). Tratto da https://italia.indettaglio.it/ita/piemonte/biella_mongrando_borgosanlorenzo.html
- Montgomery, D., & Dietrich, W. (1994). A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *WATER RESOURCHES RESEARCH, VOL 30, NO. 4*, 1153-1171.
- Noto, L. (2019). Dispense del corso di Idrologia. Università degli Studi di Palermo.
- Perratone, A. (2004). Lavori di ripristino viabilità comunale e opere di raccolta e smaltimento acque (Evennti alluvionali anni 2000 e 2002). Progetto definitivo, Biella.
- Perratone, A. (2006). Sistemazione movimenti franosi versanti nord e sud della collina di San Lorenzo a monte della frazione Tana. Progetto esecutivo, Biella.

- Perratone, A., & Maffeo, B. (2003). Opere di sistemazione movimenti franosi in località Borgo San Lorenzo. Progetto definitivo, Biella.
- Perratone, A., Maffeo, B., & Perino, P. (1997). Progetto opere di sistemazione idrogeologia del versante nord collina di S.Lorenzo (Evento alluvionale del Novembre 1994). Progetto esecutivo, Biella.
- Perratone, A., Maffeo, B., & Perino, P. (2002). Progetto opere di sistemazione versante sud della collina di S. Lorenzo a ridosso della frazione Tana Primo intervento (Evento alluvionale Novembre 1994). Perizia di variante e suppletiva, Biella.
- Perratone, A., Maffeo, B., & Perino, P. L. (1998). Progetto opere di sistemazione versante sud della collina di S.Lorenzo a ridosso della frazione Tana Primo intervento (Evento alluvionale del Novembre 1994). Progetto esecutivo, Biella.
- Persichillo, M., Bordoni, M., Meisina, C., Bartelletti, C., Barsanti, M., Giannecchini, R., . . . Galve, J. (2017). Geomatics, Natural Hazards and Risk,. 8, 748-771. doi:10.1080/19475705.2016.1265011
- Regione Piemonte (1998). Eventi Alluvionali in Piemonte.
- Ruffilli, R. (s.d.). Tratto da http://web.tiscali.it/riccardo.ruffilli-wolit/html/glossario%20internazionale.html#:~:text=Frana%20ATTIVA%20(ac
- Taddia, G., & Vigna, B. (2022). Dispense del corso di Geologia Tecnica Applicata. Politecnico di Torino.
- Vezza, P. (2020). Dispense del corso di Idrologia. Politecnico di Torino.

Ringraziamenti

Quando nell'ottobre del 2020 sono arrivata a Torino non avevo idea di cosa mi aspettasse.

In una nuova città nel bel mezzo di una pandemia. Lo scenario non era dei migliori. Eppure Torino si è rivelata una bellissima sorpresa.

Per questo motivo alla fine di questo percorso voglio ringraziare chi mi è stato accanto in questi anni.

Il primo e principale dei ringraziamenti va al *mio Dio*. Gli anni della magistrale non sono stati semplici, sia per il carico di studio sia per i momenti non sempre felici che inevitabilmente si attraversano nel corso della vita. Molte volte in mezzo allo sconforto su più fronti non vedevo soluzioni e intorno a me non c'era gente capace di aiutarmi: in quei momenti più che mai ho sperimentato il soccorso infallibile che solo Lui può dare.

Un profondo ringraziamento va a *mio padre* e *mia madre* per avermi dato l'opportunità di studiare qui a Torino e per la fiducia che hanno sempre avuto in me durante i miei anni di studio. Li ringrazio anche per tutti i pacchi da giù che mi hanno mandato. Nonostante io non li vedessi, sono stati sempre accanto a me. Per questo gli sarò sempre grata.

Grazie anche a Raffaele, *mio fratello*. Lo ringrazio per aver sempre risposto alle mie chiamate dopo ogni esame, per avermi consigliato quando avevo qualche dubbio, per avermi aiutata quando non sapevo cosa fare e per aver sempre chiarito i miei problemi di matematica, fisica e scienza delle costruzioni. Lo ringrazio anche per la stima e la fiducia che ha avuto in me. Più di tutti gli altri mio fratello non hai mai dubitato delle mie capacità, nonostante io molto spesso non riuscissi a vederle. Insieme a Raffaele voglio anche ringraziare Simona che ormai è parte della nostra famiglia e alla quale voglio davvero bene.

Desidero anche ringraziare tutto il resto dei miei familiari: i miei zii e le nonne, ed in particolare i miei cugini: Beatrice, Raffaele ed Eleonora, Debora ed Enrico che sono più che semplici cugini e con i quali ho condiviso momenti indimenticabili.

Un ringraziamento speciale va a Loide. Anche se non ci sentiamo per giorni so che posso sempre contare sul suo aiuto, non importa la distanza.

Se a Torino ho subito costruito una rete di amicizie, devo dire grazie a Silvia, Miriam e Marco. Sono le prime persone che ho conosciuto in Via Spalato e che mi hanno fatto entrare in questa grande realtà alla quale non ero abituata. Grazie a loro ho trovato una seconda famiglia e un gruppo di amici davvero speciale.

Anche Laura merita un ringraziamento per la pazienza che ha nel sopportarmi e ascoltare le mie paranoie.

Grazie anche a Sonila, la mia coinquilina, per condividere le gioie e i dolori di vivere lontano da casa.

Voglio anche ringraziare i colleghi del Poli.

Beatrice e Federico, con cui ho condiviso le gioie e dolori della magistrale, i progetti terminati all'ultimo secondo e dubbi esistenziali dell'ultimo minuto sull'argomento che nessuno ha fatto che però è fondamentale per passare l'esame.

Francesca e Lorenzo, che mi hanno supportata nell'ultima fase del percorso magistrale tra ultime materie e tesi.

Desidero ringraziare le mie relatrici, le prof.sse Monica Barbero e Marta Castelli per la disponibilità mostrata durante le fasi della stesura della tesi, e l'ing. Stefano Campus per i suggerimenti dati in fase di organizzazione dei dati per la tesi.

Un ringraziamento anche al prof. Oggeri per la disponibilità e i consigli dati.

Infine desidero ringraziare tutte le persone care che ho a Partinico, gli amici che non vedo spesso. Nonostante non ci siano molte occasioni per stare insieme c'è sempre un legame che ci unisce e che supera le distanze.

Ci sarebbero tante altre persone che meritano il mio ringraziamento per il sostegno in questi anni qui a Torino. Non li menzioni tutti perché la lista sarebbe lunga, ma sono tutti impressi nella mia mente.

Spero di ricambiare almeno in minima parte l'affetto incondizionato che ho ricevuto da chi mi è stato accanto.

A tutti voi, grazie.

Allegato 1

(PLANIMETRIA)

- SONDAGGIO GEOGNOSTICO
- SONDAGGIO STRUMENTATO CON PIEZOMETRO



Quota rif. (m) Quote Profondita' (m) 0.60 080 0.59 :30 Potenza strato 00 Stratigrafia Characters Characters Campioni Committente: 20% 40% 60% 80% carotaggio Cantiere: 20% 10% 60% 80% .0 Risultuto dei sondaggi Ū. <u>Chicia fine in una matrice argillosa finemente sobbiosa di colore nacciola</u> Subbie grossolane addensate argillose di colore bruno. iaberda). Diare jrais fins a fim. nocada nela comiane termingle dell'orizzonte. San Lorenzo COMUNE gressolana ergillosa e addensata di colore bruno psoidcos eni. cacensate argiliosa di colore Ec sietal di programmazione e monitoraggio geciacnico DI MONGRANDO Descrizione chiere, con oceli prizzonti costituiti de gnicie fini in litotipi 63 Livello della falda Pressione (atm) profondita LUGEON Quota caposaldo: Prove di permeabilita' Idrogeologia Sondaggio: profondita' e K (cm/s) | 0 10 29 30 40 50! N LEFRANC Corso Svizzera 4 Penetration Standard Test Geotecnica 10143 TORINO 0 3.20 0 4.00 0 3.40 Pocket Penetrometer Kg/emq Torvane Shear Test Kg/emq Inclinometro Piezometro Strumentaz a tubo aperto Piezometro Casagrande Fex 011/7493013 Estensimetro Assestimetro 127 mm Rivestimento Carotaggio continuo: diametro 101 mm. Metodo e diametro Carotiere semplice (Widia) Er Carotiere Semplice (corona di Widia) Utensile utilizzato acqua Fluido di circolazione Carotiere doppic

Pagina

Quota rif. (m) Quote Cantiere: San Lorenzo Profondita' (m) Potenza strato Stratigrafia 20% 10% 60% 80% 20% 10% 60% 80% -0 Q. D. Risultato dei sondaggi Descrizione dei litotipi Societa' di programmazione e monitoraggio geotecnico permeabilita'
livello della falda permea Prove di permeabilita' Idrogeologia Standard
Penetration
Test
Pocket Penetrometer
Rest
Pocket Penetrometer
Rest
Pocket Penetrometer Geotecnica Kg/cmq Torvane Shear Test Kg/cmq Inclinometro Piezometro Strumentazione a tubo aperto Piezometro Casagrande Sondaggio: Estensimetro Assestimetro Rivestimento S Perforazione Carologgio continuo; diametro 101 mm. Metodo e diametro (Widia) (Carotiere semplice Utensile utilizzato Fluido di circolazione

- 19:00 p

0	1920			17.30 0.60 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0.70 (0	.50	500 040 15 7045	: } J		99 (v th	φ 1	3.40 3.50	263 263	(4) (4)	100	Quota rif. (m) Profondita' (m Potenza strato Stratigrafia		PROMOGEO
Ghidia medio-fine con sabbia Jepoimente urgifosa.	fine di colore bruno addensata argilloso-ghia	arossolana con clasti costituiti da micascisti e	di colore brino	(A)) Ghiaia grossolana con clasti costituiti da micascisti e gnerss.	Sabbid di colore bruno, costituito da sabbia fine amugenea. (da 15.40 a 15.70) costituito da sabbia fine amugenea.	IVI i onicia grassovana con posti costituiti da micascisti e gneiss.		Sapbia eterogenea. Il primo metro el costituito da sabbia media cidaensata bruna debolmente glidiosa- urgiliosa, la portione inferiore da sabbia line gnicioso-urgillosa bruna e addensata.	Ghiaia medio—fine in una matrice argillosa debolmente sabbiosa di colore bruno. I clasti sono litologicamente costituiti da micascisti e gneiss.	Sabbid fine imosa depoimente giniaiosa. L'anzzonte appare paca addensato e di brumo chiaro:	Shidia messa sabblosa decolmente argiliosa.	Subbia fine desoimente orgillosa paco addensata di colore nocciola.	errano vegetale orgilloso di colore bruzo scuro. Argilia impisa decemente scabilosa fine di calore nocciola—grigio.		Campioni Percentuale di R. Q. D. Compositionic carolaggio Sigla e carolaggio Sigla	Risultato dei sondaggi	Committente: COMUNE DI MONGRANDO Cantiere: San Lorenzo
					nizzorie	5.4	O rri.	1030 - L	, ,	di Coore					Prove di da permeabilita' la la permeabilita' la la la permeabilita' lugeon Lugeon Lefranc livessi profondita' profondita' e v. L. e k (cm/s)	Idrogeologia	Sondaggio: Quota caposaldo:
	9 5.00 × 0.60		0 3.70		x x 0.6	0 3.00	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 4.00 00	9 + 1.10 × 1.20 9 > 6 × 0.80 9 > 3 × 0.40 9 5.40 × 0.40	● ● 2-2- 6-0		© 2.200	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		Penetration Test Test Penetrometer Kg/cmq Torvane Shear Test Kg/cmq Inclinometro	Geotecnica	ggio: S 2 aldo: p.c.
Caro	2.4		m	plica	e (Widia)				Carote	ggio continuo: di	ame	stro	101 mm.	[127 mm	Piezometro a tubo aperto Piezometro Casagrande Estensimetro Assestimetro Rivestimento Metodo e diametro Utensile utilizzato	Strumentazione Perforazione	

