

**COMUNE DI MANDELLO DEL LARIO**

Via Risorgimento 33, 23826 Mandello del Lario LC

**STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA PER LA  
REALIZZAZIONE DEL NUOVO CENTRO REMIERO**

Casina Canottieri Via Statale snc, 23826 Mandello del Lario LC

**RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018  
E DELLA D.G.R. IX 2616/2011**

**RELAZIONE GEOTECNICA AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018**



Lecco – Ottobre 2024

---

**Dott. Massimo Riva – Geologo** – C.F. RVMSM61H17E507N – Part. I.V.A. 01776580134  
Via Gaetano Previati, n. 16 – 23900 Lecco (LC) – tel. +39 0341 286095  
e-mail [ufficiotecnico@sgtl.it](mailto:ufficiotecnico@sgtl.it) – P.E.C. [sgtl@pec.epap.it](mailto:sgtl@pec.epap.it) – web [www.studiogeologicolecchese.it](http://www.studiogeologicolecchese.it)

Redatto	Verificato	Approvato
FR	MR	MR

## INDICE

1.	PREMESSA.....	2
2.	RELAZIONE GEOLOGICA .....	8
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	8
2.2	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO .....	10
2.3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO – TECNICO .....	11
2.4	INQUADRAMENTO SISMICO .....	12
2.4.1	<i>Valutazione della categoria di suolo sismico ai sensi delle NTC2018 .....</i>	<i>13</i>
2.4.2	<i>Approfondimento sismico – Analisi di risposta sismica locale .....</i>	<i>14</i>
2.4.3	<i>Valutazione della categoria topografica ai sensi delle NTC2018.....</i>	<i>16</i>
2.4.4	<i>Cenni sulle azioni sismiche e stati limite.....</i>	<i>16</i>
2.4.5	<i>Determinazione dei parametri e dei coefficienti sismici.....</i>	<i>17</i>
2.4.6	<i>Verifica alla liquefazione.....</i>	<i>19</i>
2.5	ANALISI CARTOGRAFIA UFFICIALE.....	20
2.5.1	<i>Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del Bacino del Po (P.A.I.) .....</i>	<i>20</i>
2.5.2	<i>Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (P.G.R.A.).....</i>	<i>20</i>
2.5.3	<i>Studio Geologico a supporto del Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) .....</i>	<i>22</i>
2.6	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	27
2.6.1	<i>Prove penetrometriche SCPT.....</i>	<i>27</i>
2.6.2	<i>Prove penetrometriche DMP .....</i>	<i>29</i>
2.6.3	<i>Indagine sismica a rifrazione.....</i>	<i>30</i>
2.6.4	<i>Indagine sismica HVSR.....</i>	<i>31</i>
2.6.5	<i>Rilievo geomeccanico di dettaglio .....</i>	<i>32</i>
2.6.6	<i>Rilievi batimetrici .....</i>	<i>32</i>
2.6.7	<i>Modello stratigrafico .....</i>	<i>33</i>
2.6.8	<i>Caratteristiche geotecniche terreni di fondazione.....</i>	<i>34</i>
3.	RELAZIONE GEOTECNICA.....	35
3.1	CAPACITÀ PORTANTE E CEDIMENTI TERRENI DI FONDAZIONE .....	35
3.1.1	<i>Modello di calcolo.....</i>	<i>35</i>
3.1.2	<i>Pali <math>d = 0,60\text{ m}</math> <math>l = 6\text{ m}</math> <math>q = 199,70\text{ m s.l.m.}</math> .....</i>	<i>36</i>
3.1.3	<i>Pali <math>d = 0,60\text{ m}</math> <math>l = 12\text{ m}</math> <math>q = 199,70\text{ m s.l.m.}</math> .....</i>	<i>38</i>
3.1.4	<i>Pali <math>d = 0,60\text{ m}</math> <math>l = 6\text{ m}</math> <math>q = 198,0\text{ m s.l.m.}</math> .....</i>	<i>40</i>
3.1.5	<i>Pali <math>d = 0,60\text{ m}</math> <math>l = 12\text{ m}</math> <math>q = 198,0\text{ m s.l.m.}</math> .....</i>	<i>42</i>
3.1.6	<i>Commento ai risultati.....</i>	<i>44</i>
3.2	STABILITÀ FRONTI DI SCAVO E GESTIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO.....	45
3.2.1	<i>Muro di confine terreno – SP72.....</i>	<i>47</i>
3.3	PERMEABILITÀ DEI TERRENI E GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE .....	51
4.	CONCLUSIONI.....	53

## **ALLEGATI**

All01 – Prove penetrometriche SCPT e DMP

All02 – Indagine sismica a rifrazione e HVSR

All03 – Rilievo geomeccanico di dettaglio

All04 – Documentazione fotografica

## **TAVOLE**

Tav01 – Ubicazione indagini

Tav02 – Sezione stratigrafica

Tav03 – Sezioni batimetriche

## 1. PREMESSA

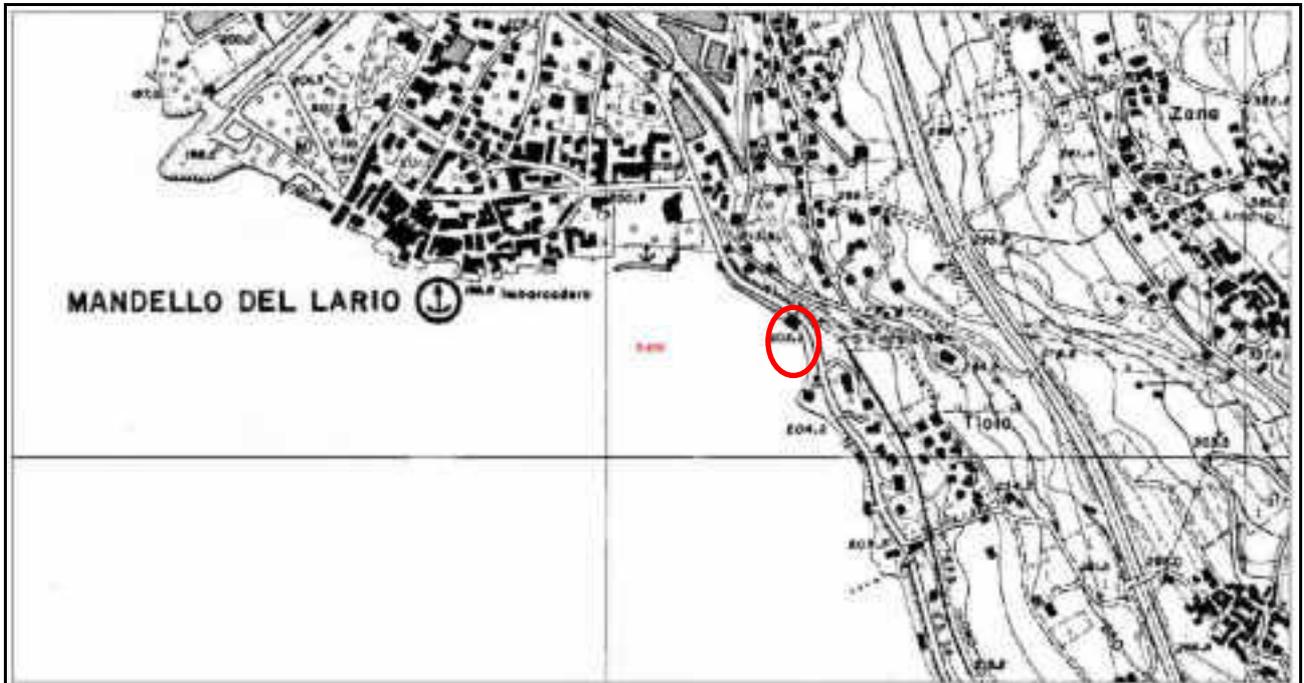
Per conto del Comune di Mandello del Lario, si redige la presente Relazione geologica ai sensi del D.M. 17/01/2018 e della D.G.R. IX 2616/2011 e Relazione geotecnica ai sensi del D.M. 17/01/2018 a supporto dello Studio di fattibilità tecnico economica per la realizzazione del nuovo centro remiero, presso la casina canottieri che sorge sulla Via Statale snc (strada provinciale n. 72), nel comune di Mandello del Lario, in provincia di Lecco.

