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 geotecnica

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

IMAGE

Collaborazione

Ing. A. Mocchi
Ing. L. Tedeschi

Dott. Agr. F. Neonato
(PN Studio)

Elaborato

02.02

Codice 294E012T07

Scala -

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

# Indice

**1 PREMESSA ..... 4**

**2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO ..... 5**

***2.1 Normativa di riferimento ..... 5***

***2.2 Documentazione di riferimento ..... 5***

***2.3 Bibliografia ..... 6***

**3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E PAESAGGISTICO ..... 7**

**4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO ..... 10**

**5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA ..... 13**

***5.1 Indagini geognostiche e geofisiche ..... 13***

***5.2 Inquadramento sismico ..... 15***

***5.3 Modello Geotecnico di Riferimento ..... 15***

**5.3.1 Standard Penetration Test ..... 16**

**5.3.2 Prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT) ..... 19**

**5.3.3 Prove geotecniche di laboratorio ..... 22**

**5.3.4 Prospezioni geofisiche ..... 23**

**5.3.5 Riepilogo parametri geotecnici ..... 25**



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

# 1 PREMESSA

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

In particolare, il Raggruppamento Temporaneo di Progettisti: Studio Cancelli Associato (Mandataria) e Imageo Srl (Mandante), si è aggiudicato il servizio di redazione della progettazione di fattibilità tecnica ed economica, definitiva ed esecutiva nonché della direzione dei lavori, del coordinamento della sicurezza in fase di progettazione e di esecuzione e la redazione della relazione geologica.

L'obiettivo del presente intervento è la mitigazione del rischio da caduta massi, in accordo alle NTC2018 [4] ed alla Norma UNI 11211 [6], attraverso la realizzazione di un rilevato paramassi, ubicati in corrispondenza della strada comunale in località Foppa e Chiosi, nonché l'installazione di due barriere paramassi a protezione di alcune abitazioni nel margine occidentale dell'area.

Per la definizione del crollo di progetto, così come definito dalle norme UNI [6], ad integrazione dello studio traiettografico eseguito da EG4 RISK [7] sono state eseguite le necessarie attività di indagine geologica. Tali indagini hanno confermato l'elevato grado di pericolosità andando a chiarire il livello di attività del versante ed i relativi cinematismi di rottura.

Alla luce di quanto sopra, il presente PE è stato redatto a partire dagli esiti degli studi pregressi. In particolare, sono state considerate due ipotesi di impatto con energia massima in corrispondenza dell'opera di difesa di ca. 36'000 KJ.

La relazione è stata articolata sulla base dei seguenti capitoli.

- **Documenti di riferimento:** elenco delle principali leggi, decreti, circolari e norme attinenti alla redazione dei progetti in ambito di opere pubbliche ed in particolare al dimensionamento di interventi di mitigazione del rischio da caduta massi. Il capitolo riporta anche l'elenco delle attività di rilievo e studi traiettografici pregressi messi a disposizione della Committente. Da ultimo è riportato l'elenco delle principali fonti scientifiche relative allo studio dei fenomeni di caduta massi e calcolo delle opere di mitigazione previste.
- **Inquadramento geografico:** descrizione del contesto geografico in cui ricade l'opera.
- **Inquadramento geologico e geomorfologico:** descrizione dello studio geologico definitivo eseguito nell'ambito della presente fase progettuale.
- **Caratterizzazione geotecnica:** definizione del modello geotecnico di riferimento per le verifiche.



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] Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'art. 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al Governo in materia di contratti pubblici, Decreto Legislativo 31.03.2023 n. 36.

[2] 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.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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

[7] 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.

[8] REPORT – Rilievo con tecnologia GBInSAR LiSALab per il monitoraggio pareti rocciose del Monte Avedée nel Comune di Novate Mezzola (SO) – MISURA DI ZERO – 20-24 maggio 2022 – Ellegi Srl

[9] REPORT – II-III-IV-V-VI-VII PERIODICAL CHEK - Rilievo con tecnologia GBInSAR LiSALab per il monitoraggio pareti rocciose del Monte Avedée nel Comune di Novate Mezzola (SO) – 9-13 settembre 2022 (II) / 20-24 gennaio 2023 (III) / 9-13


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

giugno 2023 (IV) / 2-6 ottobre 2023 (V) / 11-15 gennaio 2024 (VI) / 19-23 aprile 2024 (VII) / 23-30 settembre 2024 (VIII) – Ellegi Srl.

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

## 2.3 Bibliografia

[11] Asteriou P. Saroglou H., Tsiambaos G. Rockfall: Scaling factors for the coefficient of restitution. Eurock 2013, p. 195-200.

[12] Cestari F.: Prove Geotecniche in sito. Ed. Geo-Graph s.n.c., 1990.

[13] Descoeudres F., Montani S., Boll A. and Gerber, W. (1999) "Disaster Resilient Infrastrucutre", capitolo 4, IDNDR, Zurich.

[14] Giani G. P.(1992) "Rock slopes stability analysis". Balkema, Rotterdam, 361 pp.

[15] Giani G. P. (1997) "Caduta di massi", Edizioni Hevelius, Benevento.

[16] ISRM - Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International Journal of rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, vol. 15, No 6, 1978. p 319-368.

[17] J.D. Rouiller et al. - Metodologia Matterock, 1998

[18] Oggeri O., Peila D., Recalcati P.: Rilevati paramassi. GEAM, 2004

[19] Pfeiffer T.J., Bowen T.D. Computer Simulation of Rockfalls of the Association of Engineering Geologists. Vol. XXVI, No. 1, 1989. p 135-146

[20] Peila, De Biagi et al. – Estimation of the return period of rockfall blocks according to their size. Natural Hazards and Hearth System Sciences, 2017



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

# 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).

Alla base delle pareti rocciose, molto ripide (aventi un'altezza di alcune centinaia di metri), è presente un piazzale artificiale creato in seguito alla rimozione di materiale detritico accumulatosi nel tempo in seguito all'attività estrattiva della cava attiva sulle pendici del Monte Avedèe.