9 9	10	Quota r Profondi Potenza	ita' (m)	Quote
		Strati	grafia	
•		A rapasegro. 2 capped a rapasegro. 2 capped a rapasegro. 2 rapasegro. 3 rapasegro. 4 rapasegro. 5 rapasegro. 5 rapasegro. 6 rapasegro. 6 rapasegro.	'ampioni	
		20% daroll	i Percentuale B. Q. D.	Risultato
Terms is by ore drume, loop locensate a debolmente limbso-		dei litotipi	Descrizione	o dei sondaggi
Imnoso-ergillose.		The U. L. e K (cm/s)	atm)	Idrogeologia
	©	Pocket Penetr Kg/cmq Torvane Shear	Standard Standard rometer	Geotecnica
		Inclinon Piezome a tubo aperto Piezome Casagrande Estensin Assestim	tro tro	Strumentazione
Fr Liver division and the second		Rivestimento Metodo e dia Utensife uti Fluido di circ	metro ilizzato	Periorazione

3		0.50 0.50	17.60	580	20°	16.29			350	529		740 -90 0.40 * * 7.2.* *	1.12	38 3 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	0.7.5 C.7.5 G.F.	100	200		350 350	Profo Poten Stra	rif. (m) ndita' (m) za strato atigrafia	Опоте	PROMOGEO
		Chiaia g	201	Partie	Daigio a	Sapic	Jaigle	Dr. Citato	E CL		Sacha 1 clasti	Blacco	Sabid Sabid	Supply		Supplies Chapter Chapt		CONTRACT SC Difty	- Pariety	20 % 10 % 80% 80% 80% 80%	Campioni Percentuale Campioni Percentuale di P. Q. D.	Ristutato	Committente: CO
di colore brano addensata, argiiloso -anidoso.		Chiaia grossolana con clasti di micascisti e di gneiss. Sabbia addensata argiiloso-qhiaiosa di colore bruno.	over avenand, in white didite alghese—ghidese.		grossolana debolmente sabbioso—argiilosa.	addensata di colore bruno argilloso-yhiaiosa.	grossoland debolmente sabbioso argiliosa.	e postituito da sappie medie addensate argiiloso-gniaiose, di polore arun). sono ilorogicamente costituiti da frammenti di micascisti, gneiss e quarziti.	ine one asi olassi pentimeria, localmente cementata.		addensata di colore t sono costituiti da fra		Shaid medic-grossolana con clasti di micascisti e di gneiss. Sabbia moderatamente addensata argilloso-gnidiosa di colore bruno.	media argilloso—girialiosa di catare nocciata.	medic— irossoland deblimente limoso—argilosa.	media urginioso minioso medio di colore nocciola, ben gadensata. postituli pa frammenti di quarzo e di micascisti.		mo lecolmente cacciosa di latore voriscile dal grigio al no avustico.	s egendo si sovre aruna sauro costituito da argilla debolmente sapbiosa.	litotipi	Descrizione dei	to dei sondaggi	COMUNE DI MONGRANDO San Lorenzo
																				DUGEUN LEFRANC Selection LUGEUN LEFRANC Selection profondita' profondita' Pre C. L. e K (cm/s)	Prove permea	ldrogeologia	Sondaggio: Profondita':
						0		O O O O O O O O O O O O O O O O O O O	O +170	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 4.70		© 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	00 00		Ø 0 9,20 8		O 5.40	⊙2.20 × 3.20;	Pocket Pe Kg/cmq Torvane S Kg/cmq	10 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 -	Geotecnica	o: S' 3
	7.7																	[37]	1 m	Piezot a tubo ap Piezot Casagrand Estens	erto netro	St. umentazione	
otie	re	ser	mpli	ice	cc) i i		ona di Widi	ū			Carot	taggic	contin		diam	etro 101	mri.	127 mm.			Perforazione	

3945	38-45	₩ 2.17. }	3-50 3-50	5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	35		7		23.00		27.2	94.0	30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 3	Quota rif. (m) Profondita' (m Profondita' (m Potenza strato Stratig masegus, masegus, profondita' m) Profondita' (m) Profondi) Jucte
rescende incomente appoint availlant	recejoid.	media-prossoiana con pasti illologicamenta	TALL STATE OF THE COORDINATE O	Sinato prescurra, decormente adobioso arquiosa nei onimi 90 cm.	media omogened podo addensal	inta (cascum interes casing in remment i minerist ineiss e napos	ाति । Sabba media sadensuta srgillaes—sniciosa si colore arano.	Ghidia 1703squarra decormente sabbiosci-argillosa.	Ghiura fine focaimente limoso argillosa e con rari clasti centimetroti, ficologicamente costituti na nammenti di micascisti e di gnetss.	anius grossaland, imaso—sabbiosa nelflutimo metro.	Gnidia rine con rar ciasti centimetrici e solo occumente argilloso—sabblosa. ciasti cono l'okopicamente costituiti aa frammenti di micascisti, gneiss e quarciti.	SIDDO INTERCIT INFRESI-GIUNGE À NORTE ENING.	And instant in the cost of the	Percentuale P. Q. D. Descrizione dei sambagio dei litotipi	Risultato lei sondayyı
													(1-10 m. ◀	Prove di permeabilita' permeabilita' della alla permeabilita' l'GEON LEFRANC lo profondita' profondita' profondita' e U. L. e K (cm/s)	Idrogeologia
														Penetration Test Pocket Penetrometer Kg/cmq Torvane Shear Test Kg/cmq	Geotecnica
		7.7	delig 2					in and						Inclinometro Piezometro a tubo aperto Piezometro Casagrande Estensimetro Assestimetro	Strumentazione
arotie cqua	ere :	sein	plic.	.e. c.c.i, s		ona di Widia				Gar	cluggio continuo:	dicar	metro 101 mm.	Rivestimento Metodo e diametro Utensile utilizzato Fluido di circolazione	Periorazione

MOGEO	Cantiere: COMUNE DI	DI MONGRANDO nzo	Sondaggio: Profondita':	S 4	
Quote	Risultato dei sondaggi	າຍ້ອີ່ງ	Idrogeologia	Geotecnica	Strumentazione
rif. (m) ndita' (m) ndita' (m) ndita' (ampioni ca strato campioni ca strato campioni	ONI Percentiale di R. Q. D.	Descrizione	Prove	to E.	
Profon Potenz Stra		litotipi	LUGEON LEFRANC profondita' profondita' e U. L. e K (cm/s)	O C C C C C C C C C C C C C C C C C C C	Piezon a tubo ape Piezon Casagrande Estens
i i					15
	And it is a contract Fulfill the purposes Fulfill the contract of	oruno pastruto da sobble medio—fini debolmente gindiose, Parquioso—imaso da 3.60 a 3.00. Li e modeobili			
	Ostal Guid (B. Call.) Subabbu, solul (1.12)	sociosa ni consistenza piaslica, di pocre variacile da prigio di recaso di rei 4,60 e 6,20 m.		00 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
7.60 0.49 3.2 ≥ .**2.1 7.60 1.60 1.	in dea partical de la constant de la	vota, con pasti costituiti da micoscisti e quarziti. por sabbio medio-grossolana di povore grigio.			
900 Se	i Smala gressorana den drovat siñola duarcoso micacea line grigio.	ata. ne in una matrice sabbiosa medio—grossolana gi norcre			
9.00 JOJ 43 L.1.2.2.	proje vectont poly:	valo. "ine con socola medio—grossolana ul colore gingio chicro.			
(35) (45) (5) (6) (7) (11) (11) (11) (11) (11) (11) (11)	Finemional equivocation of the control of the contr	na marite appasa medio-pressuana populie. Te prantisa di poure variabile dal unaio chiare y		X 0.80	
3.50	-oros ojaž evace iz pac.	-280		0 5.00	
13 66 2.90 (####################################	appioso fi	colore treats.		0 + 50 × 0.80 0 × 0.60	
U.60	Argile imose di coore grajo	o chiaro.		o 22.00	
HILLITER	imo sabbioso fine di colore	casore prigio.		0 5.40 × 0.60	
	Sabbe medio-fini debolment Presenza di rari clasti centii scisti e di quarziti.	i debolmente limoso-argillose moderatamente addensate. clasti centimetrici libiogicamente costituiti da frammenti di micc- iti.		<i>' ' '</i>	ADVERT
5.10				0 G V V a a	



Corso Appio Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

Analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione (aerometria) Visto:

il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEQTER sas

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Cantiere:

Sond. o pozzetto:

campione n°: A

profondità prelievo (m): 6.00

N. rif.:

GR888

data:

27/06/97

Note:

Quantità di terreno analizzato (g)

500

Peso specifico dei granuli (g/cmc)

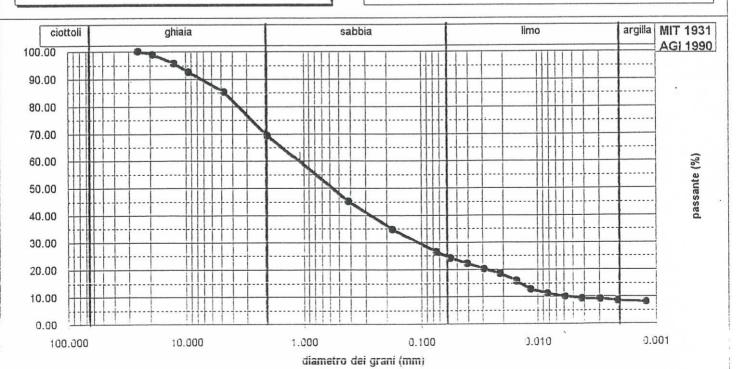
2.68

apertura	peso inerte	parziali	totale	totale	tempo	lettura	Hr	corr.	diametro	passante	somma
maglie	trattenuto	trattenuti	trattenuti	passante		aerometro		temp.	dei granuli	parziale	
mm	g	%.	%	%	min	R	cm		mm	%	%
76.200	0.00	0.00	0.00						0.0750		26.44
50.800	0.00	0.00	0.00		0.5	248	9.69	-0.89	0.0568	90.57	23.95
38.100	0.00	0.00	0.00		1	231	10.06	-0.89	0.0409	83.79	22.16
25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	2	211	10.50	-0.89	0.0295	75.81	20.05
19.050	6.03	1.21	1.21	98.79	4	194	10.86	-0.89	0.0213	69.03	18.26
12.700	15.77	3.15	4.36	95.64	8	171	11.36	-0.89	0.0154	59.86	15.83
9.520	15.16	3.03	7.39	92.61	15	143	11.97	-0.89	0.0115	48.69	12.88
4.760	36.52	7.30	14.70	85.30	30	128	12.30	-0.89	0.0083	42.71	11.29
2.000	79.96	15.99	30.69	69.31	60	116	12.56	-0.89	0.0059	37.93	10.03
0.420	121.13	24.23	54.91	45.09	120	109	12.71	-0.89	0.0042	35.14	9.29
0.177	51.69	10.34	65.25	34.75	240	107	12.75	-0.89	0.0030	34.34	9.08
0.075	41.52	8.30	73.56	26.44	480	101	12.88	-0.89	0.0021	31.94	8.45
fondo	132.22	26.44	100.00		1440	98	12.95	-0.89	0.0012	30.75	8.13

DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE TERRENO

sabbia con ghiaia limose debolm. argillose classicazione USCS: SC

Temperatura di prova °C	24.0
Correzione menisco	0.3
Correzione dispersivo	-1.5





Corso Appio Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

CARATTERISTICHE DI PLASTICITA' Limiti di Atterberg

Visto: il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Cantiere:

Sond. o pozzetto:

Località prelievo:

S1

camp. n°:

prof. prelievo (m):

N. rif.: A478

data:

27/06/97

6.00

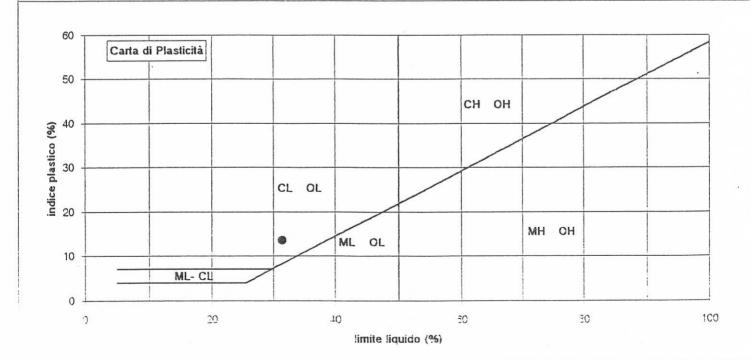
Limite Liquido			
Numero tara	C	M	G
Numero dei colpi	9	18	30
P. umido + tara (g)	18.49	18.71	18.13
P. secco + tara (g)	17.15	17.38	16.88
Peso tara (g)	13.26	13.24	12.86
Peso umido (g)	5.23	5.47	5.27
Peso secco (g)	3.89	4.14	4.02
Contenuto acqua (%)	34.45	32.13	31.09
Limite Plastico			2
A1 A		0	

Contenuto acqua (%)	34.45	32.13	31.09
Limite Plastico			×
Numero tara		S	L
P. umido + tara (g)		16.08	16.49
P. secco + tara (g)		15.62	16.08
Peso tara (g)		13.02	13.83
Peso umido (g)		3.06	2.66
Peso secco (g)		2.6	2.25
Contenuto acqua (%)		17.69	18.22

	35.00 -		
(%)	34.00		
l'acqua (33.00		
contenuto d'acqua (%)	32.00		
00	31.00		
	30.00	1 10	100
		numero di colpi	

Limite Liquido %	LL	31.5
Limite Plastico %	LP	18.0
Indice Plastico %	IP	13.5
Contenuto d'acqua %	Wn	
Indice di Consistenza	lc	

Liquidità Fluidità Tenacità





Corso Appio Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

Analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione (aerometria) Visto:

il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEOTER sas

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Cantiere:

Sond. o pozzetto: N. rif.: GR887 'S1

campione nº: 1

data:

27/06/97

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

profondità prelievo (m): 12.10÷12.60

N. rif.: Note:

Quantità di terreno analizzato (g)

200

Peso specifico dei granuli (g/cmc)

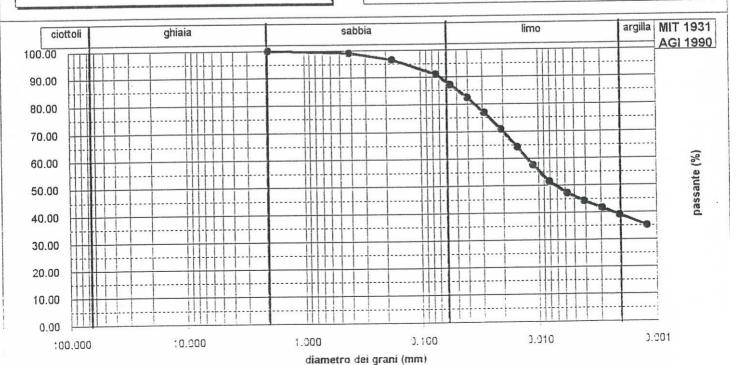
2.68

apertura	peso inerte	parziali	totale	totale	tempo	lettura	Hr	corr.	diametro	passante	somma
maglie	trattenuto	trattenuti	trattenuti	passante		aerometro		temp.	dei granuli	parziale	
mm	g	%	%	%	min	R	cm		mm	%	%
76.200	0.00	0.00	0.00						0.0750		90.97
50.800	0.00	0.00	0.00		0.5	263	9.37	-1.13	0.0565	95.59	86.96
38.100	0.00	0.00	0.00		1	250	9.65	-1.13	0.0405	90.41	82.25
	0.00	0.00			2	235	9.97	-1.13	0.0291	84.43	76.80
25.400	0.00	0.00	0.00		4	218	10.34	-1.13	0.0210	77.65	70.64
19.050	0.00	0.00	0.00		8	200		1	0.0151	70.47	64.11
12.700	1				15	182		1		63.29	57.58
9.520	0.00		1 5 7 7 7 7		30	165				56.51	51.41
4.760	0.00	0.00			60	153				P. Bladd annead	47.05
2.000	0.00					145		1		48.54	44.15
0.420	1.88	0.94					1				41.61
0.177	5.20	1			1	138	1	1		42.95	39.07
0.075	10.98			100000000000000000000000000000000000000	480	131	12.23	1			
fondo	181.94	90.97	100.00		1440	120	12.47	-1.13	0.0012	30.00	33.00

DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE TERRENO

limo con argilla debolm. sabbiosi classicazione USCS: CH

Temperatura di prova °C	23.0	
Correzione menisco Correzione dispersivo	0.3 -1.5 .	





Corso Appio Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

CARATTERISTICHE DI PLASTICITA' Limiti di Atterberg

Visto:

il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Cantiere:

Sond. o pozzetto:

Limite Liquido %

Limite Plastico %

Indice Plastico %

Contenuto d'acqua % Indice di Consistenza **S1**

camp. n°:

N. rif.:

A482

data:

01/07/97

prof. prelievo (m):

12.10÷12.60

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Limite Liquido			
Numero tara	Q	Α	В
Numero dei colpi	12	34	50
P. umido + tara (g)	17.92	18.58	16.43
P. secco + tara (g)	15.81	16.60	14.95
Peso tara (g)	12.84	13.40	12.47
Peso umido (g)	5.08	5.18	3.96
Peso secco (g)	2.97	3.20	2.48
Contenuto acqua (%)	71.04	61.87	59.68
Limite Plastico			
Numero tara		D	C
		10 SANT N 4080A	

Limite Plastico		
Numero tara	D	C
P. umido + tara (g)	16.46	16.25
P. secco + tara (g)	15.78	15.54
Peso tara (g)	13.57	13.26
Peso umido (g)	2.89	2.99
	2.21	2.28
Contenuto acqua (%)	30.77	31.14
Peso secco (g) Contenuto acqua (%)		

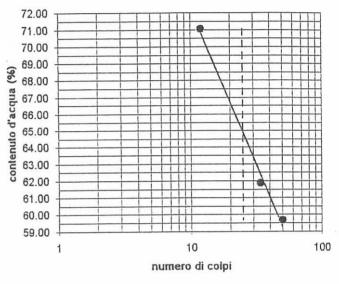
LL

LP

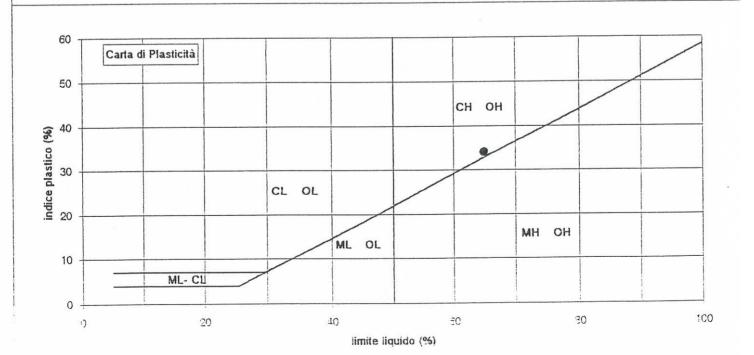
IP Wn

lc

10.20	
2.99	
2.28	
31.14	
64.9	
31.0	
34.0	
	-



Liquidità Fluidità Tenacità





Corso Applo Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

Analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione (aerometria) Visto:

il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA



Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Località prelievo: Cantiere:

Sond. o pozzetto:

S2

campione nº: 1

N. rif.:

data:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

27/06/97

profondità prelievo (m): 5.85÷6.45

Note:

GR889

Quantità di terreno analizzato (g)

150

contenuto d'acqua naturale Wn = 24.62 %

Peso specifico dei granuli (g/cmc)

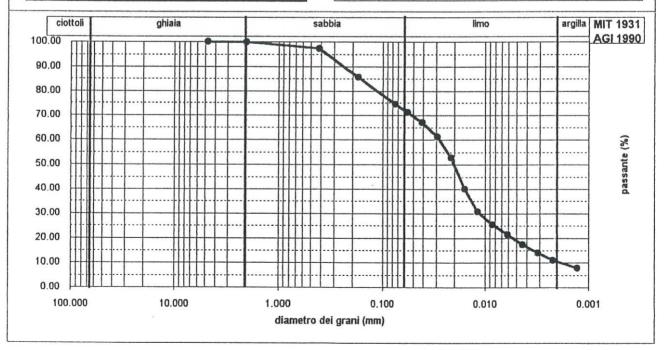
2.68	

apertura	peso inerte	parziali	totale	totale	tempo	lettura	Hr	COIT.	diametro	passante	somma
maglie	trattenuto	trattenuti	trattenuti	passante		aerometro		temp.	dei granuli	parziale	
mm	g	%.	%	%	min	R	cm		mm	%	%
76.200	0.00	0.00	0.00						0.0750		74.51
50.800	0.00	0.00	0.00		0.5	265	9.32	-1.37	0.0570	95.44	71.11
38.100	0.00	0.00	0.00		1	251	9.63	-1.37	0.0410	89.85	66.95
25.400	0.00	0.00	0.00		2	232	10.04	-1.37	0.0296	82.27	61.31
19.050	0.00	0.00	0.00		4	203	10.67	-1.37	0.0216	70.71	52.69
12.700	0.00	0.00	0.00		8	160	11.60	-1.37	0.0159	53.56	39.91
9.520	0.00	0.00	0.00		15	129	12.27	-1.37	0.0119	41.20	30.70
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	30	111	12.67	-1.37	0.0086	34.02	25.35
2.000	0.20	0.13	0.13	99.87	60	98	12.95	-1.37	0.0061	28.83	21.49
0.420	4.02	2.68	2.81	97.19	120	84	13.25	-1.37	0.0044	23.25	17.32
0.177	17.39	11.59	14.41	85.59	240	73	13.49	-1.37	0.0031	18.86	14.06
0.075	16.62	11.08	25.49	74.51	480	63	13.71	-1.37	0.0022	14.88	11.08
fondo	111.77	74.51	100.00		1440	52	13.95	-1.37	0.0013	10.49	7.82

DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE TERRENO

limo con sabbia debolm, argillosi classicazione USCS: CL

Temperatura di prova °C	22.0
Correzione menisco	0.3
Correzione dispersivo	-1.5





Corso Applo Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

CARATTERISTICHE DI PLASTICITA'
Limiti di Atterberg

Visto:
il responsabile del laboratorio
Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEOTER SAS

Committente: Località prelievo: COMUNE DI MONGRANDO (BI) Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Cantiere:

Sond. o	pozzetto:
N rif	A483

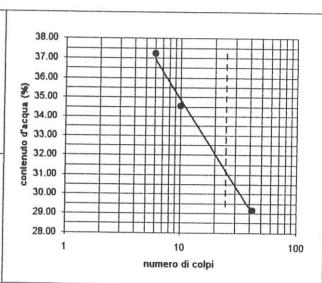
S2	camp. n°:	1
	data:	01/07/97

prof. prelievo (m):

5.85÷6.45

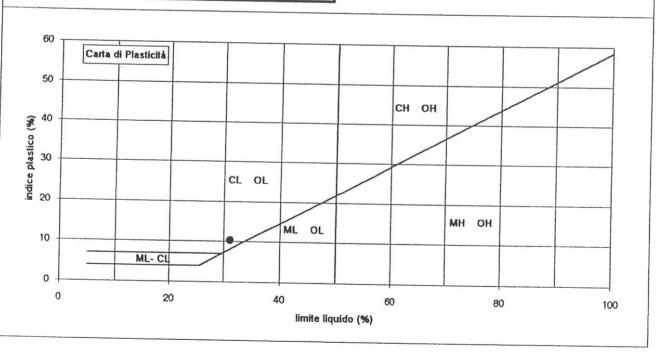
Limite Liquido			
Numero tara	Р	0	Т
Numero dei colpi	6	10	42
P. umido + tara (g)	18.40	18.52	18.17
P. secco + tara (g)	16.90	17.08	17.03
Peso tara (g)	12.87	12.91	13.12
Peso umido (g)	5.53	5.61	5.05
Peso secco (g)	4.03	4.17	3.91
Contenuto acqua (%)	37.22	34.53	29.16