Il terreno in esame si ubica nella parte mediana della sponda orientale del Lago di Como in località San Giorgio, alle pendici della Grigna Settentrionale, nella porzione meridionale del territorio comunale, subito a sud dell'abitato principale di Mandello del Lario (il quale si trova sulla conoide alluvionale del torrente Meria).

Dati identificativi:

- Foglio B4D3 della C.T.R.
- Codice Belfiore E879
- Foglio Censuario 1
- Foglio Cartografico 116
- Mappali 541, 3743

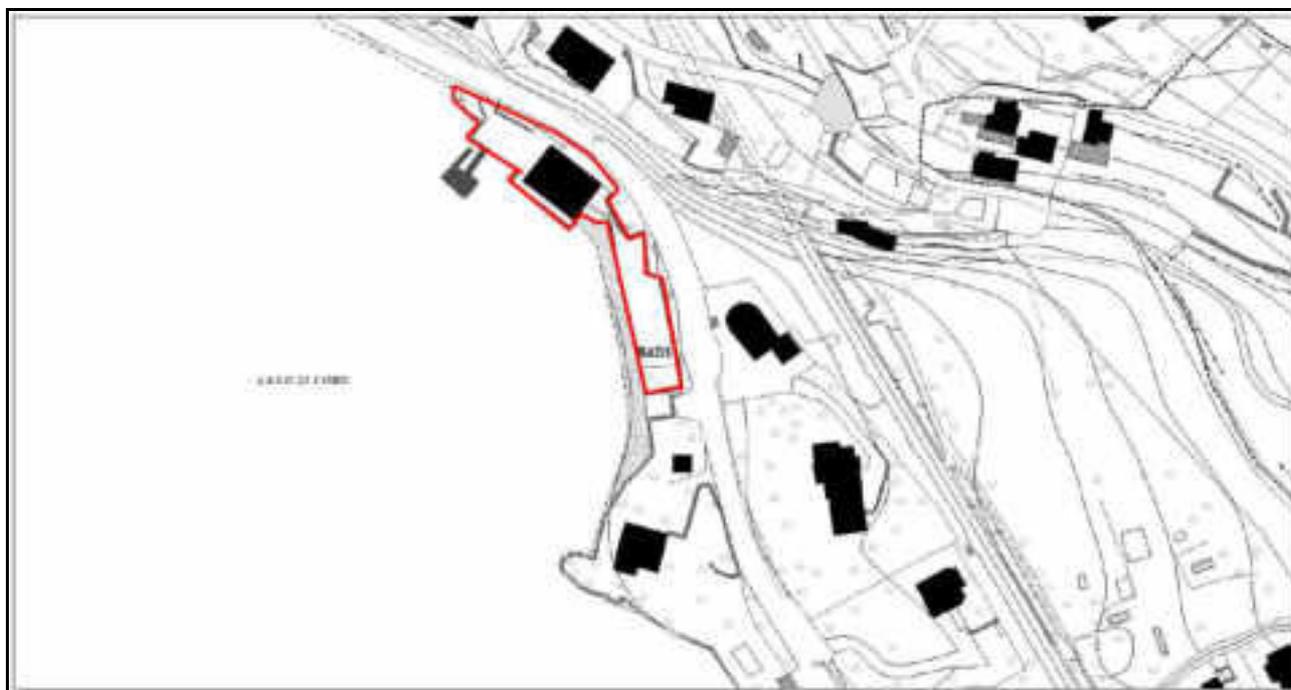
Di seguito vengono presentati alcuni stralci cartografici utili per l'inquadramento geografico del terreno in esame.



Ubicazione terreno in esame su foglio B4D3 della C.T.R.



Ubicazione terreno in esame su foglio 1 catasto mappali 541, 3743



Ubicazione terreno in esame su carta da D.B.G.T.

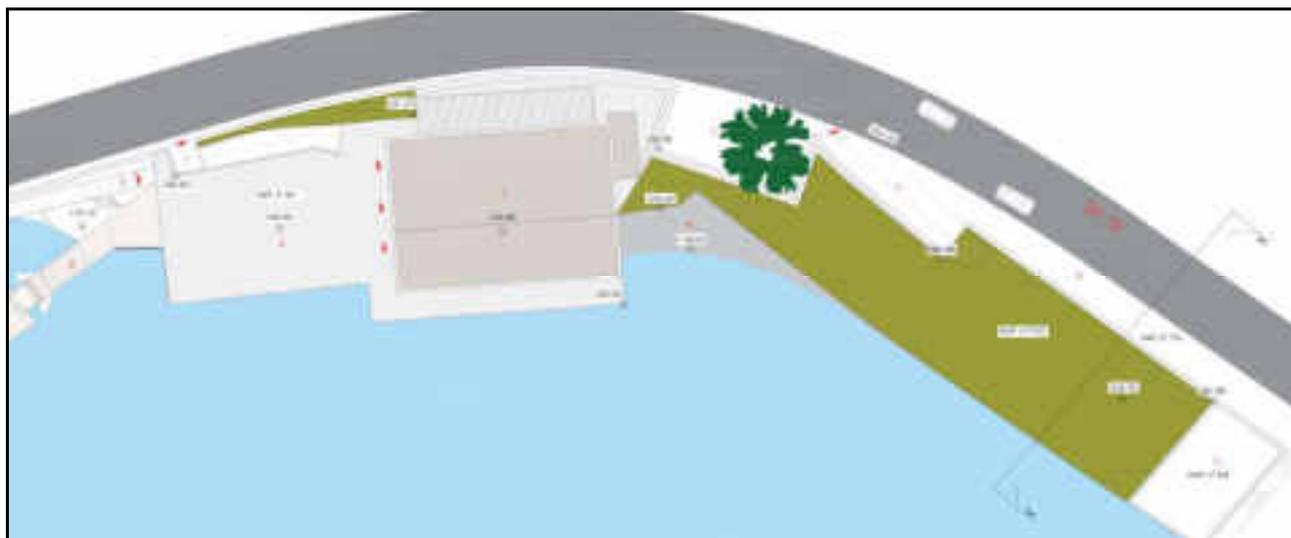


*Ubicazione terreno in esame su immagine satellitare*

Il progetto, a cura di Arch. U. Gerosa cui si rimanda per i particolari, prevede il rifacimento delle strutture esistenti, e la realizzazione di nuove strutture con ampliamento sul terreno prativo interno alla proprietà a sud del fabbricato esistente. L'ampliamento si svilupperà con quota base a  $-0,40$  m dal livello prato attuale, ovvero  $200,30$  m s.l.m., mentre al tetto verrà realizzato un parcheggio a  $+0,70$  m da quota piano strada provinciale n. 72, ovvero  $203,80$  m s.l.m.

L'opera in progetto può essere considerata costruzione di tipo 2 (costruzioni con livelli di prestazioni ordinari), con valori minimi di vita nominale ( $V_n$ ) pari a 50 anni, classe d'uso II (normali affollamenti) e coefficiente d'uso ( $C_u$ ) pari a 1 (D.M. 17 gennaio 2018 – tab. 2.4.1 e tab. 2.4.2).

Di seguito vengono presentate le planimetrie e sezioni dell'intervento allo stato di fatto e stato di progetto.



