REALIZZAZIONE DI UN VALLO PARAMASSI A DIFESA DELL'ABITATO IN COMUNE DI NOVATE MEZZOLA
CIG 9158189BA3



Fase Progettuale

PROGETTO ESECUTIVO

Oggetto

02 - GEOLOGIA E GEOTECNICA
Relazione geologica

Ing. P. Cancelli
Ing. G. Bragonzi

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 45488726
https://studiocancelli.eu
E-mail: info@studiocancelli.eu

Dott. Geol. A. Tamburini

IMAGEO

Collaborazione

Ing. A. Mocchi
Ing. L. Tedeschi

Dott. Agr. F. Neonato
(PN Studio)

Elaborato

02.01

Codice 294E014T08

Scala -

13/12/2024	0	Emissione per consegna	GB
Data	n°	Descrizione	Approvato

Indice

1 PREMESSA 6
2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 7
2.1 Normativa di riferimento 7
2.2 Documentazione di riferimento 7
3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E PAESAGGISTICO 8
4 ANALISI CARTOGRAFIA ESISTENTE 9
4.1 Studio per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT 9
4.2 Altri studi 12
5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA 14
5.1 Inquadramento geologico 14
5.2 Inquadramento geomorfologico 16
5.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico 17
6 INQUADRAMENTO SISMICO 19
7 APPROFONDIMENTO AI SENSI DELLE NORME GEOLOGICHE DI PIANO 20
8 RILIEVI TOPOGRAFICI 21
8.1 Rilievo Lidar e fotogrammetrico da drone 21
8.2 Rilievo Laser Scanner Terrestre (TLS) 22
8.3 Sintesi degli elaborati ottenuti 22
9 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE 24
9.1 Sondaggi geognostici 25
9.2 Prove geotecniche in foro 26
9.3 Prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT) 26
9.4 Prove geotecniche di laboratorio 27
9.5 Prospezioni geofisiche 28
9.5.1 Stendimento MASW 28
9.5.2 Prospezione sismica con metodo HVSR 29
9.5.3 Prospezione sismica a rifrazione con elaborazione tomografica 29
9.5.4 Prospezione geoelettrica con elaborazione tomografica 30
10 ORIENTAZIONE DEI PRINCIPALI SISTEMI DI DISCONTINUITÀ 32
11 SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITÀ, JV E VRU 39

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

11.1 Cenni teorici e procedure campionamento dati 39
11.2 Sintesi dei risultati 45
11.3 VRU derivato dalla combinazione delle spaziature 47
12 ANALISI CINEMATICHE 51
12.1 Dati di input 51
12.2 Sintesi dei risultati 53
13 PRINCIPALI SETTORI POTENZIALMENTE INSTABILI 57
14 ANALISI VOLUMI DEI BLOCCHI NEGLI ACCUMULI DETRITICI 61
15 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO 68
16 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI 72

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ORGANISMO DI CERTIFICAZIONE AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ORGANISMO DI CERTIFICAZIONE AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

1 PREMESSA

Il presente documento è stato redatto nell'ambito della Progettazione Esecutiva (PE) per la ***"Realizzazione di un vallo paramassi a difesa dell'abitato in Comune di Novate Mezzola"***.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

[1] Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture, Decreto Legislativo 18.04.2016, n. 50, G.U. n. 91 del 19.04.2016

[2] Regolamento di esecuzione e attuazione del Decreto Legislativo 12.04.2006, n. 163, DPR del 05.10.2010, n. 207, G.U. n. 288 del 10.12.2010, Supplemento Ordinario n. 270.

[3] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018, Supplemento Ordinario n.8 alla Gazzetta Ufficiale.

[4] D.M. 11.03.1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", G.U. 01.06.1988, n. 127. S.O.

[5] UNI 11211 – Opere di difesa dalla caduta massi: Parte 1 - Termini e definizioni; Parte 2 – Programma preliminare di intervento; Parte 3 – Termini e progetto preliminare; Parte 4 – Progetto definitivo ed esecutivo; UNI 11167 – Rilevati paramassi. Metodi di prova all'impatto e realizzazione.

2.2 Documentazione di riferimento

[6] Frana di crollo nella parete rocciosa in loc. Foppa-Chiosi in Comune di Novate Mezzola. Redazione analisi cinematica – EG4 RISK S.r.l. – Ottobre 2021.

[7] Campagna di indagini geognostiche, geofisiche e ambientali – Relazione Tecnica-Illustrativa S.In.Ge.A. Rrl.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E PAESAGGISTICO

La porzione di versante oggetto di studio è ubicata in località Foppa Chiosi, nel Comune di Novate Mezzola (SO). L'abitato soggetto a rischio di caduta massi (220 m s.l.m.) è delimitato a Nord dalle pareti rocciose del Monte Avedèe, ad Est dal Torrente Codera e ad Ovest dalla piana alluvionale del Fiume Mera.



Figura 3.1: ubicazione geografica dell'area oggetto di studio (tratta da Google Earth).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

4 ANALISI CARTOGRAFIA ESISTENTE

Nei prossimi paragrafi si analizza la presenza di vincoli di interesse geologico riportati dalla cartografia comunale e sovra-comunale riguardanti l'area di studio.

4.1 Studio per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT

Lo Studio Geologico Comunale vigente è aggiornato al 2010 a firma del dott. Claudio Depoli e fa riferimento alla D.G.R. n. 8/1566 del 22/12/05 ed ai contenuti della D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008.

In base alla carta di sintesi, Tav. 4Ca, allegata allo studio geologico, l'area in oggetto rientra in parte tra le aree estrattive e nel limite NW in area di frana quiescente (Figura 4.1).

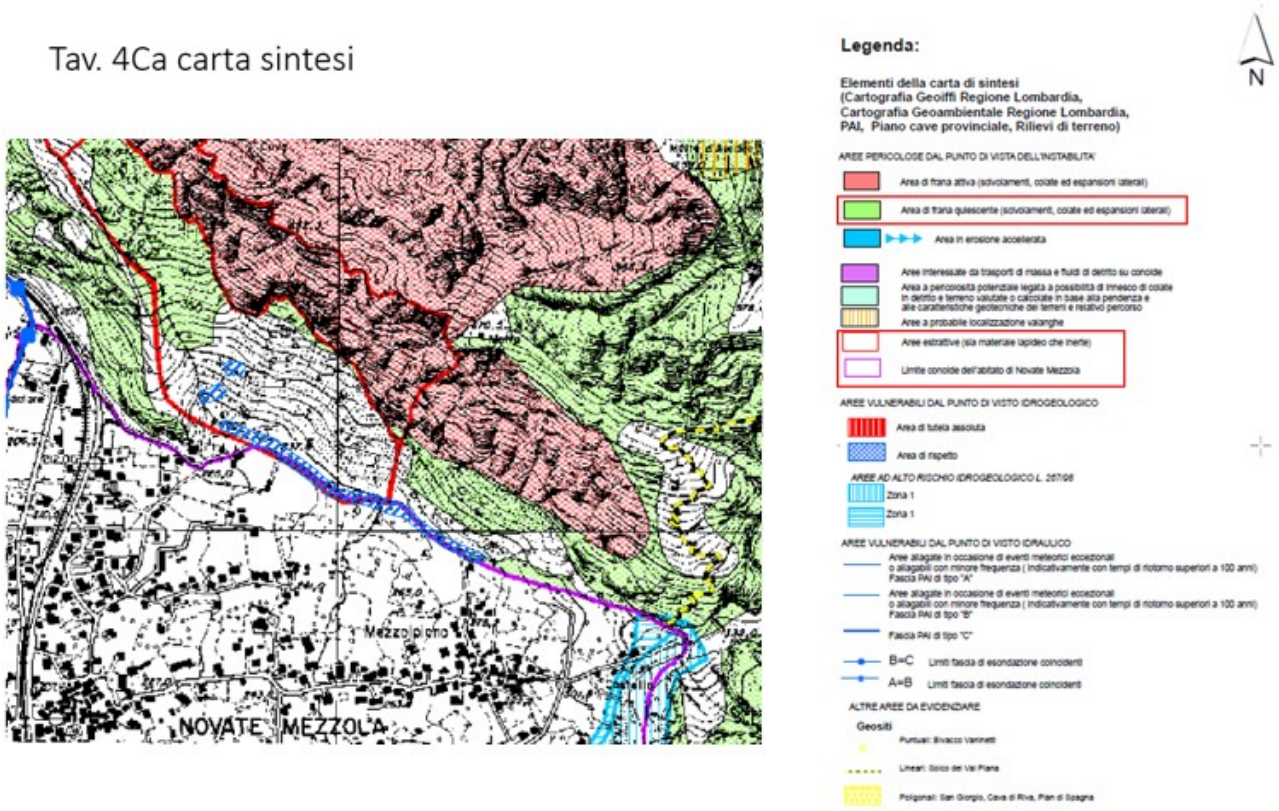


Figura 4.1: estratto Carta di sintesi, Tav. 4Ca, da PGT. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala.

Come riportato nella carta dei vincoli, Tav. 3Ca, solo la parte NW dell'area in oggetto ricade in ambito a vincolo di frana quiescente (Figura 4.2). Per quanto riguarda invece i vincoli di polizia idraulica, l'area in esame non rientra in nessuna classe di rispetto fluviale del reticolo idrico minore.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

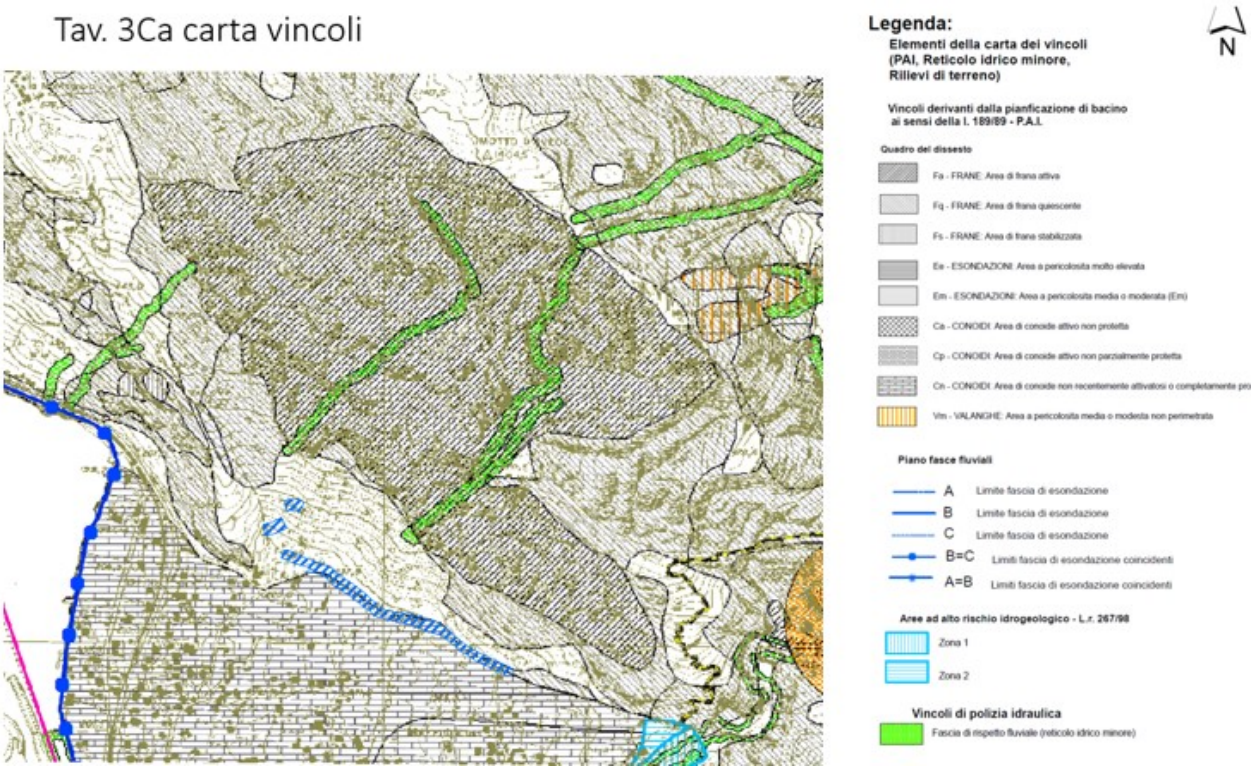


Figura 4.2: estratto Carta dei vincoli, Tav. 3Ca, da PGT. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala.

Nella Carta di Fattibilità Geologica, Tav. 5Cb, per le azioni di piano del PGT, i terreni in oggetto ricadono in classe di fattibilità 2, fattibilità con modeste limitazioni; classe 3, fattibilità con consistenti limitazioni; classe 4, fattibilità con gravi limitazioni (Figura 4.3).

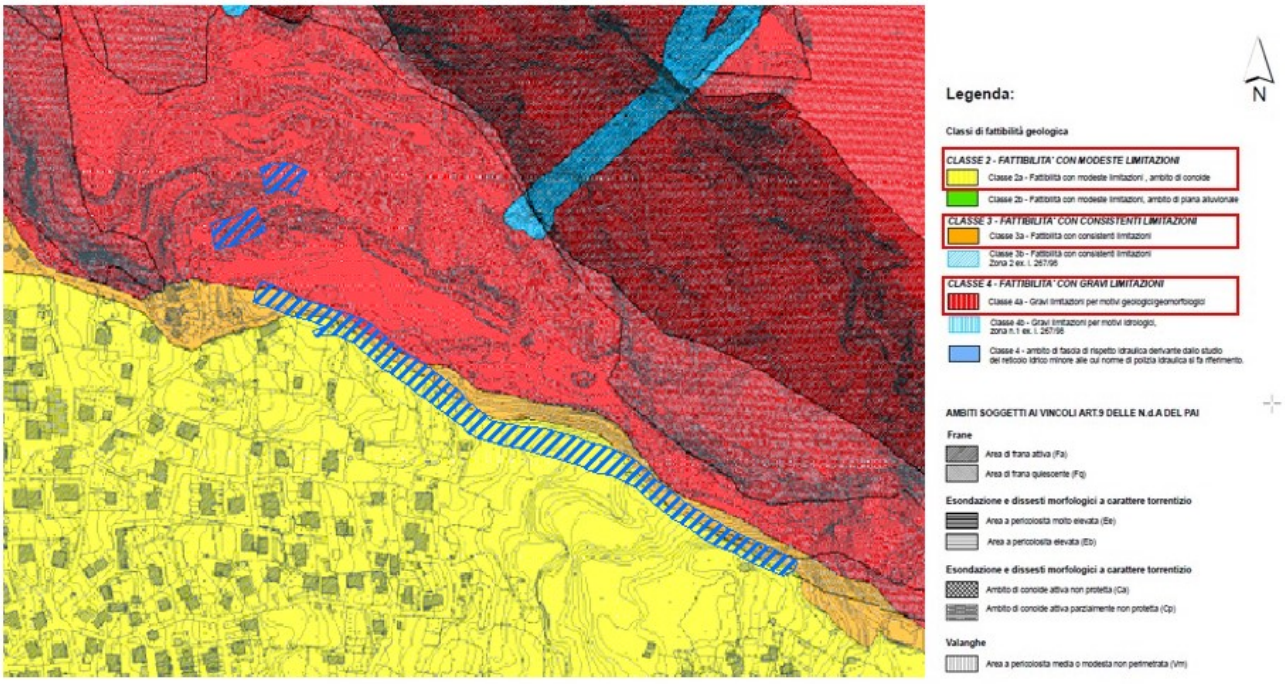


Figura 4.3: estratto Carta di dettaglio della Fattibilità Geologica, Tav. 5Cb, da studio geologico comunale. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

In base alla riclassificazione sismica dei comuni operata da Regione Lombardia (D.G.R. 11 luglio 2014 n°2129), il comune di Novate Mezzola ricade in Zona Sismica 3.

Nella carta degli scenari di pericolosità sismica locale allegata al PGT, Tav. 6Ca, il terreno in oggetto è classificato in area Z4b, suscettibile di amplificazione sismica per la litologia e geometria dei luoghi (Figura 4.4).

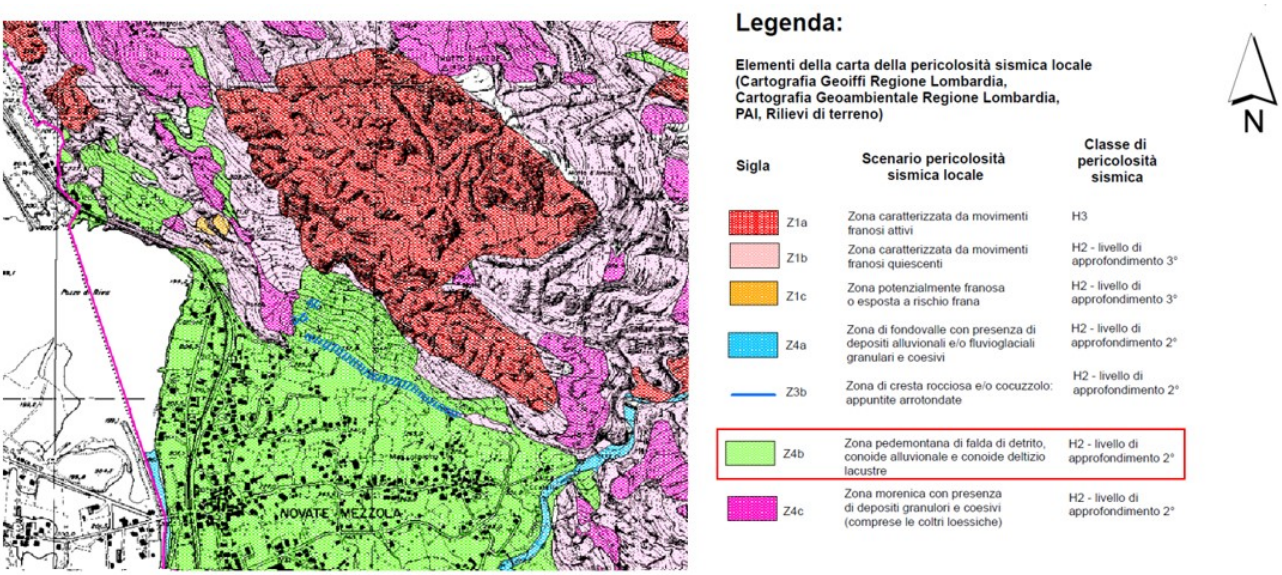


Figura 4.4: estratto Carta della PSL (pericolosità sismica locale), Tav. 6Ca, da studio geologico comunale. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ISO 9001:2015

4.2 Altri studi

Dalla carta del dissesto con legenda uniformata PAI allegata al PGT comunale, Tav. 15Aa, l'area ricade parzialmente nella zona NW nella zona Fq, di frana quiescente ed in nessuna fascia fluviale PAI (Figura 4.5).

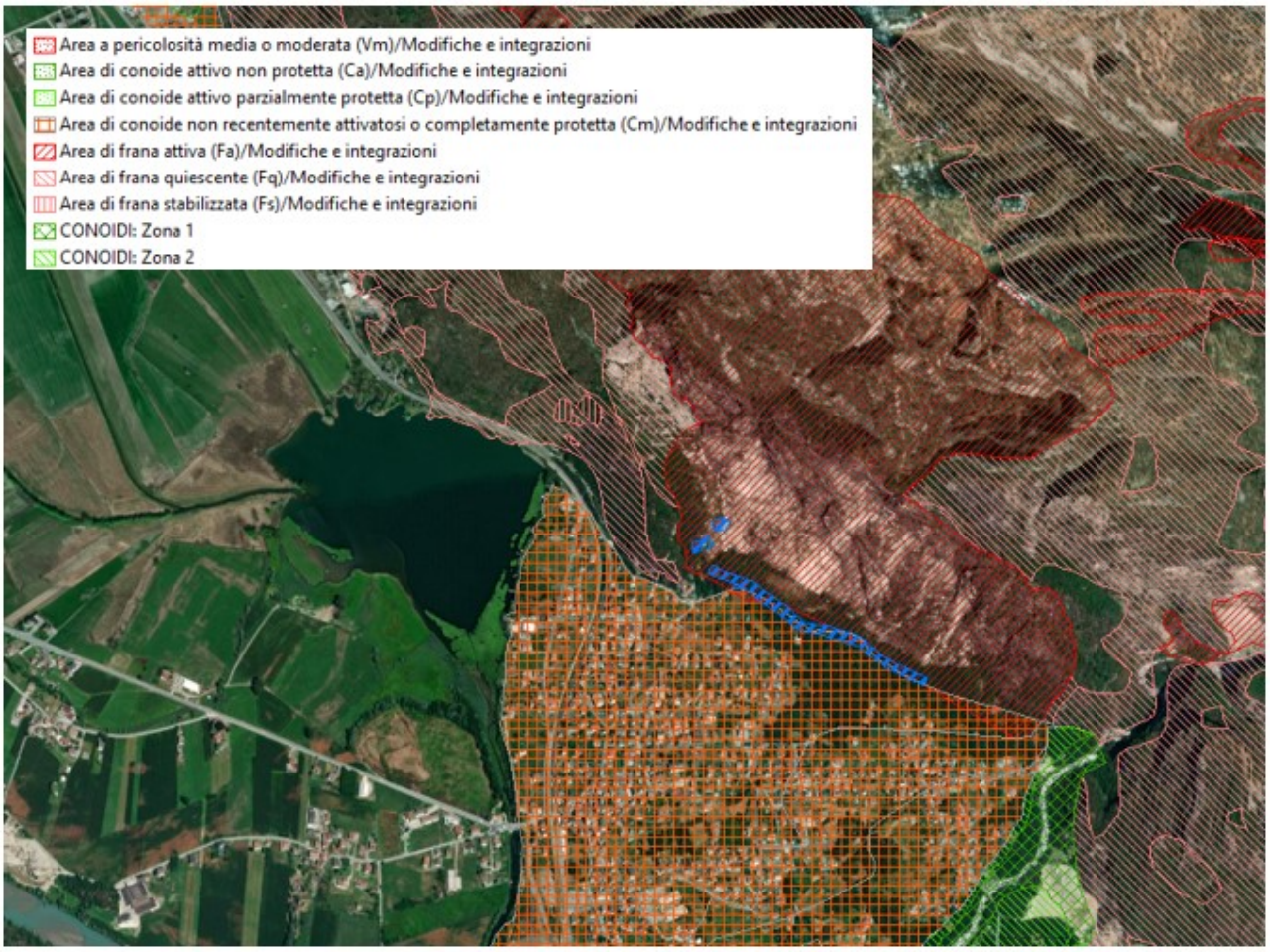


Figura 4.5: estratto carta PAI dal Geoportale della Lombardia. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura senza scala.

Per quanto riguarda la cartografia PAI, dalla mappa interattiva disponibile con la piattaforma IdroGEO l'area ricade in uno scenario di rischio basso per le alluvioni. (Figura 4.6).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

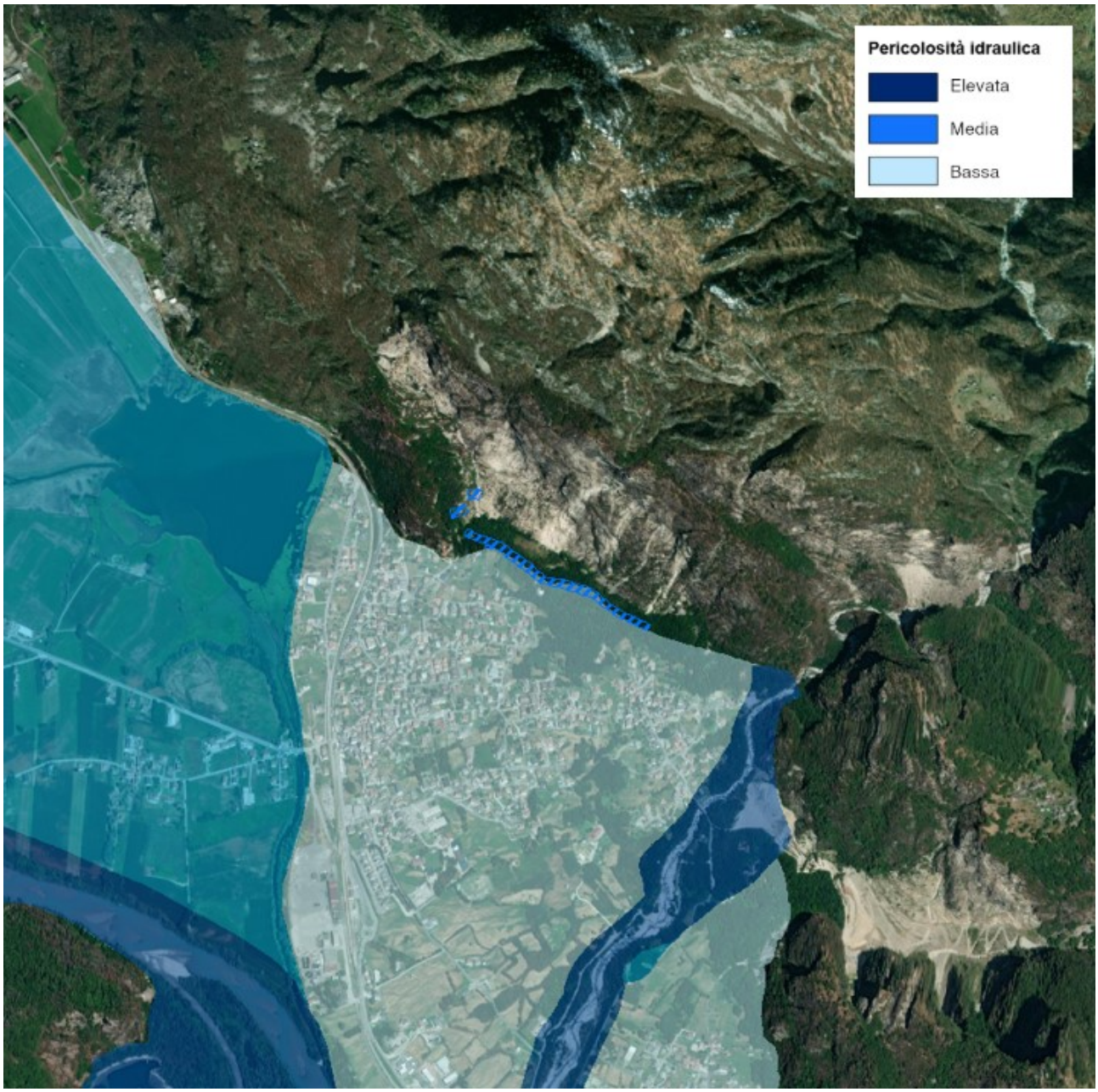


Figura 4.6: estratto Pericolosità PAI da Piattaforma Idrogeo. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

5.1 Inquadramento geologico

L'area in esame è rappresentata in parte nel Foglio n 17 Chiavenna (del 1941) e in parte nel Foglio n. 18 Sondrio (del 1967) della Carta Geologica d'Italia, consultabile sul sito http://sgi.isprambiente.it/geologia100k/. La Figura 5.1 rappresenta un estratto delle due carte affiancate, con le relative legende.