Contenuto acqua (%)	37.22	34.53	29.16
Limite Plastico			
Numero tara		R	Н
P. umido + tara (g)		16.33	15.83
P. secco + tara (g)		15.77	15.31
Peso tara (g)		13.06	12.85
Peso umido (g)		3.27	2.98
Peso secco (g)		2.71	2.46
Contenuto acqua (%)		20.66	21.14



Limite Liquido %	LL	31.2
Limite Plastico %	LP	20.9
Indice Plastico %	IP	10.3
Contenuto d'acqua %	Wn	24.62
Indice di Consistenza	lc	0.6

Liquidità	0.36
Fluidità	9.34
Tenacità	1.10





Corso Applo Claudio 229/5 · 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

PROVA DI TAGLIO DIRETTO consolidata-drenata

Visto: il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI) Località S. Lorenzo - Mongrando (BI) Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Località prelievo:

Cantiere:

S 2

prof. prelievo (m):

5.85÷6.45

Sond. o pozzetto: N. rif.:

T215

camp. nº:

01/07/97 data:

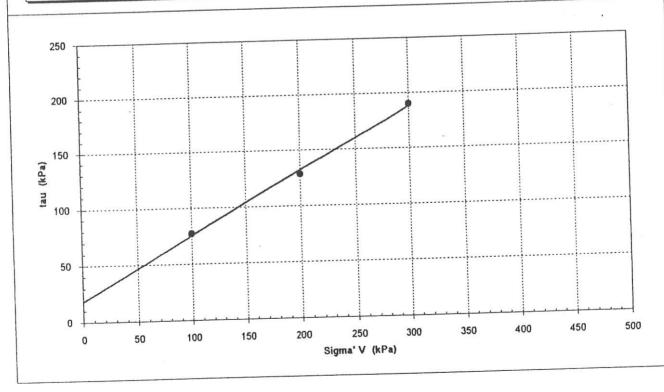
			TERISTICHE F	densità	ROVINI	umidità	pressione di		cedimento
1	dimensio			secca	iniziale	finale	consolidaz.	consolidaz.	provino
	diametro	aitezza	umida	Secta	Wi	W	Sigma' V	ďť	dH
provino n'	D	Н	γ_i	a/cm³	%	%	kPa	ore	mm
	mm	mm	g/cm³	-	28.2		100	24	0.43
TD442	60.0	30.6	1.95	1.52			200	24	0.80
TD443	60.0	30.6	1.93	1.51	28.2		300	24	1.29
TD444	60.0	30.6	1.89	1.47	28.6		1 300		

FASE DI ROTTURA

Г	val	ori di pio	co	prova di	prova di taglio residuo - valori di tau per ciascun ciclo di re					
provino n°	tau kPa	Sh mm	Sv mm	tau 1 kPa	tau 2 kPa	tau 3 kPa	tau 4 kPa	kPa	tau 6 kPa	
TD442 TD443	77 128 190	2.42 2.85 3.20								
TD444 velo	ocità di prova:	0.005	mm/min	(determinata	sulla base del	valore di T100))			

0 Angolo di resistenza al taglio 18.7 kPa C. Coesione φ', Angolo di resistenza al taglio residua

320 kPa Resistenza al pocket penetrometer:





Corso Applo Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

Analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione (aerometria) Visto:
il responsabile del laboratorio
Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEOTER ***

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Cantiere:

Sond. o pozzetto:

N. rif.: GR890

S2

campione n°: A

data: 27/06/97

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

profondità prelievo (m): 12.00

Note:

Quantità di terreno analizzato (g)

300

Peso specifico dei granuli (g/cmc)

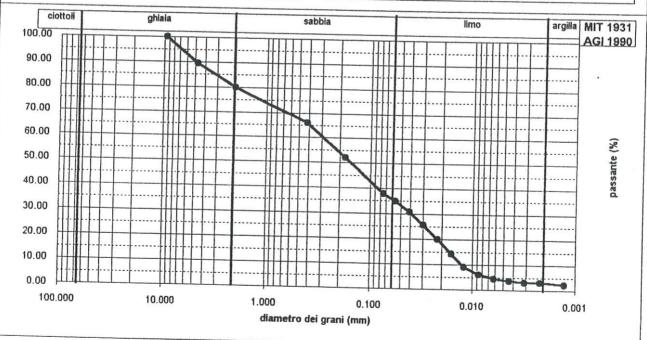
2.68

apertura maglie	peso inerte trattenuto	trattenuti	totale trattenuti	totale passante	tempo	lettura aerometro	Hr	corr.	diametro dei granuli	passante parziale	somma
mm	g	%.	%	%	min	R	cm	tomp.	mm	%	%
76.200	0.00	0.00	0.00						0.0750	- /0	
50.800	0.00	0.00	0.00		0.5	251	9.63	0.00		04.77	37.89
38.100	0.00	0.00	0.00		0.5			-0.89	0.0566	91.77	34.77
25.400	0.00	0.00	0.00		'	224	10.21	-0.89	0.0412	81.00	30.69
19.050	0.00				2	190	10.95	-0.89	0.0302	67.44	25.55
12.700	0.000000	0.00	0.00		4	152	11.78	-0.89	0.0221	52.28	19.81
	0.00	0.00	0.00		8	115	12.58	-0.89	0.0162	37.53	14.22
9.520	0.00	0.00	0.00	100.00	15	81	13.32	-0.89	0.0122	23.97	9.08
4.760	32.02	10.67	10.67	89.33	30	61	13.75	-0.89	0.0087	15.99	
2.000	28.27	9.42	20.10	79.90	60	50	13.99				6.06
0.420	41.65	13.88	33.98	66.02				-0.89	0.0062	11.61	4.40
0.177	41.86	13.95			120	45	14.10	-0.89	0.0044	9.61	3.64
0.075	42.52		47.93	52.07	240	41	14.18	-0.89	0.0031	8.02	3.04
		14.17	62.11	37.89	480	40	14.21	-0.89	0.0022	7.62	2.89
fondo	113.68	37.89	100.00		1440	36	14.29	-0.89	0.0013	6.02	2.28

DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE TERRENO

sabbia con limo ghiaiosi classicazione USCS: SM

Temperatura di prova °C	24.0	
Correzione menisco	0.3	
Correzione dispersivo	-1.5 ·	





Corso Applo Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

CARATTERISTICHE DI PLASTICITA' Limiti di Atterberg

Visto: il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

OTER sas

Committente: Località prelievo:

COMUNE DI MONGRANDO (BI) Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Cantiere:

N. rif.:

Sond. o pozzetto:

A479

S2

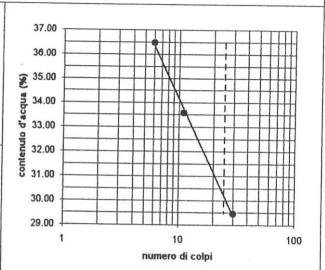
camp. nº: 27/06/97 data:

prof. prelievo (m):

12.00

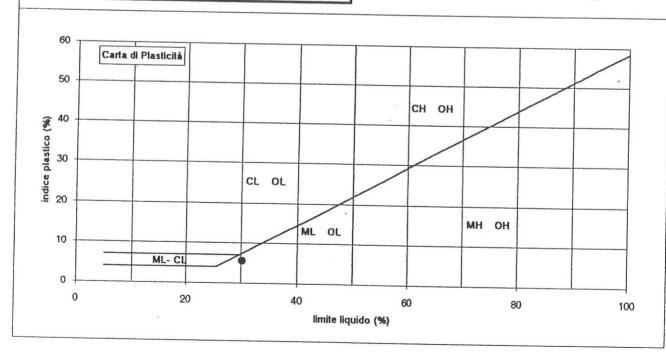
Limite Liquido			
Numero tara	U	E	Т
Numero dei colpi	6	11	30
P. umido + tara (g)	18.22	19.11	17.12
P. secco + tara (g)	16.75	17.69	16.21
Peso tara (g)	12.72	13.46	13.12
Peso umido (g)	5.50	5.65	4.00
Peso secco (g)	4.03	4.23	3.09
Contenuto acqua (%)	36.48	33.57	29.45

Limite Plastico		
Numero tara	R	V
P. umido + tara (g)	15.60	16.11
P. secco + tara (g)	15.10	15.42
Peso tara (g)	13.06	12.63
Peso umido (g)	2.54	3.48
Peso secco (g)	2.04	2.79
Contenuto acqua (%)	24.51	24.73



Limite Liquido %	LL	30.2
Limite Plastico %	LP	24.6
Indice Plastico %	IP	5.6
Contenuto d'acqua %	Wn	0.0
Indice di Consistenza	lc.	

Liquidità Fluidità Tenacità





Corso Appio Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

Analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione (aerometria)

Visto: il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEOTER SAS

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Cantiere:

Sond. o pozzetto:

GR891

campione nº: A

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

N. rif.:

data: 27/06/97 profondità prelievo (m): 2.50

Note:

Quantità di terreno analizzato	(g)	200
	197	

S3

Peso specifico del granuli (g/cmc)

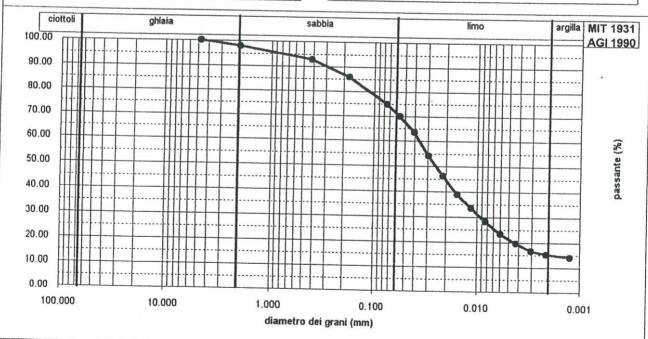
2.68

apertura	peso inerte	parziali	totale	totale	tempo	lettura	Hr	corr.	diametro	passante	somma
maglie	trattenuto	trattenuti	trattenuti	passante		aerometro		temp.	dei granuli	parziale	(5)571111115
mm	g	%	%	%	min	R	cm		mm	%	%
76.200	0.00	0.00	0.00						0.0750	- /-	74.92
50.800	0.00	0.00	0.00		0.5	255	9.54	-0.89	0.0563	93.36	69.94
38.100	0.00	0.00	0.00		1 1	233	10.02	-0.89	0.0408	84.59	63.37
25.400	0.00	0.00	0.00		2	202	10.69		0.0298	72.22	54.11
19.050	0.00	0.00	0.00		4	175	11.28	-0.89	0.0217	61.46	46.04
12.700	0.00	0.00	0.00		8	151	11.80	2000	0.0157	51.89	38.87
9.520	0.00	0.00	0.00		15	133	12.19		0.0116	44.71	33.49
4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	30	115	12.58		0.0084	37.53	28.11
2.000	4.15	2.08	2.08	97.93	60	99	12.93		0.0060	31.15	23.33
0.420	10.26	5.13	7.21	92.80	120	86	13.21	-0.89	0.0043	25.96	19.45
0.177	14.06	7.03	14.24	85.77	240	76	13.42	-0.89	0.0043	21.97	
0.075	21.70	10.85	25.09	74.92	480	72	13.51	-0.89	0.0031	20.38	16.46
fondo	149.83	74.92	100.00		1440	68	13.60		0.0022	18.78	15.27 14.07

DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE TERRENO

limo con sabbia argillosi classicazione USCS: ML

Temperatura di prova °C	24.0	
Correzione menisco	0.3	
Correzione dispersivo	-1.5	





Corso Applo Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

CARATTERISTICHE DI PLASTICITA' Limiti di Atterberg

Visto: il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEOTER SAS

Committente: Località prelievo: COMUNE DI MONGRANDO (BI) ndo (BI)