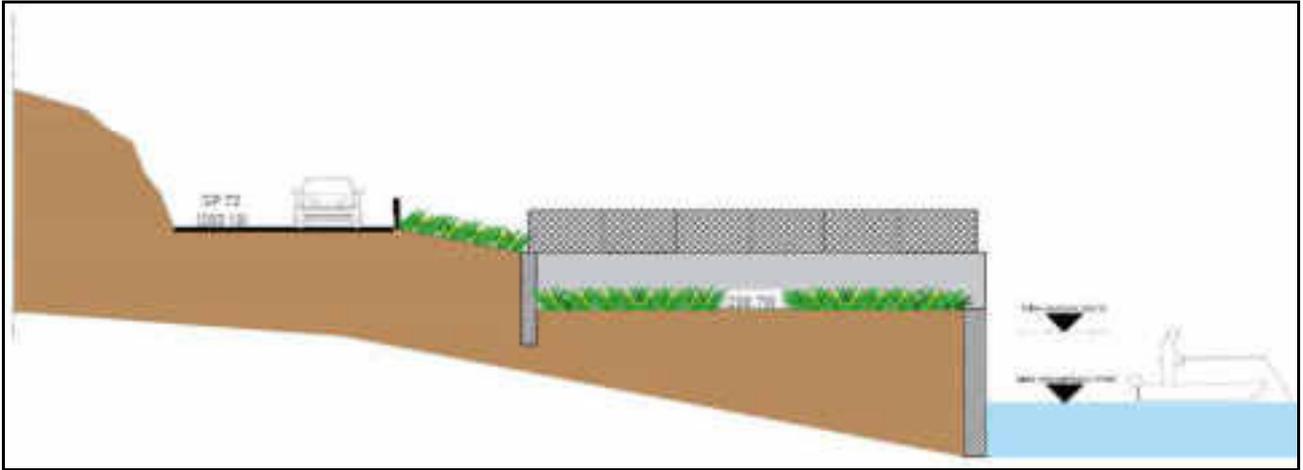
*Pianta S.D.F.*



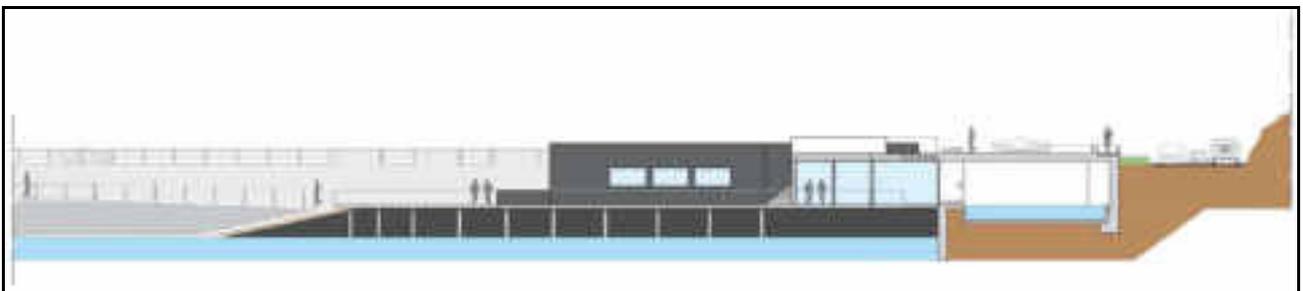
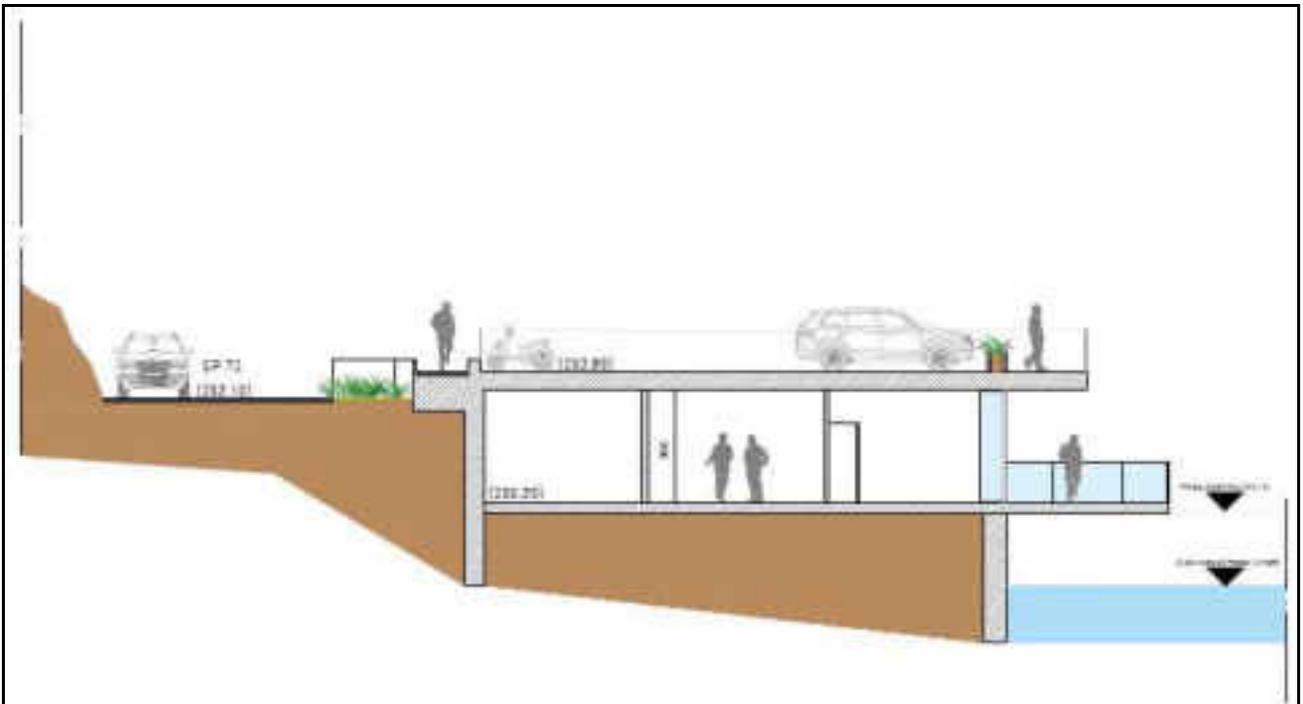
*Pianta piano terra S.D.P.*



*Pianta piano copertura S.D.P.*



Sezione XX S.D.F.



Sezioni XX e YY S.D.P.

La presente relazione è stata articolata nelle seguenti fasi:

- raccolta ed analisi critica dei dati esistenti in bibliografia;
- utilizzo dei risultati ottenuti dalla campagna di indagini geognostiche e sismiche eseguite sul terreno in esame i giorni 23 e 24 settembre 2024;
- elaborazione e restituzione dei dati ai sensi delle N.T.C. 2018 e della vigente normativa sismica.

La relazione geologica, ai sensi del D.M. 17/01/2018 e della D.G.R. IX 2616/2011 ha le finalità di:

- Definire le condizioni geologiche, morfologiche, idrografiche e idrogeologiche dell'area in esame e circostanti.
- Definire i rischi geologici, naturali e indotti dell'area in esame e circostanti.
- Definire la fattibilità del progetto in esame.
- Definire la categoria del suolo di fondazione e la classe di zonazione sismica, ai sensi della nuova normativa sismica (D.G.R. n. X/2129 del 11/07/14).
- Indicare le indagini eseguite in funzione del tipo di opere e della complessità del contesto geologico, per la ricostruzione del modello geologico.
- Indicare il modello geologico per le verifiche di capacità portante, di stabilità dei terreni di fondazione e scavo.

La relazione geotecnica, redatta ai sensi del D.M. 17/01/2018 ha le finalità di:

- Assumere il modello stratigrafico e geotecnico dei terreni in oggetto.
- Definire i parametri geotecnici necessari per il dimensionamento delle strutture di fondazione.
- Definire portate e possibili cedimenti dei terreni di fondazione.
- Indicare, in via preliminare, le possibili soluzioni e modalità d'apertura dei fronti di scavo e, ove necessario, le possibili soluzioni per il sostegno degli stessi.
- Eseguire un'iniziale classificazione delle proprietà drenanti dei terreni di fondazione e fornire delle prime indicazioni di massima circa lo smaltimento e gestione delle acque meteoriche.