F.17 Chiavenna F.18 Sondrio



Figura 5.1: estratto dei fogli n. 17 Chiavenna e n. 18 Sondrio della Carta Geologica d'Italia, con relative legende. Figura non in scala.

In entrambe le carte è ben visibile la conoide generata dal T. Codera, mentre il substrato roccioso affiorante veniva classificato come "Granito di S. Fedelino", ovvero granito aplitico a biotite e muscovite, a grana minuta, con tessitura orientata, che rappresenta il più recente dei corpi tardo-alpini.

La zona è stata comunque oggetto di studi più recenti come lo studio Ciancaleoni e Marquer (2006) rappresentato in Figura 5.2, tratta dalla Relazione Analisi Cinematica di EG4RISK del 2021. Nella stessa relazione, l'area di studio viene descritta come "*costituita dalle pareti rocciose del monte Avedèe e caratterizzata da rocce granitiche appartenenti all'intrusione di Novate, la cui messa in posto è associabile alla deformazione transpressiva lungo il sistema di faglie della linea Periadriatica durante la fase di convergenza tra Adria e Europa. La regione centrale delle Alpi orientali è caratterizzata da una deformazione di età oligocenica contraddistinta da tre fasi intrusive: la prima di composizione tonalitica appartenente al plutone Masino Bregaglia (32 Ma), la seconda di composizione granodioritica appartenente al plutone Masino Bregaglia (30 Ma) e la terza costituita da leucograniti risalenti all'intrusione del plutone di Novate (24-26 Ma). Le leucograniti di Novate sono formate da graniti di tipo S a grana fine a due miche con granato derivato dalla fusione parziale di rocce crostali durante la*

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ORGANISMO DI CERTIFICAZIONE AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

fase di decompressione tardo alpina, durante l'esumazione del Plutone Bregaglia connessa al retroscorrimento lungo la linea Insubrica".

Il Granito di Novate e i dicchi associati inoltre tagliano le strutture delle rocce incassanti tra cui il Plutone Bregaglia (Ciancaleoni e Marquer, 2006; Schmid et al., 1996b), conferendo così all'intrusione di Novate un'età più giovane rispetto all'intrusione Masino-Bregaglia. Al contatto sud con il plutone Masino –Bregaglia sono presenti all'interno dei Graniti di Novate blocchi tonalitici (Plutone Masino-Bregaglia). Ad ovest in corrispondenza della piana alluvionale del fiume Mera il plutone di Novate è attraversato dalla Linea della Forcola posta in direzione NW-SE".

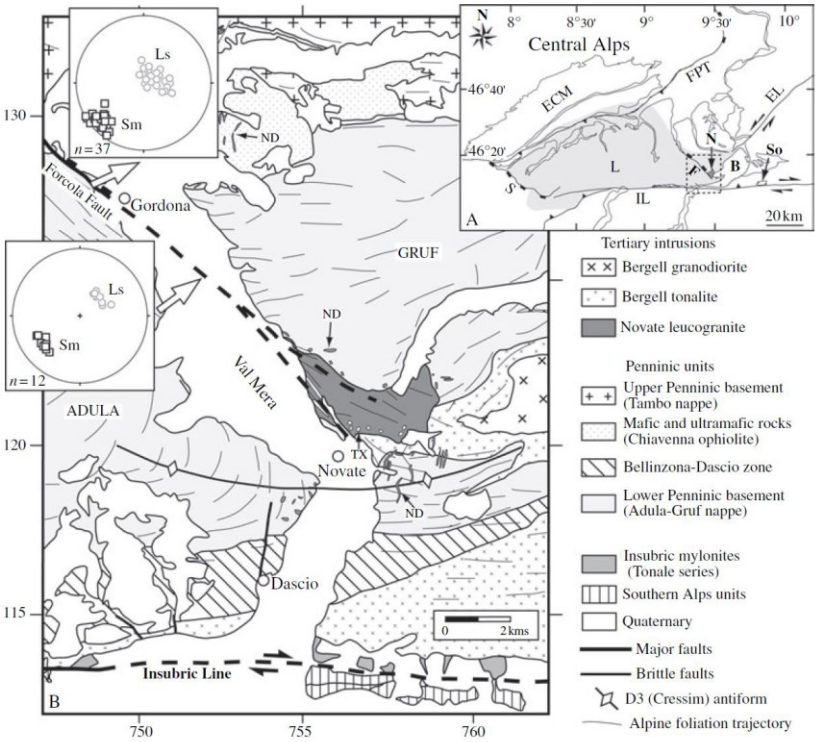


Figura 5.2: schema geologico strutturale dell'area oggetto di studio dal lavoro di Ciancaleoni e Marquer 2006. A) ECM Massiccio cristallino esterno; FPT Thrust Pennidico frontale; L duomo Lepontino; S linea del Sempione; IL Linea Insubrica; EL Linea Engadina; F Faglia Forcola; B Plutone Masino; N Plutone di Novate; S Plutone di Sondrio. B) Schema del limite est della regione est del Plutone Masino-Bregaglia; ND dicchi di novate; B xenoliti tonalitici del plutone Masino-Bregaglia (da Rel. Analisi Cinematica, EG4RISK, 2021).

Per l'inquadramento geologico dell'area si sono inoltre consultate le tavole e la Relazione geologica allegate al PGT del comune di Novate Mezzola, dove si evince che nell'area in esame sono presenti depositi continentali quaternari appartenenti alla conoide del Torrente Codera, mentre le pareti rocciose soprastanti appartengono a rocce intrusive acide, in particolare ai Leucograniti di Novate, come rappresentato in Figura 5.3 tratta dal PGT.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO
AID ISO 9001:2015

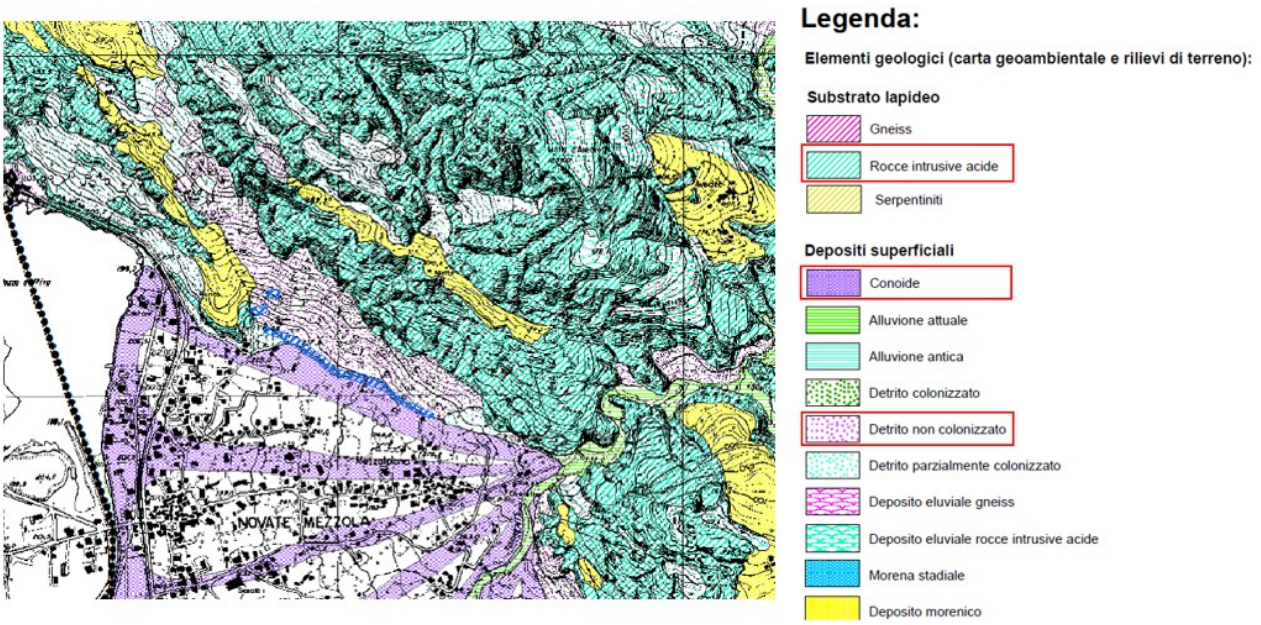


Figura 5.3: estratto dalla Carta Geologica del PGT, Tav. 10Aa. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala.

5.2 Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico, l'area oggetto del presente studio è ubicata a Nord del Lago di Mezzola sulla conoide del Torrente Codera, compreso tra il Torrente Codera e il Pozza di Riva, ad una quota di circa 220-230 m s.l.m. (Figura 5.4). A Nord della conoide affiorano ripide pareti rocciose aventi un'altezza di diverse centinaia di metri, dove in passato erano presenti delle cave.

La morfologia attuale è il risultato della modellazione glaciale avvenuta durante le diverse glaciazioni alla quale si è sovrapposta l'azione delle acque di ruscellamento e della gravità. Infatti, durante l'ultima grande espansione glaciale avvenuta circa tra 20.000 e 15.000 anni fa, il territorio montano della Lombardia era quasi interamente sepolto sotto una coltre glaciale che poteva raggiungere 2 km di spessore nelle valli principali. Il passaggio dei ghiacci nell'area di studio è ancora attualmente visibile e testimoniato dalla presenza di rocce montonate e valli scavate profondamente. La parete rocciosa in esame risente ancora molto probabilmente dei detensionamenti provocati dallo scioglimento del ghiaccio che comprimeva i fianchi della valle durante l'ultima glaciazione. Alla morfologia glaciale, come detto in precedenza, si è sovrapposta una morfologia legata all'azione delle acque superficiali, sia da parte del F. Mera che dei suoi tributari laterali come il T. Codera. Le evidenze di tali azioni sono il colmamento da parte di depositi alluvionali del fondovalle e gli accumuli di conoide allo sbocco delle valli laterali, come la conoide dell'area di studio. Altre evidenti forme legate all'azione delle acque superficiali sono le incisioni vallive con profilo trasversale tipicamente a V come la Val Codera.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

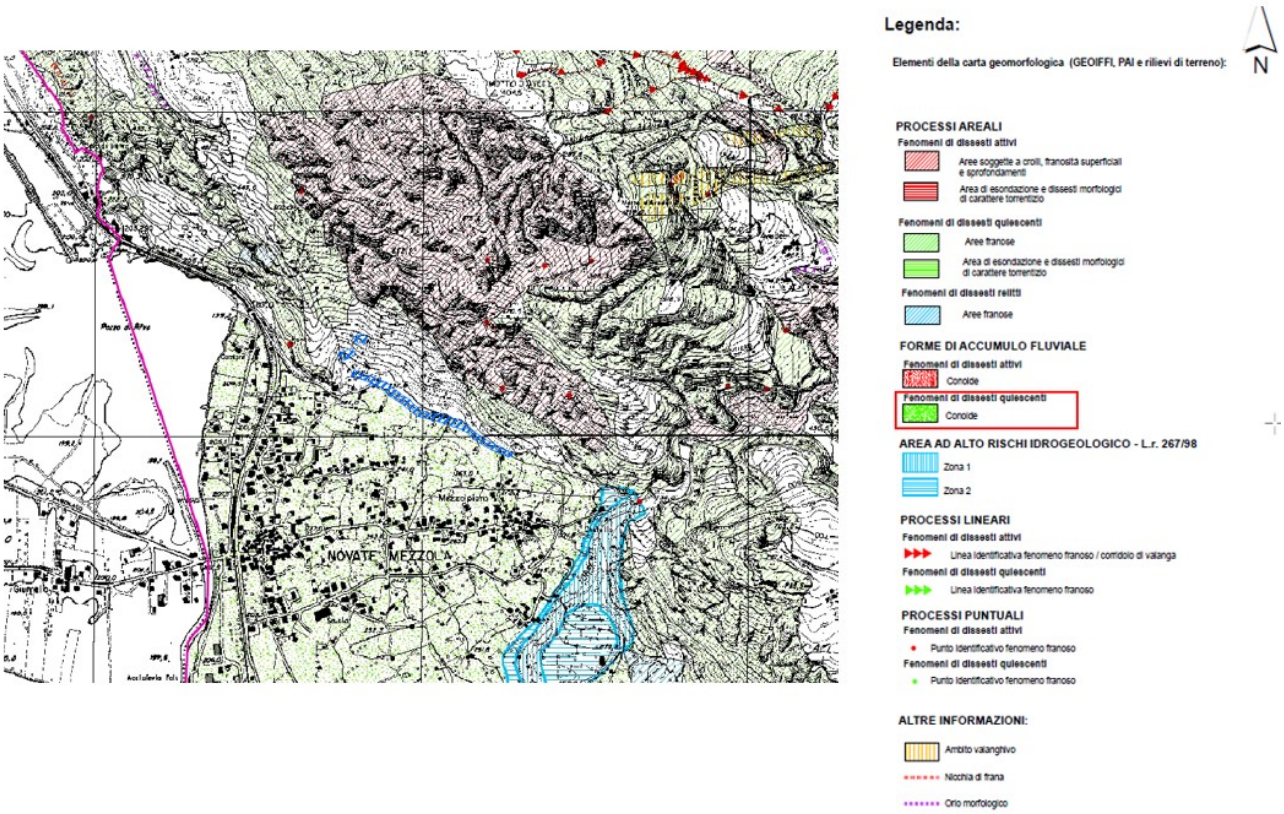


Figura 5.4: estratto Carta Geomorfologica da studio geologico comunale. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala.

5.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico

L'idrografia dell'area è regolata dal Torrente Codera, il quale scorre da NE verso SW circa 700 m ad est e dal Fiume Mera che scorre circa 500 m a SW. Lungo i versanti sono presenti delle aree incanalate dove scorrono le acque piovane durante gli eventi più intensi. L'area in oggetto non è soggetta alle esondazioni dei corsi d'acqua citati.

In base alla carta idrogeologica allegata al PGT, Tav. 13Aa, (Figura 5.5), i depositi superficiali sono caratterizzati da una permeabilità da media ad elevata. Per quanto riguarda la profondità della falda superficiale non sono stati trovati dati bibliografici, durante le indagini geognostiche non è stato rilevato alcun livello di falda.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

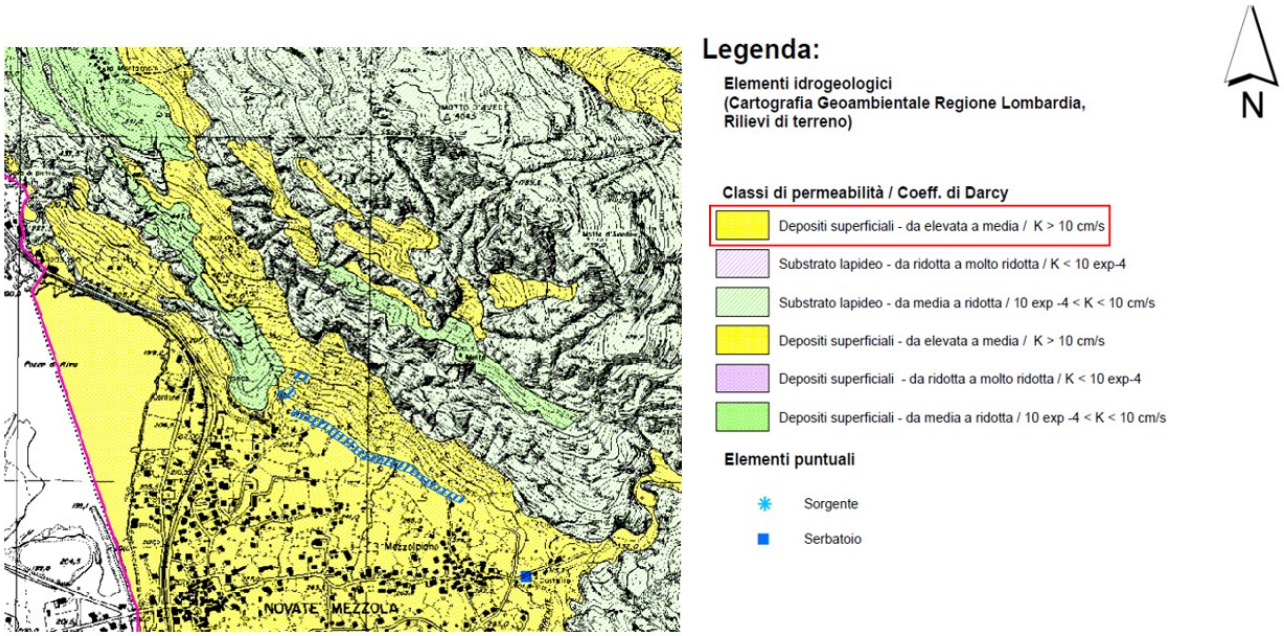


Figura 5.5: estratto da PGT, Tav. 13Aa, caratteri idrogeologici. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

6 INQUADRAMENTO SISMICO

Dal punto di vista sismico, in base alla riclassificazione sismica dei comuni operata da Regione Lombardia (D.g.r. 11 luglio 2014 n°2129), il comune di Novate Mezzola ricade in Zona Sismica 3.

Dalla Tavola 6Ca del PGT (Figura 6.1) della Pericolosità Sismica Locale (PSL) si evince che l'area in oggetto è classificata in area Z4b, suscettibile di amplificazione sismica per la litologia e geometria dei luoghi, per la quale è prevista una verifica sismica di 2° livello per la determinazione corretta della categoria di suolo e del rispettivo spettro sismico.

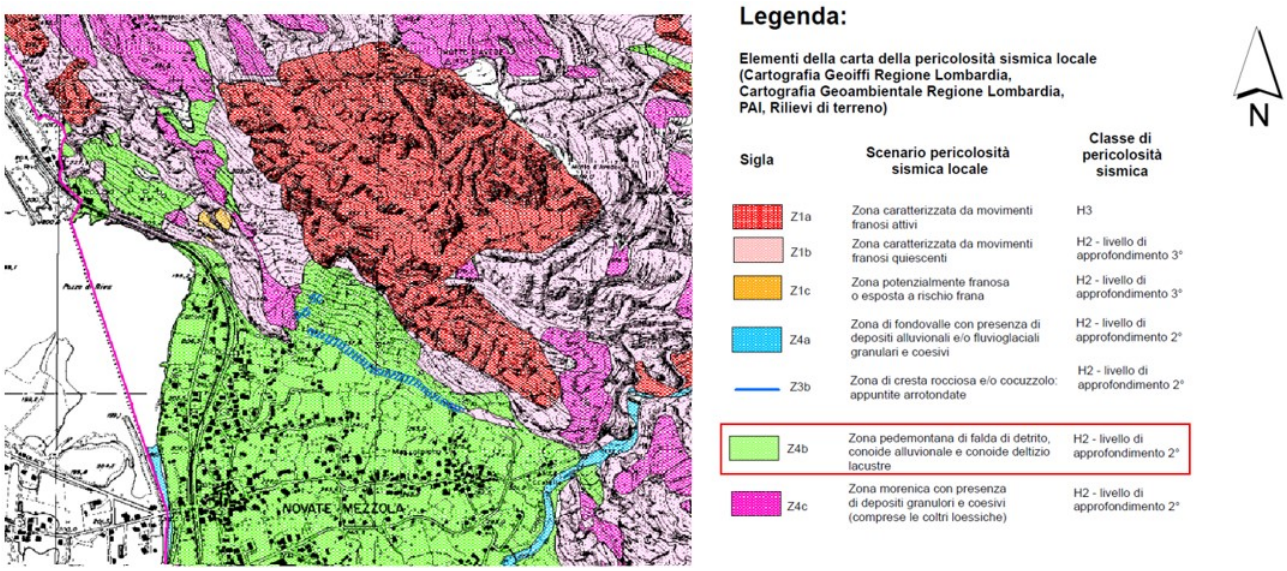


Figura 6.1: estratto da PGT, Tav. 6Ca, carta della Pericolosità Sismica Locale. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

7 APPROFONDIMENTO AI SENSI DELLE NORME GEOLOGICHE DI PIANO

In base allo studio geologico comunale allegato al PGT, si evince che l'opera in progetto ricade in parte in classe di fattibilità 2 (fattibilità con modeste limitazioni), in parte in classe di fattibilità 3 (fattibilità con consistenti limitazioni) e in minima parte in classe di fattibilità 4 (fattibilità con gravi limitazioni).

La classe di fattibilità 4 è quindi quella soggetta a maggiori limitazioni, di seguito si riporta l'estratto delle norme geologiche di piano indicate per questa classe, che sono più ristrettive rispetto alle classi 2 e 3.

CLASSE 4: fattibilità con gravi limitazioni

"Estratto da CRITERI ED INDIRIZZI PER LA DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO, IN ATTUAZIONE DELL'ART. 57 DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N. 12 che aggiorna l'art. 3.3 della D.g.r.6645/01."

"L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso.

Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti.

Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della l.r. 12/05, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo.

Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica."

L'opera in progetto è permessa in quanto è finalizzata alla messa in sicurezza dell'area, come sopra citato.

Per quanto riguarda le aree rappresentate nella carta del dissesto con legenda uniformata PAI, l'area in esame ricade parzialmente in area Fq, ovvero "*aree interessate da frane quiescenti (pericolosità elevata)*". In quest'area tuttavia sono consentite *le opere di bonifica, di sistemazione e di monitoraggio dei movimenti franosi.*

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

8 RILIEVI TOPOGRAFICI

Nella giornata del 14/10/2022 sono stati eseguiti i rilievi necessari per raccogliere i dati topografici e morfologici necessari alle analisi descritte in questo lavoro. Data la complessità morfologica e la dimensione dell'area oggetto di studio, sono state integrate diverse tecniche di rilievo al fine di ottenere il miglior risultato, integrando i vantaggi di ognuna di esse.

In particolare, sono stati eseguiti i seguenti rilievi:

1. Rilievo Lidar aereo da drone
2. Rilievo fotogrammetrico da drone
3. Rilievo Laser Scanner Terrestre

8.1 Rilievo Lidar e fotogrammetrico da drone

Il rilievo è stato eseguito con un drone DJI Matrice 300 RTK e la seguente strumentazione:

- Camera: DJI P1
- Lente: DJI DL 35mm F2.8 LS ASPH
- Lidar: Scanfly XT
- Testa Lidar: Hesai Pandar XT32
- Piattaforma inerziale: OXTS xOEM550

Questo ha permesso di eseguire sia un rilievo fotogrammetrico, sia un rilievo lidar; la combinazione delle due metodologie di rilievo è stata scelta per rilevare tutti i dati necessari, che con una sola delle due metodologie non sarebbe stato possibile ottenere.

È stata quindi prodotta una nuvola di punti costituita da circa 86 milioni di punti, che successivamente, opportunamente classificata ed epurata da vegetazione e manufatti ha permesso di selezionare un sottocampione di circa 3 milioni di punti che rappresenta il ground.

Il rilievo fotogrammetrico è stato utilizzato per produrre la nuvola di punti e l'ortofoto verticale della parete rocciosa. La geometria della parete, subverticale, non è adatta ad un rilievo lidar aereo, che ottimizza le informazioni che si trovano al di sotto del drone, non quelle ai lati; inoltre il lidar non è in grado di produrre una ortoimmagine verticale con la definizione desiderata. Infine, non essendoci copertura vegetale (o molto poca), la superficie si presta molto bene ad una restituzione fotogrammetrica.

Dalla fotogrammetria è stata prodotta una nuvola di punti composta da circa 80 milioni di punti, successivamente interpolata in una mesh sulla quale sono state proiettate

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

le immagini scattate e prodotta un'ortoimmagine verticali su un piano scelto in funzione dell'esposizione della parete. Le ortoimmagini hanno una risoluzione inferiore a 2 cm/pixel

8.2 Rilievo Laser Scanner Terrestre (TLS)

Per l'esecuzione dei rilievi è stato utilizzato un Laser scanner Teledyne Optech mod. Polaris LR con le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza d'onda 1550 nm (invisibile)
- Classe Laser 1
- Frequenza di raccolta dati (mod. HD/ER/LR) 500/200/50 KHz
- Intensità di registrazione 12 bits
- Portata massima (mod. HD/ER/LR) 250/750/ ≥ 2000 m
- Tecnologia digitalizzazione forme d'onda (WFD) Si
- Numero di ritorni registrati Fino a 4
- Accuratezza sulla distanza (1 sigma) 5 mm @ 100 m
- Precisione, shot singolo (1 sigma) 4 mm @ 100 m

I passi principali del flusso di lavoro seguito per l'elaborazione della nuvola di punti ottenuta dalle scansioni laser sono di seguito elencati:

- Analisi e pulizia delle singole scansioni che costituiscono la nuvola di punti complessiva: l'attività ha lo scopo di depurare le nuvole parziali dai dati anomali (outlier) e dalle porzioni inutili allo scopo del rilievo.
- Allineamento delle singole scansioni a formare un'unica nuvola di punti inquadrata in un sistema di riferimento locale.
- Georeferenziazione della nuvola.

Le singole riprese sono state effettuate con una spaziatura fra i punti compresa tra circa 1 e 10 cm. Si è optato per una buona risoluzione per consentire una rappresentazione di dettaglio dei particolari morfologici delle superfici, che ha favorito anche l'allineamento tra le singole riprese parzialmente sovrapposte tra loro. Ne è risultata una nuvola complessiva dell'intero versante costituita da oltre 150 milioni di punti.

8.3 Sintesi degli elaborati ottenuti

Per riassumere, dall'integrazione dei rilievi descritti nei paragrafi precedenti sono stati prodotti i seguenti elaborati:

- Nuvola di punti dell'area rilevata (parete rocciosa e area di intervento) georiferita nel sistema di riferimento nazionale UTM32-WGS84

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

- DEM con risoluzione 1, 2 e 5 m della porzione a valle della parete rocciosa, georiferito nel sistema di riferimento nazionale UTM32-WGS84
- Ortoimmagine verticale della parete rocciosa, proiettata su piano verticale con orientazione dell'esposizione della parete in oggetto, e con risoluzione 1.6 cm/pix

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

9 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Le indagini geognostiche e geofisiche per la caratterizzazione geologico-geotecnica del sottosuolo sono state condotte sa S.In.Ge.A. S.r.l. e sono consistite in:

- N.3 sondaggi a carotaggio continuo;
- N.10 prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT) di tipo super-pesante (DPSH);
- N.1 prospezione sismica attiva con metodologia MASW con stendimento da n.24 geofoni;
- N.2 prospezioni sismiche passive con metodologia HVSR;
- N.1 stendimento sismico a rifrazione con acquisizione delle onde P con stendimento da n. 24 geofoni;
- N.1 stendimento geoelettrico tomografico.

Nella seguente Figura 9.1 è riportata la planimetria di insieme dell'area in esame con l'ubicazione dei punti di indagine.