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

N. rif.: A480

Cantiere:	
Sond. o pozzetto:	

calità S.	Lorenzo -	Mongra
S3	camp. n°:	Α

data:

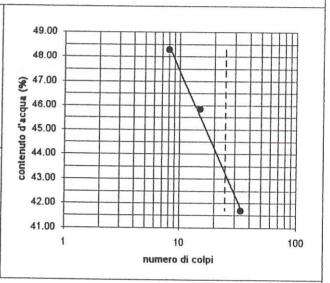
27/06/97

prof. prelievo (m):

3.50

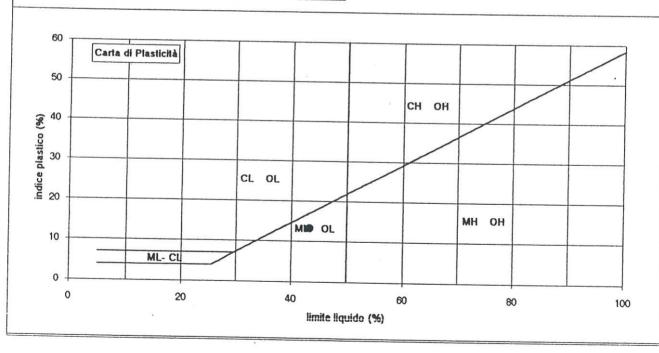
A 8	N 15	F 34
	15	24
		34
18.56	17.82	18.17
16.88	16.28	16.64
13.40	12.92	12.97
5.16	4.90	5.20
3.48	3.36	3.67
48.28	45.83	41.69
	16.88 13.40 5.16 3.48	16.88 16.28 13.40 12.92 5.16 4.90 3.48 3.36

4111140 (9)	0.10	4.50	5.20
Peso secco (g)	3.48	3.36	3.67
Contenuto acqua (%)	48.28	45.83	41.69
Limite Plastico			
Numero tara		P	0
P. umido + tara (g)		15.71	15.78
P. secco + tara (g)		15.06	15.11
Peso tara (g)		12.87	12.91
Peso umido (g)		2.84	2.87
Peso secco (g)		2.19	2.2
Contenuto acqua (%)		29.68	30.45



Limite Liquido %	LL	43.2
Limite Plastico %	LP	30.1
Indice Plastico %	IP	13.1
Contenuto d'acqua %	Wn	
Indice di Consistenza	lc	

Liquidità Fluidità Tenacità





Corso Applo Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

Analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione (aerometria)

Visto: il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEOTER sas

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Cantiere:

Sond. o pozzetto:

S3

campione nº: B

27/06/97

data:

profondità prelievo (m): 10.00

N. rif.: Note:

Quantità di terreno analizzato (g)

GR892

400

Peso specifico del granull (g/cmc)

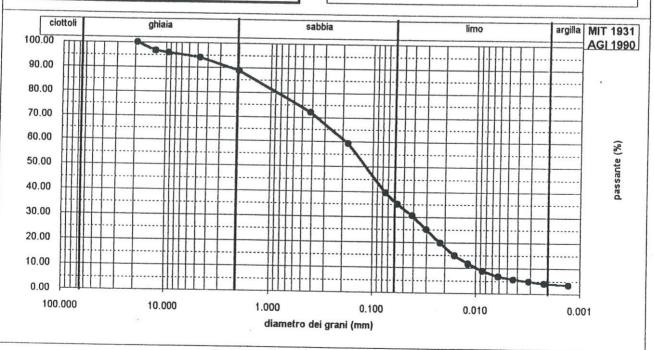
2.68

apertura maglie	peso inerte trattenuto	parziali trattenuti	totale trattenuti	totale passante	tempo	lettura aerometro	Hr	corr. temp.	diametro dei granuli	passante parziale	somma
mm	g	%.	%	%	min	R	cm		mm	%	%
76.200	0.00	0.00	0.00						0.0750		39.64
50.800	0.00	0.00	0.00		0.5	243	9.80	-0.89	0.0571	88.58	35.11
38.100	0.00	0.00	0.00		1	214	10.43		0.0417	77.01	30.53
25.400	0.00	0.00	0.00		2	179	11.19	-0.89	0.0305	63.05	25.00
19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	4	145	11.93		0.0223	49.49	19.62
12.700	12.97	3.24	3.24	96.76	8	115	12.58	-0.89	0.0162	37.53	14.88
9.520	3.48	0.87	4.11	95.89	15	95	13.01	-0.89	0.0120	29.55	11.72
4.760	8.03	2.01	6.12	93.88	30	77	13.40	-0.89	0.0086	22.37	8.87
2.000	20.50	5.13	11.25	88.76	60	64	13.69		0.0062	17.19	6.81
0.420	66.90	16.73	27.97	72.03	120	56	13.86	-0.89	0.0044	14.00	
0.177	50.90	12.73	40.70	59.31	240	51	13.97	-0.89	0.0044	12.00	5.55
0.075	78.65	19.66	60.36	39.64	480	46	14.08	-0.89	0.0031		4.76
fondo	158.57	39.64	100.00	30.04	1440	42	14.16	15.000	0.0022	10.01 8.41	3.97 3.34

DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE TERRENO

sabbia con limo debolm. ghiaiosi classicazione USCS: SM

Temperatura di prova °C	24.0	
Correzione menisco	0.3	
Correzione dispersivo	-1.5	





Corso Applo Claudio 229/5 - 10146 TORINO Telef. 011/79.70.49

LABORATORIO TERRE

CARATTERISTICHE DI PLASTICITA'
Limiti di Atterberg

Visto: il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEOTER ***

Committente: Località prelievo: COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Cantiere:

Sond. o pozzetto: N. rif.: A480

S3 camp. n°: data:

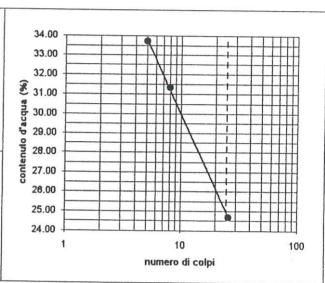
B 27/06/97

prof. prelievo (m):

10.00

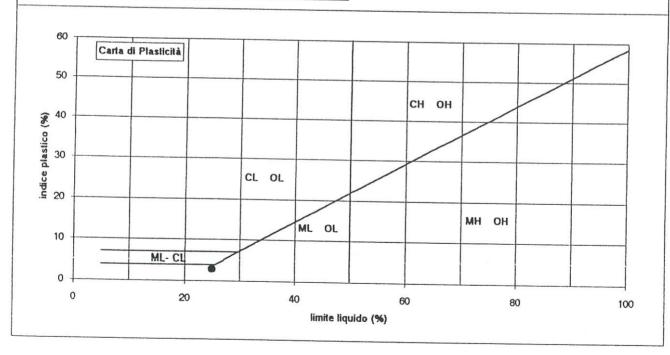
Contenuto acqua (%)	33.71	31.33	24.69
Peso secco (g)	4.48	4.15	2.39
Peso umido (g)	5.99	5.45	2.98
Peso tara (g)	12.47	13.57	12.84
P. secco + tara (g)	16.95	17.72	15.23
P. umido + tara (g)	18.46	19.02	15.82
Numero dei colpi	5	8	26
Numero tara	В	D	Q
Limite Liquido			

reso secco (g)	4.40	4.15	2.39
Contenuto acqua (%)	33.71	31.33	24.69
Limite Plastico			
Numero tara		Ī	Н
P. umido + tara (g)		15.76	15.63
P. secco + tara (g)		15.25	15.12
Peso tara (g)		12.89	12.85
Peso umido (g)		2.87	2.78
Peso secco (g)		2.36	2.27
Contenuto acqua (%)		21.61	22.47



Limite Liquido %	LL	24.9
Limite Plastico %	LP	22.0
Indice Plastico %	IP	2.9
Contenuto d'acqua %	Wn	
Indice di Consistenza	Ic	







LABORATORIO TERRE

Analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione (aerometria) Visto:

il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Cantiere:

Sond. o pozzetto:

S4

campione nº: 1

01/07/97 data:

profondità prelievo (m): 6.20÷6.60

N. rif.: Note:

Quantità di terreno analizzato (g)

GR893

150

Peso specifico dei granuli (g/cmc)

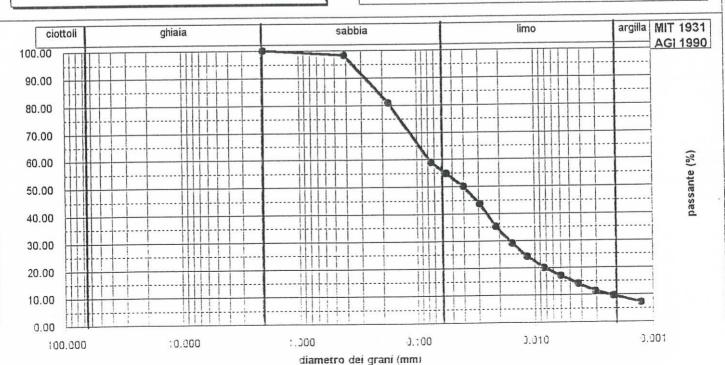
2.68

apertura	peso inerte	parziali	totale	totale	tempo	lettura	Hr	corr.	diametro dei granuli	passante parziale	somma
maglie	trattenuto	trattenuti	trattenuti	passante		aerometro		temp.			0/
mm	g	%	%	%	min	R	cm		mm	%	%
76.200	0.00	0.00	0.00						0.0750		58.80
50.800	0.00	0.00	0.00		0.5	253	9.58	-0.77	0.0561	93.04	54.71
38.100	0.00	0.00	0.00		1	233	10.02	-0.77	0.0406	85.07	50.02
25.400	0.00	0.00	0.00		2	205	10.63	-0.77	0.0296	73.90	43.45
19.050	0.00	0.00	0.00		4	170	11.38	-0.77	0.0216	59.94	35.25
12.700	0.00	0.00			8	143	11.97	-0.77	0.0157	49.17	28.91
9.520	0.00	0.00			15	122	12.43	-0.77	0.0117	40.80	23.99
4.760	0.00	0.00	0.00		30	105	12.80	-0.77	0.0084	34.02	20.00
2.000	0.00	0.00	0.00	100.00	60	92	13.08	-0.77	0.0060	28.83	16.95
0.420	2.67	1.78	1.78	98.22		79	13.36	-0.77	0.0043	23.65	13.91
0.177	26.28	1		80.70	1	68	13.60	-0.77	0.0031	19.26	11.33
0.075	32.85		1	58.80	1	61	13.75	-0.77	0.0022	16.47	9.68
fondo	88.20				1440	50	13.99	-0.77	0.0013	12.08	7.11

DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE TERRENO

limo e sabbia debolm. argillosi classicazione USCS: CL

Temperatura di prova °C	24.5
Correzione menisco	0.3
Correzione dispersivo	-1.5





LABORATORIO TERRE

CARATTERISTICHE DI PLASTICITA' Limiti di Atterberg

Visto: il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Cantiere:

Sond. o pozzetto: N. rif.: A484

S4

camp. n°: data:

02/07/97

prof. prelievo (m):

6.20÷6.60

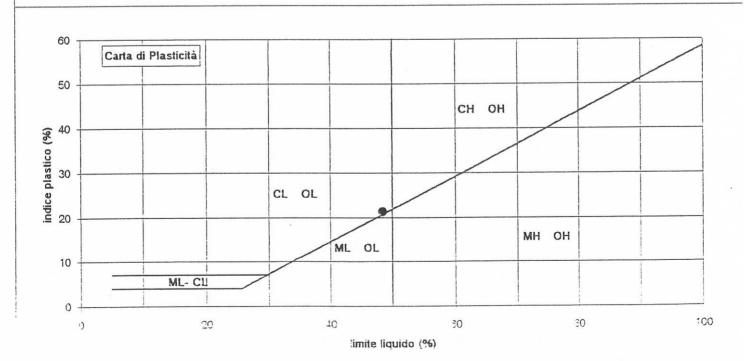
Limite Liquido			
Numero tara	1 = 1	F	N
Numero dei colpi	12	25	49
P. umido + tara (g)	17.54	18.13	17.80
P. secco + tara (g)	15.98	16.45	16.25
Peso tara (g)	12.89	12.97	12.92
Peso umido (g)	4.65	5.16	4.88
Peso secco (g)	3.09	3.48	3.33
Contenuto acqua (%)	50 49	48 28	46 55