In corrispondenza di quest'area è stato in seguito scavato un vallo paramassi per il contenimento dei blocchi crollati dalla parete soprastante. Tale vallo risulta essere carico in detrito e posto ad un'altezza inferiore di soli 3 ÷ 4 metri rispetto al piano presente alla base del versante nella porzione più occidentale dell'area di intervento. Alla sommità del vallo corre una strada bianca, "pista delle cave", che funge anche da collegamento ad alcune abitazioni (Figura 3.2).


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



Figura 3.2: percorso indicativo della strada bianca.

La zona individuata negli studi pregressi come di massima pericolosità si estende tra i 250 ed i 350 metri dalla parete rocciosa, ed include una buona parte dell'abitato in loc. Foppa e Chiosi.





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

Figura 3.3: tracciato indicativo della strada bianca esistente.



Figura 3.4: dettaglio di alcune abitazioni esposte a rischio di caduta massi.

La parete rocciosa del monte Avedèe è quasi interamente classificata come Area soggetta a crolli e ribaltamenti diffusi del catalogo IFFI e come area di frana attiva (Fa) o area di frana quiescente (Fq) nella carta dei dissesti PAI redatta dall'Autorità di Bacino.

La predisposizione del versante oggetto di studio ad essere interessato da crolli è testimoniata dalla presenza di numerose nicchie di distacco riconoscibili in parete e dal deposito detritico posto alla base della parete stessa.


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

# 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Nell'area sono presenti i 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 4.1 tratta dal PGT.

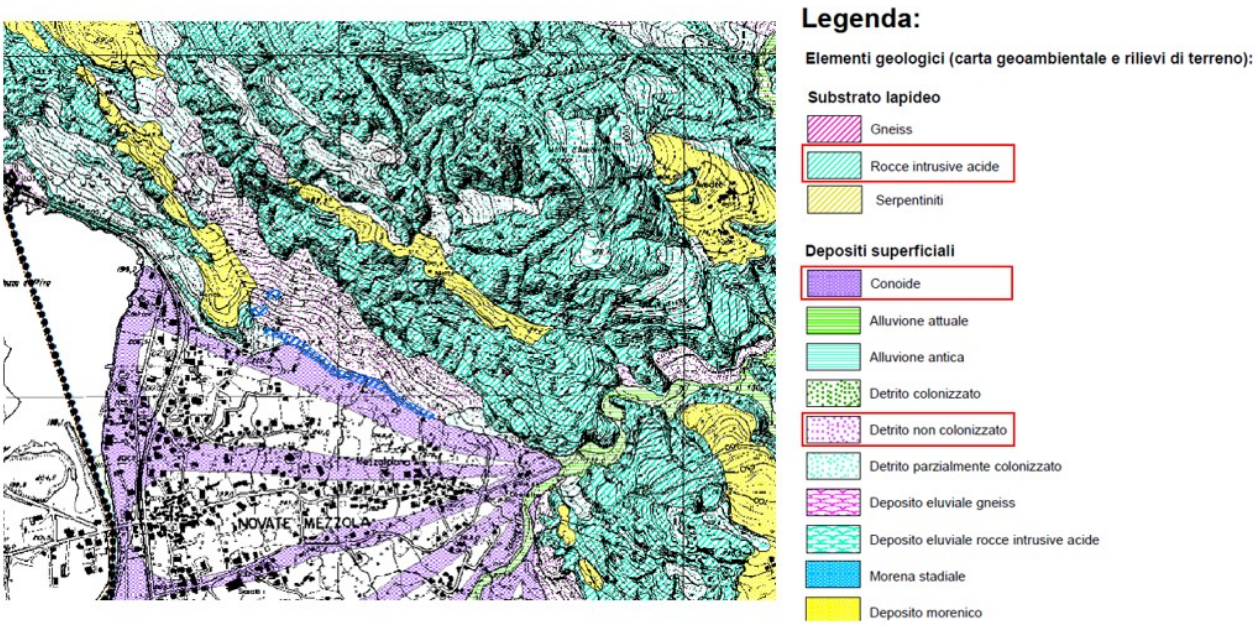



Figura 4.1: estratto dalla Carta Geologica del PGT, Tav. 10Aa. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala.

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.

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 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