Figura 9.1: planimetria di ubicazione delle indagini (da Google Earth). Sondaggi a carotaggio continuo: cerchio rosso; prova penetrometrica dinamica continua: quadrato viola; prospezione sismica MASW: linea rossa; prospezioni sismiche HVSR: cerchi gialli; stendimento sismico a rifrazione: linea verde; tomografia elettrica: linea blu)

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

9.1 Sondaggi geognostici

I sondaggi geognostici sono stati spinti ad una profondità compresa tra 10 e 12 m dal piano campagna. Al termine delle operazioni di perforazione, il foro S1 è stato attrezzato con piezometro di tipo Norton in PVC ø2" di lunghezza pari a 10.00 m., mentre i fori S2 ed S3 sono stati sigillati mediante posa di materiale di risulta additivato con inerti silicei (sabbia e ghiaia). Nella tabella seguente sono sinteticamente riassunti gli schemi di completamento dei sondaggi eseguiti.

CARATTERISTICHE STRUMENTAZIONE INSTALLATA					
SONDAGGIO			INTERCAPEDINE		TESTA TUBAZIONE
	PROFONDITA' (m da p.c.)	TIPOLOGIA	PROFONDITA' (m da p.c.)	RIEMPIMENTO	
S1	10	Tubazione in PVC ø2" cieca	0.00÷2.50	Miscela binaria acqua-cemento in rapporto 1/1	Chiusino in ghisa sferoidale CSUNI ø210
			2.50÷3.50	Bentonite idrorigonfiante in pellets ø20 mm	
		Tubazione in PVC ø2" fessurata	3.50÷10.00	Ghiaietto siliceo lavato e selezionato ø2.0-3.5 mm	
S2	12	-	0.00÷12.00	Materiale di risulta della perforazione additivato con inerti silicei (sabbia e ghiaia).	
S3	10	-	0.00÷10.00	Materiale di risulta della perforazione additivato con inerti silicei (sabbia e ghiaia).	

Tabella 9.1: schema di completamento dei sondaggi.

Durante la campagna di indagini sono stati prelevati n.6 campioni rimaneggiati di tipo geotecnico da sottoporre a prove di caratterizzazione fisica di laboratorio. I campioni rimaneggiati sono stati prelevati direttamente dalle cassette catalogatrici, previa ripresa fotografica delle stesse ed eliminazione delle parti alterate dalle lavorazioni, e custoditi all'interno di sacchetti di plastica opportunamente sigillati con nastro adesivo.

Nella tabella successiva sono sintetizzati i campioni prelevati nel corso della campagna di indagine con le relative profondità.

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m da p.c.)	SIGLA CAMPIONE	PROFONDITA' DI PRELIEVO
S1	10	C1-1	4.00÷4.50
		C2-1	8.50÷9.50
S2	12	C1-2	2.50÷2.70
		C2-2	8.50÷9.00
S3	10	C1-3	4.00÷4.50
		C2-3	9.00÷9.50

Tabella 9.2: sintesi dei campioni rimaneggiati di tipo geotecnico prelevati.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

9.2 Prove geotecniche in foro

Nell'ambito delle indagini geognostiche sono state realizzate n.19 prove SPT distribuite omogeneamente nei tre fori di sondaggio. I risultati sono riportati nelle seguenti tabelle.

SINTESI PROVE SPT - SONDAGGIO S1							
SIGLA SONDAGGIO	**SIGLA PROVA SPT**	**PROFONDITA' DI PROVA (m da p.c.)**	**CAMPIONAT UTILIZZATO**	**NUMERO DI COLPI (N_1-N_2-N_3)**	**N_{SPT}**	**N_{60}**	**$(N_1)_{60}$**
S1	SPT-01	1.50÷1.95	Punta chiusa	36-41-49	90	68	100
	SPT-02	3.00÷3.45	Punta chiusa	50/12cm	0	0	0
	SPT-03	4.50÷4.95	Punta chiusa	26-39-48	87	74	100
	SPT-04	6.00÷6.45	Punta chiusa	43-50/10cm	Rif	95	100
	SPT-05	7.50÷7.95	Punta chiusa	39-44-48	92	87	100
	SPT-06	9.00÷9.45	Punta chiusa	39-50/9cm	Rif	100	100

Tabella 9.3: sintesi risultati prove SPT sondaggio S1

SINTESI PROVE SPT - SONDAGGIO S2							
SIGLA SONDAGGIO	**SIGLA PROVA SPT**	**PROFONDITA' DI PROVA (m da p.c.)**	**CAMPIONAT UTILIZZATO**	**NUMERO DI COLPI (N_1-N_2-N_3)**	**N_{SPT}**	**N_{60}**	**$(N_1)_{60}$**
S2	SPT-01	1.50÷1.95	Punta chiusa	42-40-38	78	59	99
	SPT-02	3.00÷3.45	Punta chiusa	43-36-40	76	65	100
	SPT-03	4.50÷4.95	Punta chiusa	50/2cm	Rif	85	100
	SPT-04	6.00÷6.45	Punta chiusa	46-42-50/7cm	Rif	95	100
	SPT-05	7.50÷7.95	Punta chiusa	38-50/13cm	Rif	95	100
	SPT-06	9.00÷9.45	Punta chiusa	41-48-49	97	97	100
	SPT-07	10.50÷10.95	Punta chiusa	49-50/2cm	Rif	100	100

Tabella 9.4: sintesi risultati prove SPT sondaggio S2.

SINTESI PROVE SPT - SONDAGGIO S3							
SIGLA SONDAGGIO	**SIGLA PROVA SPT**	**PROFONDITA' DI PROVA (m da p.c.)**	**CAMPIONAT UTILIZZATO**	**NUMERO DI COLPI (N_1-N_2-N_3)**	**N_{SPT}**	**N_{60}**	**$(N_1)_{60}$**
S3	SPT-01	1.50÷1.95	Punta chiusa	36-39-44	83	62	100
	SPT-02	3.00÷3.45	Punta chiusa	28-29-34	63	54	91
	SPT-03	4.50÷4.95	Punta chiusa	39-46-37	83	71	100
	SPT-04	6.00÷6.45	Punta chiusa	50/3cm	Rif	95	100
	SPT-05	7.50÷7.95	Punta chiusa	38-47-50/6cm	Rif	95	100
	SPT-06	9.00÷9.45	Punta chiusa	48-50/3cm	Rif	100	100

Tabella 9.5: sintesi risultati prove SPT sondaggio S3.

9.3 Prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT)

Sono state realizzate n.10 prove penetrometriche dinamiche continue distribuite su tutta l'area di indagine. Un estratto della rielaborazione statistica dei risultati è riportato

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ISO 9001:2015

nella tabella seguente, per maggiori dettagli si rimanda al rapporto conclusivo della campagna di indagini geognostiche allegata al presente progetto [7].

STRATO	PROFONDITA'	$N_{30.F}$ (colpi/30cm)					
(n)	(m da p.c.)	M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	0.00÷2.40	22.0	20.0	11	43	10.6	22
2	2.40÷6.90	33.5	32.9	21	43	6.1	33
3	6.90÷7.50	63.0	63.0	63	63	-	63

STRATO	PROFONDITA'	R_{PD} (kg/cm²)					
(n)	(m da p.c.)	M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	0.00-2.40	170.37	155.63	90.95	325.89	80.77	170.40
2	2.40-6.90	219.25	215.37	128.29	273.30	40.01	219.20
3	6.90-7.50	370.51	370.51	370.51	370.51	-	370.50

STRATO	PROFONDITA'	$N_{SPT\text{-}EQ}$ (colpi/30cm)					
(n)	(m da p.c.)	M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	0.00-2.40	25.1	22.8	13	49	12.1	25
2	2.40-6.90	38.2	37.5	24	49	6.9	38
3	6.90-7.50	71.9	71.9	72	72	-	72

STRATO	PROFONDITA'	$N_{1(60)\text{-}EQ}$ (colpi/30cm)					
(n)	(m da p.c.)	M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	0.00-2.40	31.6	28.6	16	63	15.7	32
2	2.40-6.90	36.4	35.7	21	45	6.8	36
3	6.90-7.50	58.6	58.6	59	59	-	59

Simbologia:
- M: media; MG: media geometrica; MIN: valore minimo; MAX: valore massimo; D.ST: deviazione standard; VC: valore caratteristico.

Tabella 9.6: estratto rielaborazione statistica dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche continue.

9.4 Prove geotecniche di laboratorio

Sui campioni prelevati sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- Analisi granulometrica per setacciatura
- Analisi granulometrica per sedimentazione

La sintesi dei risultati delle prove è riportata nella seguente tabella.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

Tipo di prova	sondaggio	S1		S2		S3	
	indisturbato						
	rimaneggiato	C1-1	C2-1	C1-2	C2-2	C1-3	C2-3
	profondità	4,00-4,50	9,00-9,50	2,50-2,70	8,50-9,00	4,00-4,50	9,00-9,50
Classificazione geotecnica		ghiaia sabbiosa e limosa grigia scuro	sabbia con ghiaia grigia	ghiaia con sabbia e limo grigia	elementi rocciosi biancastri	ghiaia sabbiosa e limosa grigia scuro	ghiaia con sabbia grigia
Pocket Penetrometer	P.P. kPa	---	---	---	---	---	---
Torvane	Torv. kPa	---	---	---	---	---	---
Contenuto naturale d'acqua	W %	---	---	---	---	---	---
Peso dell'unità di volume	γ kN/m^3	---	---	---	---	---	---
Limiti di Atterberg	WL %	---	---	---	---	---	---
	WP %	---	---	---	---	---	---
	IP %	---	---	---	---	---	---
Analisi granulometrica con vagliatura	ciottoli %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ghiaia %	66,92	44,39	36,47	97,39	57,19	53,84
	sabbia %	20,79	51,97	30,10	2,58	24,56	43,03
	limo %	11,21	3,45	29,82	0,04	16,01	2,92
	argilla %	1,07	0,19	3,61		2,24	0,22
Classificazione UNI 11531-1	classe	---	---	---	---	---	---
	Ig	---	---	---	---	---	---

Tabella 9.7: sintesi risultati prove di laboratorio eseguite.

9.5 *Prospezioni geofisiche*

La campagna di indagini geofisiche è consistita di:

- N.1 stendimento MASW della lunghezza di 46.00 m
- N.2 misure puntuali HVSR
- N.1 stendimento sismico a rifrazione con acquisizione delle onde P della lunghezza di 115.00 m
- N.1 stendimento geoelettrico tomografico della lunghezza di 117.50 m

9.5.1 Stendimento MASW

L'analisi delle onde di Rayleigh tramite metodo MASW ha consentito di stimare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio (Vs), dalle quali è possibile calcolare il valore $v_{S,EQ}$ per la sezione indagata. Di seguito si riporta la tabella sismostratigrafica dello stendimento realizzato.

TABELLA SISMOSTRATIGRAFICA MASW1		
PROFONDITA' (m da p.c.)	**SPESSORE (m)**	**VELOCITA' ONDE DITAGLIO (m/s)**
3.10	3.10	201

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ISO 9001:2015

9.70	6.60	676
13.70	4.00	491
17.30	3.60	401
26.30	9.00	675
30.00	3.70	910

Tabella 9.8: tabella sismostratigrafica dello stendimento MASW realizzato.

Il valore $v_{S,EQ}$ con bedrock sismico stimato a 26.30 m a partire da piano campagna è pari a **473 m/s.**

Di conseguenza, la categoria di sottosuolo secondo NTC 2018 è B "*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*".

9.5.2 Prospezione sismica con metodo HVSR

L'analisi dei rapporti spettrali ha consentito di valutare la risposta sismica in funzione della frequenza, nonché il relativo periodo (T) del sito oggetto di studio. Dall'analisi spettrale dell'indagine sismica HVSR-01 sono stati evidenziati due picchi significativi: il primo a frequenza di 14.60 Hz (rapporto H/V pari a 2.9) con periodo di 0.07 s e l'altro a frequenza di 2.93 Hz (rapporto H/V pari a 1.9) con periodo di 0.34 s, probabilmente da associare all'interfaccia con il bedrock sismico. Invece, Dall'analisi spettrale dell'indagine sismica HVSR-02 sono stati evidenziati due picchi significativi: il primo a frequenza di 39.73 Hz (rapporto H/V pari a 2.0) con periodo di 0.02 s e l'altro a frequenza di 7.12 Hz (rapporto H/V pari a 2.0) con periodo di 0.14 s.

9.5.3 Prospezione sismica a rifrazione con elaborazione tomografica

L'elaborazione tomografica tramite sismica a rifrazione ha permesso di individuare 2 unità sismostratigrafiche lungo la sezione investigata a partire da piano campagna:

- **Unità L1** con velocità onde P inferiori a 600 m/s, correlabile con materiali rimaneggiati e terreni naturali poco addensati.
- **Unità L2** con velocità onde P superiori a 1300 m/s associabile a depositi naturali da mediamente a molto addensati con elementi lapidei.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

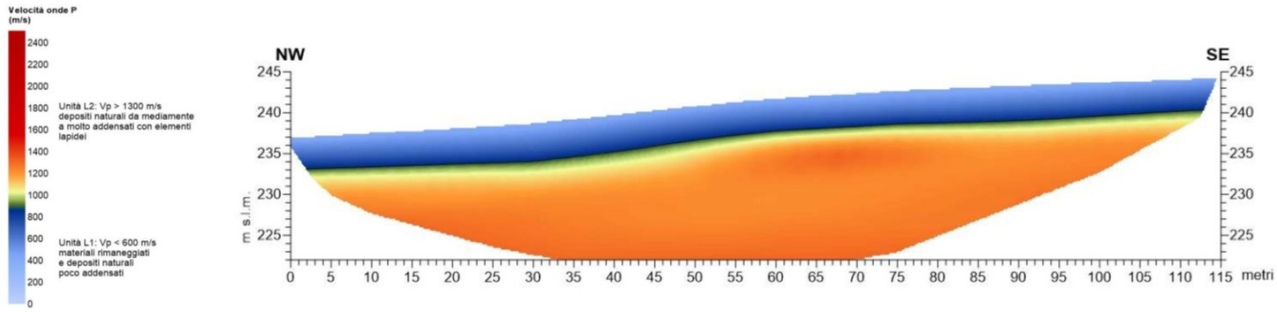


Figura 9.2: sezione sismica tomografica RFR-01.

La sezione sismica evidenzia un livello superficiale a bassa velocità (unità sismica L1) dello spessore medio di circa 4 m. La sottostante unità L2 raggiunge la massima profondità indagata che è di circa 15 m. All'interno di quest'ultimo livello sismico si rilevano, in prossimità dell'interfaccia con il sismostrato superiore, variazioni nel gradiente delle curve di velocità indicative di variazioni locali nelle caratteristiche granulometriche e/o di addensamento. Nel sismostrato più profondo non si escludono livelli o zone, anche estese, con inversioni di velocità.

Il rifrattore tra l'unità L1 e L2 presenta un andamento subparallelo alla superficie topografica.

9.5.4 Prospezione geoelettrica con elaborazione tomografica

Lo studio della distribuzione della resistività nel volume di terreno indagato ha consentito di definire 3 unità geoelettriche fino alle massime profondità di indagine.

- **Unità resistiva E1**, con valori di resistività compresi tra 400 e 1000 Ohm/m circa. Il passaggio all'unità E2 appare graduale.
- **Unità resistiva E2**, con valori di resistività compresi tra 1000 e 3000 Ohm/m circa. Il passaggio all'unità 3 è relativamente ben definito.
- **Unità resistiva E3**, con valori di resistività compresi tra 700 e 1100 Ohm/m circa.

Tutte le unità individuate sono caratterizzata da elevati valori di resistività, indicativa di materiali grossolani e lapidei privi di una significativa frazione fine, e tendenzialmente asciutti.

La sezione tomografica (Figura 9.3) evidenzia un livello più superficiale, correlabile con l'unità geoelettrica E2, e dello spessore di 2-4 m, in leggero incremento verso SE. Esso risulta sostanzialmente continuo a meno di un tratto di 10 m circa dove è interrotto da materiali più resistivi dell'unità sottostante E3. Inoltre, si rivelano passaggi graduali a valori più conduttivi associabili all'unità E1. Al di sotto è presente un livello ad andamento irregolare, da correlare all'unità più resistiva E3 il quale, nel settore centrale della sezione, è interrotto da terreni più resistivi (Unità E2 e localmente unità E1). Verso le massime

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

profondità vi è un nuovo abbassamento della resistività con passaggi, più o meno graduali a seconda della posizione, a terreni più conduttivi (unità E2 e E1).

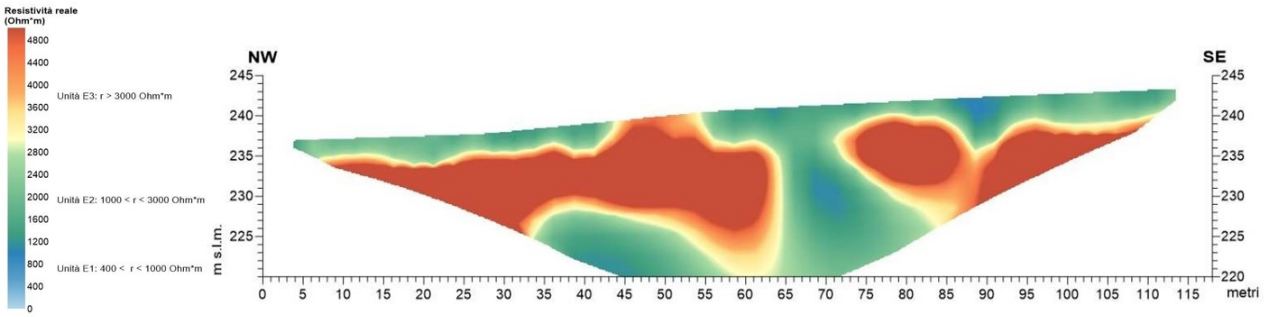


Figura 9.3: sezione geoelettrica tomografica ERT-01.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

10 ORIENTAZIONE DEI PRINCIPALI SISTEMI DI DISCONTINUITÀ

Allo scopo di effettuare un'analisi strutturale dei principali sistemi di discontinuità (Set) che separano l'ammasso roccioso sono stati selezionati 5 settori di parete in base all'orientazione e all'esposizione (Figura 10.1). Le porzioni di nuvola relative ai settori della parete selezionati, "depurate" dalle porzioni vegetate, sono state analizzate per evidenziare i Set principali presenti. Successivamente si è proceduto ad un'analisi preliminare della nuvola con il software Coltop3D (www.terranum.ch), per la stima del numero e della giacitura delle famiglie di discontinuità presenti. Infine è stata eseguita la rielaborazione statistica delle giaciture delle discontinuità in DIPS (www.rocscience.com), dove si è proceduto ad individuare i sistemi di discontinuità che interessano l'ammasso roccioso.

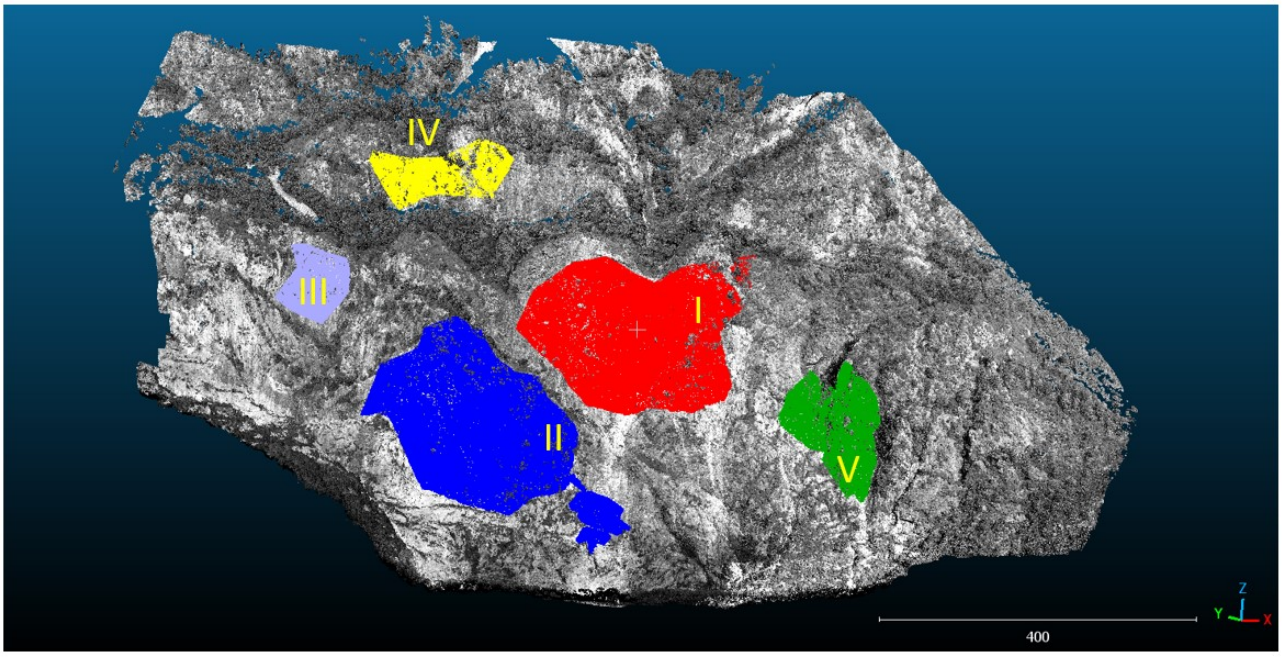


Figura 10.1: vista prospettica della nuvola di punti laser scanner con evidenziate le porzioni rocciose selezionate per il campionamento delle giaciture delle discontinuità.

Il software Coltop3D assegna ad ogni punto della nuvola una giacitura ed in base al valore di questa (immersione/inclinazione) il punto assume una diversa colorazione. Quindi superfici diversamente orientate appariranno colorate con tonalità differenti. In questa caratteristica risiede il maggiore pregio di Coltop3D, che di fatto permette di stimare il numero di famiglie di discontinuità presenti grazie al diverso colore assegnato ai punti in funzione della giacitura del piano a cui appartengono (Figura 10.2). Inoltre il software consente anche di visualizzare i poli delle giaciture dei punti campionati su uno stereonet di Schmidt-Lambert, che si aggiorna automaticamente in base alle selezioni attive. Questo strumento consente esclusivamente la visualizzazione dei poli, quindi per elaborare i dati e così determinare i valori di giacitura dei principali sistemi di discontinuità, è necessario esportare i valori di giacitura campionati verso un altro software. Come

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ORGANISMO DI CERTIFICAZIONE AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

anticipato, nel presente studio, il software utilizzato per questa seconda fase di analisi è DIPS. Le elaborazioni preliminari in Coltop3D di tutti e 5 i settori di nuvola selezionati sono presentate da Figura 10.3 a Figura 10.7.

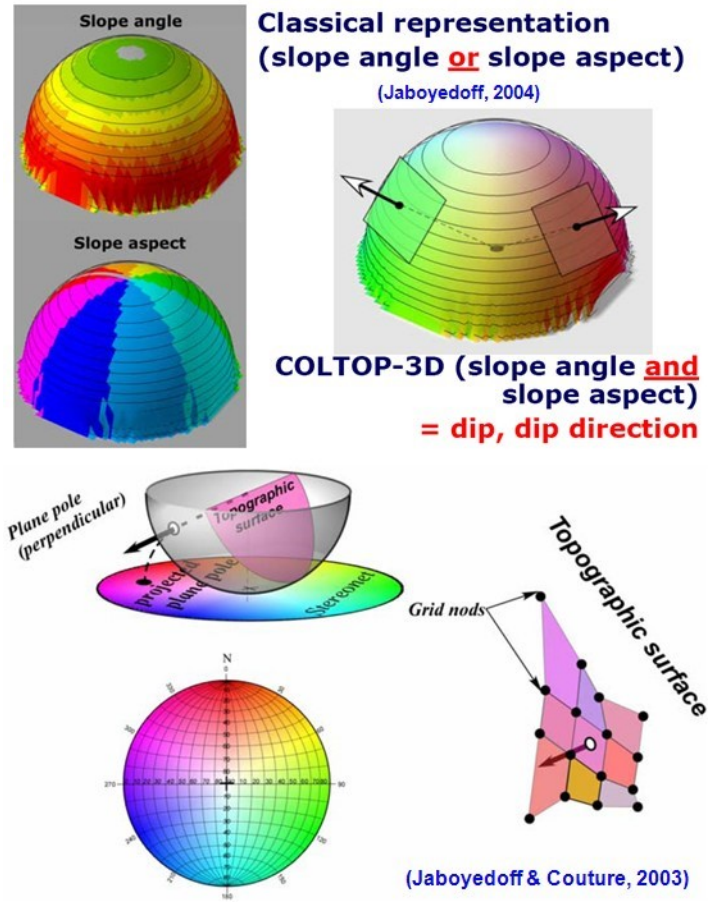


Figura 10.2: schemi illustrativi dei principi di base su cui si fonda COLTOP3D (https://www.terranum.ch/).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

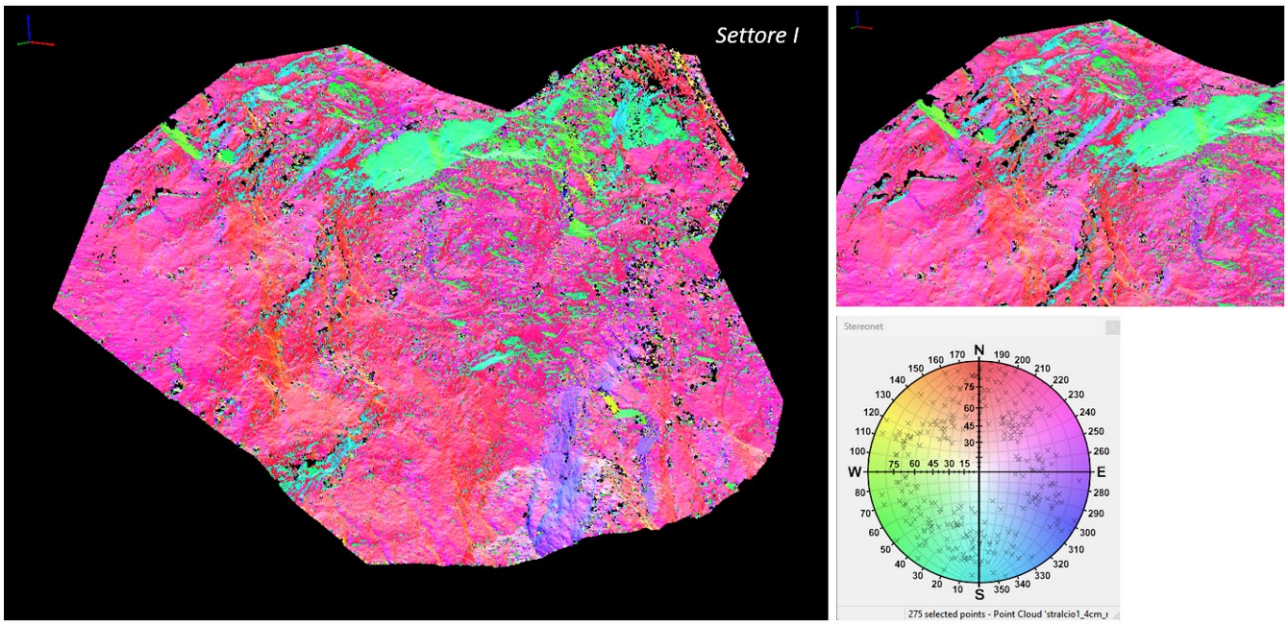


Figura 10.3: visualizzazione delle elaborazioni eseguite in Coltop3D del settore 1 della nuvola di punti. Ad ogni punto è attribuito un colore specifico per il valore di giacitura. È riportato lo stereoplot preliminare delle giaciture campionate.