Limite Plastico	_	0
Numero tara	E	G
P. umido + tara (g)	15.57	14.92
P. secco + tara (g)	15.12	14.48
Peso tara (g)	13.46	12.86
Peso umido (g)	2.11	2.06
Peso secco (g)	1.66	1.62
Contenuto acqua (%)	27.11	27.16

	51.00		
(%	50.00		
acdna (49.00		
contenuto d'acqua (%)	48.00		
con	47.00		
	46.00	1 10 10	n
		numero di colpi	4

Limite Liquido %	LL	48.4
Limite Plastico %	LP	27.1
Indice Plastico %	IP	21.2
Contenuto d'acqua %	Wn	
Indice di Consistenza	lc	

Liquidità Fluidità Tenacità





LABORATORIO TERRE

PROVA TRIASSIALE CU consolidata-non drenata

Visto:
il responsabile del laboratorio
Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEOTER sas

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Committente:

COMUNE DI MONTALDO (BI)

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Montaldo (BI)

Cantiere:

Sond. o pozzetto:

\$4

camp. n°:

1

prof. prelievo (m):

6.20÷6.60

N. rif.:

CU125

data:

08/07/97

CARATTERISTICHE GENERALI DEL TERRENO

Limite liquido

WI =

48.4

Indice plastico

PI =

21.2

Peso specifico dei granuli

Gs =

g/cm³

-	CARATTERISTICHE DEI PROVINI									
dimensi		dimensioni iniziali		densità finale	densità secca	umidità iniziale	umidità finale			
provino n°	D mm	altezza iniziale H		γ _f g/cm³	γ _d g/cm³	Wi %	Wf %			
CU169 CU170 CU171	38.1 38.1 38.1	76.2 76.2 76.2	1.95 1.90 1.99	1.99 1.96 2.01	1.56 1.52 1.60	25.37 24.65 24.31	27.47 28.65 25.62			

Velocità di prova	v =	0.01	mm/min	
Velocità di piova	v –	0.01	111111111111111111111111111111111111111	

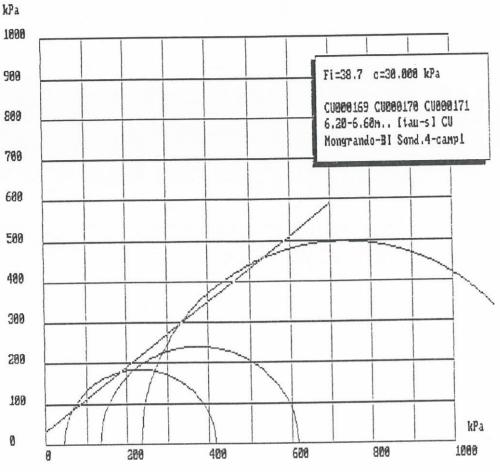
				RISULT	TATI DELLA	PROVA			
		FASE DI CON	SOLIDAZIONE			FAS	SE DI ROTTU	RA	
	B.P.	O 3	δV	t 100	εf	σ1'/σ3'	σ 1 ^t	δU	$\sigma_1 - \sigma_3$
provino n°	kPa	kPa	cm ³	min	%	kPa	kPa	kPa	kPa
CU169	200	100	-0.4	10.1	1.4	9.05	377	58.29	336
CU170	200	200	-0.9	2.4	6.7	4.56	612	65.86	478
CU171	200	300	-0.7	12.5	2.1	5.24	1212	68.78	980

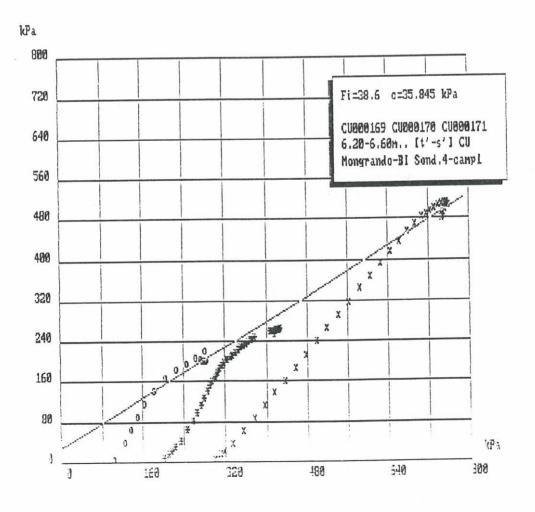
Coesione	33.0	kPa
Angolo di attrito	38.7°	

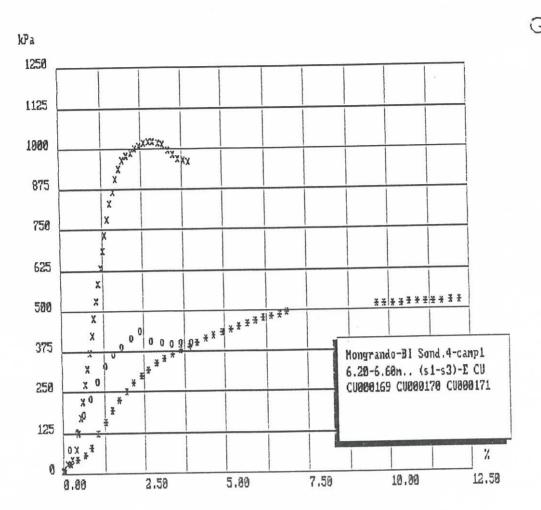
Resistenza al pocket penetrometer:

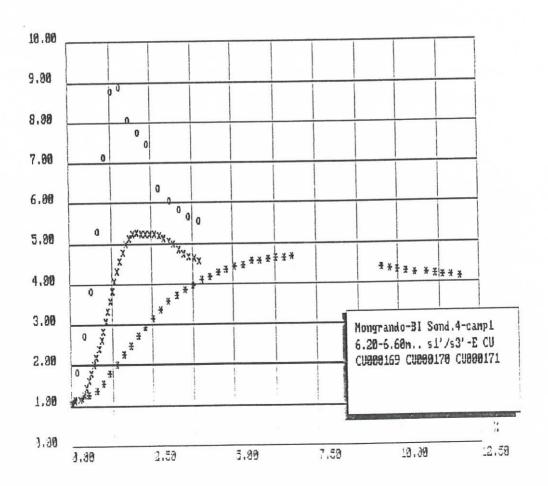
> 300 kPa

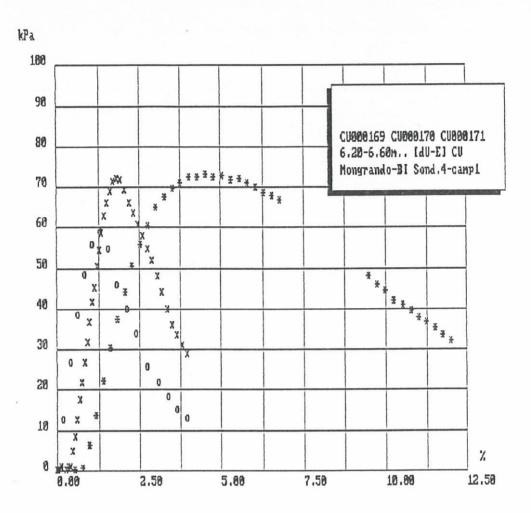
GEOTER sas













LABORATORIO TERRE

Analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione (aerometria) Visto:

il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEOTER sas

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Cantiere:

Sond. o pozzetto:

S4

campione n°: 2

N. rif.:

GR894

08/07/97

profondità prelievo (m): 15.30+15.90

Note:

Quantità di terreno analizzato (g)

100

data:

Peso specifico dei granuli (g/cmc)

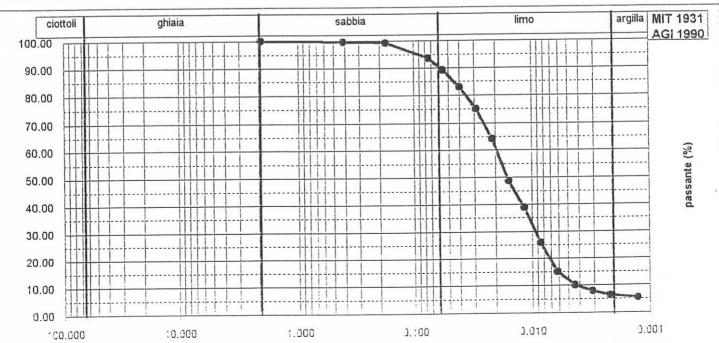
2.68

apertura	peso inerte	parziali	totale	1	tempo	S	Hr	corr.	diametro	passante parziale	somma
maglie	trattenuto	trattenuti	trattenuti	passante		aerometro		temp.	dei granuli		
mm	g	%	%	%	min	R	cm		mm	%	%
76.200	0.00	0.00	0.00						0.0750		93.59
50.800	0.00	0.00	0.00		0.5	260	9.43	-0.89	0.0560	95.36	89.24
38.100	0.00	0.00	0.00		1	243	9.80	-0.89	0.0404	88.58	82.90
25.400	0.00	0.00	0.00		2	222	10.26	-0.89	0.0292	80.20	75.06
19.050	0.00	0.00	0.00		4	193	10.89	-0.89	0.0213	68.64	64.24
12.700	0.00	0.00			8	151	11.80	-0.89	0.0157	51.89	48.56
9.520	0.00	0.00			15	125	12.36	-0.89	0.0117	41.52	38.85
4.760	0.00	0.00			30	90	13.12	-0.89	0.0085	27.56	25.79
2.000	0.00	0.00	1540 000-00	100.00	60	61	13.75	-0.89	0.0062	15.99	14.97
0.420	0.38	0.38	0.38	99.62	120	48	14.03	-0.89	0.0044	10.81	10.11
0.420	0.40	0.40		99.22	240	42	1	-0.89	0.0031	8.41	7.88
0.075	5.63	5.63		93.59	•	38		-0.89	0.0022	6.82	6.38
fondo	93.59			1	1440	35		-0.89	0.0013	5.62	5.26

DESCRIZIONE E CLASSIFICAZIONE TERRENO

limo debolm, sabbioso-argilloso classicazione USCS: ML

Temperatura di prova °C	24.0	
Correzione menisco	0.3	
Correzione dispersivo	-1.5	¥.



diametro dei grani (mm)



LABORATORIO TERRE

CARATTERISTICHE DI PLASTICITA'
Limiti di Atterberg

Visto:

il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEOTER sas

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

data:

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

Cantiere:

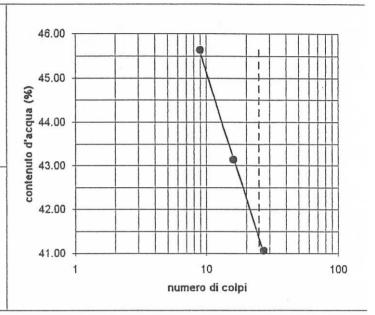
Sond. o pozzetto: N. rif.: A485 S4 camp. n°:

2 08/07/97 prof. prelievo (m):