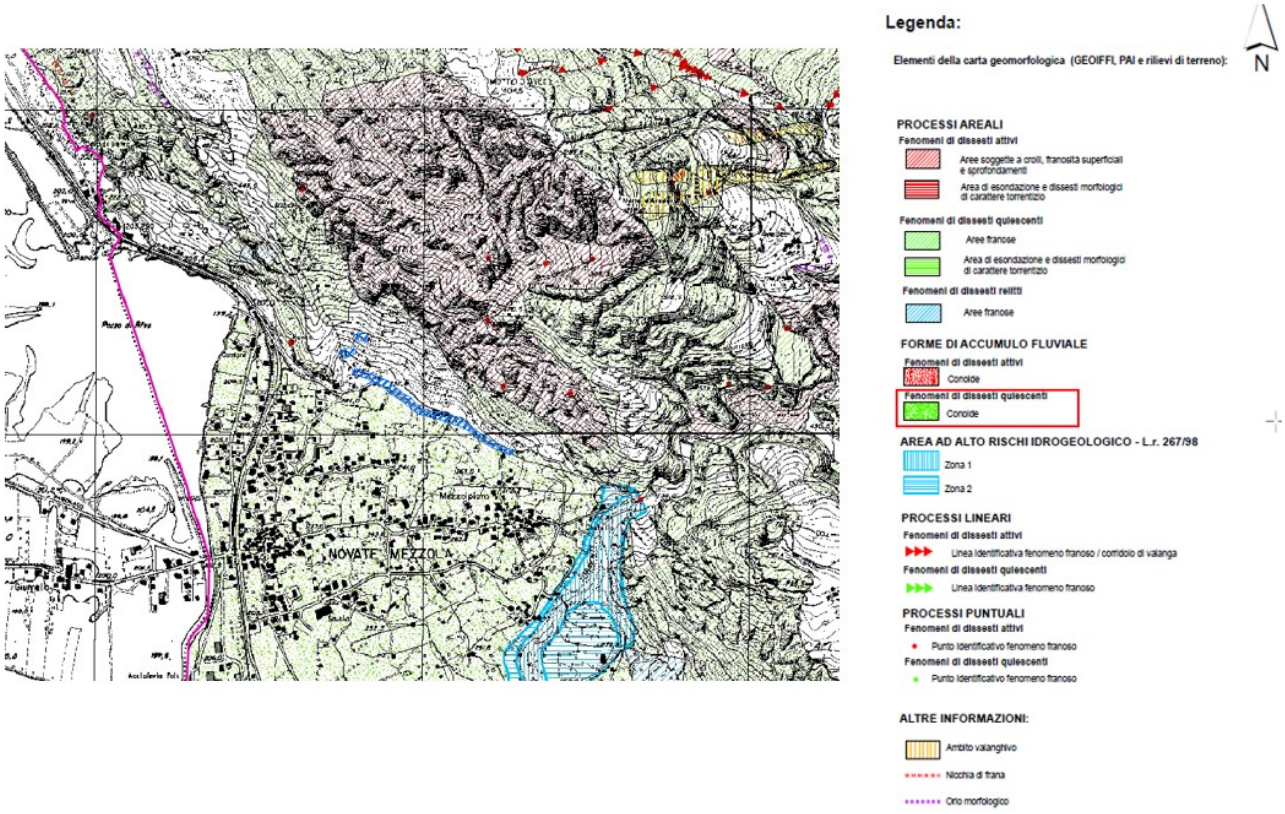



Figura 4.2: estratto Carta Geomorfologica da studio geologico comunale. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala.

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 4.3), 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.



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

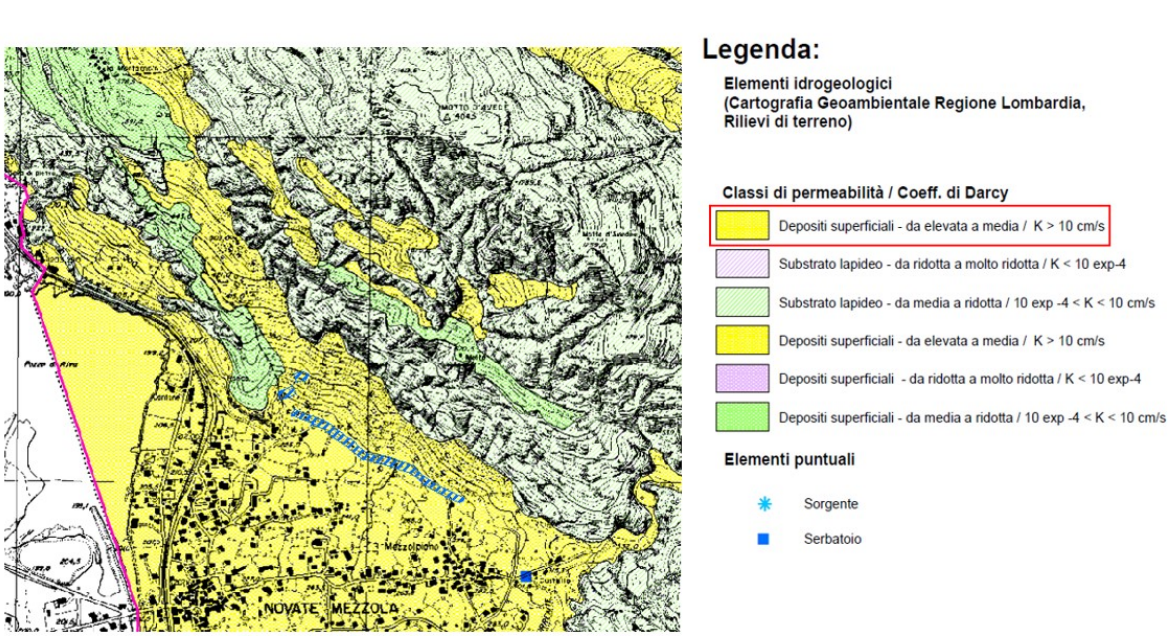



Figura 4.3: estratto da PGT, Tav. 13Aa, caratteri idrogeologici. L'opera in oggetto è l'area retinata in blu. Figura non in scala.



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

# 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nell'ambito della mitigazione del rischio da caduta massi, i rilievi le attività di indagine sono stati definiti e programmati in relazione al duplice obiettivo da perseguire.

Ci si riferisce alla necessità di descrivere la natura e lo stato del fenomeno di caduta massi, di raccogliere i dati topografici e morfologici necessari e di definire il modello geotecnico di riferimento per la progettazione degli interventi di mitigazione del rischio.

Come sarà meglio chiarito in seguito, le caratteristiche dei fenomeni di caduta massi in località Foppa - Chiosi portano a ritenere che la soluzione più adatta per la mitigazione del rischio consista nella realizzazione di opere di difesa passiva al piede del versante del tipo rilevato paramassi. A protezione delle abitazioni al piede del settore occidentale della parete in oggetto si prevede l'installazione di barriere metalliche ad elevato assorbimento di energia.

## *5.1 Indagini geognostiche e geofisiche*

Definita l'esatta posizione del rilevato e delle barriere metalliche in funzione delle analisi traiettografiche, sono state eseguite indagini geognostiche e geofisiche finalizzate alla caratterizzazione geologico-geotecnica del sottosuolo ed alla valutazione dell'omogeneità delle coperture detritiche che costituiranno il terreno di fondazione dell'opera. Si elencano di seguito le indagini effettuate; per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione geologica (El 02.01).

Indagini geognostiche:

- n. 3 sondaggi verticali a carotaggio continuo: uno profondo 12,00m da p.c. e due profondi 10,00m da p.c.;
- n. 10 prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT) di tipo super-pesante (DPSH) spinte fino alla profondità massima di 9,00m da p.c.

Indagini geofisiche:

- n.1 prospezione sismica attiva con metodologia MASW, con stendimento da n.24 geofoni a spaziatura di 2.00 m, di lunghezza totale pari a 46.00 m;
- n.2 prospezioni sismiche passive con metodologia HVSR, con tempo di acquisizione pari a 1200 s;
- n.1 stendimento sismico a rifrazione con acquisizione delle onde P con stendimento da n.24 geofoni a spaziatura di 5.00m, di lunghezza totale pari a 115.00 m;
- n.1 stendimento geoelettrico tomografico con spaziatura interelettrodica di 2.50 m, di lunghezza totale pari a 117.50 m.