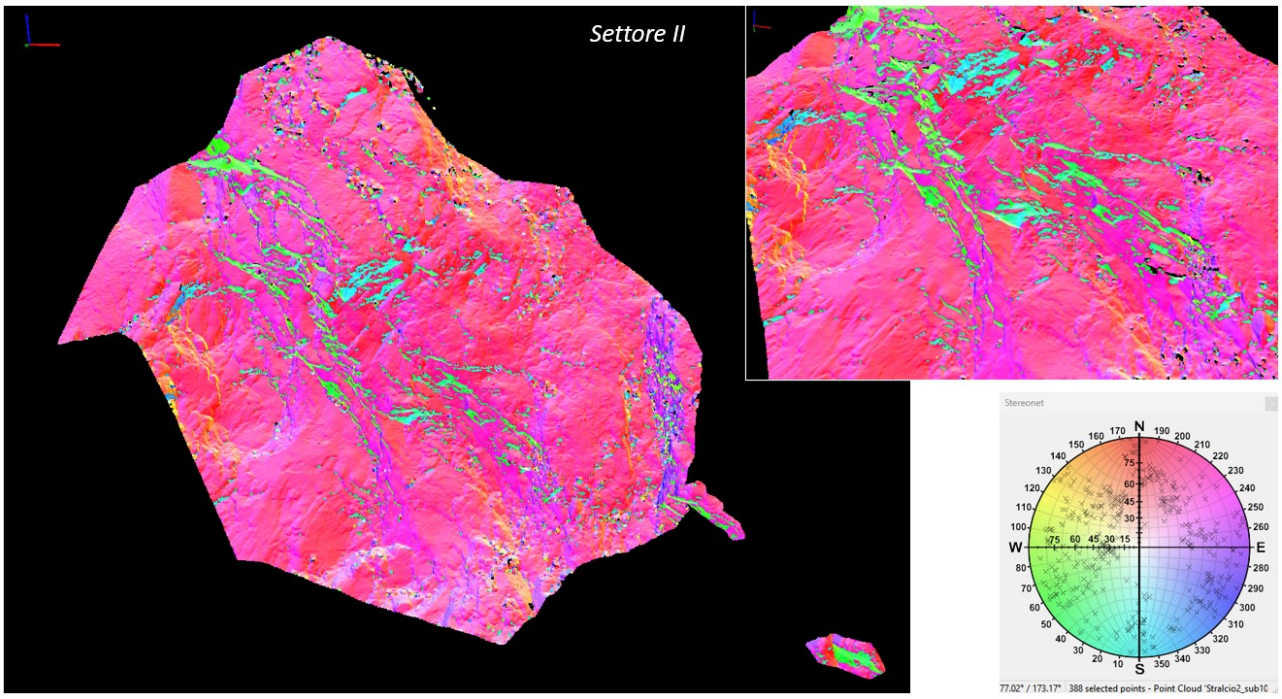


Figura 10.4: visualizzazione delle elaborazioni eseguite in Coltop3D del settore 2 della nuvola di punti. Ad ogni punto è attribuito un colore specifico per il valore di giacitura. È riportato lo stereoplot preliminare delle giaciture campionate.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

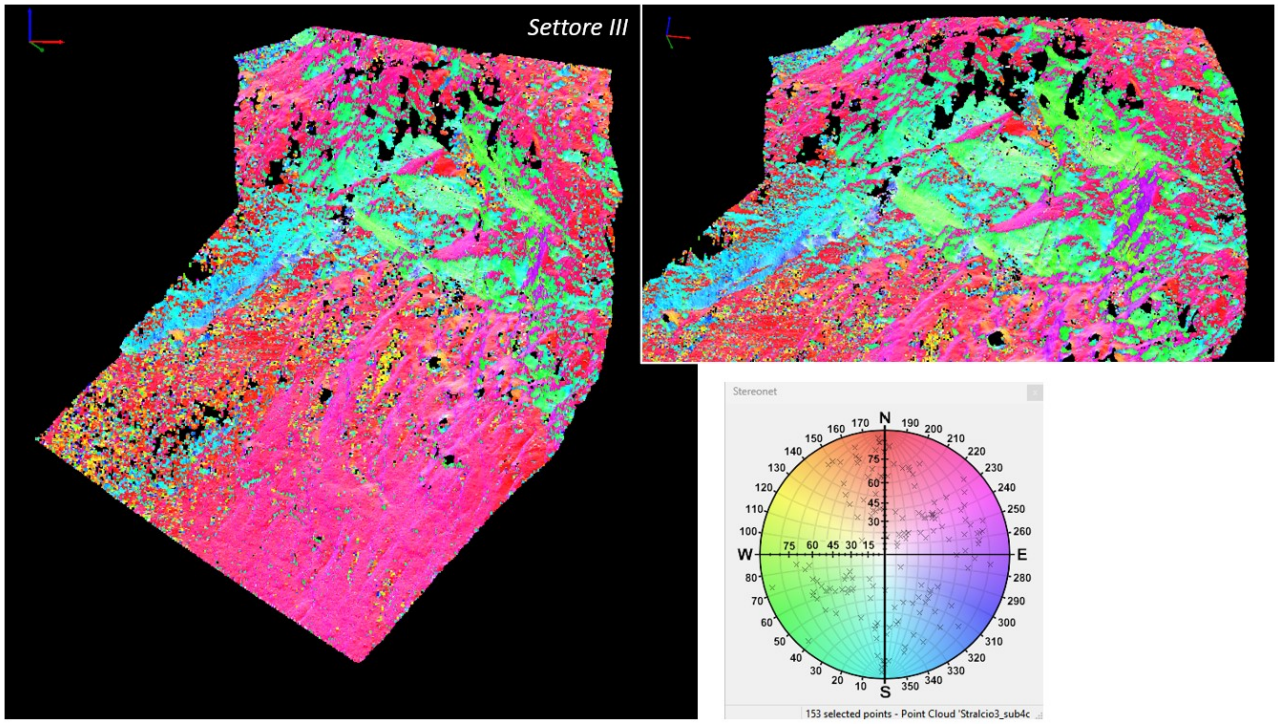


Figura 10.5: visualizzazione delle elaborazioni eseguite in Coltop3D del settore 3 della nuvola di punti. Ad ogni punto è attribuito un colore specifico per il valore di giacitura. È riportato lo stereoplot preliminare delle giaciture campionate.

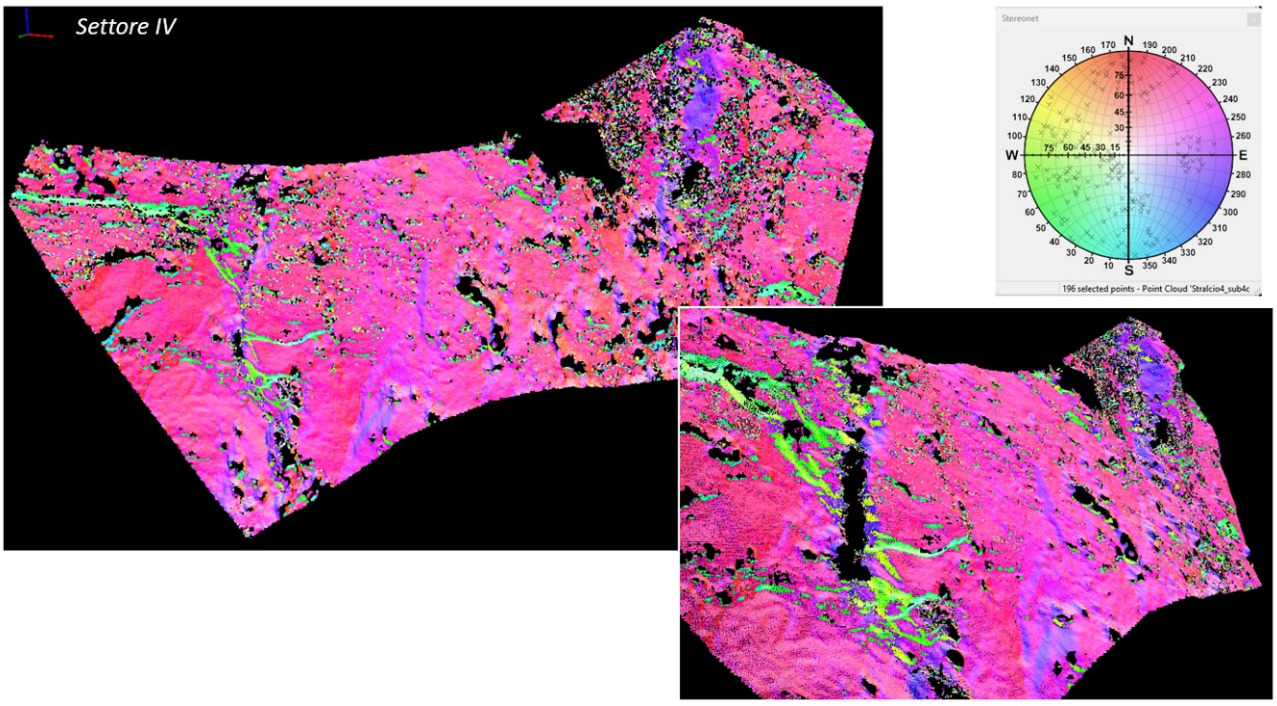


Figura 10.6: visualizzazione delle elaborazioni eseguite in Coltop3D del settore 4 della nuvola di punti. Ad ogni punto è attribuito un colore specifico per il valore di giacitura. È riportato lo stereoplot preliminare delle giaciture campionate.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

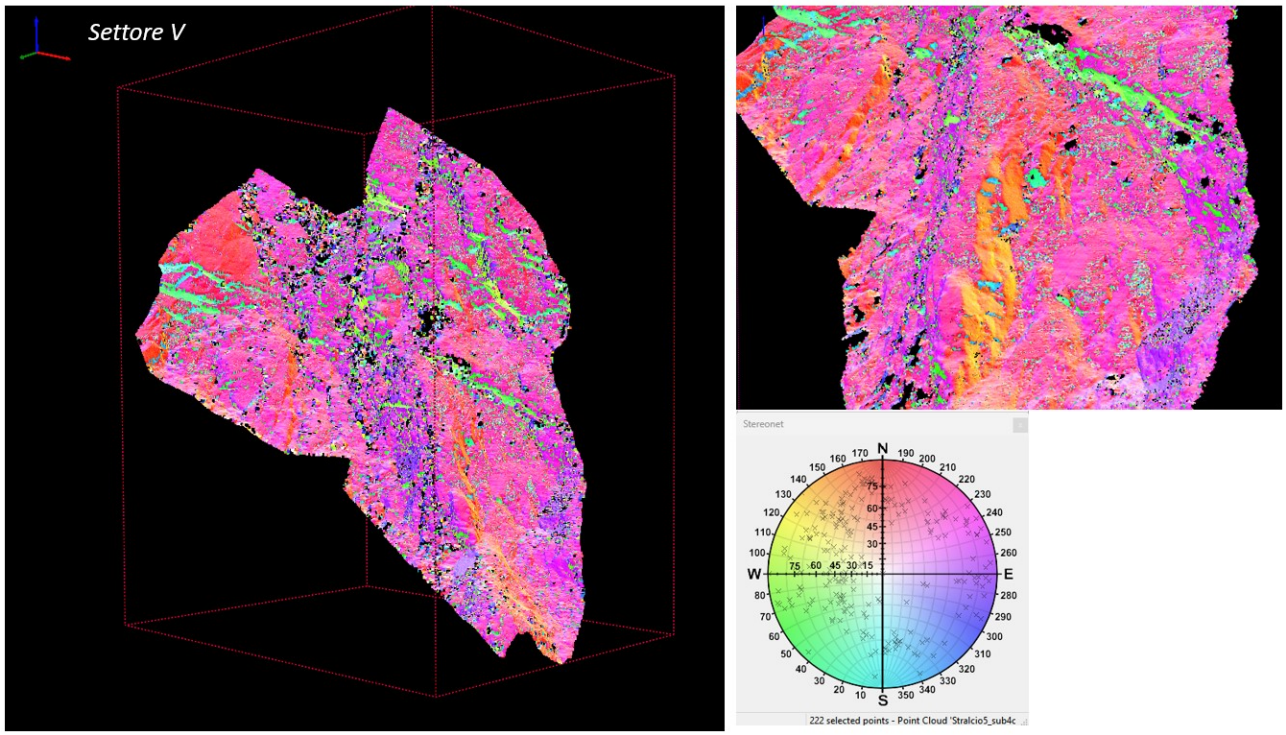


Figura 10.7: visualizzazione delle elaborazioni eseguite in Coltop3D del settore 5 della nuvola di punti. Ad ogni punto è attribuito un colore specifico per il valore di giacitura. È riportato lo stereoplot preliminare delle giaciture campionate.

I risultati delle analisi hanno evidenziato che non ci sono sostanziali differenze strutturali tra le porzioni di ammasso roccioso selezionate vista la somiglianza delle orientazioni dei vari set campionati (Figura 10.8). Una volta verificata l'omogeneità dell'assetto dei principali Set di discontinuità alla scala dell'intera area indagine, si è proceduto ad integrare i dati campionati nei vari settori ed elaborarli assieme al fine di ottenere un'unica rappresentazione di sintesi (Figura 10.9).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

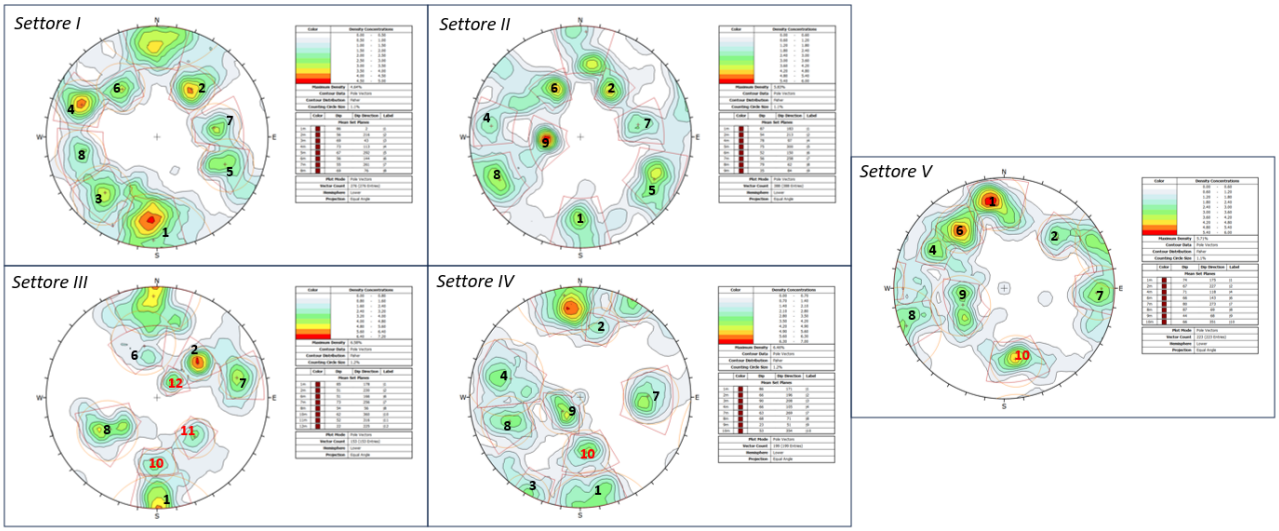


Figura 10.8: proiezioni stereografiche (emisfero inferiore) di ogni settore analizzato con evidenziati i poli delle famiglie di discontinuità ritenute rappresentative. In nero i set principali in rosso i set secondari.

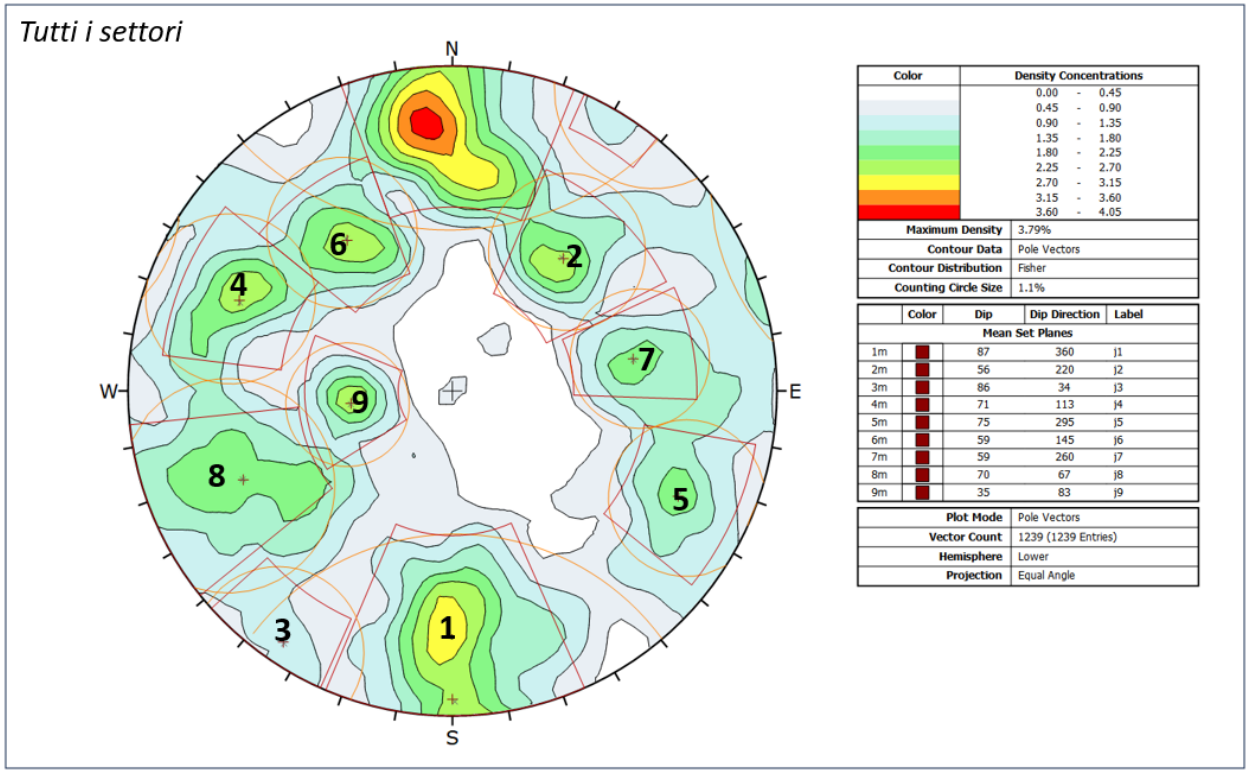


Figura 10.9: proiezione stereografica con evidenziati i poli delle famiglie di discontinuità ritenuti rappresentativi dell'intera area di indagine. A destra i valori di inclinazione ed immersione dei sistemi di discontinuità individuati.

In totale sono stati individuati 12 set di discontinuità, dei quali 9 set principali (1-9) e 3 secondari (10-12). Tra i set principali 5 sono sub-verticali o ad alto angolo, 3 sono meno inclinati ed uno è a basso angolo.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

I set individuati o ad alto angolo sono:

- Set 1 immergente a N;
- Set 3 immergente a NE;
- Set 4 immergente a ESE;
- Set 5 immergente a WNW;
- Set 8 immergente a ENE.

I 3 set meno inclinati:

- Set 2 immergente a SW;
- Set 6 immergente a SE;
- Set 7 immergente a W.

Il Set a basso angolo è il numero 9 immergente ad E.

I set secondari individuati sono tutti a basso angolo e sono nello specifico:

- Set 10 immergente a N
- Set 11 immergente NNW
- Set 12 immergente a SW

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

11 SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITÀ, JV E VRU

L'ispezione ed elaborazione delle nuvole di punti laser scanner ha permesso di stimare vari parametri geometrici che caratterizzano gli ammassi rocciosi dal punto di vista geomeccanico.

Il primo di questi parametri è dato dalla spaziatura dei principali sistemi di discontinuità che contribuiscono a disarticolare le scarpate rocciose. Dai dati di spaziatura sono stati successivamente derivati l'indice Jv (*Volumetric Joint Count*) e il VRU (*Volume Roccioso Unitario*). Il Jv corrisponde al numero di giunti per metro cubo di roccia. Il VRU indica gli elementi discreti di materiale in cui un ammasso roccioso è suddiviso dalle discontinuità presenti. Se sono presenti più di tre principali sistemi di discontinuità, come in questo caso, è consigliabile calcolare il VRU tramite la relazione che lega le dimensioni del blocco roccioso all'indice Jv (*Volumetric Joint Count*), ovvero al numero di giunti per metro cubo di roccia.

11.1 Cenni teorici e procedure campionamento dati

La procedura utilizzata per il calcolo dei valori di spaziatura è stata sviluppata internamente ad IMAGEO utilizzando il software Polyworks (https://www.innovmetric.com). Tale procedura permette di ricavare direttamente i valori delle spaziature normali dei vari sistemi di discontinuità (Xn) presenti nell'ammasso roccioso considerato. Infatti uno dei principali vantaggi di questo approccio è che ciò avviene senza dover prima calcolare i valori di spaziatura totale (Xt) e/o della famiglia di discontinuità (Xd), come è usualmente richiesto procedendo con le tecniche tradizionali di rilievo geostrutturale (scanline in affioramento).

Nei punti che seguono viene brevemente descritta la procedura operativa seguita, i cui passi principali sono sintetizzati in Figura 11.1:

[1] Selezione di una porzione della nuvola di punti.

[2] Individuazione dei piani di discontinuità che suddividono la porzione di nuvola selezionata ed esportazione dei loro dati giacitura.

[3] Analisi delle giaciture dei piani individuati tramite il software DIPS e determinazione dei principali sistemi di discontinuità presenti nel settore analizzato.

[4] Costruzione dei vettori perpendicolari ai piani rappresentativi di ogni sistema di discontinuità individuato: ogni vettore rappresenta la direzione della normale media alla famiglia di discontinuità considerata.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu
IMAGEO

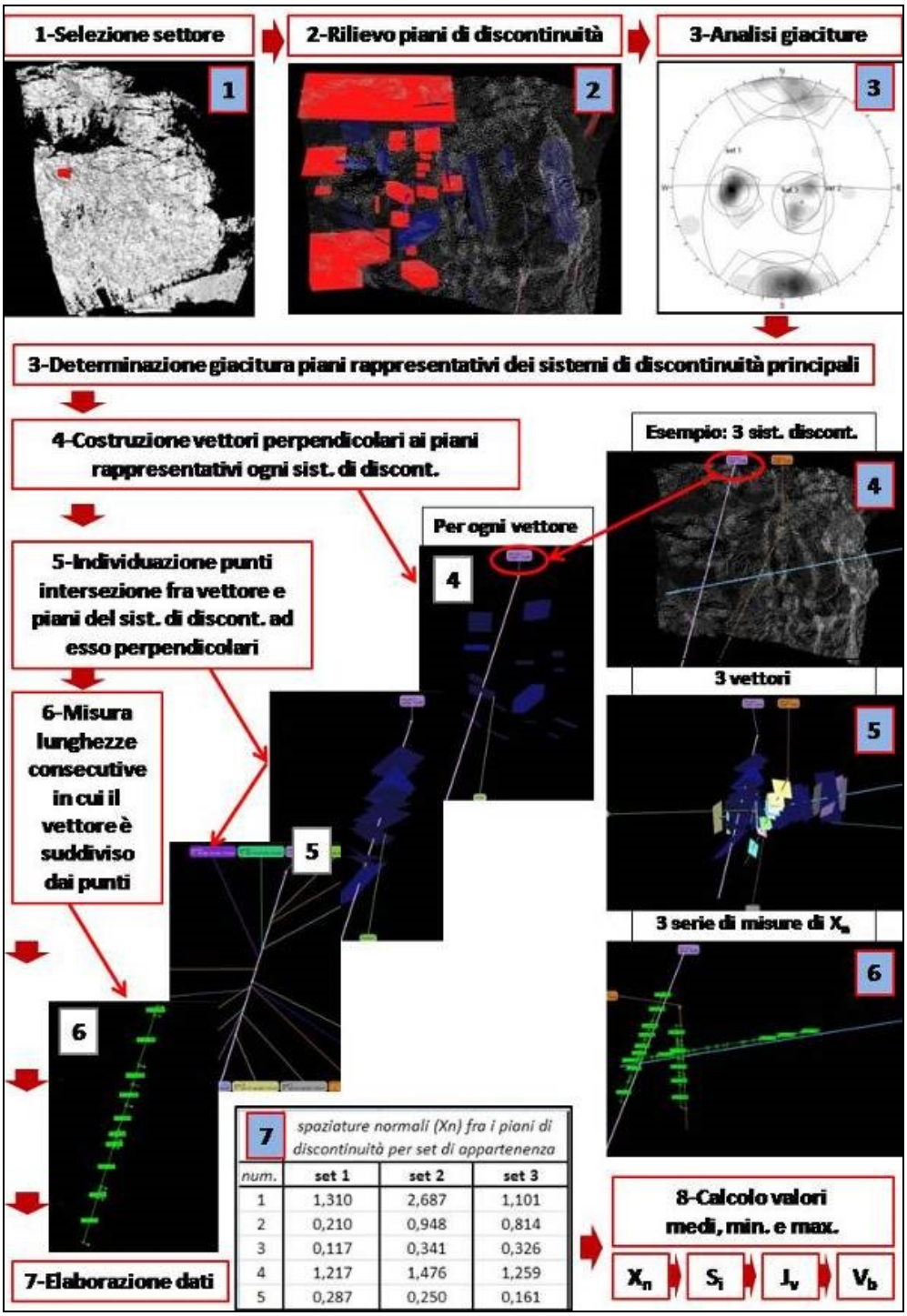
[5] Per ogni vettore, individuazione dei punti risultanti dall'intersezione fra il vettore stesso ed i piani appartenenti al sistema di discontinuità ad esso perpendicolari.

[6] A partire da uno dei due punti più esterni di ogni vettore, misura di tutte le lunghezze consecutive in cui il vettore è suddiviso dall'intersezione con i punti precedentemente individuati. Ognuna delle lunghezze così misurate rappresenta quindi un valore di spaziatura normale del sistema di discontinuità (Xn) analizzato, cioè la spaziatura (distanza) tra due piani di discontinuità (punti) della stessa famiglia immediatamente adiacenti misurata lungo la normale media (vettore) della famiglia.

[7] Esportazione e pre-elaborazione dei dati (fase di controllo e verifica): alcuni dati di spaziatura potrebbero essere scartati poiché relativi alla stessa discontinuità campionata più di una volta, poiché affiorante in maniera discontinua in più zone della superficie indagata (valori di spaziatura vicino allo zero).