15.30÷15.90

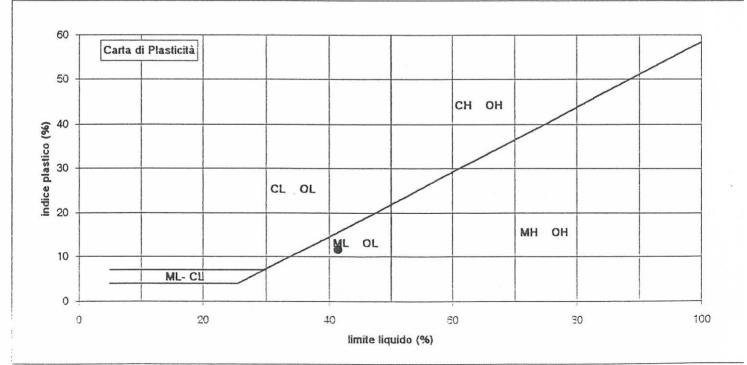
Limite Liquido			
Numero tara	Ν	F	G
Numero dei colpi	9	16	27
P. umido + tara (g)	17.42	18.81	18.70
P. secco + tara (g)	16.01	17.05	17.00
Peso tara (g)	12.92	12.97	12.86
Peso umido (g)	4.50	5.84	5.84
Peso secco (g)	3.09	4.08	4.14
Contenuto acqua (%)	45.63	43.14	41.06
A to the Direction			

	500000000000000000000000000000000000000		
Peso secco (g)	3.09	4.08	4.14
Contenuto acqua (%)	45.63	43.14	41.06
Limite Plastico			
Numero tara		E	1
P. umido + tara (g)		15.98	16.08
P. secco + tara (g)		15.40	15.35
Peso tara (g)		13.46	12.89
Peso umido (g)		2.52	3.19
Peso secco (g)		1.94	2.46
Contenuto acqua (%)		29.90	29.67



Limite Liquido %	LL	41.3
Limite Plastico %	LP	29.8
Indice Plastico %	IP	11.6
Contenuto d'acqua %	Wn	
Indice di Consistenza	Ic	

Liquidità Fluidità Tenacità





LABORATORIO TERRE

PROVA DI TAGLIO DIRETTO consolidata-drenata

Visto: il responsabile del laboratorio Dott. Geol. M. DI GIOIA

GEOTER sas

Committente:

COMUNE DI MONGRANDO (BI)

Località prelievo:

Località S. Lorenzo - Mongrando (BI)

Cantiere:

Sond. o pozzetto:

S 4

camp. nº:

2

prof. prelievo (m):

15.30÷15.90

Analista: Dott. Geol. L. BONIOLI

N. rif.: T217 data:

08/07/97

		CARAT	TERISTICHE		FASE L	DICONSOLIDA	ZIONE		
	dimensioni iniziali		densità	densità densità um		umidità	pressione di	tempo di	cedimento
	diametro	altezza	umida	secca	iniziale	finale	consolidaz.	consolidaz.	provino
provino n°	D	Н	γ;	γ.	Wi	Wf	Sigma' V	dt	ďΗ
	mm	mm	g/cm³	g/cm³	%	%	kPa	ore	mm
TD450	60.0	30.6	1.97	1.57	25.2		200	24	0.71
TD451	60.0	30.6	1.98	1.56	27.3	1	400	24	1.23
TD452	60.0	30.6	1 99	1.57	27.1		600	24	1 41

FASE DI ROTTURA

	valori di picco			prova di taglio residuo - valori di tau per ciascun ciclo di rottura						
provino n°	tau	Sh	Sv	tau 1	tau 2	tau 3	tau 4	tau 5	tau 6	
	kPa	mm	mm	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	
TD450	131					1				
TD451	208									
TD452	306									

velocità di prova:

0.005 mm/min (determinata sulla base del valore di T100)

Angolo di resistenza al taglio

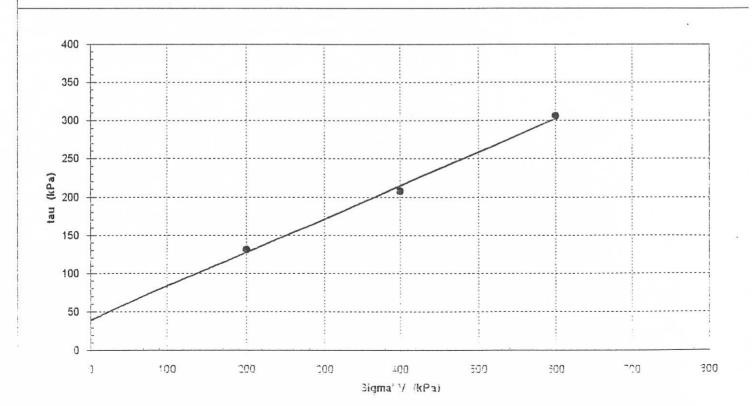
Coesione

Angolo di resistenza al taglio residua

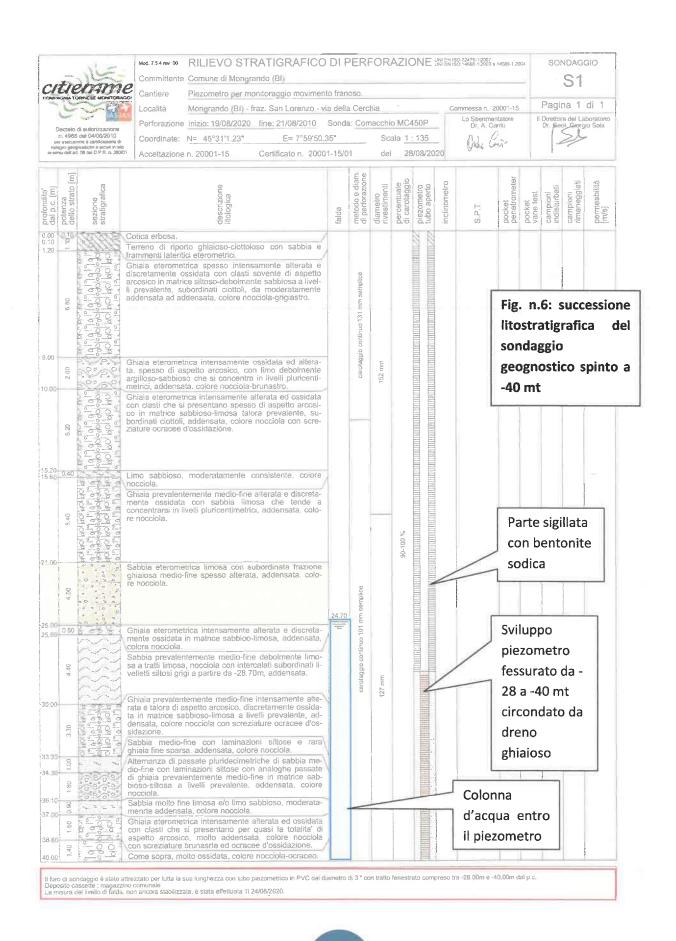
23.6° φ c' 39.8 kPa

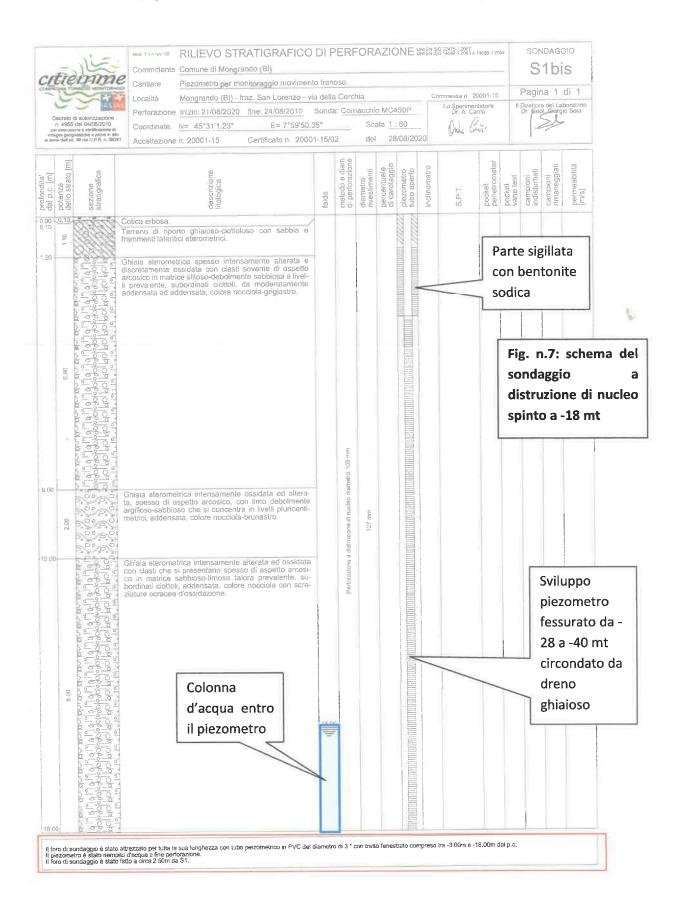
 φ'_{r}

>600 kPa Resistenza al pocket penetrometer: NOTE:

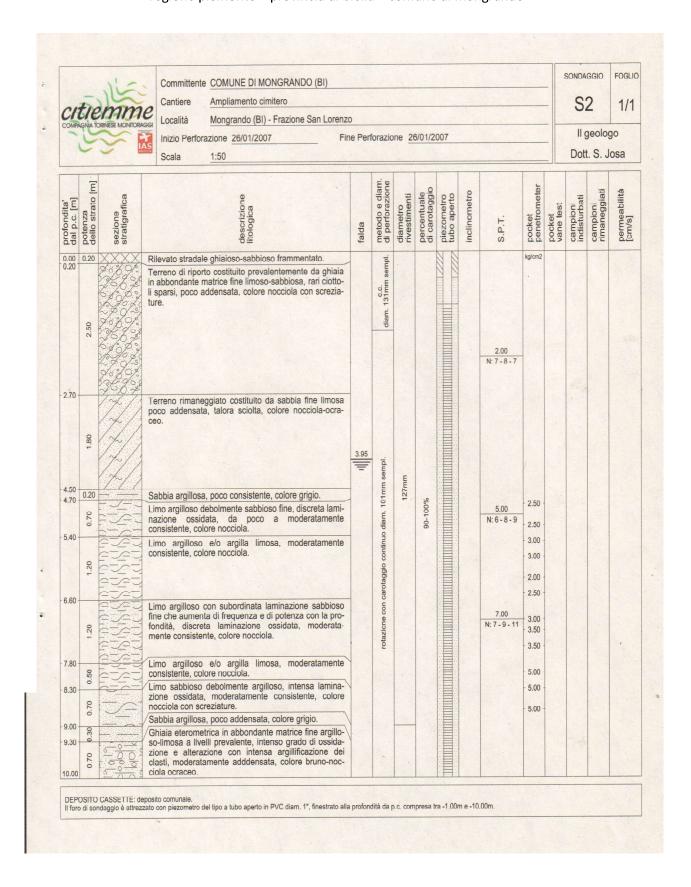


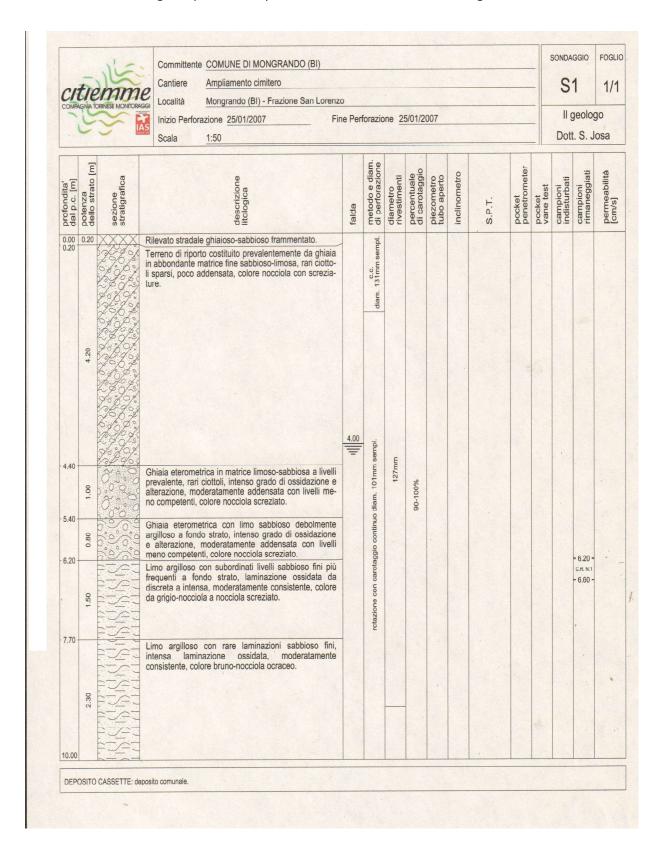
Allegato 2





Allegato 3





Dott. Guido PENNAZZATO GEOLOGO

LABORATORIO TERRE

N° 88 ORDINE DEI GEOLOGI DEL PIEMONTE

COMMITTENTE: COMUNE DI MONGRANDO

Studio e Laboratorio: 10135 TORINO Via M. Bartoli, 8 - Tel. e Fax (011) 618651

LIMITI DI CONSISTENZA DI ATTERBERG

LOCALITA': MONGRANDO (BI)