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

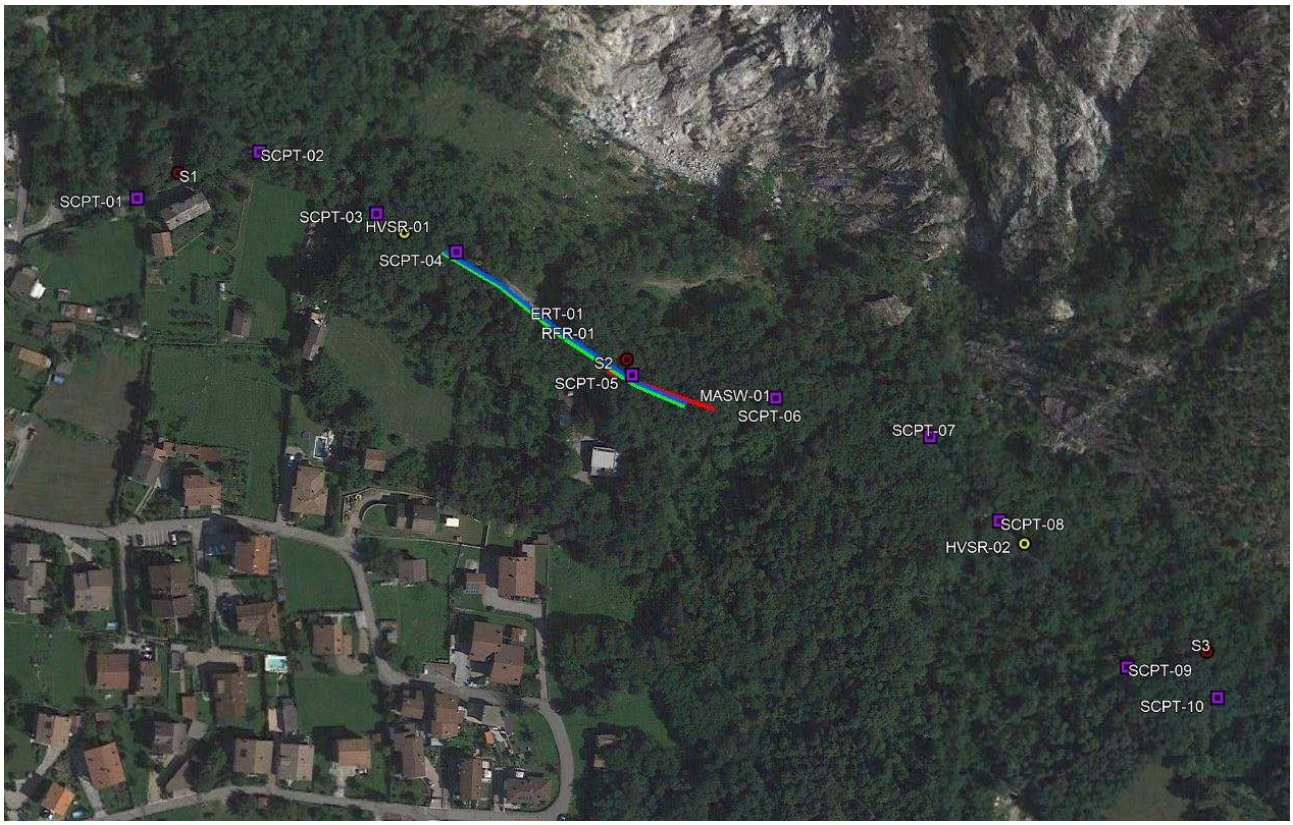



Figura 5.1: planimetrie di ubicazione indagini. Sondaggi a carotaggio continuo: cerchio rosso; prova penetrometrica dinamica continua: quadrato viola; prospezione sismica MASW: linea rossa; prospezioni sismiche HVSR: cerchi gialli; stendimento sismico a rifrazione: linea verde; tomografia elettrica: linea blu.

Per l'esecuzione delle prove di laboratorio sono stati prelevati i seguenti campioni rimaneggiati.

| CAMPIONI RIMANEGGIATI | | | |
|---|---|---|---|
| **SONDAGGIO** | **PROFONDITA' (m da p.c.)** | **SIGLA CAMPIONE** | **PROFONDITA' DI PRELIEVO (m da p.c.)** |
| S1 | 10.00 | C1-1 | 4.00÷4.50 |
| | | C2-1 | 8.50÷9.50 |
| S2 | 12.00 | C1-2 | 2.50÷2.70 |
| | | C2-2 | 8.50÷9.00 |
| S3 | 10.00 | C1-3 | 4.00÷4.50 |
| | | C2-3 | 9.00÷9.50 |

Figura 5.2: sintesi dei campioni prelevati.