## 2. RELAZIONE GEOLOGICA

I dati bibliografici utilizzati per la redazione degli inquadramenti e per l'analisi dei vincoli geologici esistenti sono stati ricavati da:

- Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario

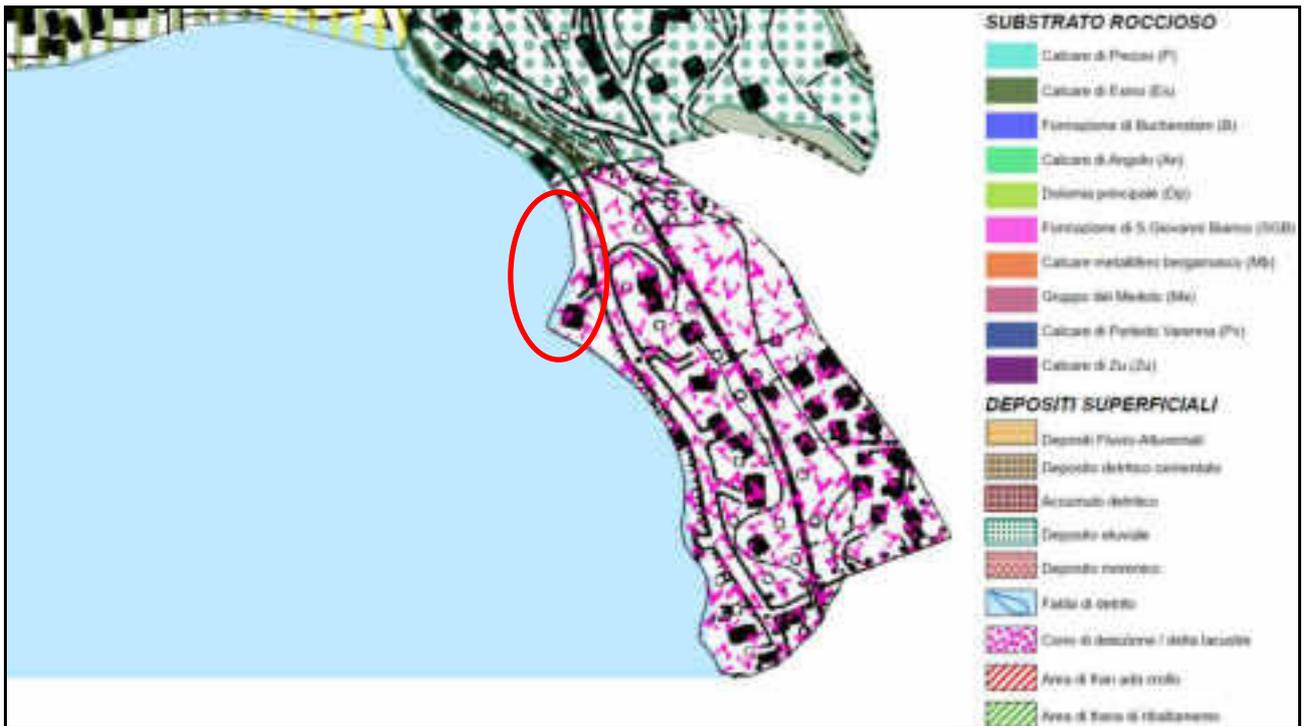
### 2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il territorio comunale di Mandello del Lario appartiene al Sudalpino Orobico, il cui basamento ercinico è delimitato a sud dalla Linea Orobica di sovrascorrimento del basamento stesso sulla copertura sedimentaria (retroscorrimenti sudalpini); tale linea è caratterizzata da un sistema di sovrascorrimenti con direzione prevalente E-W. Il substrato roccioso affiora immediatamente a nord del terreno in esame, dove sono presenti pareti di circa 30 – 50 m che arrivano fino a quota lago. Litologicamente il substrato appartiene qui all'unità sedimentaria del Calcarea di Esino (Ladinico), che da quota 700 – 800 m s.l.m. è la formazione predominante costituente tutto il complesso della Grigna Settentrionale. Ha spessori che oscillano fra i 500 e i 1000 m e si presenta costituito da dolomie e calcari dolomitici alla base e superiormente da calcari dolomitici grigi molto ricchi in fossili. Rappresenta in banchi decametrici privi di una stratificazione evidente.

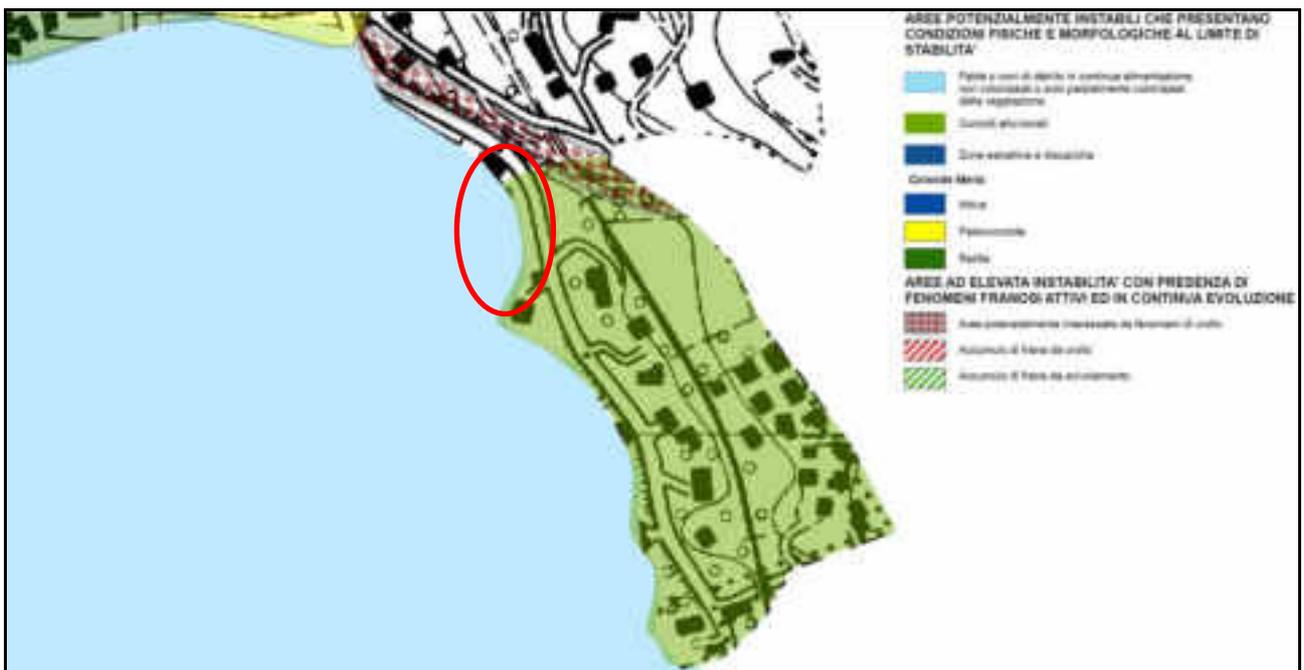
I depositi di copertura sono differenziati in base ai processi che li hanno generati e riportati in carta dove assumono spessore significativo, tale da poterli differenziare dalla copertura detritico – regolitica normalmente e diffusamente presente nei tratti meno acclivi dei pendii. I depositi presenti sul terreno in esame vengono classificati come cono di deiezione / delta lacustre, e sono formati da accumuli, anche recenti, di materiale alluvionale formatosi in seguito all'erosione dell'alveo stesso da parte del corso d'acqua. Essa è litologicamente costituita da depositi grossolani, dilavati con granulometria decrescente da monte a valle con matrice sabbiosa e ciottoli arrotondati eterometrici, mal classati e geneticamente eterogenei; e si allargano a ventaglio dallo sbocco nella valle principale fino al bacino lacustre. Essa è per lo più stabilizzata, terrazzata ed abitata anche se in corrispondenza di alcuni scavi naturali o artificiali è possibile evidenziare più fasi alluvionali.

L'assetto morfologico dell'area in esame è caratterizzato dalla presenza di due elementi principali, la conoide di deiezione / delta lacustre su cui si sviluppa il terreno oggetto dell'intervento, e le pareti rocciose appartenenti al Calcarea di Esino che si trovano sul lato nord del terreno stesso. La morfologia della conoide è allo stato attuale coperta dall'urbanizzazione; mentre sul terreno in oggetto la zona prativa presenta un terrazzamento delimitato a monte dalla strada statale che si trova a circa 3 m di altezza dal terreno, e sul lato di valle da un muro di cinta in pietrame che si erge a circa 2,30 m di altezza dalla spiaggia sul lago. Per quanto riguarda le pareti rocciose queste sono cartografate come area potenzialmente interessata da fenomeni di crollo; tale fenomeno è tuttavia limitato dall'intervento effettuato sulla parete in oggetto che ha visto l'installazione di una rete metallica tirantata in aderenza al fronte roccioso.

Di seguito viene presentato uno stralcio della carta geologica e geomorfologica allegata allo studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario.



Ubicazione terreno in esame su carta geologica da P.G.T.



Ubicazione terreno in esame su carta geomorfologica da P.G.T.

## 2.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO

Nell'area in esame, dal punto di vista idrogeologico, si possono distinguere principalmente le unità del substrato lapideo, contraddistinte da una permeabilità sia di tipo primario (stratificazione dei litotipi calcareo-dolomitici), che secondario (fratturazione), e quelle costituite dai depositi superficiali, aventi una permeabilità primaria per porosità.