ZONA PRELIEVO:

DATA ANALISI: 30/01/2007

OPERATORE: DOTT. G. PENNAZZATO

SONDAGGIO: S 1

CAMPIONE: CR 1

PROFONDITA' m: 6.20 - 6.60

LIMITE LIQUIDO

Numero prove	PROVA 1	PROVA 2	PROVA 3
Recipiente	н	G	1
Numero di colpi	41	27	12
Peso lordo campione umido	30,36	31,38	40,65
Peso lordo campione secco	27,85	28,44	38,14
Tara contenitore	19,59	19,40	31,20
Peso dell'acqua	2,51	2,94	2,51
Peso netto campione secco	8,26	9,04	6,94
Contenuto in acqua %	30,39	32,52	36,17

PROVA A	PROVA B
F	С
27,31	27,30
26,30	26,27
22,09	22,00
1,01	1,03

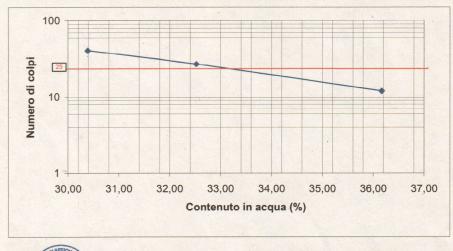
4,21

23,99

4,27

24,12

LIMITE PLASTICO

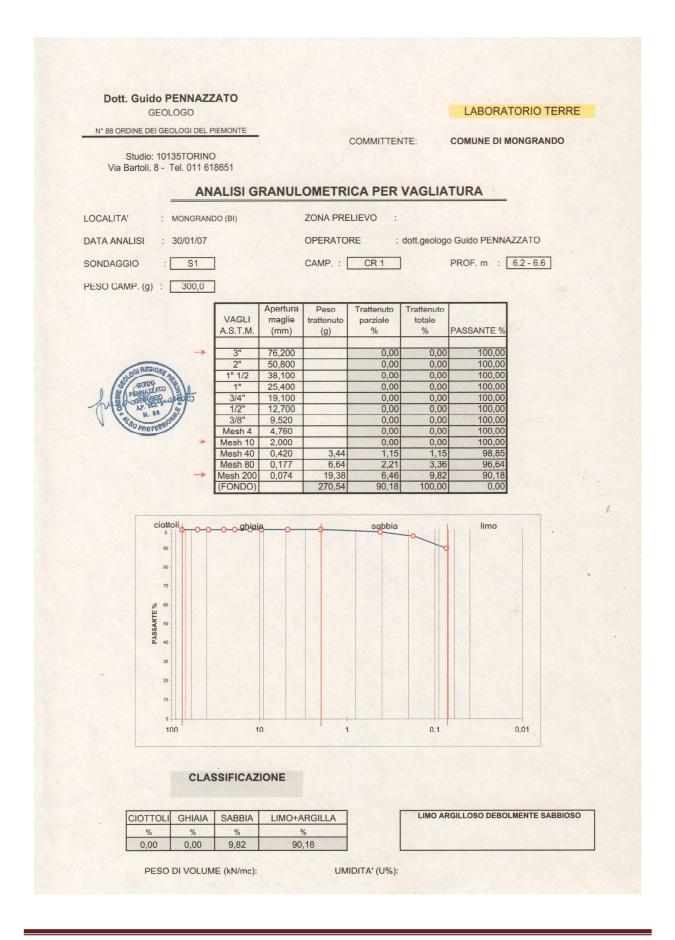


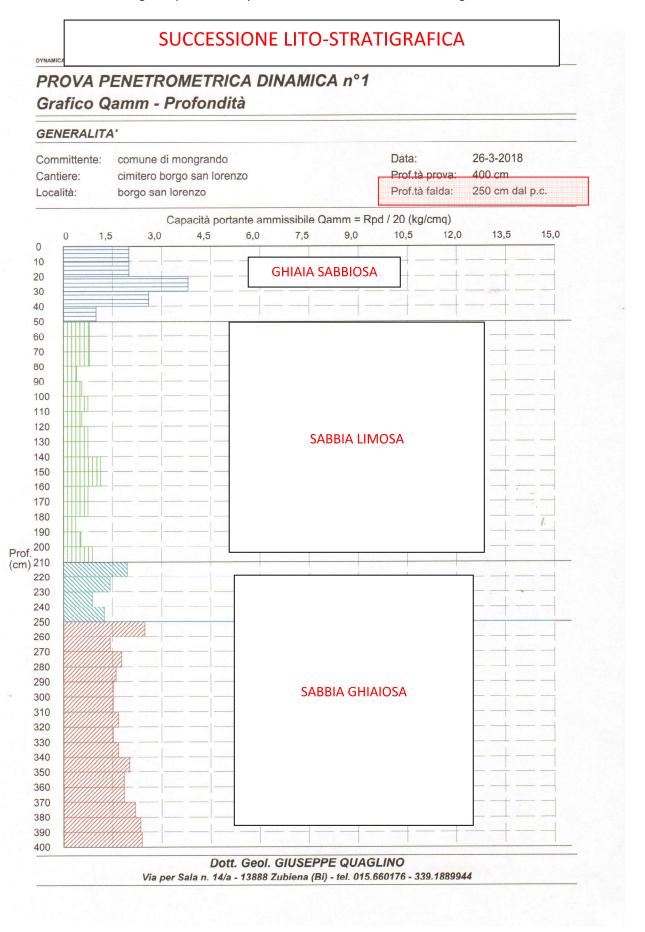


LL (%)= 33,00

LP (%)= 24,06

IP (%)= 8,94





DYNAMICA 2.0 by www.softrock.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA nº1

Elaborazione statistica e parametri geotecnici

GENERALITA'

Committente: comune di mongrando

Cantiere: Località:

cimitero borgo san lorenzo borgo san lorenzo

Data:

26-3-2018

Prof.tà prova:

400 cm

Prof.tà falda: 250 cm dal p.c.

ELABORAZIONE STATISTICA: VALORI NORMALIZZATI

Strato n°	Profondità (m)	Parametro	minimo	massimo	media	Nspt	
	1-000-050	Ndp 1:	3,3334650622	\$2 39 16809	07623,6	50	
1	da 0,00 a 0,50	Rpd (kg/cmq)	20,0	76,2	45,7	52,3	
2	da 0,50 a 2,10	Ndp 2,	8557185990	922028801	66936,8	5,4	
		Rpd (kg/cmq)	7,5	22,6	14,7	3,4	
0	d= 2.40 = 2.50	Ndp 6,	336846641144	3492 45878	72070,0	10.0	
3	da 2,10 a 2,50	Rpd (kg/cmq)	17,8	39,1	27,5	10,0	
4			,5226099786	992730165	15481,7	117	
	da 2,50 a 4,00	Rpd (kg/cmq)	28,4	49,7	37,1	11,7	

PARAMETRI GEOTECNICI: VALORI NORMALIZZATI

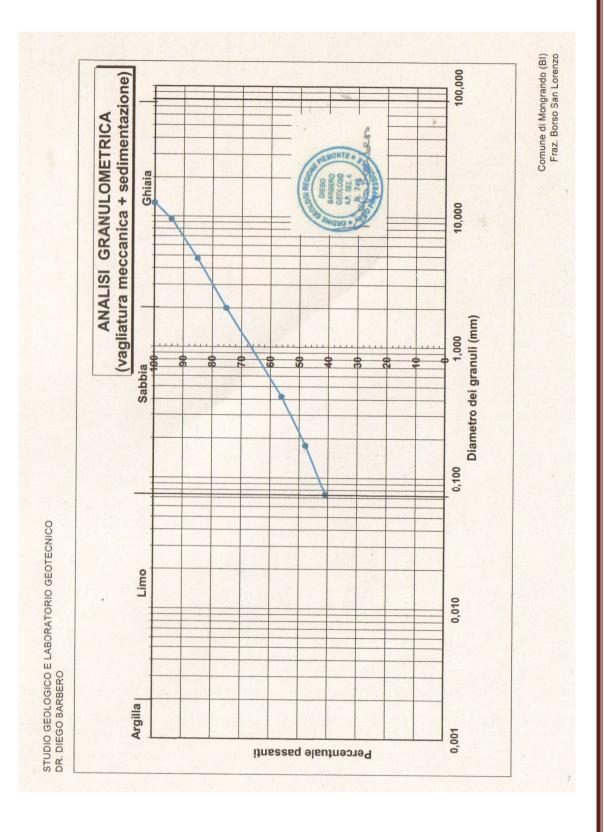
		INCOERENTE							COESIVO				
STRATO	Prof. (m)	Dr (%)	φ (°)	y (t/mc)	M kg/cmq	E kg/cmq	Go (t/mq)	Vs (m/s)	Ic (-)	Cu kg/cmq	y (t/mc)	Ed kg/cmq	Go (t/mq)
1	0,50	100,0	42,0	2,05	223,1	418,4	23915	186,4		T I	-		
2	2,10	53,0	35,6	1,36	57,2	43,4	4272	134,1					
3	2,50	70,7	37,9	1,53	73,4	79,9	6796	152,4	******	01.00.00.00		44.00 M (44.00)	
4	4,00	71,8	37,5	1,59	79,4	93,5	7660	158,7	-				

Dott. Geol. GIUSEPPE QUAGLINO Via per Sala n. 14/a - 13888 Zubiena (Bi) - tel. 015.660176 - 339.1889944

Diego	Dott. Geol. BARBERO San Martino Alfieri (AT)	ANALISI (
Committente	Sur Partino Ameri (Ar)	DOTT, GEOL.	QUAGLINO GIUS	SEPPE						
Località	Mongrando Fraz. Borgo San Lorenzo									
Sond./pozzetto	3	N° camp.	3	N° prova	3					
Data prelievo	09.03.2018	Prof. m	-1,50	Data prova	16.03.2018					
Operatore:	Dott. BARE	BERO	Terreno analizza	ato totale (g)	752,00					
Setaccio ASTM	Apertura maglie	Parziali trattenuti	Parziali trattenuti	Totali trattenuti	Totali passanti					
n°	mm	g	%	%	%					
4"	101,60	0,00	0,00	0,00	100,00					
3"	76.20	0,00	0,00	0,00	100,00					
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00					
1" 1/2	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00					
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00					
3/4"	19,10	0,00	0,00	0,00	100,00					
1/2"	12,70	0,00	0,00	0,00	100,00					
3/8"	9,52	43,53	5,79	5,79	94,21					
4	4,76	68,12	9,06	14,85	85,15					
10	2,00	75,02	9,98	24,82	75,18					
. 40	0,42	143,24	19,05	43,87	56,13					
80	0,18	62,58	8,32	52,19	47,81					
200	0,07	52,80	7,02	59,21	40,79					
Fondo	=	306,71	40,79	100,00	0,00					
ij	Ghiaia									
Percentuali	Sabbia		34,39%		Wnat=					
cen	Limo	40,79%			Wilat-					

D60= 0,6

CLASSIFICAZIONE TERRENO AGI: Limo con sabbia ghiaiosa



Piano Regolatore Aree cimiteriali