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

## 5.2 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 5.3) 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.

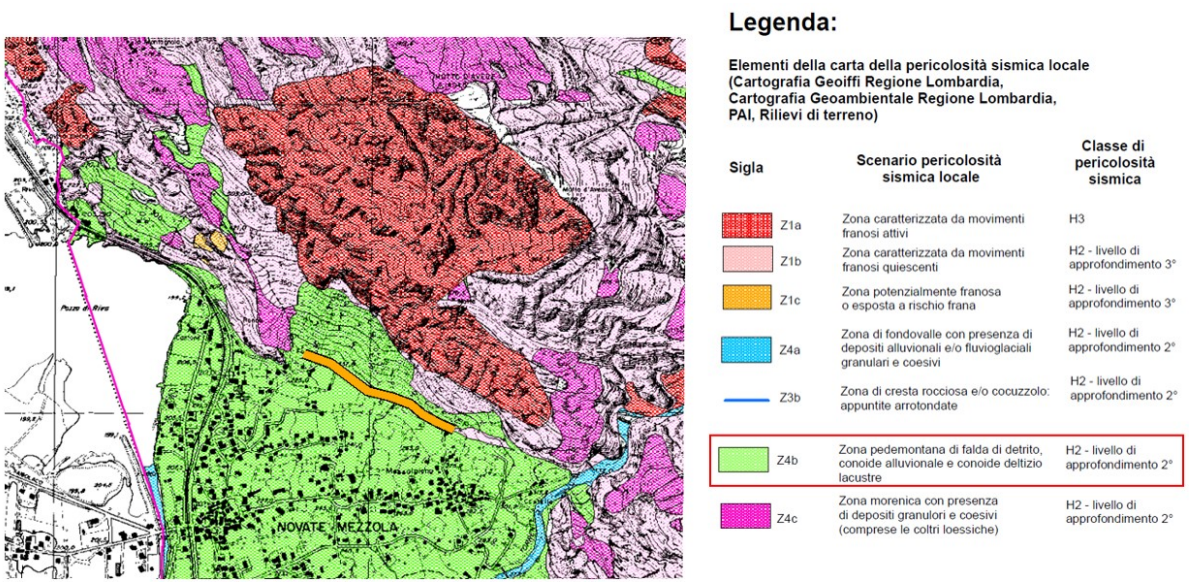



Figura 5.3: estratto da PGT, Tav. 6Ca, carta della Pericolosità Sismica Locale. L'opera in oggetto è in tratteggio blu. Figura non in scala.

## 5.3 Modello Geotecnico di Riferimento

Il presente modello geotecnico di riferimento è stato riscostruito a partire dal Modello geologico di Riferimento riportato nella Relazione Geologica allegata al progetto, alla quale si rimanda per più approfonditi dettagli.

In sintesi, gli studi geologici hanno permesso di valutare che il rilevato paramassi sarà fondato 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.



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

Di seguito sono riepilogati i risultati delle indagini in sito e in laboratorio, a partire dai quali è stato possibile effettuare una stima dei parametri di resistenza delle unità geotecniche presenti, riepilogati al seguente Par. 5.3.5.

### 5.3.1 Standard Penetration Test

Nell'ambito delle indagini geognostiche sono state realizzate n. 19 prove SPT distribuite omogeneamente nei tre fori di sondaggio. I risultati mostrano valori di $N_{SPT}$ molto elevati in tutti e tre i sondaggi, oltre a diverse prove che vanno a rifiuto, ad indicare che il terreno è difficilmente penetrabile dal campionatore.

Tabella 5.1: sintesi risultati prove SPT sondaggio S1.

| 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 5.2: sintesi risultati prove SPT sondaggio S2.

| 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 5.3: sintesi risultati prove SPT sondaggio S3.

| 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 |

In Figura 5.4 è riportato un riepilogo dei risultati ottenuti nelle prove SPT relative ai tre sondaggi. In generale, si nota che il valore di $N_{SPT}$ è abbastanza uniforme nelle tre verticali



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

indagate ed inoltre aumenta con la profondità, ad indicare una correlazione tra la compattezza del materiale e la profondità indagata.

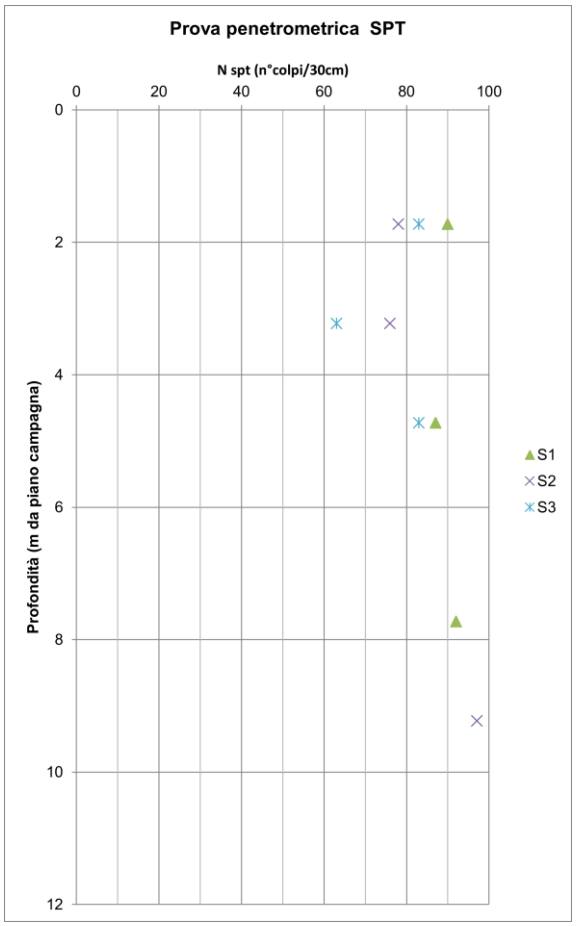



Figura 5.4: risultati prove dinamiche SPT nei tre sondaggi S1, S2 ed S3.

A partire dai risultati ottenuti, mediante correlazioni empiriche è possibile fare una prima stima dei parametri di resistenza del terreno. In letteratura sono presenti diverse correlazioni a seconda della tipologia di terreno presente. Nel caso in esame, si utilizzano le formule di Shioi & Fukuni (1982), usata per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose, e la formula di Schmertmann (1977), generalmente utilizzata per sabbie e ghiaie poco limose. Con entrambe le correlazioni l'angolo d'attrito ottenuto varia tra 42° e 45° in tutte e tre le verticali indagate (Figura 5.5), tali valori corrispondono generalmente a materiali granulari costituiti da ghiaie e sabbie.