La carta idrogeologica e idrografica, indica un grado di permeabilità per lo più da elevata a media (10<sup>-2</sup> – 10<sup>-4</sup> m/s) per i litotipi calcarei appartenenti alla formazione del calcare di Esino; per quanto riguarda i depositi superficiali, anche all'unità dei depositi di cono di deiezione / delta lacustre viene assegnato un grado di permeabilità da elevata a media.

Le peculiarità idrogeologiche del territorio in oggetto possono essere così sintetizzate:

- Gli acquiferi principali della zona sono costituiti dai massicci di origine calcarea fratturati e localmente carsificati che favoriscono l'infiltrazione delle acque superficiali in profondità, fungendo quindi da ampi acquiferi, ben alimentati dalle precipitazioni relativamente abbondanti nell'area.
- La circolazione idrica negli ammassi rocciosi avviene con veloci trasferimenti secondo movimenti principalmente subverticali che si verificano prevalentemente in corrispondenza delle principali faglie e fratture e delle strutture carsiche profonde; tale percolazione prosegue sino al raggiungimento del livello piezometrico.
- I regimi delle sorgenti presenti sono influenzati principalmente dall'andamento delle precipitazioni e dallo scioglimento delle nevi; mentre alcune risorgenze garantiscono una portata continua, seppur minima, durante tutto il corso dell'anno, altre, in particolare quelle poste lungo i versanti, possono scomparire nelle stagioni secche.
- In relazione al quadro geologico descritto, la delimitazione dei bacini di alimentazione delle sorgenti non è facilmente attuabile su basi idrogeologiche in quanto, oltre che dagli spartiacque superficiali è influenzata dalla tettonica e dal carsismo.
- Nel settore di affioramento dei depositi di copertura glaciali, la circolazione idrica sotterranea si sviluppa direttamente all'interno dei depositi sciolti e/o al contatto tra questi ed il substrato roccioso sottostante. La circolazione idrica si sviluppa all'interno dei livelli a granulometria più grossolani (con particolare riferimento alla matrice fine); la trasmissività dell'acquifero è comunque ridotta.

Infine, dal punto di vista idrografico l'area in esame è dominata dalla presenza del Lago di Como, di origine fluvio-glaciale, il quale tuttavia non svolge alcuna azione di modellamento del paesaggio; risulta invece impattante la dinamica alluvionale del lago. La quota del lago allo zero idrometrico corrisponde a 197,83 m s.l.m., mentre nel caso di piena massima a 200,10 m s.l.m.

Di seguito viene presentato uno stralcio della carta idrogeologica e idrografica allegata allo studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario.



Ubicazione terreno in esame su carta idrogeologica e idrografica da P.G.T.

### 2.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO – TECNICO

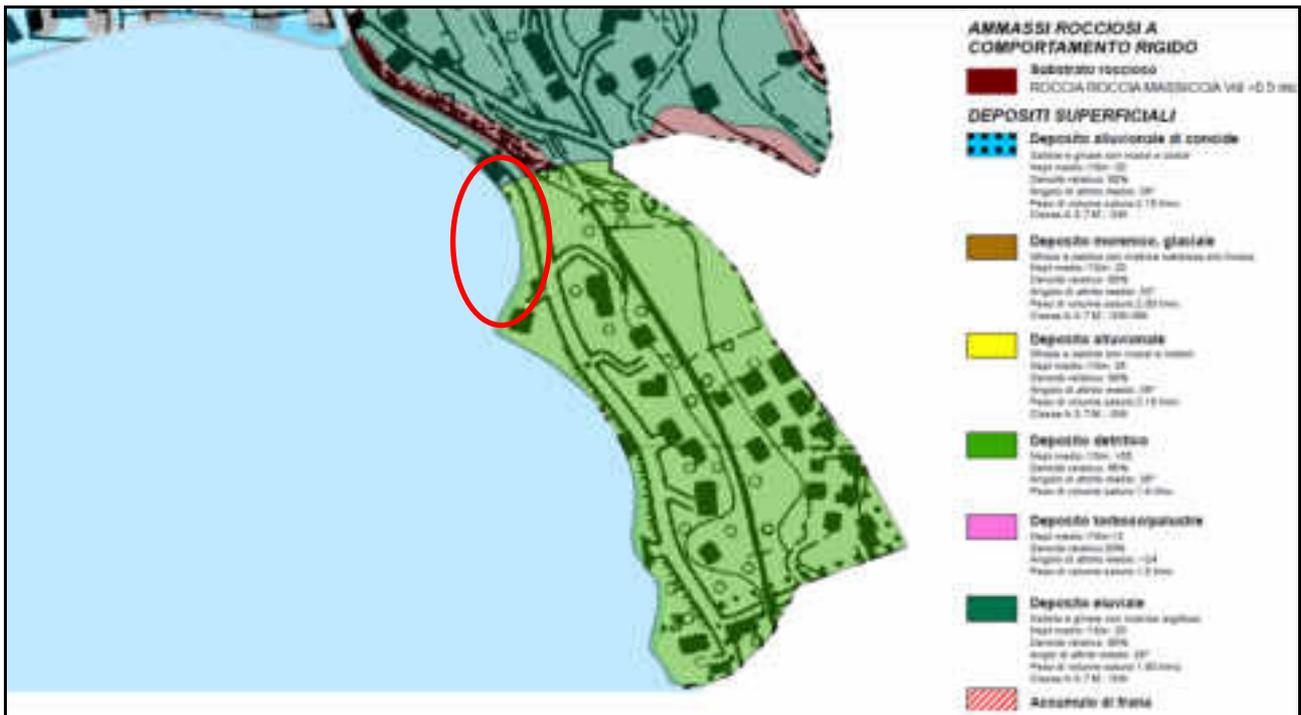
Partendo dalla natura e dalle caratteristiche litologiche del substrato e dei terreni di copertura e prescindendo dall'appartenenza formazionale, sono state distinte differenti unità caratterizzandole dal punto di vista geologico-tecnico a livello di P.G.T. comunale.

I parametri geotecnici e geomeccanici riportati per le diverse unità presentano campi di variabilità entro cui gli stessi possono riconoscersi e pertanto sono da considerare indicativi e medi, da non utilizzarsi come valori definitivi ed ad uso di progettazione. La possibile variabilità litologica e dei parametri geologico-tecnici rende necessaria una verifica puntuale e diretta dell'area di futura edificazione, estesa ad un ambito limitrofo significativo, non sollevando chi di dovere dall'eseguire gli accertamenti e le prove geotecniche, quando previste, a livello di singolo progetto.

Per quanto riguarda il terreno in esame viene riconosciuta un'unità geologico-tecnica definita come deposito detritico, ovvero deposito generalmente monolitico, con clasti di natura calcarea grossolani (dal ciottolo al blocco in matrice da ghiaiosa a limoso – sabbiosa), spigolosi e localmente con moderata selezione. Possono essere localmente presenti plaghe di detrito cementato. Le caratteristiche meccaniche sono in funzione del grado di cementazione dei depositi e possono essere stimate pari a:

- Peso di volume saturo = 1.9 t/m<sup>2</sup>;
- angolo di attrito medio = 35°(detriti sciolti) / 45° (per detriti cementati).

Di seguito viene presentato uno stralcio della carta geologico – tecnica allegata allo studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario.



Ubicazione terreno in esame su carta geologica – tecnica da P.G.T.

## 2.4 INQUADRAMENTO SISMICO

La normativa di riferimento è la seguente:

- L.R. 11 marzo 2005 n.12 e s.m.i. (in particolare DGR 30 novembre 2011 – n. IX/2616);
- D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 (aggiornamento delle zone sismiche in Lombardia);
- D.M. 17 gennaio 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

Per l'applicazione della normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica (ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003), l'intero territorio nazionale è suddiviso in zone sismiche con grado di pericolosità crescente da 4 a 1 (vedi classificazione sismica dei comuni italiani, aggiornata con D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129). Ciascuna zona è contrassegnata da un valore del parametro di accelerazione di picco orizzontale al suolo ( $A_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale.

Ai sensi della zonazione sismica del 2014, il Comune di Mandello del Lario per quanto riguarda il rischio sismico si colloca in Zona Sismica 3 (bassa), con valore di Accelerazione Massima ( $A_{gMax}$ ) pari a 0,05026 g (D.G.R. 11 luglio 2014 – n. X/2129).