[8] Per ogni sistema di discontinuità, trattazione statistica dei dati, calcolo dei valori medi, minimi e massimi di Xn ed applicazione di formule empiriche per determinare i valori medi, minimi e massimi riguardo la frequenza dei giunti per set (Si), l'indice Jv ed il volume del blocco roccioso unitario (Vb o VRU). Possibilità di ricavare anche altri indici, come per esempio RQD.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu



[9]

Figura 11.1: flusso di lavoro della metodologia adottata per ricavare i valori di spaziatura normale Xn dall'elaborazione ed analisi delle nuvole di punti ottenute da rilievi laser scanner.

L'indice J_v (*Volumetric Joint Count*) è il numero di giunti per metro cubo di roccia (Figura 11.2). Esso è definito come la somma del numero di giunti per metro per ogni famiglia di discontinuità presente. Il numero di discontinuità per ogni famiglia deve essere contato in direzione perpendicolare a quella apparente della famiglia e su una lunghezza

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

idonea rispetto alla spaziatura media dei giunti (generalmente è sufficiente una lunghezza di 5-10 m). L'indice J_v si può calcolare tramite la seguente formula:

$$Jv = \sum_{i=1}^{J} \left(\frac{1}{S_i} \right)$$

Dove S_i rappresenta il valore medio della spaziatura normale (X_n) per ciascun a famiglia di discontinuità e J è il numero di faglie di discontinuità presenti.

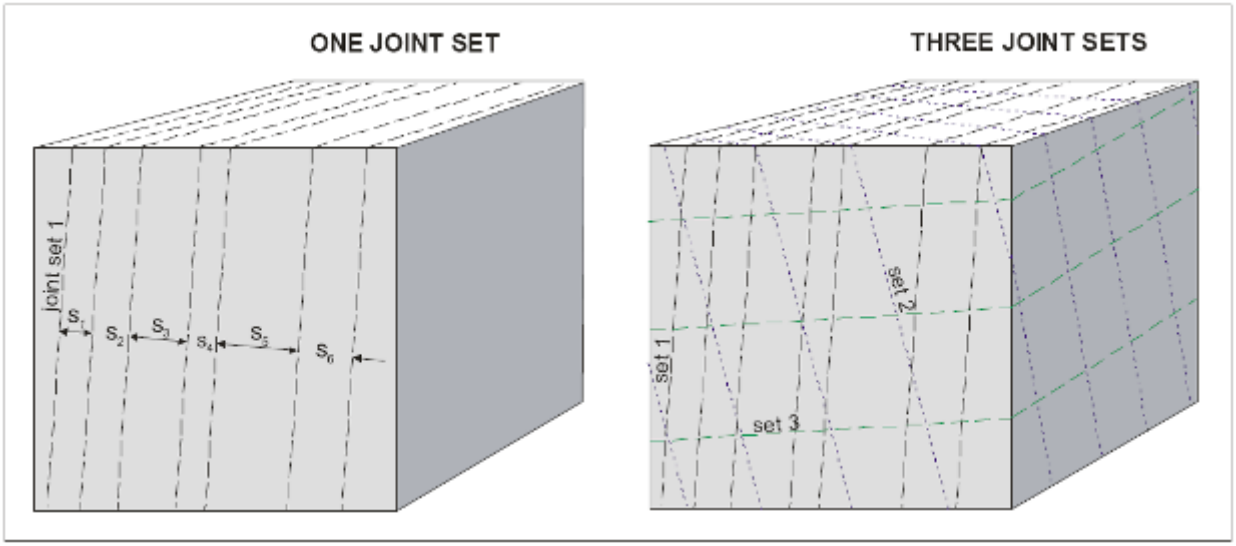
Nei casi in cui i sistemi di discontinuità rinvenuti siano tre J_v è dato dalla seguente relazione:

$J_v = 1/S1 + 1/S2 + 1/S3$

Se sono presenti alcuni giunti che non sono classificati all'interno di nessun sistema di discontinuità ("random joint"), questi possono essere inclusi nel calcolo di di J_v attribuendoli un valore di "spaziatura random" ("random spacing"). Palmstrom (2005) osserva che le esperienze condotte su questo argomento indicano che il valore di questa "spaziatura random" (Sr) dovrebbe essere imposto uguale a 5 metri. Ne consegue che la relazione diviene:

$J_v = 1/S1 + 1/S2 + 1/S3 + \ldots\ldots + Nr/(5\sqrt{A})$

Dove Nr è il numero di "giunti random" all'interno dell'area di osservazione (A) espressa in metri quadri.



STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

Figura 11.2: suddivisione di un blocco roccioso cubico da parte di giunti appartenenti ad un solo sistema di discontinuità (a sinistra) e da tre sistemi (a destra). Il parametro S rappresenta la misura della spaziatura normale (Xn) (Palmstrom, 2005).

Sulla base dell'indice J_v, L'ISRM ha proposto una serie di termini descrittivi della dimensione media dei blocchi che caratterizzano l'ammasso (Tabella 11.1).

DESCRIZIONE	Jv (giunti m³)
Very large blocks	< 1.0
Large blocks	1 - 3
Medium-sized blocks	3 -10
Small blocks	10 - 30
Very small blocks	> 30

Tabella 11.1: termini descrittivi della dimensione media dei blocchi che caratterizzano un ammasso roccioso in base all'indice Jv corrispondente (ISRM, 1978).

Con terminologia Volumi Rocciosi Unitari (VRU o V_b) si indicano gli elementi discreti di materiale in cui un ammasso roccioso è teoricamente suddiviso dalle discontinuità presenti. Per la sua determinazione le norme suggeriscono di stimare oltre che le dimensioni tipiche medie, anche quelle massime e minime, in cui è scomposto l'ammasso roccioso, eventualmente aiutandosi anche con l'osservazione dei detriti presenti.

Nei casi in cui i sistemi di discontinuità rilevati siano tre il valore di V_b può essere determinato con la seguente relazione:

$$V_b = (S1 \cdot S2 \cdot S3) / (\text{Sin } \alpha \cdot \text{Sin } \beta \cdot \text{Sin } \gamma)$$

Dove S1, S2 e S3 sono rispettivamente le spaziature normali (X_n) dei tre sistemi di discontinuità rinvenuti, mentre α, β e γ sono gli angoli tra i piani di discontinuità che identificano i tre sistemi di discontinuità.

Nei casi in cui la forma dei blocchi sia approssimativamente simile a quella di un parallelepipedo rettangolo, vale la relazione $V_b = S1 \times S2 \times S3$; poiché: Sin 90° = 1. Negli altri casi si può anche fare riferimento ad alcune relazioni proposte da vari autori e visualizzabili nella sottostante Tabella 11.2.

all angles = 90°	two angles = 90° one angle = 60°	one angle = 90° two angles = 60°	all angles = 60°	all angles = 45°
$Vb = Vb_o = S1 \times S2 \times S3$	$Vb = 1.16\ Vb_o$	$Vb = 1.3\ Vb_o$	$Vb = 1.5\ Vb_o$	$Vb = 2.8\ Vb_o$

Tabella 11.2: termini descrittivi della dimensione media dei blocchi che caratterizzano un ammasso roccioso in base all'indice J_v corrispondente (Palmstrom, 2005).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

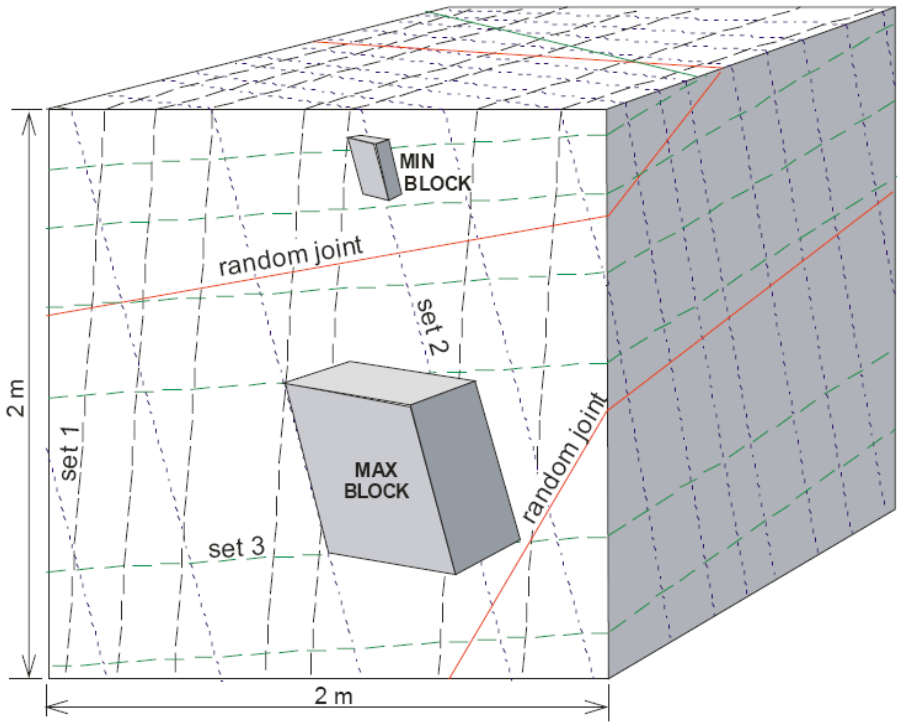


Figura 11.3: suddivisione di un blocco roccioso cubico (2x2x2 m) da parte di giunti appartenenti a tre sistemi di discontinuità e da latri due giunti non classificati. Sono anche raffigurati i VRU massimi e minimi rispettivamente aventi come lati i valori di spaziatura massima e minima trai i diversi set (Palmstrom, 2005).

Quando sono presenti più di tre sistemi di discontinuità, come nel caso in esame, è possibile calcolare il VRU tramite la seguente relazione che lega le dimensioni di un blocco roccioso l'indice J_v (Palmstrom, 2005):

$$V_b = \beta \cdot J_v^{-3}$$

Dove J_v è dato da:

$$J_v = 1/S1 + 1/S2 + 1/S3 + ... + 1/Sn$$

Dove β è un fattore che si ottiene come segue:

$$\beta = 20 + (21 / n_j) \cdot (S_{max}/S_{min})^{(1 + 0{,}1 \log ((Smax / Smin))}$$

Dove S_{max} e S_{min} sono rispettivamente il valore maggiore e minore fra le spaziature normali (X_n) dei sistemi di discontinuità rinvenuti (S1, S2, S3, ….Sn), cioè il lato più lungo ed il più corto del solido che approssima il blocco roccioso considerato.

Il fattore n_j varia invece come segue:

- ✓ $n_j = 3$ se i sistemi di discontinuità sono 3 o più di 3;
- ✓ $n_j = 2{,}5$ se i sistemi di discontinuità sono 2 + alcuni giunti random;
- ✓ $n_j = 2$ se i sistemi di discontinuità sono 2;
- ✓ $n_j = 1{,}5$ se i sistemi di discontinuità sono 1 + alcuni giunti random;

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

- ✓ $n_j = 1$ se il sistema di discontinuità è 1 solo.

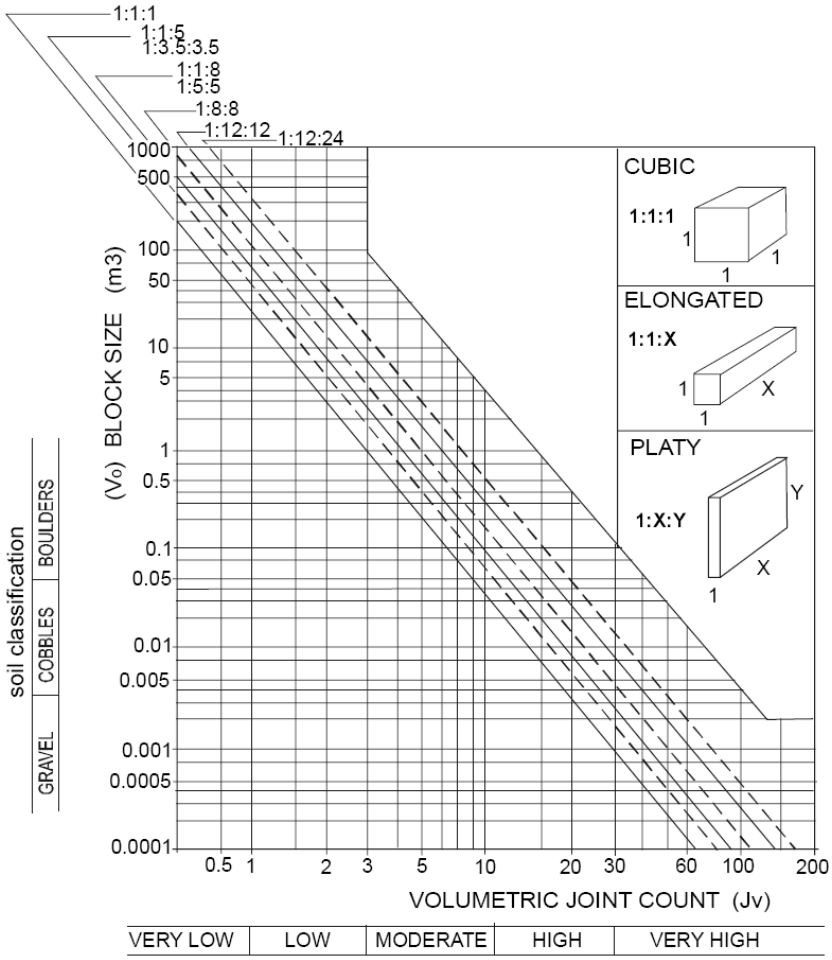


Figura 11.4: relazioni tra le dimensioni di un elemento roccioso e l'indice J_v per variazioni nella forma del blocco (Palmstrom, 1982).

11.2 Sintesi dei risultati

I risultati dell'analisi delle spaziature misurate sulla nuvola di punti laser sono riepilogati nelle sottostanti figure.

Da Figura 11.5 a Figura 11.8 sono riportati i diagrammi di distribuzione statistica delle spaziature dei sistemi di discontinuità campionati nei vari settori analizzati. In Tabella 13.1 sono riportati i valori minimi, medi e massimi delle spaziature e di Jv per ogni settore analizzato.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

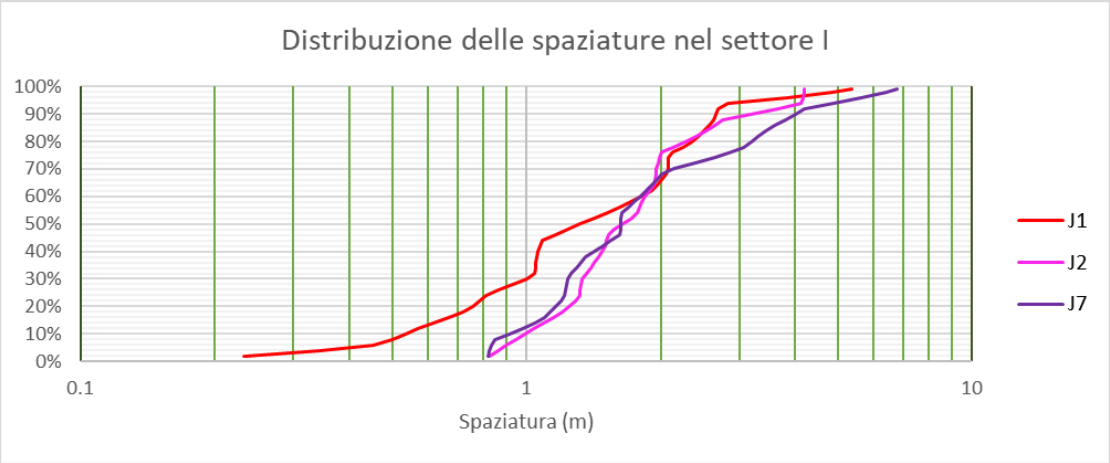


Figura 11.5: distribuzione statistica dei valori di spaziatura dei sistemi di discontinuità nel settore I.

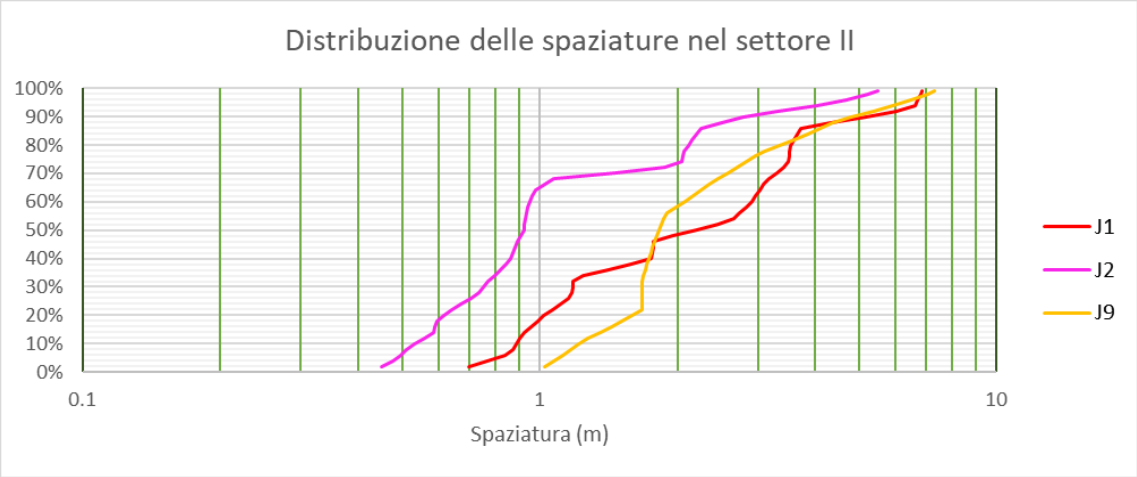


Figura 11.6: distribuzione statistica dei valori di spaziatura dei sistemi di discontinuità nel settore II.

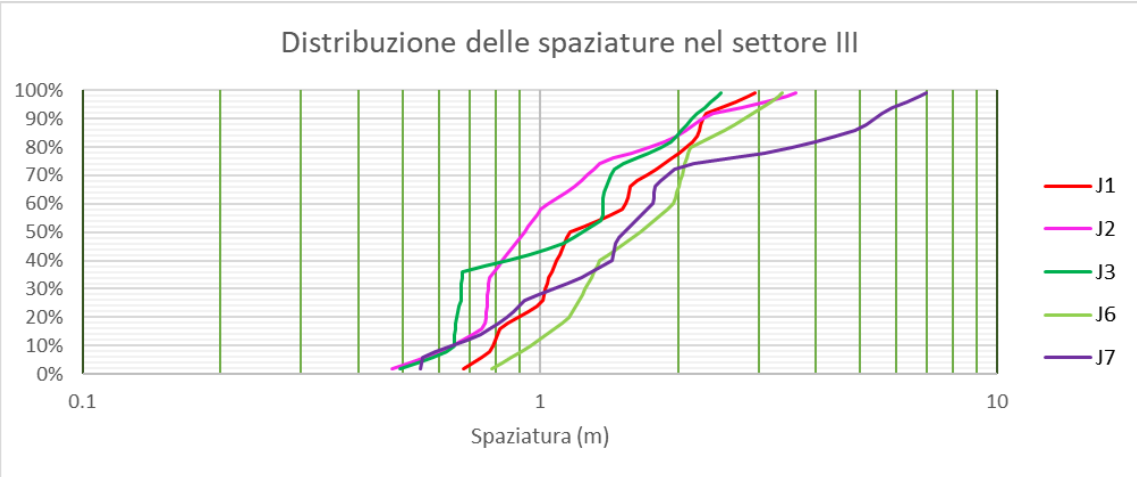


Figura 11.7: distribuzione statistica dei valori di spaziatura dei sistemi di discontinuità nel settore III.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

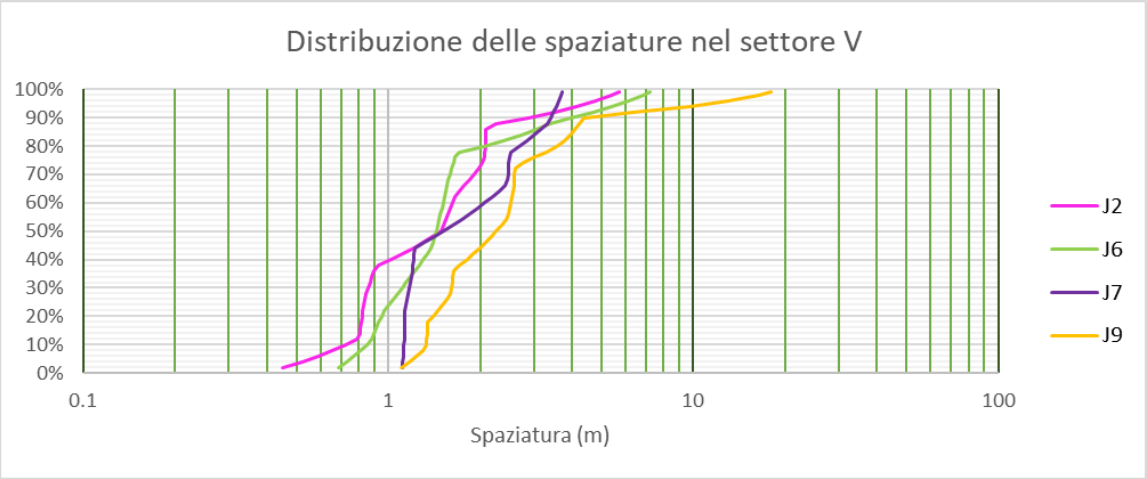


Figura 11.8: distribuzione statistica dei valori di spaziatura dei sistemi di discontinuità nel settore III.

Set	Spaziatura				Jv		
	MIN	MEDIA	MAX	DEV.ST.	MIN	MEDIA	MAX
Settore I							
J1	0.12	1.68	5.86	1.33	10.63	1.57	0.55
J2	0.79	1.89	4.22	0.98			
J7	0.81	2.26	7.15	1.74			
Settore II							
J1	0.63	2.64	6.90	1.92	4.97	1.43	0.45
J2	0.43	1.47	5.74	1.35			
J9	0.98	2.68	7.61	2.01			
Settore III							
J1	0.65	1.47	3.03	0.71	9.28	3.26	1.42
J2	0.43	1.29	3.80	0.93			
J3	0.45	1.25	2.52	0.68			
J6	0.74	1.80	3.45	0.96			
J7	0.54	2.27	7.20	2.02			
Settore V							
J1	0.38	1.81	6.02	1.69	6.01	1.81	0.62
J6	0.65	2.09	7.58	2.09			
J7	1.11	1.97	3.75	1.00			
J9	1.04	3.72	19.73	5.14			

Tabella 11.3: sintesi dei valori di spaziatura e Jv per ciascun sistema di discontinuità.

11.3 VRU derivato dalla combinazione delle spaziature

La stima VRU è avvenuta misurando direttamente sulla nuvola di punti le spaziature relative ai principali Set di discontinuità nei vari settori campione analizzati nei paragrafi precedenti per un totale di un'area di circa 70000 m^2. A partire dai singoli valori di spaziatura misurati sono state generate circa 1 milione di possibili combinazioni tra 3, 4 e 5 sistemi di discontinuità utilizzando l'approccio probabilistico di Monte Carlo. Sono stati così

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

ottenuti altrettanti valori di possibili VRU. I risultati della statistica dei valori ottenuti sono rappresentati nelle tabelle e figure seguenti.

In generale i VRU ottenuti da questo approccio probabilistico variano entro un ampio intervallo. Il settore I è caratterizzato da VRU minimo di 0.1 m^3 e un massimo di 192.2 m^3, con valor medio di circa 8 m^3 (Tabella 11.4). Nel settore II i volumi sono maggiori e oscillano tra un minimo di 0.3 m^3 e un massimo di 315.8 m^3, con un valor medio di 11.4 m^3 (Tabella 11.5). Il settore III è quello con i volumi minori rispetto a tutti i settori analizzati, con un minimo di 0.04 m^3, un massimo di 103.3 m^3 e un valor medio di 2.4 m^3 (Tabella 11.6). Il settore V è caratterizzato da un VRU che oscilla tra 0.2 e 1002.7 m^3, con un valor medio di 10.1 m^3 (Tabella 11.7).

VRU (m^3) settore I			
Minimo	Medio	Massimo	95 percentile
0.1	8.0	192.2	27.0

Tabella 11.4: sintesi dei valori minimi, medi e massimi del parametro VRU stimati per il settore I tramite l'approccio probabilistico di combinazione delle spaziature.

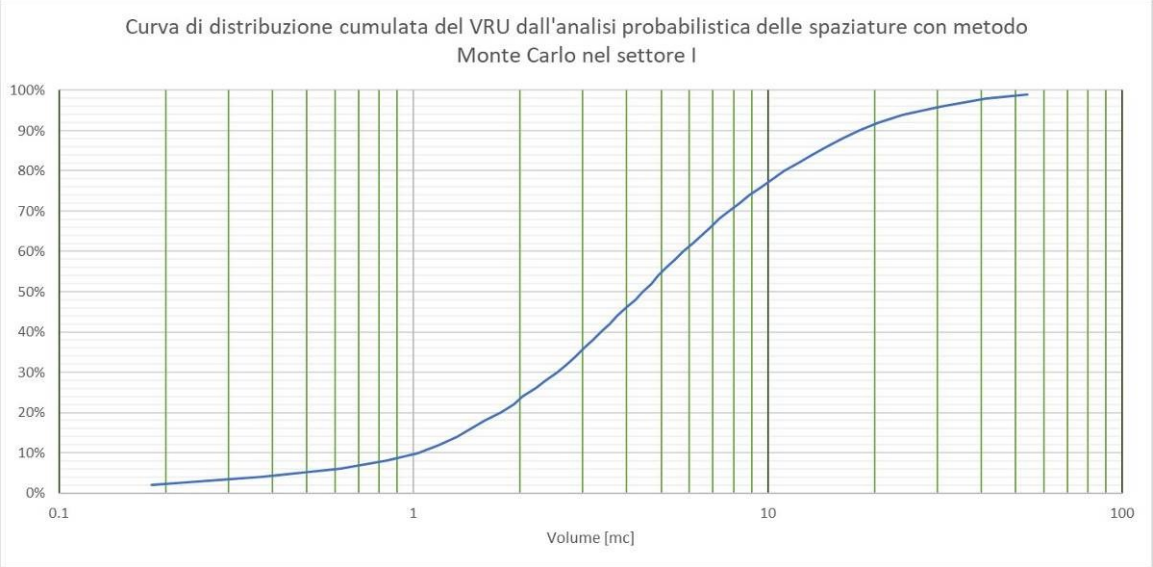


Figura 11.9: distribuzione dei valori di VRU ottenuti da elaborazione probabilistica delle spaziature misurate in parete su aree campione (Settore I).