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

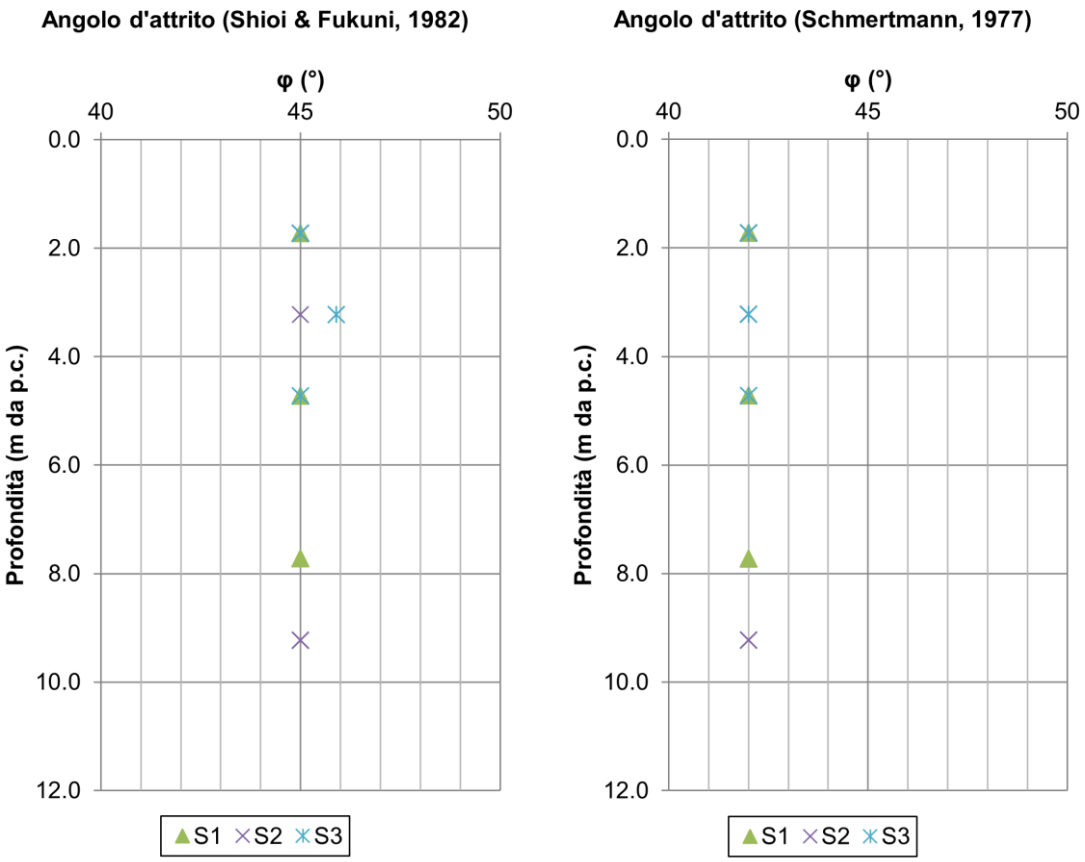



Figura 5.5: angolo d'attrito ottenuto a partire dai risultati delle prove in sito SPT nei tre sondaggi

A partire dai risultati ottenuti è possibile effettuare una stima anche del modulo di rigidezza del terreno, mediante la formula empirica di Bowles (1982). I risultati ottenuti sono riportati al grafico seguente: si stima un modulo di Young variabile tra 20 e 30 MPa, generalmente crescente con la profondità.


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

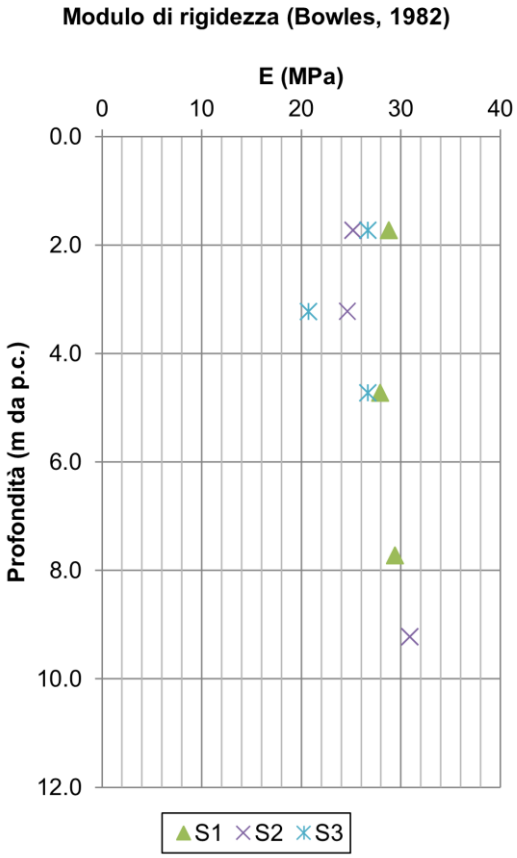



Figura 5.6: modulo di rigidezza del terreno desunto dagli esiti delle prove SPT.

### 5.3.2 Prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT)

Sono state realizzate n.10 prove penetrometriche dinamiche continue distribuite su tutta l'area di indagine. La buona diffusione di questo tipo di prova, applicabile in tutti i tipi di deposito (granulari e coesivi), e la sua standardizzazione, consentono di ottenere una valutazione qualitativa del grado di addensamento o di consistenza dei terreni attraversati, nonché un'identificazione attendibile dei principali parametri geotecnici, mediante l'utilizzo delle principali correlazioni presenti in bibliografia. A partire dal valore di colpi da prova penetrometrica dinamica (N) è possibile ricavare il numero di colpi da prova SPT ($N_{SPT}$)mediante una relazione che tiene conto della differenza di energia specifica del colpo nelle due prove.

Di seguito si riepilogano i soli valori di $N_{SPT-EQ}$ ottenuti da ciascuna prova, dai quali si possono ricavare i parametri geotecnici del terreno utilizzando le correlazioni empiriche già utilizzate per le prove SPT (vd. Par. 5.3.1). Per maggiori dettagli circa l'esito delle prove penetrometriche dinamiche, si rimanda all'El. 02.07 "Campagna di indagini geognostiche, geofisiche e ambientali - Relazione Tecnica – Illustrativa".

Nella seguente Figura 5.7 sono riportati tutti i valori di $N_{SPT}$ ottenuti nelle 10 prove penetrometriche dinamiche continue. Anche in questo caso, come prevedibile, si osserva un progressivo aumento dei colpi necessari alla penetrazione del terreno con la profondità.