I valori di  $A_g$ , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  e da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riportati nella tabella seguente.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) (ag/g)
1	> 0,25	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

Dove:

- Zona 1: zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti;
- Zona 2: zona in cui possono verificarsi terremoti abbastanza forti;
- Zona 3: zona in cui possono verificarsi scuotimenti modesti;
- Zona 4: zona meno pericolosa, con possibilità di danni sismici basse.

#### **2.4.1 Valutazione della categoria di suolo sismico ai sensi delle NTC2018**

La classificazione sismica dei terreni può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_s$ , in base alla quale s'identificano le seguenti categorie del suolo di fondazione (tab 3.2.11 NTC2018):

- A) *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m;
- B) *Rocce tenere e depositi 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;
- C) *Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/s;
- D) *Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi fra 100 e 180 m/s;
- E) *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per definire la corretta categoria di suolo sismico, sono stati utilizzati i risultati ottenuti dall'indagine sismica passiva HVSR eseguite sul terreno in esame. Tramite questa indagine è stato possibile calcolare un valore di velocità delle onde sismiche di taglio equivalente  $V_S Eq. = 372$  m/s, con bedrock sismico ( $V_s > 800,0$  m/s) non individuato nei 36,50 m di profondità indagati.

In seguito a quanto analizzato è possibile ascrivere, in prima approssimazione, i terreni di fondazione in oggetto nella categoria di suolo sismico B, valore tuttavia non confermato dall'approfondimento sismico eseguito, così come mostrato di seguito.

## 2.4.2 Approfondimento sismico – Analisi di risposta sismica locale

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale in adempimento a quanto previsto dalla D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003, dal d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003 e dal D.M. 17 gennaio 2018, si basa su tre livelli successivi di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale.

Nel caso in esame il terreno di fondazione rientrerebbe in una categoria di suolo sismico B in relazione al parametro della sola velocità di propagazione delle onde, ma in relazione alla nuova normativa D.G.R. n. X/2489 del 10 ottobre 2014, è da prevedersi un ulteriore approfondimento, in quanto la nuova classificazione sismica della Regione Lombardia inserisce il territorio comunale in zona 3.

L'estratto della Carta della pericolosità sismica locale comunale rappresenta il primo livello di approfondimento sismico effettuato a livello di P.G.T. comunale, dove sono state riconosciute le aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti.

Per il caso in oggetto è stato eseguito l'approfondimento sismico di terzo livello secondo normativa tramite analisi di risposta sismica locale, finalizzata alla definizione del Fattore di Amplificazione (Fa) locale, da utilizzarsi in seguito per la parametrizzazione sismica del sito. In sintesi è stato utilizzato un codice di calcolo monodimensionale (Strata), considerando il profilo delle Vs ottenuto dall'indagine MASW eseguita in sito e inserendo parametri e accelerogrammi come rilasciati dalla struttura regionale lombarda:

- 475-codice provincia.zip contenente, per ogni comune, 5 diversi accelerogrammi attesi caratterizzati dal periodo di ritorno di 475 anni;
- curve\_lomb.xls contenente i valori del modulo di taglio normalizzato ( $G/G_0$ ) e del rapporto di smorzamento (D) in funzione della deformazione ( $\gamma$ ), per diverse litologie.

Si ricorda che la normativa regionale vigente prevede si debbano individuare le aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale le strutture in progetto, ossia laddove il fattore di amplificazione sismico (Fa) calcolato è superiore di quello di soglia comunale fornito dal Politecnico di Milano.

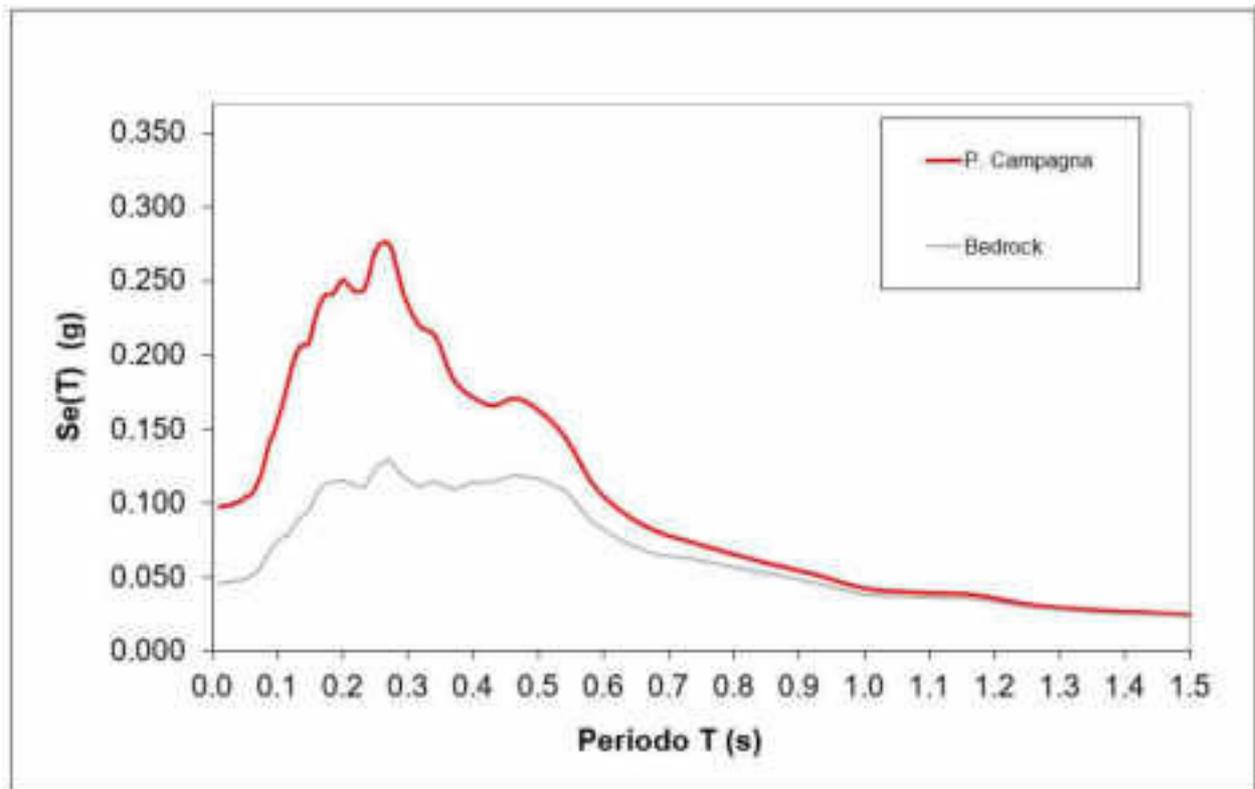
Per le aree con Fa superiore a quello della soglia dettata dalla normativa regionale (vedere tabella riportata in seguito), si dovrà procedere a ulteriori approfondimenti o in alternativa utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

Valori soglia di Fa comunali				
PERIODO	SUOLO B	SUOLO C	SUOLO D	SUOLO E
0,10 – 0,50 s	1,44	1,85	2,20	1,98
0,50 – 1,50 s	1,71	2,41	4,16	3,08

Per il caso in esame si presuppone che il periodo di oscillazione delle strutture in progetto sia compreso nel breve periodo, tuttavia si forniscono i risultati anche per il lungo periodo, dato che la definizione del periodo dei fabbricati compete allo strutturista.

Il Fattore di Amplificazione si calcola come il rapporto fra l'integrale dello spettro elastico rispetto un piano di riferimento, in questo caso il piano campagna (output), e quello al bedrock (input), definiti nell'intervallo 0,10 s – 0,50 s (breve periodo) e 0,50 s – 1,50 s (lungo periodo); nel caso in esame risulta:

- $F_a = 1,88$  (Breve periodo: 0,10 – 0,50 s)
- $F_a = 1,18$  (Lungo periodo: 0,50 – 1,50 s)



*Spettro di risposta sismica locale*

Come visibile dai valori soglia definiti comunali, si osserva che:

- Il  $F_a$  calcolato per il breve periodo (0,1 – 0,5 s) è inferiore al fattore d'amplificazione di soglia comunale per i suoli di Categoria D.
- Il  $F_a$  calcolato per il lungo periodo (0,5 – 1,5 s) è inferiore al fattore d'amplificazione di soglia comunale per i suoli di Categoria B.