VRU (m^3) settore II			
Minimo	Medio	Massimo	95 percentile
0.3	11.4	315.8	38.8

Tabella 11.5: sintesi dei valori minimi, medi e massimi del parametro VRU stimati per il settore II tramite l'approccio probabilistico di combinazione delle spaziature.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

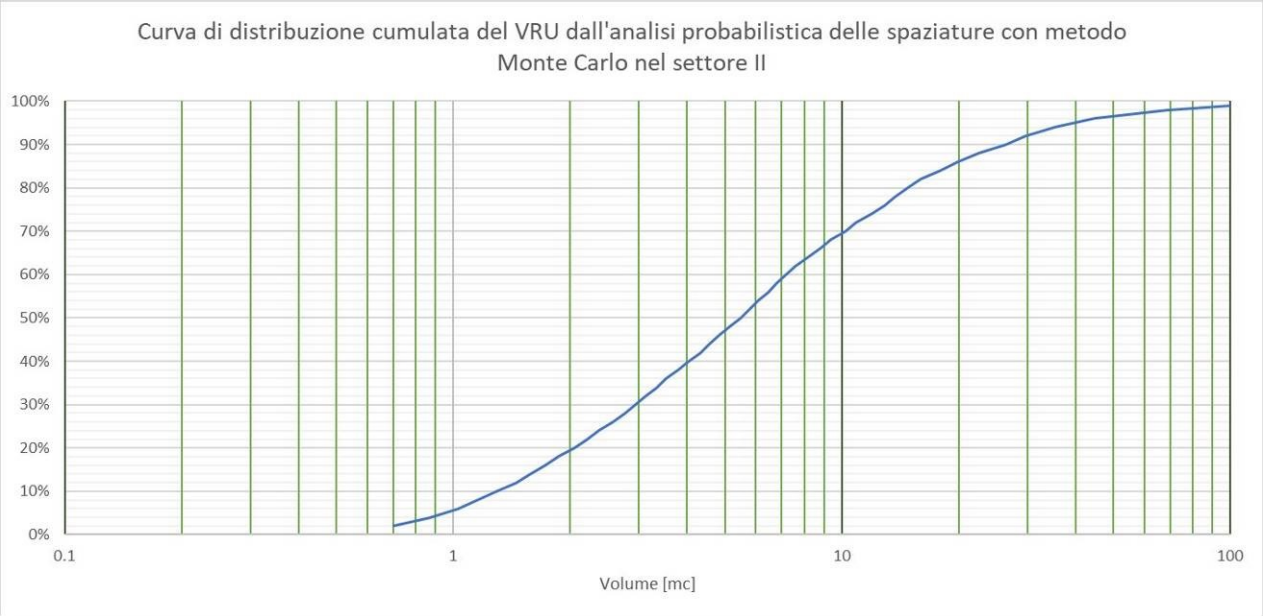


Figura 11.10: distribuzione dei valori di VRU ottenuti da elaborazione probabilistica delle spaziature misurate in parete su aree campione (Settore II).

VRU (m^3) settore III			
Minimo	Medio	Massimo	95 percentile
0.04	2.4	103.3	8.5

Tabella 11.6: sintesi dei valori minimi, medi e massimi del parametro VRU stimati per il settore III tramite l'approccio probabilistico di combinazione delle spaziature.

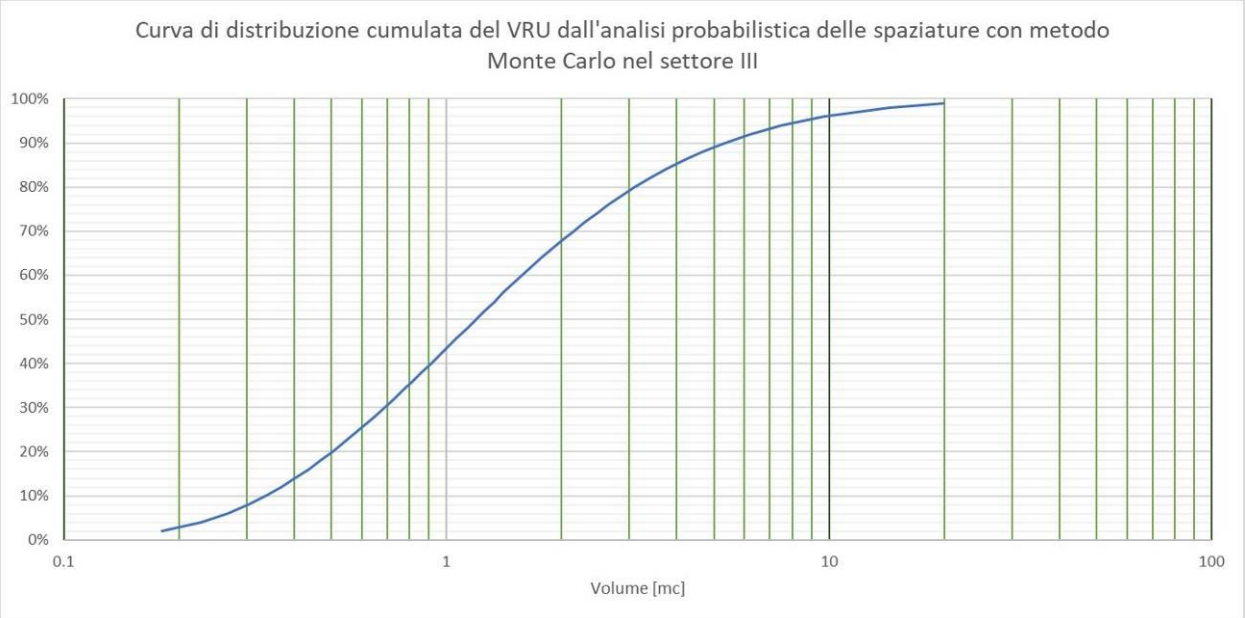
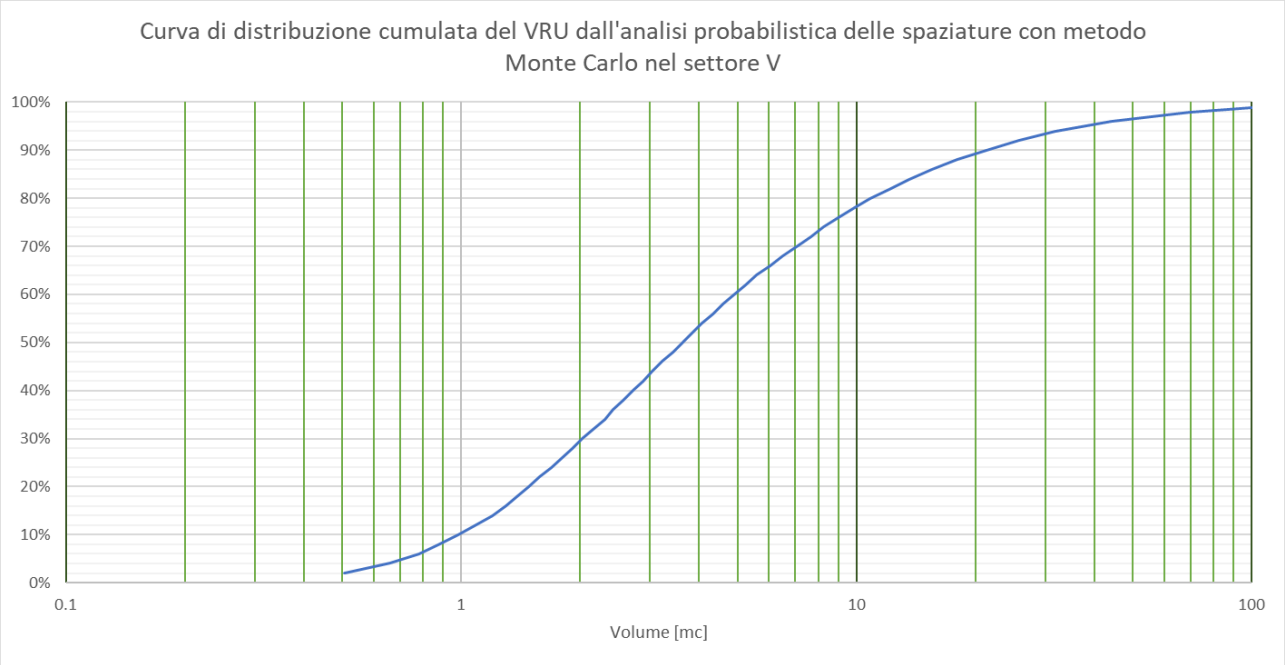


Figura 11.11: distribuzione dei valori di VRU ottenuti da elaborazione probabilistica delle spaziature misurate in parete su aree campione (Settore III).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

VRU (m³) settore V			
Minimo	Medio	Massimo	95 percentile
0.2	10.1	1002.7	37.2

Tabella 11.7: sintesi dei valori minimi, medi e massimi del parametro VRU stimati per il settore V tramite l'approccio probabilistico di combinazione delle spaziature.



<

Figura 11.12: distribuzione dei valori di VRU ottenuti da elaborazione probabilistica delle spaziature misurate in parete su aree campione (Settore V).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

12 ANALISI CINEMATICHE

Allo scopo di individuare i potenziali meccanismi che potrebbero dare luogo a fenomeni di instabilità, sono state effettuate le verifiche cinematiche di seguito descritte. Per le analisi cinematiche, è necessario disporre di una serie di dati relativi al contesto geomeccanico (angolo di attrito), strutturale (giacitura delle famiglie di discontinuità) e morfometrico (giacitura dei pendii) del versante in esame.

È anche necessario ricordare che l'analisi cinematica fornisce indicazioni solo sui possibili meccanismi di distacco, non sul grado di stabilità dei casi esaminati.

12.1 Dati di input

Il valore dell'angolo di attrito da utilizzare in questo tipo di analisi deve rappresentare l'ammasso roccioso nel suo complesso, in questo caso costituito da graniti a grana fine. Non essendo disponibili dati di prove di laboratorio tipo Tilt Test e/o taglio diretto lungo giunti naturali, utili a caratterizzare l'angolo di attrito, il valore adottato è stato desunto da dati bibliografici (Tabella 12.1) derivati da esperienze di ricercatori italiani e pubblicati da Bruschi (2004). Facendo riferimento a Tabella 12.1, a scopo cautelativo, si è scelto un valore di angolo d'attrito pari a 31°, ossia l'estremo inferiore dell'intervallo proposto in condizioni asciutte.

ROCCIA	ϕ_b PER GIUNTO ASCIUTTO (°)	ϕ_b PER GIUNTO UMIDO (°)
Conglomerato	35	35
Arenaria	26 – 35	25 – 33
Arenaria flyschoide	27 – 30	
Calcare	31 – 37	27 – 35
Calcare microcristallino	37 – 41	–
Marna	28 – 31	–
Marna scagliosa	31 – 33	27 – 31
Siltite	31 – 33	27 – 31
Argillite	27	27
Basalto	35 – 38	31 – 36
Granito a grana fine	31 – 35	29 – 31
Granito a grana grossa	31 – 35	31 – 33
Porfirite	31	31
Dolerite	36	32
Anfibolite	32	30
Gneiss	26 – 29	23 – 26
Calcescisti	29 – 33	–
Argilloscisti	26 – 30	–
Scisti	25 – 30	21

Tabella 12.1: valori evidenziati dell'angolo di attrito dei graniti a grana fine. Tali valori sono derivati da esperienze di ricercatori italiani e pubblicati da Bruschi (2004).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ORGANISMO CERTIFICATO AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

Le giaciture delle principali famiglie di discontinuità ritenute rappresentative dell'intera area d'indagine ed utilizzate nelle analisi cinematiche sono elencate in Tabella 12.2.

Set	Giaciture	
	Immers.	Inclinaz.
1	360	87
2	220	56
3	34	86
4	113	71
5	295	75
6	145	59
7	260	59
8	67	70
9	83	35

Tabella 12.2: elenco dei Set di discontinuità selezionati per le analisi cinematiche.

Si è proceduto ad individuare i piani che meglio approssimano le diverse orientazioni dei versanti rocciosi, allo scopo di analizzare i pendii che potrebbero potenzialmente generare distacchi critici. Ciò è stato effettuato sfruttando le potenzialità dei software Coltop 3D e CloudCompare (Figura 12.1), grazie a cui sono state identificate le giaciture dei "piani di versante" a diversa orientazione con diverse pendenze. Nel caso specifico della parete in oggetto, l'orientazione del versante è piuttosto costante con esposizione verso SW. Di conseguenza si è proceduto con le analisi cinematiche utilizzando un'unica orientazione del versante identificata con il piano di immersione 213 e inclinazione 60. Si può notare che l'orientazione del versante corrisponde alla giacitura di uno dei set principali individuati, nello specifico il Set 2.

Nelle analisi volte a verificare i cinematismi del ribaltamento e dello scorrimento planare è anche necessario impostare un intervallo di variabilità relativo alla direzione di immersione dei piani di discontinuità rispetto a quella del versante. Tale intervallo di valori è stato definito variabile fra +30° e –30°, come suggerito da Goodman (1980; "Introduction to Rock Mechanics" - John Wiley & Sons Ltd. - New York).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ORGANISMO CERTIFICATO AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

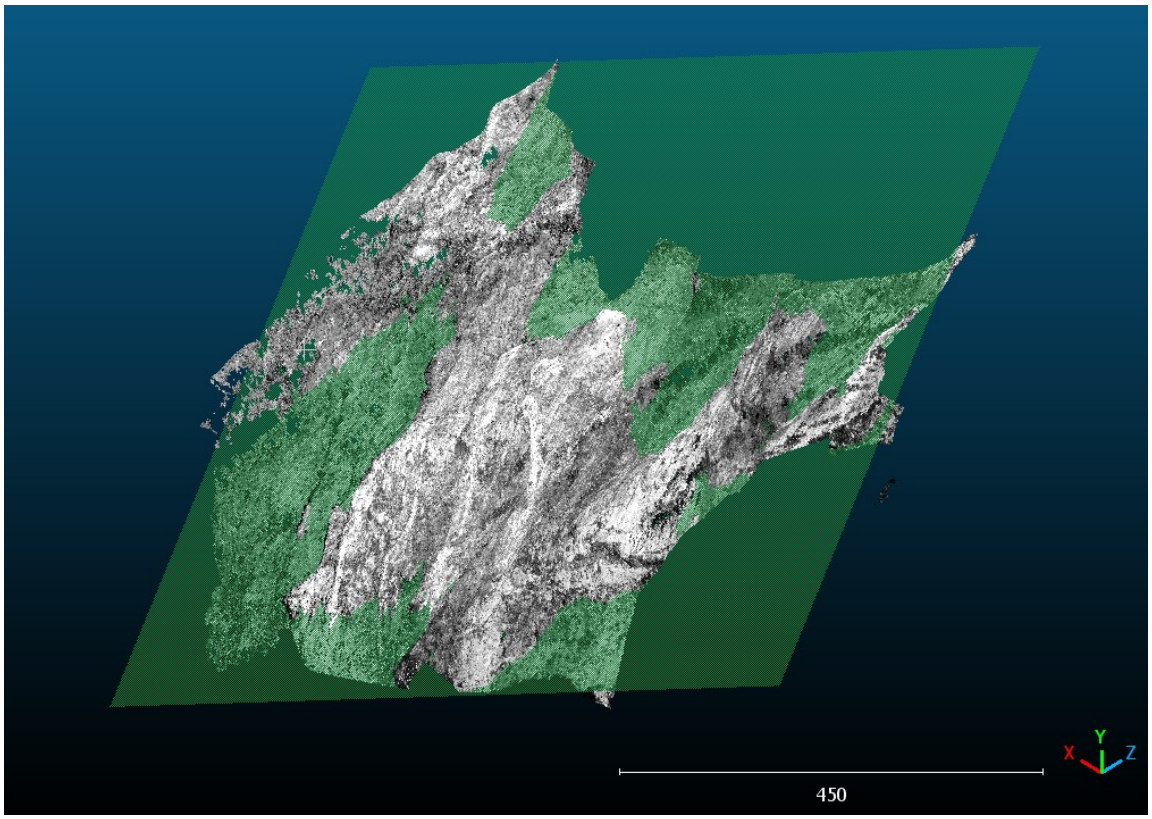


Figura 12.1: vista della porzione della nuvola di punti corrispondente alle scarpate rocciose in CloudCompare con evidenziato (in verde) il piano che identifica l'orientazione media del versante (213/60).

12.2 Sintesi dei risultati

Di seguito sono riassunti i risultati delle analisi cinematiche condotte ottenute considerando la combinazione dell'assetto strutturale dell'ammasso roccioso (9 set di discontinuità) e l'orientazione del piano di versante (213/60), evidenziando le situazioni critiche per quattro cinematismi (scorrimento planare e di cunei, ribaltamento diretto e di flessura). Nella sottostante Figura 12.2 si riportano le proiezioni stereografiche (emisfero inferiore) rappresentanti i poli dei principali Set, attraverso cui sono illustrati graficamente i risultati di tutte le verifiche cinematiche effettuate per i quattro cinematismi considerati.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

PIANO DI VERSANTE (213/60)

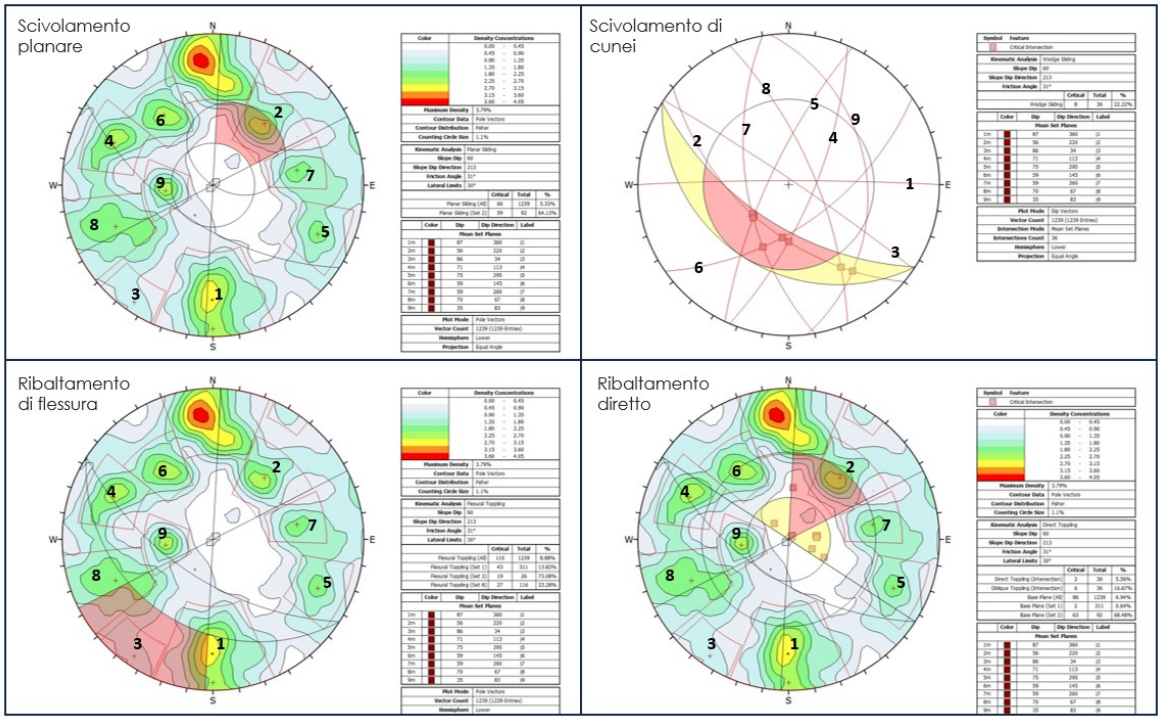


Figura 12.2: piani di versante 213/60, verifiche cinematiche per lo scivolamento planare e di cunei, ribaltamento di flessura e diretto.

La sottostante Tabella 12.3 sintetizza i risultati delle analisi cinematiche, evidenziando quali famiglie di discontinuità soddisfano ciascun cinematismo. Dall'analisi si evince che il versante in oggetto è potenzialmente favorevole allo sviluppo di tutti i cinematismi presi in considerazione. In particolare, il cinematismo che coinvolge più set di discontinuità è lo scivolamento di cunei. Il Set 2, che corrisponde anche all'orientazione principale del versante, è il set più favorevole allo sviluppo di intersezioni che possono generare cunei di roccia. Inoltre, è anche l'unico set favorevole allo sviluppo di scivolamento planare.

Al contrario, i set più favorevoli al ribaltamento di flessura sono quelli ad alta inclinazione e con immersione opposta a quella del versante (1, 3, 8). Gli stessi set, intersecati con i set 4 e 5 sono anche favorevoli allo sviluppo di ribaltamenti diretti.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

Risultati delle analisi cinematiche (Set che soddisfano un cinematismo) - Angolo di attrito giunti 31°				
Piano di versante	scivolamento planare	scivolamento di cunei (intersezioni fra i SET)		ribaltamento di flessura
		MAX instabilità	estensione solo per versanti molto inclinati	
213/60	2	2/4; 2/6; 2/7; 2/5; 5/7; 6/7	2/8; 2/9	1; 3; 8

Risultati delle analisi cinematiche (Set che soddisfano un cinematismo) - Angolo di attrito giunti 31°						
Piano di versante	ribaltamento diretto					
	piani basali critici			intersezioni critiche (rischio di fi formazione di blocchi critici per ribalamento)		
	scivolamento e ribaltamento possono occorrere simultaneamente	superfici di rilascio potenziali per blocchi di flessura (senza piani di scivolamento)		rilascio di blocchi per scivolamento lungo i piani basali	rilascio di blocchi senza scivolamento lungo i piani basali	piani basali obliqui (estensione solo per versanti molto inclinati)
		MAX instabilità	piani basali obliqui (estensione solo solo per versanti molto inclinati)		MAX instabilità	
213/60	1; 2	/	/	5/8	1/3	1/4; 1/8; 3/4; 3/5; 3/8; 4/8

Tabella 12.3: sintesi dei risultati delle analisi cinematiche condotte per l'orientazione del versante preso in considerazione.

Lo schema di Tabella 12.4 rappresenta le frequenze teoriche e le percentuali dei piani o delle combinazioni di piani favorevoli ai quattro cinematismi analizzati. Questo schema è più statisticamente basato rispetto al precedente di Tabella 12.3, ma analogamente ad esso dimostra che per l'orientazione di versante considerata possono sempre occorrere condizioni per il potenziale sviluppo dei cinematismi analizzati. Differentemente dallo schema di Tabella 12.3 lo schema di Tabella 12.4 quantifica la diversa potenziale propensione all'instabilità dei pendii analizzati.

La Tabella 12.4 indica infatti la percentuale dei piani o delle intersezioni di due piani, rispetto al totale dei piani campionati od alle intersezioni totali di tutti i piani o dei piani appartenenti ai set principali, che possono potenzialmente soddisfare ciascun cinematismo. Il totale dei piani campionati è 1239, le intersezioni di tutti i piani sono 766876, mentre le intersezioni dei soli piani appartenenti ai set principali sono 331489.

In linea generale, si evidenzia che le percentuali dei casi critici per ciascun cinematismo analizzato non superano mai il 12% dei piani o delle intersezioni dei piani. Anche nel caso di Tabella 12.4 lo scivolamento di cunei si conferma il cinematismo caratterizzato dalla percentuale maggiore di intersezioni critiche, raggiungendo un massimo di 11.4% tra i piani dei set. Anche il ribaltamento diretto e di flessura sono caratterizzati da percentuali di piani e intersezioni critiche tra le più alte, attestandosi generalmente poco al di sotto del 10%.

In conclusione è opportuno ricordare che l'analisi cinematica non è di per sé una verifica di stabilità, in quanto permette di verificare solo l'esistenza di condizioni geometriche predisponenti all'instabilità, condizione necessaria, ma non sufficiente per attivare il dissesto.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ORGANISMO DI CERTIFICAZIONE AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

Piano di versante	ϕ (°)	Scivolamento planare				Ribaltamento per flessura		N° tot piani
		Limite di compatibilità						
		±30°		nessuno				
		casi critici	%	casi critici	%	casi critici	%	
213/60	31	66	5.3	90	7.3	110	8.9	1239

LEGENDA %
0 % < x < 5 %
5 % < x < 10 %
10 % < x < 20 %
20 % < x < 30 %

Piano di versante	ϕ (°)	Scivolamento di cunei							
		Tutti i piani (totale intersezioni: 766876)				Piani di tutti i Set (totale intersezioni: 331489)			
		Lungo entrambi i piani		Lungo un solo piano		Lungo entrambi i piani		Lungo un solo piano	
		casi critici	%	casi critici	%	casi critici	%	casi critici	%
213/60	31	80034	10.4	36499	4.8	37693	11.4	23503	7.1

Piano di versante	ϕ (°)	Ribaltamento diretto									
		Piani di base		Tutti i piani (totale intersezioni: 766876)				Piani di tutti i Set (totale intersezioni: 331489)			
		Tutti i dati: 1239		Ribaltamento diretto		Ribaltamento obliquo		Ribaltamento diretto		Ribaltamento obliquo	
		casi critici	%	casi critici	%	casi critici	%	casi critici	%	casi critici	%
213/60	31	86	6.9	75975	9.9	59655	7.8	32330	9.8	34376	10.4

Tabella 12.4: statistiche delle analisi cinematiche: frequenza e percentuale dei piani o delle combinazioni di piani favorevoli ai quattro cinematismi analizzati. Per lo scivolamento planare ed il ribaltamento per flessione il calcolo è riferito alla totalità dei piani misurati. Per lo scivolamento di cunei il calcolo è riferito sia alla totalità delle intersezioni, sia all'insieme delle intersezioni tra piani delle varie famiglie principali. Per i piani basali del ribaltamento diretto il calcolo è riferito alla totalità dei piani misurati, mentre per il ribaltamento in senso stretto il calcolo è riferito sia alla totalità delle intersezioni, sia all'insieme delle intersezioni tra piani delle varie famiglie principali.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

13 PRINCIPALI SETTORI POTENZIALMENTE INSTABILI

Allo scopo di individuare le potenziali aree sorgenti con maggiore probabilità di distacco di blocchi nel settore d'indagine è stata effettuata una determinazione qualitativa delle aree maggiormente instabili della parete. Sono state censite 82 principali situazioni. Queste aree sono state individuate utilizzando le osservazioni eseguite in fase di rilievo, le riprese fotografiche di dettaglio e le nuvole di punti ottenute tramite le metodologie descritte nei paragrafi precedenti. I criteri utilizzati per la determinazione di una zona potenzialmente instabili sono i seguenti:

1. Presenza di vegetazione all'interno delle fratture (Veg)
2. Morfologia aggettante (Agg)
3. Segni di frequenti venute d'acqua (Acqua)
4. Presenza di fratture aperte isolanti possibili blocchi (frat)
5. Alterazione visibile (Alt)

Le zone sono state campionate come singoli blocchi potenzialmente instabili, come aree oggetto di possibili distacchi o aree con crolli recenti già avvenuti. Per ciascuna zona identificata come potenzialmente instabile è stata effettuata una stima del volume roccioso che potrebbe essere coinvolto dall'eventuale distacco. Per le aree individuate come sorgenti di possibili distacchi è stato misurato il volume discreto più grande individuabile da nuvola di punti e fotografie di dettaglio. Tali valutazioni sono state effettuate utilizzando la nuvola di punti e sono perciò da intendersi come misure indicative, considerando la difficoltà di individuare perfettamente gli estremi di alcune porzioni rocciose in tale rappresentazione. In Figura 13.1 è rappresentata l'ortofoto verticale della parete con indicate le zone potenzialmente instabili individuate, mentre nella sottostante Tabella 13.1 è riportato l'elenco delle aree potenzialmente instabili individuate con le relative coordinate, caratteristiche e volumi. Un esempio di blocco singolo potenzialmente instabile e relative misure sulla nuvola di punti è riportato in Figura 13.2.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ORGANISMO DI CERTIFICAZIONE AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

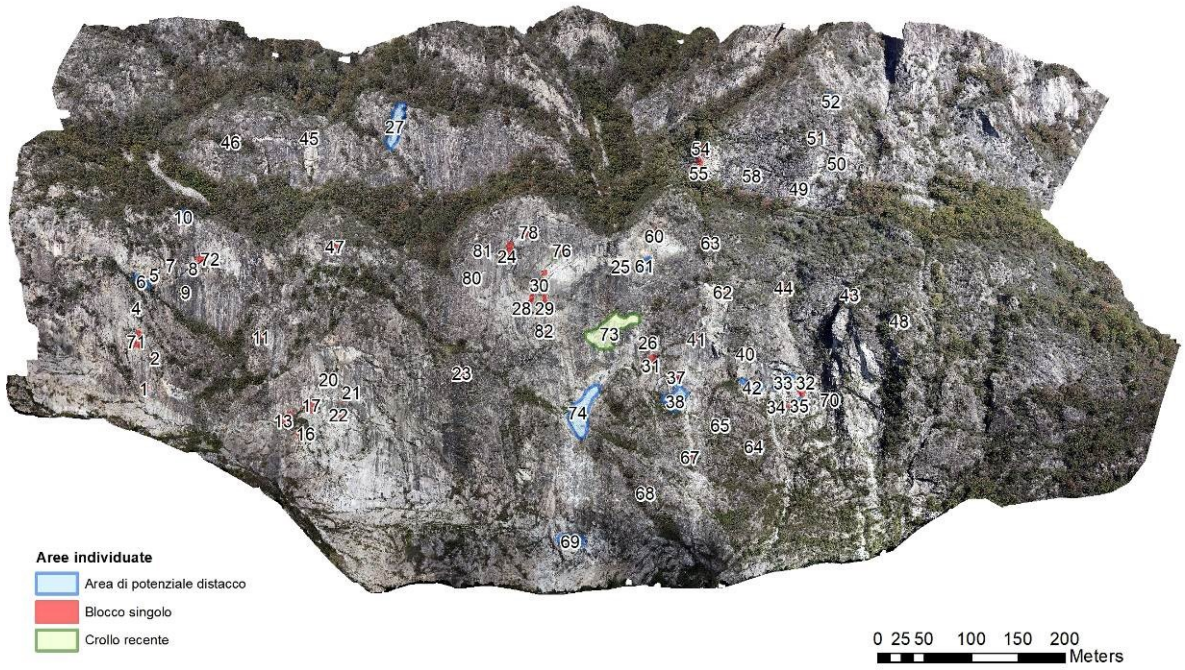


Figura 13.1: ortofoto verticale della parete con la posizione delle situazioni potenzialmente instabili individuate.