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

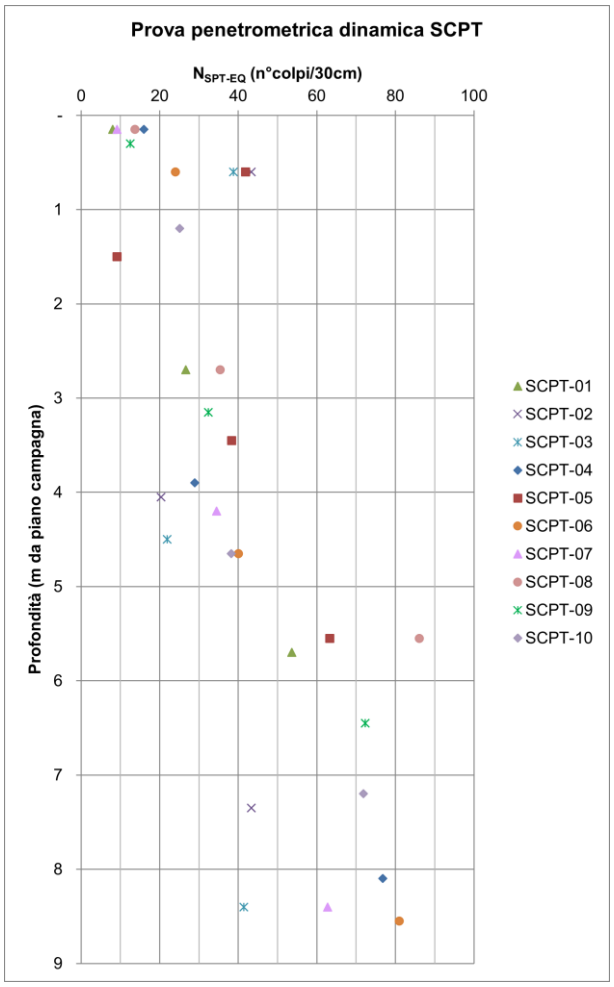



Figura 5.7: valori $N_{SPT}$ ottenuti a partire dalle prove penetrometriche dinamiche SCPT.

I valori di angolo d'attrito e modulo di rigidezza ottenuti a partire dalle prove penetrometriche dinamiche mediante le correlazioni empiriche già adottate per le prove SPT sono riassunti nelle figure seguenti.

Dai valori ottenuti mediante la formula empirica di *Shioi & Fukuni* si osserva che i primi cinque metri da p.c. sono caratterizzati da un angolo d'attrito generalmente compreso tra 30° a 40°, mentre per profondità maggiori di 5 m l'angolo d'attrito è generalmente superiore ai 40°.

Con riferimento alla correlazione empirica di *Schmertmann,* non si osserva una suddivisione precisa in strati di terreno, ma pare che tutte le profondità indagate abbiano un angolo d'attrito compreso tra 38° e 43°.

Come già osservato per le prove SPT, anche le prove penetrometriche dinamiche danno luogo a dei parametri di resistenza tipici di materiali granulari.



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

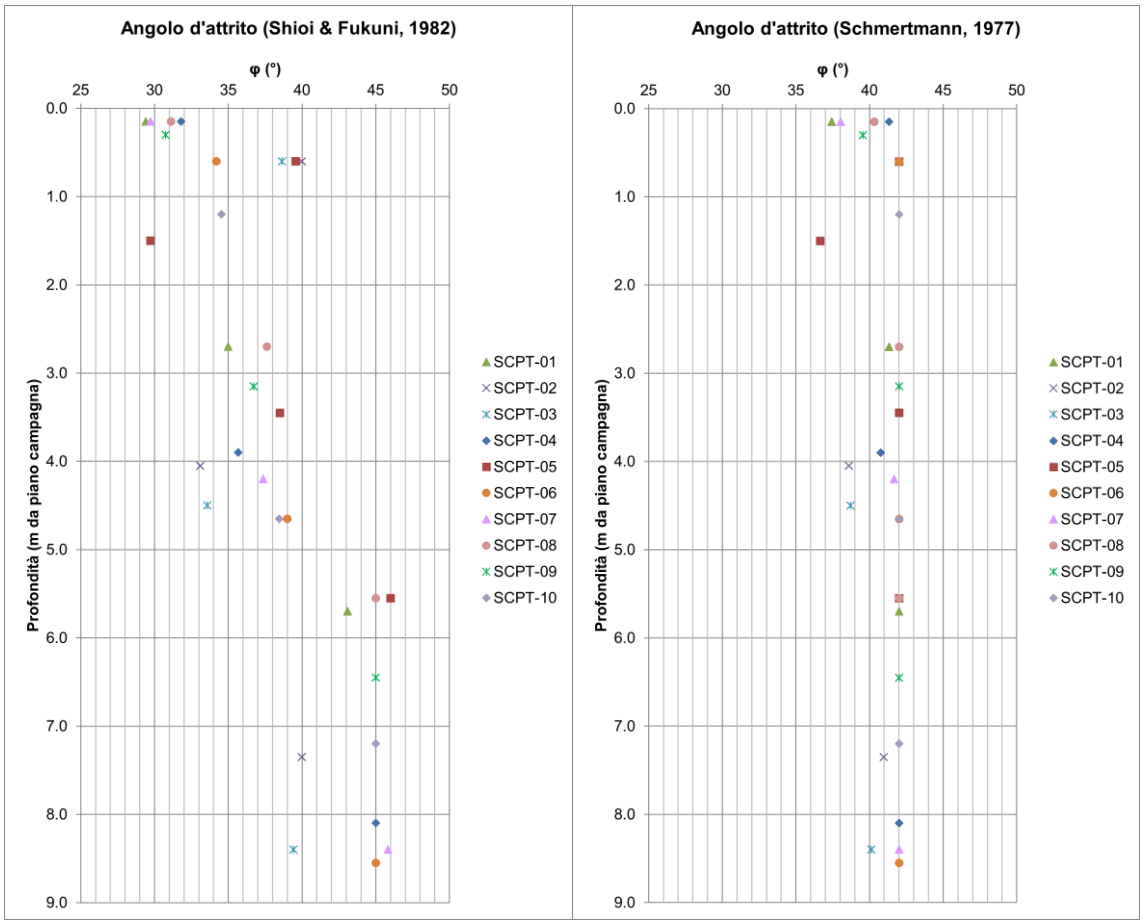



Figura 5.8: valori di angolo d'attrito ottenuti a partire dai risultati delle prove in sito SCPT.

Con riferimento al modulo di rigidezza, desunto dalla formula di Bowles, pare che la rigidezza del terreno aumenti con la profondità, passando da ca. 5 MPa fino a 30 MPa (Figura 5.10).