In assenza d'indicazioni progettuali sul periodo della struttura, e a fine cautelativo, per il calcolo dei parametri sismici è stato applicato lo spettro normativo di un suolo di categoria D.

### **2.4.3 Valutazione della categoria topografica ai sensi delle NTC2018**

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione basata sulle caratteristiche della superficie topografica (tab. 3.2.III N.T.C. 2018):

- T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .
- T2 - Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ .
- T3 - Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ .
- T4 - Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media  $i > 30^\circ$ .

Al terreno in esame si attribuisce ad una categoria topografica T1, con topografia verificata a scala locale (1:100).

### **2.4.4 Cenni sulle azioni sismiche e stati limite**

Le azioni sismiche di progetto si definiscono dalla “pericolosità sismica di base del sito” di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato periodo (“periodo di riferimento V.R.”), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità pari ad almeno un valore prefissato; la probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento (P.V.R.)”. Ai fini delle N.T.C. 2018, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P.V.R.), a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  - accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  - valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  - periodo d’inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei confronti delle azioni sismiche, gli stati limite, sia ultimi che di esercizio, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite ultimi dinamici (S.L.U.) sono:

- Stato limite di salvaguardia della Vita (S.L.V.): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la struttura conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (S.L.C.): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Gli stati limite di esercizio (S.L.E.) da considerare sono:

- Stato Limite di Operatività (S.L.O.): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni e interruzioni d'uso significativi.
- Stato Limite di Danno (S.L.D.): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile, pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento Pvr, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I N.T.C2018, distinte per il diverso tempo di ritorno Tr.

Stati limite	Pvr (%)	Tr (anni)
Stato limite di esercizio S.L.O. (Operatività)	81	30
Stato limite di esercizio S.L.D. (Danno)	63	50
Stato limite ultimo S.L.V. (Salvaguardia Vita)	10	475
Stato limite ultimo S.L.C. (Prevenzione Collasso)	5	975

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P.V.R. forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

#### **2.4.5 Determinazione dei parametri e dei coefficienti sismici**

Al fine di valutare i parametri sismici caratteristici è stato utilizzato un software d'elaborazione ("PS" della Geostru), secondo i dati d'input riportati di seguito.

Tipo di elaborazione:

- Fondazioni

Sito in esame:

- Latitudine: 45,911745
- Longitudine: 9,326851
- Classe: 2
- Vita nominale: 50

Siti di riferimento

- Sito 1 ID: 10264 Lat: 45,9112 Lon: 9,2564 Distanza: 5452,976
- Sito 2 ID: 10265 Lat: 45,9137 Lon: 9,3279 Distanza: 233,736
- Sito 3 ID: 10487 Lat: 45,8638 Lon: 9,3315 Distanza: 5348,059
- Sito 4 ID: 10486 Lat: 45,8613 Lon: 9,2600 Distanza: 7629,773

Parametri sismici:

- Categoria sottosuolo: D
- Categoria topografica: T1
- Periodo di riferimento: 50 anni
- Coefficiente cu: 1

Una volta identificate le coordinate geografiche, si determina la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia, moltiplicati per le distanze del punto. Dall'elaborazione successiva si ottengono i tre valori caratteristici ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) che definiscono le forme spettrali e che sono di seguito tabulati.

STATO LIMITE	Tr (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T_c^*$ (s)
S.L.O. (Operatività)	30	0,018	2,605	0,158
S.L.D. (Danno)	50	0,022	2,595	0,182
S.L.V. (Salvaguardia Vita)	475	0,046	2,675	0,276
S.L.C. (Prevenzione Collasso)	975	0,056	2,708	0,299

Il passo successivo consiste nella valutazione di  $A_{max}$  (accelerazione massima attesa al sito), in pratica si tratta di "modificare" la forma spettrale del sottosuolo di categoria C, attraverso un coefficiente stratigrafico ( $S_s$ ), un coefficiente topografico ( $S_t$ ) e un coefficiente in funzione della categoria ( $C_c$ ) che modifica il valore del periodo  $T_c$ . Nel caso in esame, inserendo i dati di input si ottengono i seguenti coefficienti correttivi.

STATO LIMITE	$S_s$	$C_c$	$S_t$
S.L.O. (Operatività)	1,800	3,140	1,000
S.L.D. (Danno)	1,800	2,930	1,000
S.L.V. (Salvaguardia Vita)	1,800	2,380	1,000
S.L.C. (Prevenzione Collasso)	1,800	2,290	1,000

I coefficienti ottenuti sono i seguenti.

STATO LIMITE	$K_h$	$K_v$	$A_{max}$ ( $m/s^2$ )	$A_{max}$ (g)	$\beta_s$
S.L.O. (Operatività)	0,006	0,003	0,316	0,032	0,200
S.L.D. (Danno)	0,008	0,004	0,395	0,040	0,200
S.L.V. (Salvaguardia Vita)	0,017	0,008	0,821	<b>0,083</b>	0,200
S.L.C. (Prevenzione Collasso)	0,020	0,010	0,993	0,100	0,200

Il valore di accelerazioni massime attese al piano campagna allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (S.L.V.) per il terreno in esame risulta pari 0,083 g. Si ricorda che il rispetto dei vari Stati Limite viene considerato conseguito dalle N.T.C.:

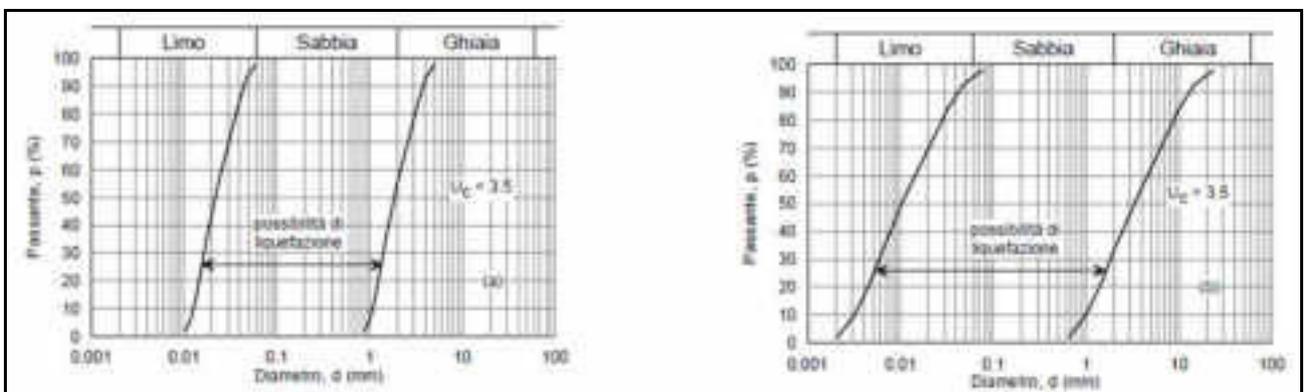
- Nei confronti di tutti gli Stati Limite Ultimi (S.L.U.), quando siano soddisfatte le verifiche relative al solo Stato Limite di salvaguardia della Vita (S.L.V.);
- Nei confronti di tutti gli Stati Limite di Esercizio (S.L.E.), quando siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno (S.L.D.).

#### **2.4.6 Verifica alla liquefazione**

Si definisce liquefazione la riduzione di resistenza e/o rigidità causata durante il sisma dall'aumento delle pressioni interstiziali in terreni saturi non coesivi, tale da provocare deformazioni permanenti significative o persino da indurre nel terreno una condizione di sforzi efficaci quasi nulli. Ciò può avvenire nei depositi di sabbie fini sciolte quando, sotto l'azione dei carichi applicati o di forze idrodinamiche, la pressione dell'acqua dei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè fino a quando gli sforzi efficaci si riducono a zero. La liquefazione di un deposito può avvenire sia in condizioni statiche sia sotto sollecitazioni dinamiche.

La normativa vigente (D.M. 17/01/2018) prevede che la verifica a liquefazione possa essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze (7.11.3.4.2):

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,10 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15,0 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)  $60 > 30,0$  oppure  $qc1N > 180,0$  dove (N1) 60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100,0 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100,0 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura a sinistra nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,50$  e nella figura a destra nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,50$ .