ID	*Veg*	*Agg*	*Acqua*	*Frat*	*Alt*	*L1*	*L2*	*L3*	*Tipo*	*Vol*	*Coordinate RDN2008 – UTM32*		
						[m]	*[m]*	*[m]*		*[m³]*	*Est*	*Nord*	*Quota*
1	0	0	0	1	0	6.1	5.8	1.2	Singolo	42.5	534706	5119553	452
2	0	0	0	0	0	2.1	4.7	0.5	Singolo	4.4	534720	5119553	485
3	0	0	0	0	0	5.7	2.3	1.7	Singolo	21.3	534710	5119568	509
4	1	0	0	0	0	5.0	2.5	0.6	Singolo	7.9	534715	5119576	537
5	1	0	1	0	1	5.0	1.0	3.1	Singolo	15.5	534740	5119584	575
6	1	0	0	0	0	1.6	4.9	5.1	Area	40.9	534716	5119597	576
7	1	0	1	1	0	2.7	2.1	0.8	Singolo	4.6	534760	5119582	580
8	1	0	1	0	0	7.6	4.5	1.4	Singolo	46.8	534790	5119585	580
9	0	1	1	0	0	2.9	2.3	0.4	Singolo	2.7	534781	5119579	558
10	1	1	1	0	0	7.8	8.5	8.6	Area	573.4	534788	5119591	633
11	1	0	1	0	0	1.8	2.2	0.6	Singolo	2.1	534834	5119517	506
12	1	1	1	1	0	2.7	4.0	1.2	Singolo	13.1	534807	5119439	412
13	1	0	0	1	1	4.8	2.3	1.0	Singolo	10.6	534817	5119444	419
14	1	0	1	1	1	2.1	1.7	0.6	Singolo	2.0	534815	5119435	413
15	1	1	0	1	0	5.2	4.4	1.0	Singolo	22.6	534826	5119445	422
16	0	1	0	1	1	5.6	2.7	0.9	Singolo	13.6	534818	5119415	402
17	0	0	0	1	0	2.9	2.0	0.4	Singolo	2.4	534851	5119441	438
18	1	0	0	1	0	2.7	1.4	0.4	Singolo	1.6	534840	5119439	429
19	0	1	0	0	0	2.4	1.9	0.7	Singolo	3.1	534845	5119434	426
20	1	1	1	0	0	3.3	1.2	2.8	Singolo	11.1	534872	5119443	461
21	0	1	0	1	0	2.1	0.6	1.5	Singolo	1.8	534884	5119427	436

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

ID	Veg	Agg	Acqua	Frat	Alt	L1	L2	L3	Tipo	Vol	Coordinate RDN2008 – UTM32		
						[m]	[m]	[m]		[m³]	Est	Nord	Quota
22	0	0	0	1	0	2.4	3.0	1.2	Singolo	8.5	534875	5119427	420
23	1	0	0	1	1	3.7	2.0	1.3	Singolo	9.6	534990	5119362	467
24	0	1	1	1	0	8.6	5.5	3.9	Singolo	183.1	535069	5119396	592
25	0	1	1	1	0	4.2	5.5	1.7	Singolo	39.9	535178	5119333	580
26	1	1	0	0	0	5.0	5.3	1.4	Singolo	37.8	535179	5119287	501
27	1	0	1	1	0	3.1	7.2	5.1	Area	115.2	535039	5119563	738
28	0	1	0	1	0	1.8	6.6	2.9	Singolo	33.2	535083	5119372	544
29	0	1	1	1	0	12.6	2.2	2.1	Singolo	57.4	535099	5119370	539
30	0	1	0	0	0	8.7	2.6	1.8	Singolo	39.7	535100	5119378	562
31	0	1	1	1	0	11.9	2.1	3.1	Singolo	79.2	535175	5119275	482
32	0	1	0	1	0	4.3	2.2	1.0	Singolo	9.0	535300	5119176	449
33	0	0	0	1	0	3.4	1.0	2.1	Area	7.2	535287	5119202	462
34	0	1	1	1	0	4.6	3.1	1.8	Singolo	25.7	535276	5119173	432
35	0	0	0	1	0	1.6	0.6	1.0	Area	0.9	535292	5119171	434
36	0	0	0	1	0	2.0	1.6	0.5	Singolo	1.6	535295	5119166	433
37	0	1	0	1	1	5.6	2.2	4.0	Singolo	49.5	535192	5119255	464
38	1	0	1	0	1	4.5	1.5	0.9	Area	6.3	535178	5119236	437
39	1	1	1	1	0	4.8	2.5	1.1	Singolo	12.7	535261	5119215	490
40	0	0	1	1	0	4.6	1.4	1.6	Singolo	10.4	535256	5119218	489
41	0	0	0	1	0	5.6	3.1	1.6	Singolo	27.0	535222	5119265	502
42	1	0	0	1	0	3.3	1.6	0.7	Area	3.4	535253	5119200	452
43	1	0	1	1	0	3.3	3.0	1.1	Singolo	10.9	535363	5119176	554
44	1	0	0	0	0	2.8	1.7	0.9	Singolo	4.1	535324	5119248	573
45	1	1	0	1	0	2.2	2.3	2.5	Singolo	12.2	534956	5119612	718
46	1	0	0	1	0	3.7	4.8	0.8	Singolo	14.2	534884	5119652	713
47	1	1	0	1	0	2.9	1.2	0.8	Singolo	2.7	534913	5119493	601
48	1	0	0	1	0	1.1	3.5	1.3	Singolo	4.8	535390	5119109	520
49	0	1	1	1	0	4.5	1.4	0.7	Singolo	4.4	535372	5119291	664
50	0	1	1	1	0	11.4	2.9	2.8	Singolo	92.7	535413	5119277	691
51	1	1	1	1	0	4.5	1.8	0.8	Singolo	6.4	535400	5119297	718
52	1	0	0	0	0	4.0	3.1	1.2	Area	15.0	535424	5119307	755
53	0	0	0	1	0	2.0	1.9	0.6	Singolo	2.3	535299	5119366	699
54	1	0	1	1	0	1.4	1.6	0.6	Singolo	1.3	535300	5119368	706
55	0	0	0	1	0	1.8	0.6	2.1	Singolo	2.1	535294	5119368	681
56	0	0	1	1	1	2.0	1.9	0.5	Singolo	1.8	535295	5119366	689
57	1	0	0	1	0	2.3	0.2	0.5	Singolo	0.3	535294	5119368	692
58	0	1	1	1	0	3.8	1.2	0.5	Singolo	2.2	535340	5119333	676
59	0	1	0	1	0	3.2	1.2	0.5	Singolo	1.8	535346	5119327	675
60	0	1	0	1	1	1.7	2.0	6.6	Singolo	23.0	535200	5119310	613
61	1	1	1	1	1	4.3	1.8	0.6	Area	4.6	535187	5119314	580
62	0	1	1	1	1	2.4	5.5	7.9	Singolo	104.3	535258	5119263	553
63	1	0	0	1	0	7.2	3.4	1.9	Singolo	45.7	535261	5119294	607
64	1	1	0	1	0	3.6	2.9	0.8	Singolo	8.4	535219	5119144	389
65	0	0	0	0	0	1.6	2.9	1.3	Singolo	6.2	535202	5119184	411

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

ID	Veg	Agg	Acqua	Frat	Alt	L1	L2	L3	Tipo	Vol	Coordinate RDN2008 – UTM32		
						[m]	[m]	[m]		[m³]	Est	Nord	Quota
66	0	1	0	0	1	1.0	1.4	0.4	Singolo	0.6	535158	5119168	379
67	0	1	1	0	0	2.5	1.0	0.4	Singolo	0.9	535152	5119177	384
68	1	1	1	1	0	2.7	8.7	2.9	Singolo	68.6	535103	5119178	340
69	1	0	0	0	0	5.3	2.1	1.6	Area	17.5	535018	5119204	288
70	1	1	1	1	0	2.0	10.3	0.8	Singolo	17.0	535319	5119147	441
71	0	1	1	1	1	9.9	8.7	2.5	Singolo	218.8	534709	5119567	505
72	0	1	1	1	0	2.9	6.1	1.3	Singolo	23.3	534797	5119579	589
73	0	0	0	0	0	/	/	/	Crollo 2021	/	535166	5119320	521
74	0	0	0	1	0	/	/	/	Area	/	535104	5119291	437
75	0	0	0	0	0	/	/	/	Crollo 2021	/	535120	5119378	591
76	0	1	1	1	1	3.87	3.31	1.15	Singolo	14.7	535126	5119375	598
77	0	1	1	1	0	6.43	3.42	0.93	Singolo	20.5	535076	5119401	605
78	0	1	1	1	0	9.01	4.63	2.51	Singolo	104.7	535095	5119398	618
79	0	1	0	1	0	4.15	1.06	2.13	Singolo	9.4	535108	5119382	574
80	0	1	1	1	0	3.29	3.73	1.27	Singolo	15.6	535034	5119412	570
81	1	1	1	1	0	1.47	2.61	1.05	Singolo	4.0	535050	5119415	596
82	1	0	1	1	0	4.19	2.27	0.85	Singolo	8.1	535092	5119357	514

Tabella 13.1: elenco dei principali settori potenzialmente instabili individuati grazie alle osservazioni eseguite in fase di rilievo ed all'analisi delle riprese fotografiche di dettaglio e delle nuvole di punti.

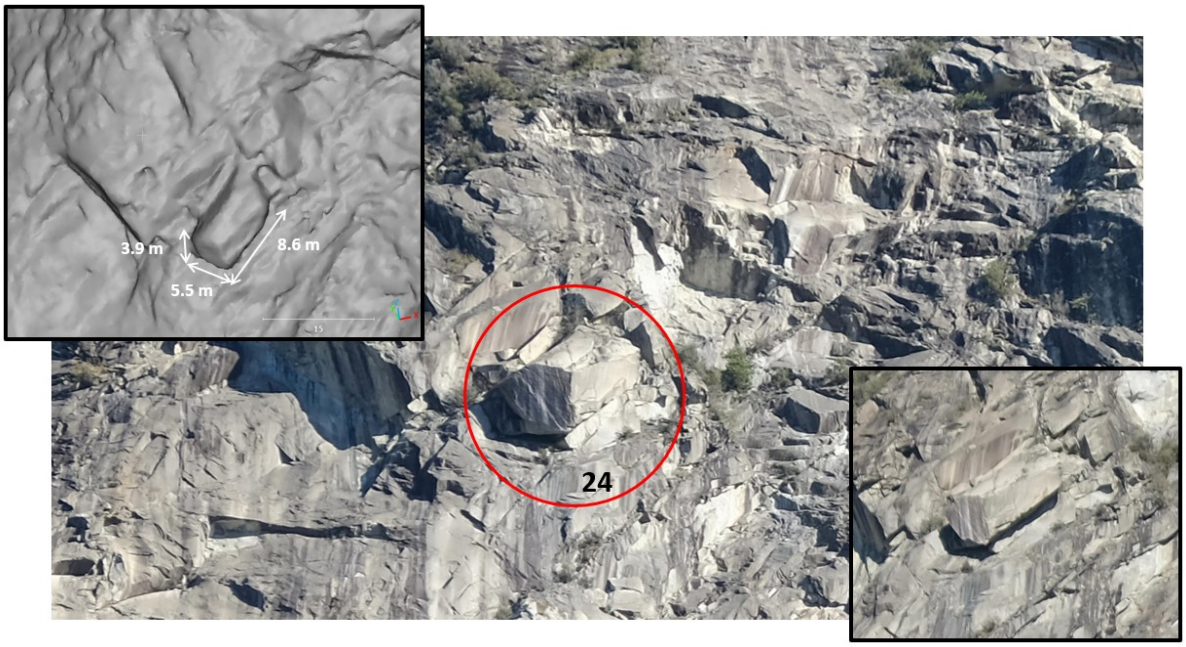


Figura 13.2: esempio di volume instabile individuato in parete con relative misure sulla mesh ottenuta dalla nuvola di punti.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

14 ANALISI VOLUMI DEI BLOCCHI NEGLI ACCUMULI DETRITICI

Il lavoro descritto nel presente paragrafo ha consentito di ottenere una curva con la distribuzione statistica dei volumi dei blocchi riconosciuti entro gli accumuli detritici.

L'analisi granulometrica degli accumuli detritici alla base del versante è stata ottenuta dalla elaborazione dell'ortoimmagine di dettaglio ottenuta dal rilievo fotogrammetrico da drone applicando il software di riconoscimento di oggetti BASEGRAIN (https://basement.ethz.ch/download/tools/basegrain.html). Si tratta di un software gratuito messo a punto presso l'ETH di Zurigo (Detert & Weitbrecht, 2013) che consente di separare l'area di ciascun elemento del detrito dagli interstizi presenti tra elementi adiacenti, attraverso una serie di passaggi che comportano la generazione di un'immagine in toni di grigio dall'immagine a colori iniziale e la calibrazione dei parametri da adottare in fase di analisi dell'ortoimmagine. I risultati dell'analisi di immagine sono disponibili sia sotto forma di file .xls che in formato GIS compatibile nel caso in cui l'analisi venga eseguita su immagini georeferenziate, come nel caso in esame.

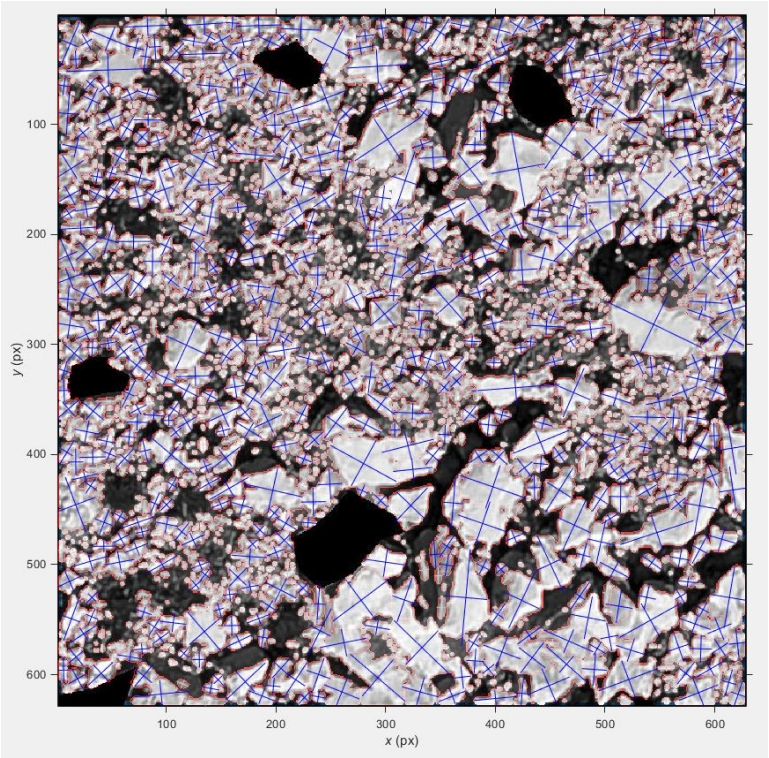


Figura 14.1: stralcio di una porzione di immagine elaborata dal software BASEGRAIN, nella quale vengono calcolate, per ognuno dei blocchi riconosciuti, le due dimensioni lungo il piano di proiezione dell'immagine (asse 'a' e asse 'b', nel seguito).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

L'area reale (Ar) di ciascun blocco riconosciuto viene calcolata dall'area apparente (Aa) secondo la formula:

$$Ar = Aa / \cos(\text{pendenza})$$

Calcolata l'area reale si è proceduto alla stima dell'altezza di ciascun blocco, secondo la formula:

$$ds = \sqrt{(b * a)}$$

In funzione della forma dei blocchi, il valore calcolato può essere diviso per un fattore correttivo. Il fattore correttivo è stato calcolato misurando blocchi di analoga dimensione sulla nuvola di punti:

$$ds_corr = ds/2.3$$

Tale valutazione è convalidata anche dalla distribuzione delle spaziature tra i giunti principali. Il calcolo del volume (Vf) avviene quindi secondo la formula:

$$Vf = Ar * ds_corr$$

Per il campionamento dei volumi dei blocchi detritici sono state scelte 5 aree, indicate in Figura 14.2. Per ciascuna di queste aree ai risultati ottenuti con BASEGRAIN è stata affiancata una misura dei volumi manuale effettuata in ambiente GIS. Quest'ultima allo scopo di calibrare i parametri dell'analisi di immagine e come confronto per verificare l'attendibilità dei dati.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

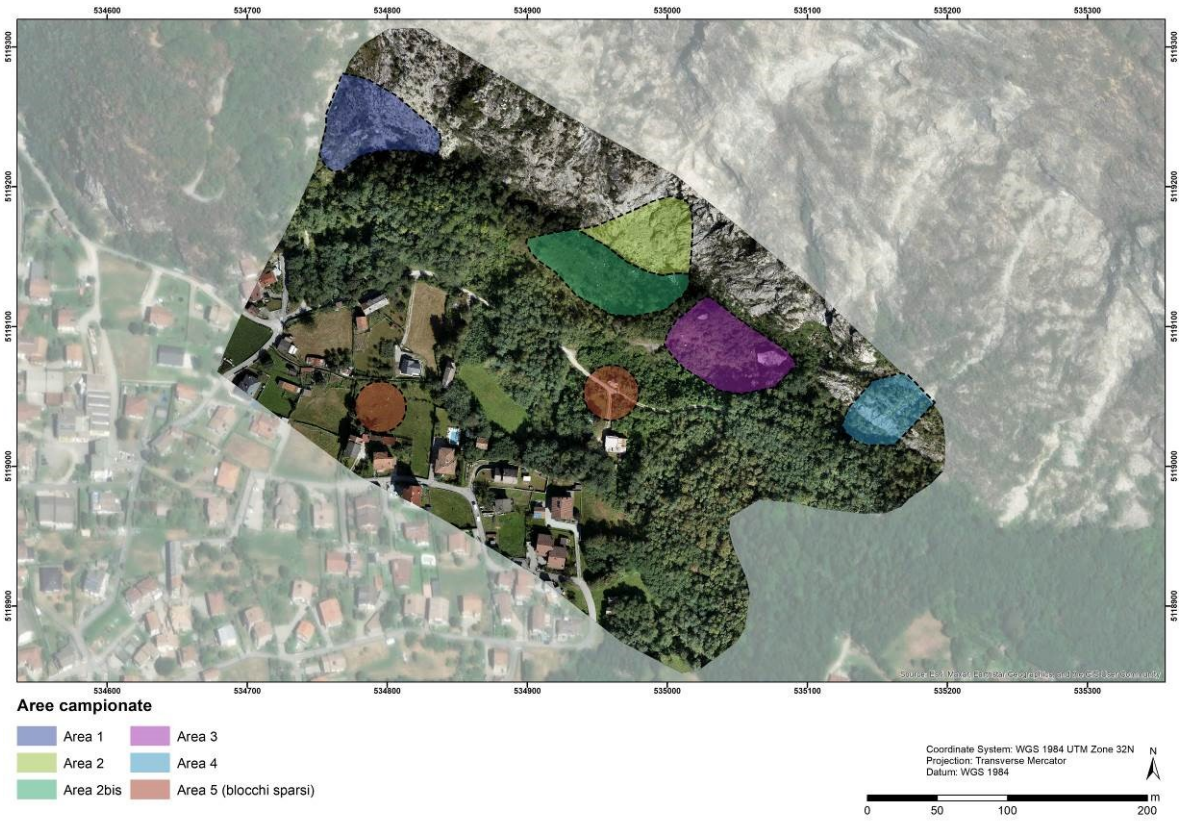


Figura 14.2: aree in parete e alla base della parete nelle quali sono stati effettuati i campionamenti dei volumi dei blocchi degli accumuli detritici.

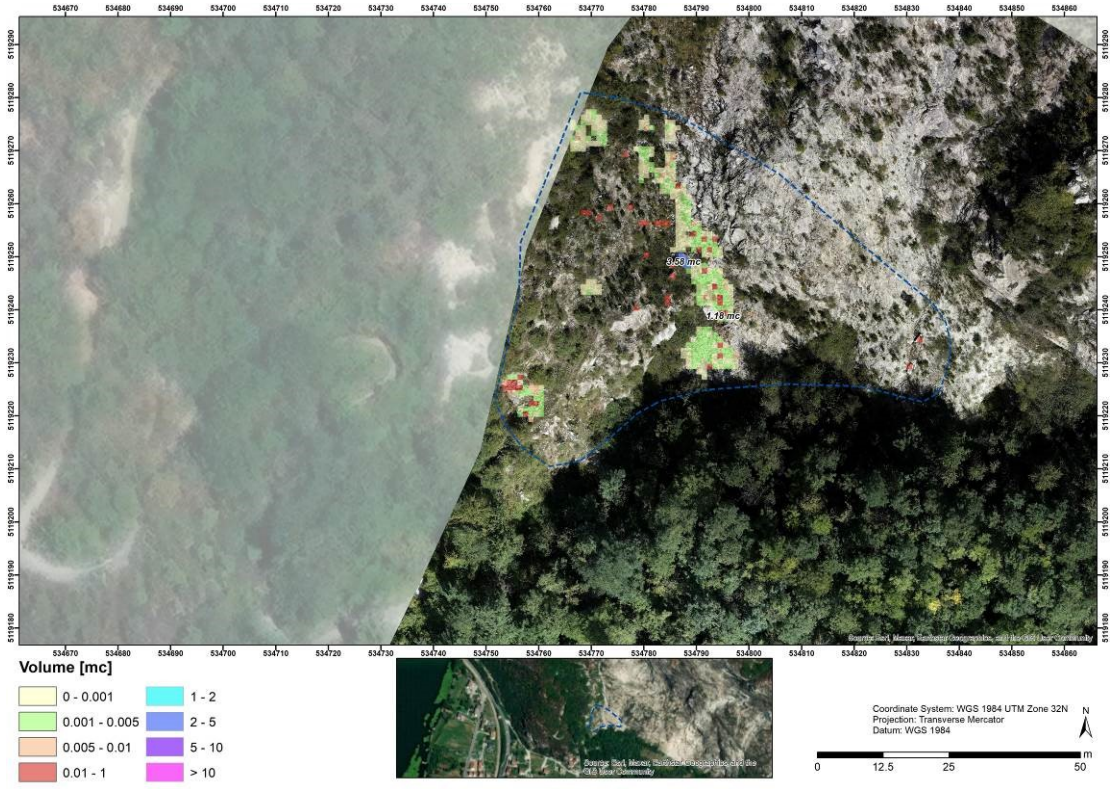


Figura 14.3: vista dell'area di campionamento 1 con il volume dei blocchi.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

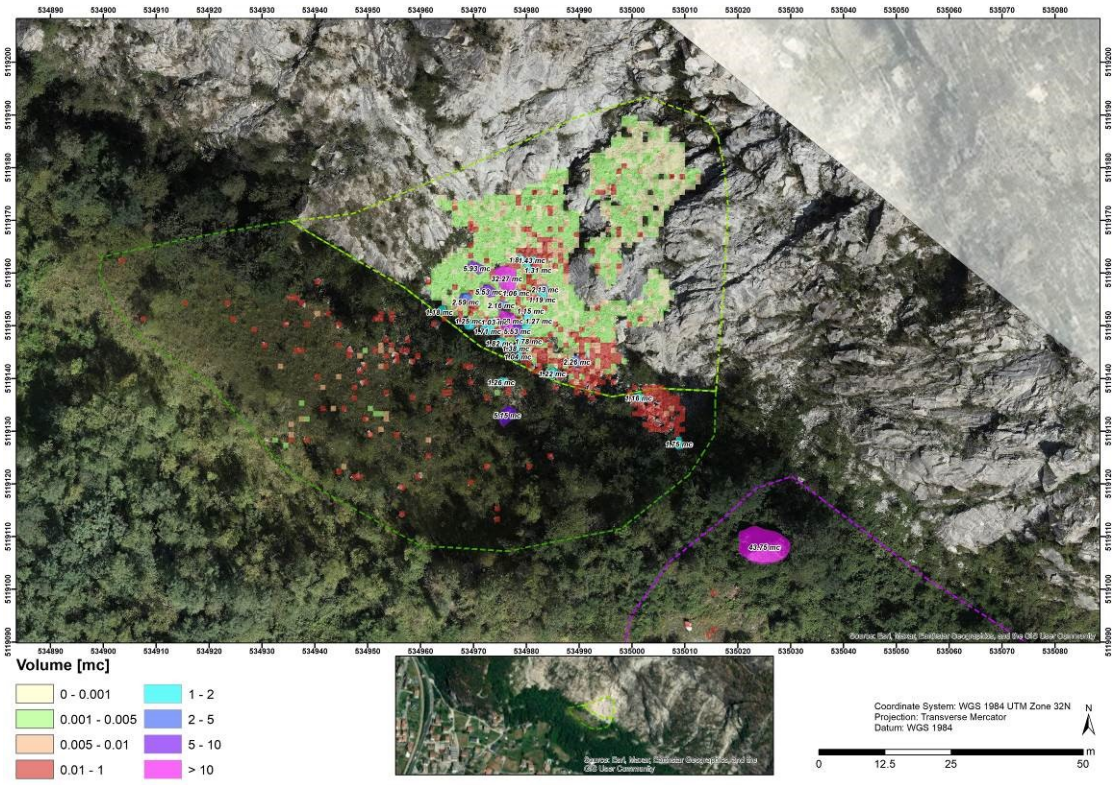


Figura 14.4: vista dell'area di campionamento 2 e 2bis con il volume dei blocchi campionati.