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

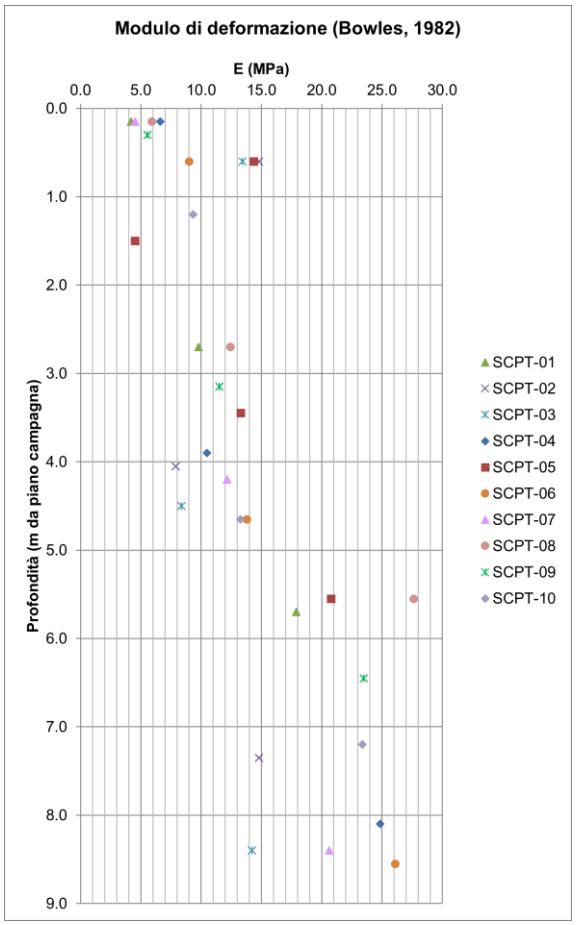



Figura 5.9: valori di modulo di rigidezza ottenuti a partire dai risultati delle prove in sito SCPT.

### 5.3.3 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, riportata in Figura 5.10, conferma quanto emerso dalle prove in sito, ovvero che il terreno è costituito prevalentemente da materiale ghiaioso con sabbia localmente limoso.


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 | $\gamma$ 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 | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

Figura 5.10: sintesi risultati prove di laboratorio eseguite (da El 02.07)

### 5.3.4 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

#### *5.3.4.1 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. Il valore $v_{S,EQ}$ con bedrock sismico stimato a 26.30 m a partire da piano campagna è pari a 473 m/s, riferibile alla categoria di sottosuolo B secondo NTC 2018: "*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.*".



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

### *5.3.4.2 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.

Con riferimento all'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.

### *5.3.4.3 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.

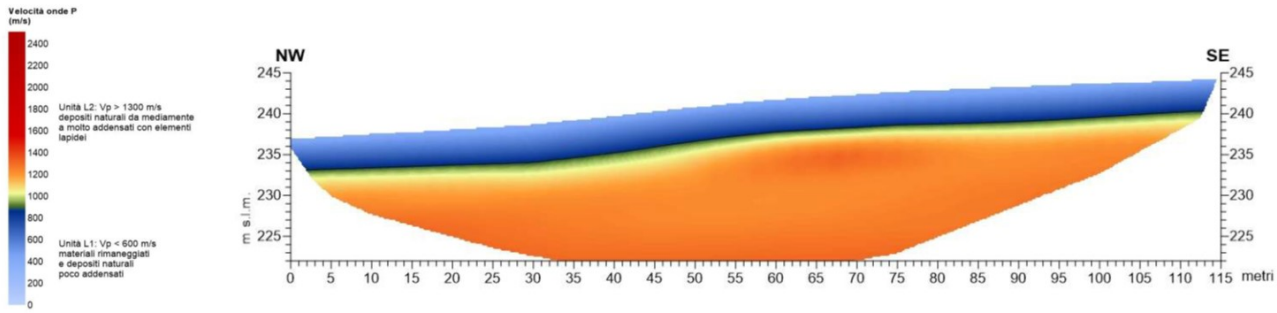



Figura 5.11: sezione sismica tomografica RFR-01.

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.



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

#### *5.3.4.4 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 5.12) 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 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).

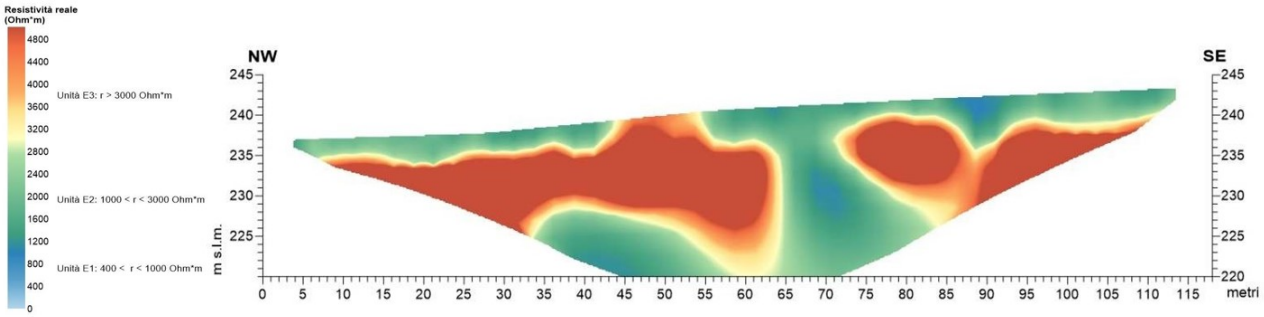



Figura 5.12: sezione geoelettrica tomografica ERT-01.

### 5.3.5 Riepilogo parametri geotecnici

Il volume di terreno significativo che risente degli effetti delle opere in progetto è costituito da detriti riconducibili a fenomeni fluvio-glaciali (Conoide del T. Codera) ed ad attività gravitativa di versante. Gli esiti della campagna di indagine hanno confermato il modello geologico mostrando un leggero incremento della resistenza e della rigidezza con la profondità senza però evidenziare in modo chiaro la presenza di un bedrock.



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

In considerazione delle caratteristiche dell'opera e del limitato incremento dei parametri di resistenza dei terreni di fondazione con la profondità si ritiene di considerare un'unica unità geotecnica i cui parametri sono di seguito riepilogati.

| | |
|---|---|
| Peso di volume | 19 kN/m$^3$ |
| Angolo d'attrito | 42° |
| Coesione | 7 kPa |
| Modulo di rigidezza | 18 MPa |



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