Figura 14.5: particolare dell'area di campionamento 2 con indicati i volumi dei blocchi detritici campionati.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ORGANISMO DI CERTIFICAZIONE AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

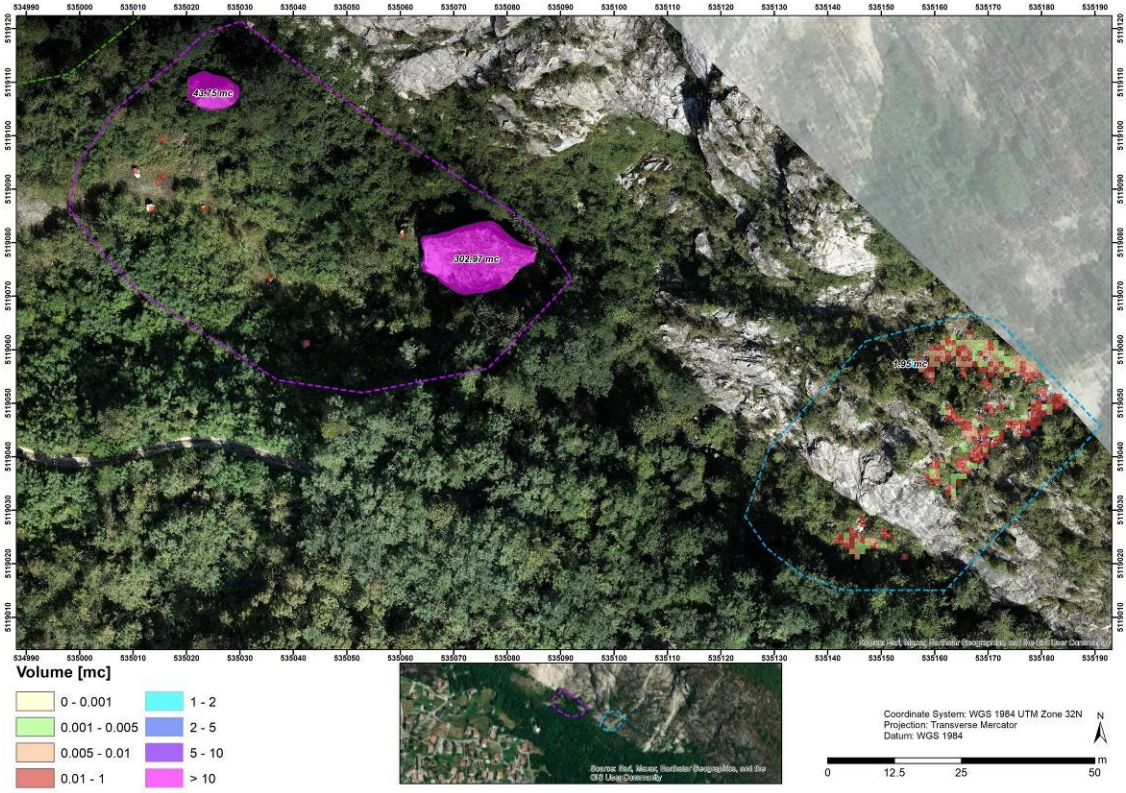


Figura 14.6: vista dell'area di campionamento 3 e 4 con il volume dei blocchi.

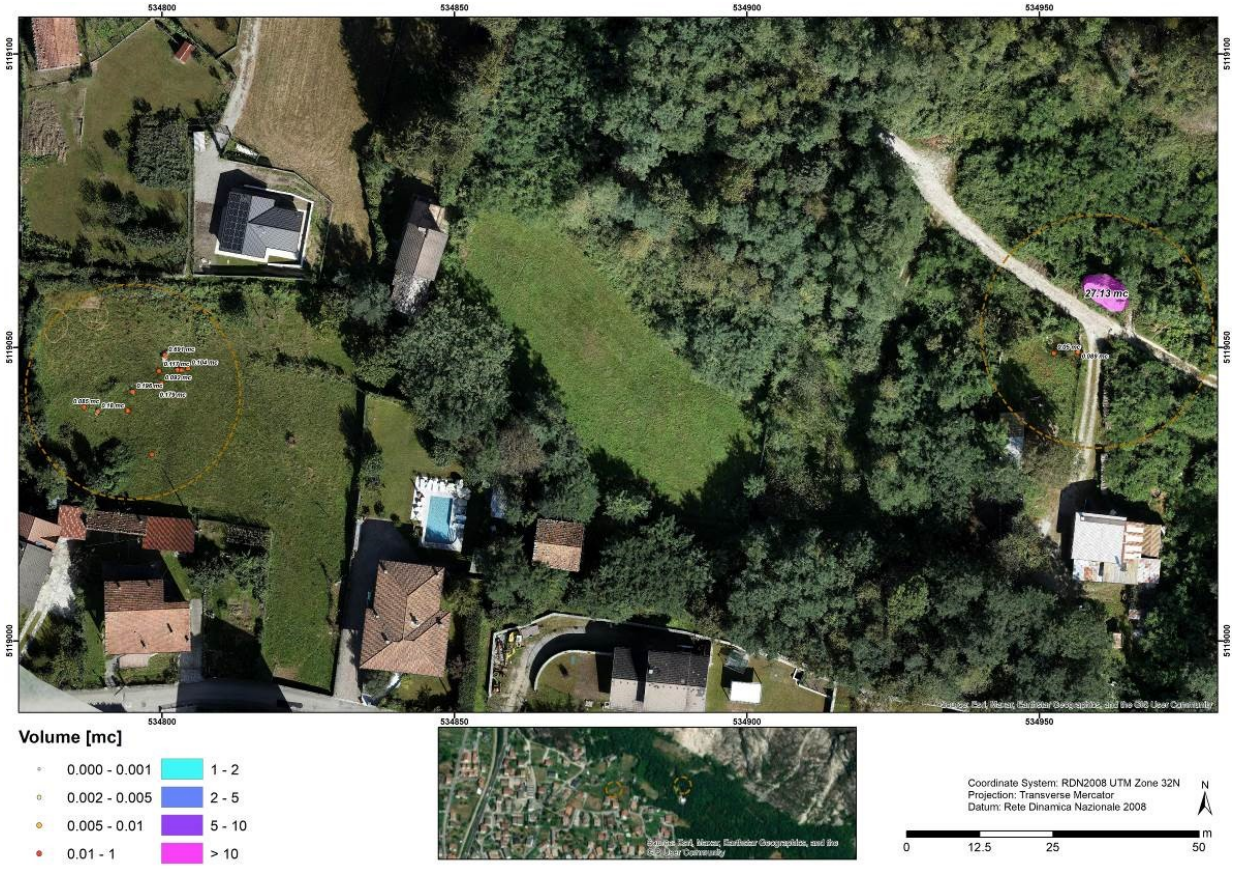


Figura 14.7: vista dell'area di campionamento 5.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ORGANISMO DI CERTIFICAZIONE AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

In Tabella 14-1 è riportata la statistica dei valori ottenuti dall'analisi del detrito tramite il software BASEGRAIN integrata con l'analisi in ambiente ARCGIS, mentre in Figura 14.8 se ne riporta la distribuzione cumulata. I risultati sono stati suddivisi per aree omogenee. I valori complessivi sono stati depurati da tutti i blocchi con asse b<23 pixel (circa 30 cm), seguendo il criterio indicato da Graham et al. (2005) in quanto i limiti di questi ultimi non sono distinguibili con certezza.

Considerando il dato totale depurato dai blocchi non distinguibili i volumi dei blocchi detritici variano tra un minimo di 0.006 m^3 e un massimo di 302.97 m^3, con un valor medio di 0.2 m^3.

VRU (m^3) Aree 1, 2, 4			
Minimo	Medio	Massimo	95 percentile
0.000004	0.05	32.27	0.13
VRU (m^3) Aree 2bis, 3, 5			
Minimo	Medio	Massimo	95 percentile
0.0025	1.56	302.97	0.70
VRU (m^3) totale			
Minimo	Medio	Massimo	95 percentile
0.000004	0.15	302.97	0.18
VRU (m^3) totale troncato 23px			
Minimo	Medio	Massimo	95 percentile
0.006	0.20	302.97	0.27

Tabella 14-1 Sintesi dei valori minimi, medi e massimi del volume dei blocchi del detrito stimati per i depositi selezionati tramite il software BASEGRAIN e selezione manuale in ambiente ARCGIS.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

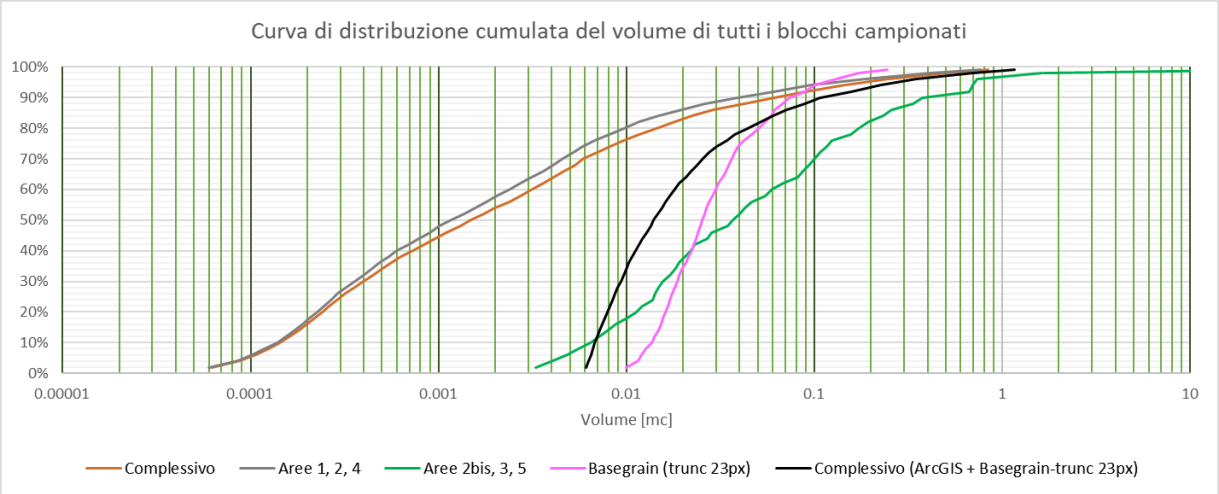


Figura 14.8: distribuzione dei valori di VRU ottenuti mediante misura delle dimensioni dei blocchi costituenti gli accumuli detritici alla base della parete.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

15 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

I rilievi geologici integrati con le indagini geofisiche, geognostiche e di laboratorio hanno permesso di ricostruire il modello geologico di riferimento per la realizzazione del vallo paramassi in oggetto. L'opera in progetto sarà fondata completamente su depositi incoerenti di versante o di frana. La suddetta unità geologico-geotecnica è costituita da ghiaie e sabbie molto addensate, mal selezionate, con scarsa componente coesiva, clasti spigolosi, granulometria molto variabile e presenza di trovanti granitici anche di dimensioni plurimetriche. Ne consegue che i terreni di fondazione sono particolarmente eterogenei, proprio a causa della diffusa presenza di trovanti, i quali possono aver condizionato i risultati di prove SPT e SCPT e delle indagini geofisiche. Di seguito si riportano uno stralcio geologico in planimetria e la sezione geologica di riferimento dell'opera.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

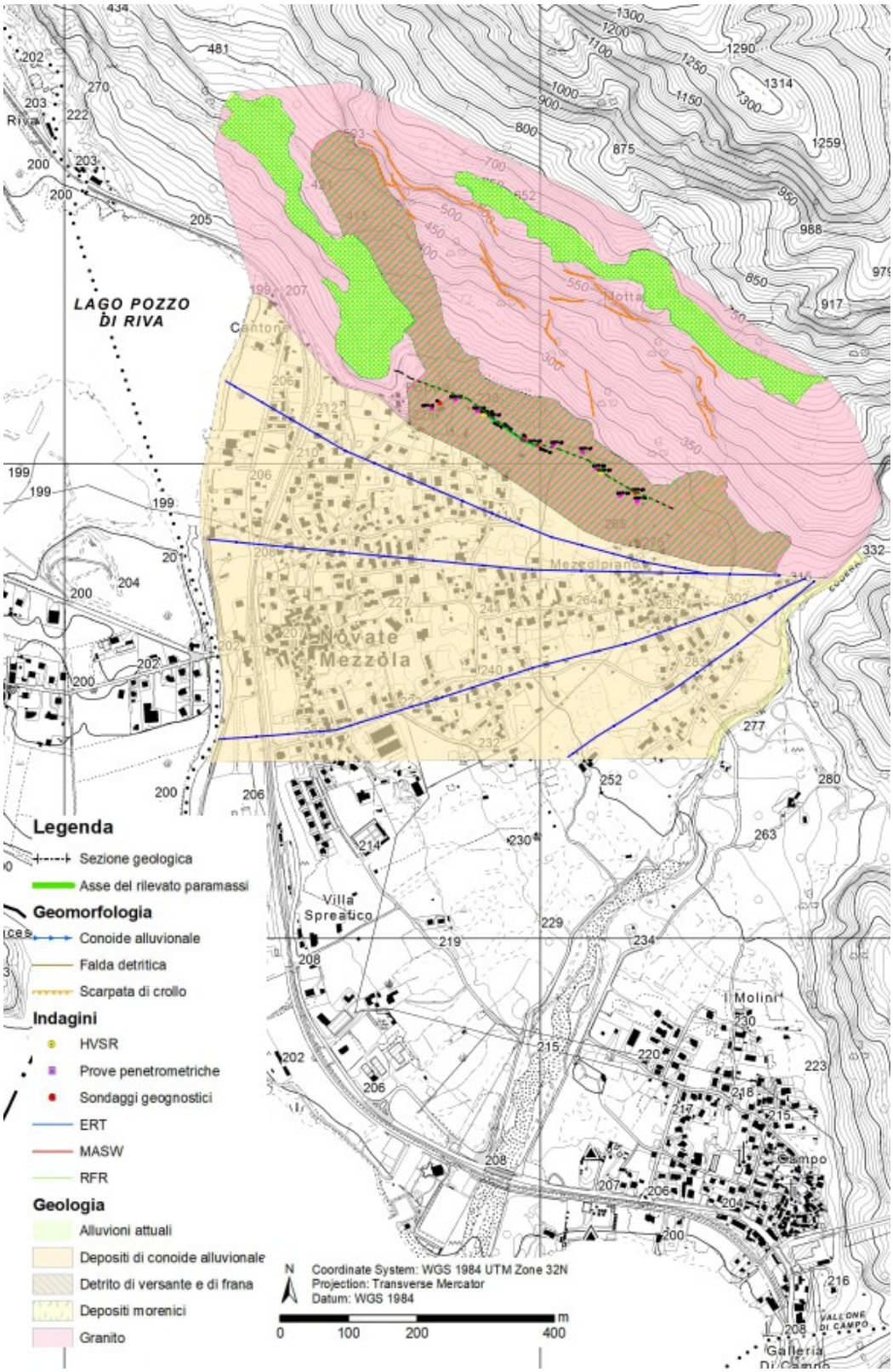


Figura 15.1: stralcio geologico dell'area di interesse (si veda elaborato 02.03 per un maggior dettaglio).

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

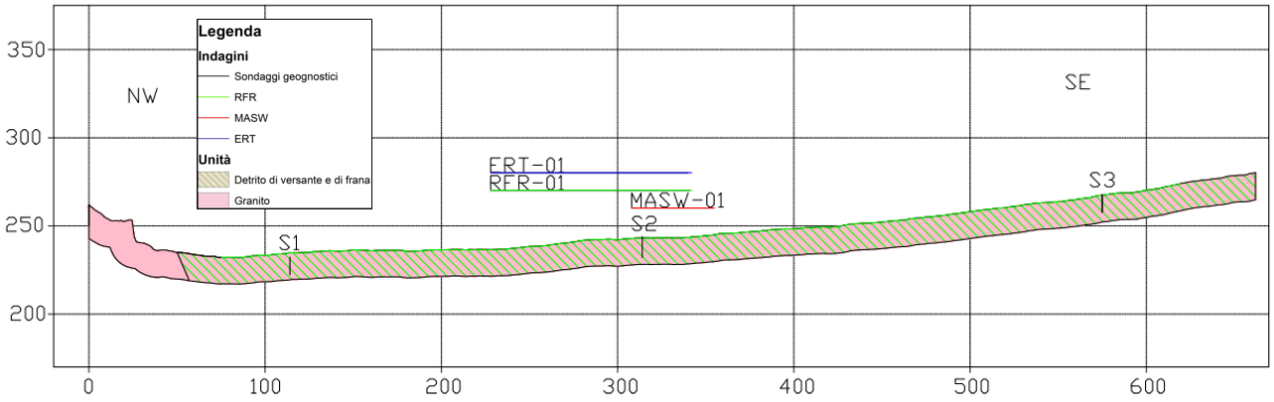


Figura 15.2: sezione geologica di riferimento dell'opera (si veda elaborato 02.04 per un maggior dettaglio).

I principali parametri geotecnici sono stati desunti da S.In.Ge.A. attraverso correlazioni empiriche con i risultati delle prove SPT e SCPT. Nelle seguenti tabelle si riportano per ciascuna prova SPT i parametri geotecnici stimati. Si sottolinea che i valori ricavati dalle correlazioni non rappresentano i parametri caratteristici dei terreni investigati, ma una semplice stima ottenuta dalle indagini in situ.

PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE SPT - SONDAGGIO S1

Prova SPT	Profondità di prova (m da p.c.)	N_{SPT}	NATURA GRANULARE										NATURA COESIVA					
			Dr (%)		ϕ (°)			E' (kg/cm²)		E_{25}' (kg/cm²)			c_u (kg/cm²)				E_u (kg/cm²)	
			(1)	(2)	(1)	(2.1)	(2.2)	(1)	(2)	(1.1)	(1.2)	(2)	(1.1)	(2.1)	(2.2)	(2.3)	(1)	(2)
SPT-01	1.50÷1.95	90	100	100	47.2	39.5	44.5	586	535	473	1181	537	4.41	4.25	3.39	4.69	244	242
SPT-02	3.00÷3.45	Rif	100	100	47.2	40.0	44.9	658	586	595	1488	676	5.55	5.36	4.27	5.91	302	277
SPT-03	4.50÷4.95	87	100	100	47.2	39.4	44.3	614	520	518	1294	588	4.83	4.66	3.72	5.14	265	255
SPT-04	6.00÷6.45	Rif	100	100	47.2	40.0	44.9	696	586	665	1663	756	6.20	5.99	4.78	6.61	335	297
SPT-05	7.50÷7.95	92	100	100	47.2	39.6	44.6	667	545	612	1530	695	5.70	5.51	4.39	6.08	310	282
SPT-06	9.00÷9.45	Rif	100	100	47.2	40.0	44.9	714	586	700	1750	795	6.53	6.30	5.03	6.95	352	306

Formulazioni utilizzate:
-Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);
-ϕ': (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;
-E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987);
-E'_{25}: (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);
-c_U: (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità;
-E_U: (1) Bowles (1987); (2) Kulhawy & Mayne (1990).

Tabella 15.1: sintesi parametri geotecnici desunti da prove SPT nel sondaggio S1.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE SPT - SONDAGGIO S2																		
Prova SPT	Profondità di prova (m da p.c.)	N_{SPT}	NATURA GRANULARE										NATURA COESIVA					
			Dr (%)		ϕ (°)			E' (kg/cm²)		E_{25}' (kg/cm²)			c_U (kg/cm²)				E_U (kg/cm²)	
			(1)	(2)	(1)	(2.1)	(2.2)	(1)	(2)	(1.1)	(1.2)	(2)	(1.1)	(2.1)	(2.2)	(2.3)	(1)	(2)
SPT-01	1.50÷1.95	78	100	100	47.1	38.9	43.8	546	474	410	1024	465	3.82	3.69	2.94	4.07	214	222
SPT-02	3.00÷3.45	76	100	100	47.2	38.8	43.7	574	464	452	1131	514	4.22	4.07	3.25	4.49	234	235
SPT-03	4.50÷4.95	Rif	100	100	47.2	40.0	44.9	658	586	595	1488	676	5.55	5.36	4.27	5.91	302	277
SPT-04	6.00÷6.45	Rif	100	100	47.2	40.0	44.9	696	586	665	1663	756	6.20	5.99	4.78	6.61	335	297
SPT-05	7.50÷7.95	Rif	100	100	47.2	40.0	44.9	696	586	665	1663	756	6.20	5.99	4.78	6.61	335	297
SPT-06	9.00÷9.45	97	100	100	47.2	39.8	44.8	703	571	679	1698	772	6.33	6.11	4.88	6.75	342	300
SPT-07	10.50÷10.95	Rif	100	100	47.2	40.0	44.9	714	586	700	1750	795	6.53	6.30	5.03	6.95	352	306

Formulazioni utilizzate:
-Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);
-ϕ': (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;
-E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987);
-E'_{25}: (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);
-c_U: (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità;
-E_U: (1) Bowles (1987); (2) Kulhawy & Mayne (1990).

Tabella 15.2: sintesi dei parametri geotecnici desunti da prove SPT nel sondaggio S2.

PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE SPT - SONDAGGIO S3																		
Prova SPT	Profondità di prova (m da p.c.)	N_{SPT}	NATURA GRANULARE										NATURA COESIVA					
			Dr (%)		ϕ (°)			E' (kg/cm²)		E_{25}' (kg/cm²)			c_U (kg/cm²)				E_U (kg/cm²)	
			(1)	(2)	(1)	(2.1)	(2.2)	(1)	(2)	(1.1)	(1.2)	(2)	(1.1)	(2.1)	(2.2)	(2.3)	(1)	(2)
SPT-01	1.50÷1.95	83	100	100	47.2	39.2	44.1	563	499	436	1089	495	4.06	3.92	3.13	4.33	226	230
SPT-02	3.00÷3.45	63	100	100	46.3	37.9	42.9	522	398	375	937	426	3.49	3.37	2.69	3.72	197	210
SPT-03	4.50÷4.95	83	100	100	47.2	39.2	44.1	600	499	494	1235	561	4.60	4.45	3.55	4.91	254	248
SPT-04	6.00÷6.45	Rif	100	100	47.2	40.0	44.9	696	586	665	1663	756	6.20	5.99	4.78	6.61	335	297
SPT-05	7.50÷7.95	Rif	100	100	47.2	40.0	44.9	696	586	665	1663	756	6.20	5.99	4.78	6.61	335	297
SPT-06	9.00÷9.45	Rif	100	100	47.2	40.0	44.9	714	586	700	1750	795	6.53	6.30	5.03	6.95	352	306

Formulazioni utilizzate:
-Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);
-ϕ': (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;
-E': (1) Tornaghi et Al; (2) Bowles (1987);
-E'_{25}: (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);
-c_U: (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità;
-E_U: (1) Bowles (1987); (2) Kulhawy & Mayne (1990).

Tabella 15.3: sintesi dei parametri geotecnici desunti da prove SPT nel sondaggio S3.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ORGANISMO CERTIFICATO AZIENDA CERTIFICATA ISO 9001:2015

16 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ✓ Bonsignore, G., Casati, P., Crespi, R., Fagnani, G., Liborio, G., Montrasio, A., et al. (1971). 599 Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000, Fogli 7 e 18: 600 Pizzo Bernina e Sondrio. Nuova Tecnica Grafica, Serv Geol It, Roma, 1–130
- ✓ Bruschi A. (2004). "Meccanica delle Rocce". Flaccovio Editore.
- ✓ Catalisano, S., Merla, G., Minucci, E., & Novarese, V. (1941). Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000, foglio 17: Chiavenna. Uff. Geol., Roma.
- ✓ Ciancaleoni L., Marquer D., (2006): Syn–extension leucogranite deformation during convergence in the Eastern Central Alps: example of the Novate intrusion. Terra Nova 18, 170–180.
- ✓ Detert, M. & Weitbrecht, V. (2013). User guide to gravelometric image analysis by BASEGRAIN. Advances in River Sediment Research, Fukuoka et al. (eds), 1789-1796, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00062-9
- ✓ EG4RISK (2021). Frana di crollo nella parete rocciosa in loc. Foppa-Chiosi in comune di Novate Mezzola. Redazione analisi cinematica.
- ✓ Goodman R. E., (1980) – Introduction to Rock Mechanics. John Wiley & Sons Ltd., New York.
- ✓ Graham D.J., Reid I., Rice S.P. – Automated Sizing of Coarse-Grained Sediments: Image-Processing Procedures. Mathematical Geology, Vol. 37, 1-28.
- ✓ ISRM, (1978) – Suggested Methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstracts, 15, 6, 319-368.
- ✓ Palmström A., 2005 – Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). Tunnels and Underground Space Technology, Vol. 20 (2005), pp. 362-377.
- ✓ Schmid S.M., Berger A., Davidson C., Gieré R., Hermann J., Niegervelt P., Puschnig A.P., Rosenberg C.L., (1996): The Bergell pluton (Southern Switzerland, Northern Italy): overview accompanying a geological–tectonic map of the 233 intrusion and surrounding country rocks. Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 76 (3), 329–355.

STUDIO CANCELLI ASSOCIATO
via Sansovino 23 - 20133 Milano
Tel.: 02 45488725 - 02 2666005
Fax: 02 45488726
E-mail: info@studiocancelli.eu

IMAGEO

AID ISO 9001:2015