*Curve di distribuzione granulometrica per terreni a diverso coefficiente di uniformità ( $U_c$ )*

Per il terreno in oggetto è verificato il punto n. 1, in quanto le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) risultano pari a 0,083 g, quindi minori di 0,10 g; per questo motivo la verifica a liquefazione può essere omessa nel caso in esame.

## 2.5 ANALISI CARTOGRAFIA UFFICIALE

Sono state consultate e analizzate alcune delle cartografie ufficiali di riferimento indicative dal punto di vista delle condizioni geologiche locali.

### 2.5.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Po (P.A.I.)

Il terreno in oggetto risulta escluso da aree soggette ai vincoli del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Po (P.A.I.) nella versione vigente, aggiornato secondo le procedure definite nel D. Lgs. 152/2006, nell'Elaborato 7 (Norme di Attuazione) del PAI e nelle disposizioni regionali attuative del PAI in campo urbanistico.

Di seguito viene presentato uno stralcio della cartografia P.A.I. vigente, tratto dal Geoportale della Regione Lombardia.



Ubicazione terreno su cartografia P.A.I.

### 2.5.2 Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (P.G.R.A.)

Il terreno in oggetto risulta incluso in aree soggette ai vincoli secondo la versione vigente delle mappe della pericolosità (aree allagabili) e del rischio del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), aggiornato secondo le procedure definite nella Direttiva 2007/60/CE (art. 14), nel D. Lgs. 49/2010 (art. 12) e dall'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po con Deliberazione di Comitato Istituzionale n. 4 del 17 dicembre 2015 (art. 9), aggiornata con la Deliberazione di Comitato Istituzionale n. 5 del 7 dicembre 2016 (art. 10).

In particolare il terreno rientra nelle seguenti aree definite per differente quota di esondazione del lago:

- Pericolosità ACL scenario frequente (P3/H) – tempo di ritorno 15 anni – livello corrispondente a +2,41 m rispetto alla quota dell'idrometro di Malgrate (zero idrometrico posto a 197,37 m s.l.m.), ovvero 199,78 m s.l.m.
- Pericolosità ACL scenario poco frequente (P2/M) – tempo di ritorno 100 anni – livello corrispondente a +3,09 m rispetto alla quota dell'idrometro di Malgrate (zero idrometrico posto a 197,37 m s.l.m.), ovvero 200,46 m s.l.m.
- Pericolosità ACL scenario raro (P1/L) – tempo di ritorno >100 anni – livello corrispondente a +3,97 m rispetto alla quota dell'idrometro di Malgrate (zero idrometrico posto a 197,37 m s.l.m.), ovvero 201,34 m s.l.m.

Di seguito viene presentato uno stralcio della cartografia P.G.R.A. vigente, tratto dal Geoportale della Regione Lombardia.



Ubicazione terreno su cartografia P.G.R.A.

Di seguito si riporta quanto definito nella Deliberazione X/6738 del 06/20217 recante le norme di attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (P.G.R.A.), riguardo le Disposizioni relative alle Aree costiere lacuali (ACL).

*In coerenza con le disposizioni vigenti di cui alla d.g.r. IX/2616/2011, entro le aree circumlacuali, allagabili per la piena frequente (P3/H) sussistono consistenti limitazioni alla modifica della destinazione d'uso del territorio; sono pertanto da applicare le limitazioni relative alla classe 3 di fattibilità geologica, salvo diverse valutazioni più restrittive.*

Entro le aree P3/H, laddove negli strumenti urbanistici non siano già vigenti norme equivalenti, o fino a quando il Comune non proceda con l'aggiornamento della componente geologica del PGT e con il tracciamento dei limiti di allagabilità, a partire dai livelli delle piene di riferimento utilizzati nelle mappe PGRA e secondo le indicazioni fornite al successivo paragrafo 3.4.4. "Procedure di adeguamento degli strumenti urbanistici comunali", è necessario: subordinare gli eventuali interventi edilizi alla realizzazione di uno studio di compatibilità idraulica, che l'Amministrazione comunale è tenuta ad acquisire in sede di rilascio del titolo edilizio, finalizzato a definire i limiti e gli accorgimenti da assumere per rendere l'intervento compatibile con le criticità rilevate, in base al livello di esposizione locale con specifico riferimento ai valori di quota della piena indicati dal PGRA per diversi laghi e per i diversi scenari, così come riportati in Allegato 4. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell'area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero di sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza); garantire l'applicazione di misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare e non peggiorare la capacità ricettiva del sistema idrogeologico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio; vietare la realizzazione di piani interrati o seminterrati, non dotati di sistemi di autoprotezione e idonei accorgimenti edilizi; nei piani interrati o seminterrati, dotati di sistemi di autoprotezione e idonei accorgimenti edilizi dimensionati sulla base degli esiti dello studio compatibilità idraulica, vietare un uso che preveda la presenza continuativa di persone; progettare e realizzare le trasformazioni consentite in modalità compatibili, senza danni significativi, con la sommersione periodica per più giorni consecutivi, e tenendo conto delle oscillazioni piezometriche tipiche di un territorio periacquale; progettare gli interventi in modo da favorire il deflusso/infiltrazione delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo ovvero che comportino l'aggravio delle condizioni di pericolosità/rischio per le aree circostanti.

Entro le aree allagabili per la piena poco frequente (P2/M) sussistono moderate limitazioni alla modifica della destinazione d'uso del territorio. Sono pertanto da applicare le limitazioni relative alla classe 2 di fattibilità geologica. Entro tali aree è lasciata la facoltà al comune di prevedere in tutto o in parte le limitazioni e le prescrizioni previste per le aree P3/H.

Nelle aree esondabili per la piena rara (P1/L) vigono norme coerenti con quelle previste per la fascia C nelle N.d.A. del PAI.

### **2.5.3 Studio Geologico a supporto del Piano di Governo del Territorio (P.G.T.)**

Dall'analisi della Carta della pericolosità sismica locale (P.S.L.), il terreno in esame rientra all'interno di un'area classificata secondo uno scenario di pericolosità sismica locale di livello Z4b, ovvero zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre.

Secondo quanto riportato nelle Norme Geologiche allegato allo Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario:

*Per progetti ricadenti nelle zone Z4 è richiesto il 2° livello di approfondimento secondo l'allegato 5 della DGR n. IX/2616 del 30 novembre 2011.*

Di seguito viene presentato uno stralcio della carta della pericolosità sismica locale (PSL) allegata allo studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario.



Ubicazione terreno in esame su carta pericolosità sismica locale (P.S.L.) da P.G.T.

Dall'analisi della Carta dei Vincoli, il terreno in esame rientra all'interno di un'area classificata come allagabile per piena rara (P1/L) secondo le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore di contenuto prettamente geologico.

Secondo quanto riportato nelle Norme Geologiche allegate allo Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario:

*Entro le aree esondabili per la piena rara (P1/L) vigono le norme previste per la fascia C PAI.*

Di seguito viene presentato uno stralcio della carta dei vincoli allegata allo studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario.



Ubicazione terreno in esame su carta dei vincoli da P.G.T.

Dall'analisi della Carta di Sintesi, il terreno in esame rientra all'interno di un'area allagabile per piena frequente, poco frequente e rara, omogenea dal punto di vista della vulnerabilità idraulica e idrogeologica.

Secondo quanto riportato nelle Norme Geologiche allegate allo Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario:

*Entro le aree circumlacuali, allagabili per la piena frequente (P3/H) sussistono consistenti limitazioni alla modifica della destinazione d'uso del territorio; sono pertanto applicate le limitazioni relative alla classe 3 di fattibilità geologica;*

*Entro le aree allagabili per la piena poco frequente (P2/M) sussistono moderate limitazioni alla modifica della destinazione d'uso del territorio; sono pertanto applicate le limitazioni relative alla classe di fattibilità geologica 2;*

*Entro le aree esondabili per la piena rara (P1/L) vigono le norme previste per la fascia C PAI.*

Di seguito viene presentato uno stralcio della carta di sintesi allegata allo studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario.



Ubicazione terreno in esame su carta di sintesi da P.G.T.

Dall'analisi della Carta di Fattibilità Geologica, il terreno in esame rientra all'interno di un'area classificata in parte come classe di fattibilità geologica 2b, area soggetta ad esondazioni lacuali scenario per piena poco frequente o rara; classe di fattibilità geologica 3a, generica; e classe di fattibilità geologica 3e, area soggetta ad esondazioni lacuali scenario per piena frequente.

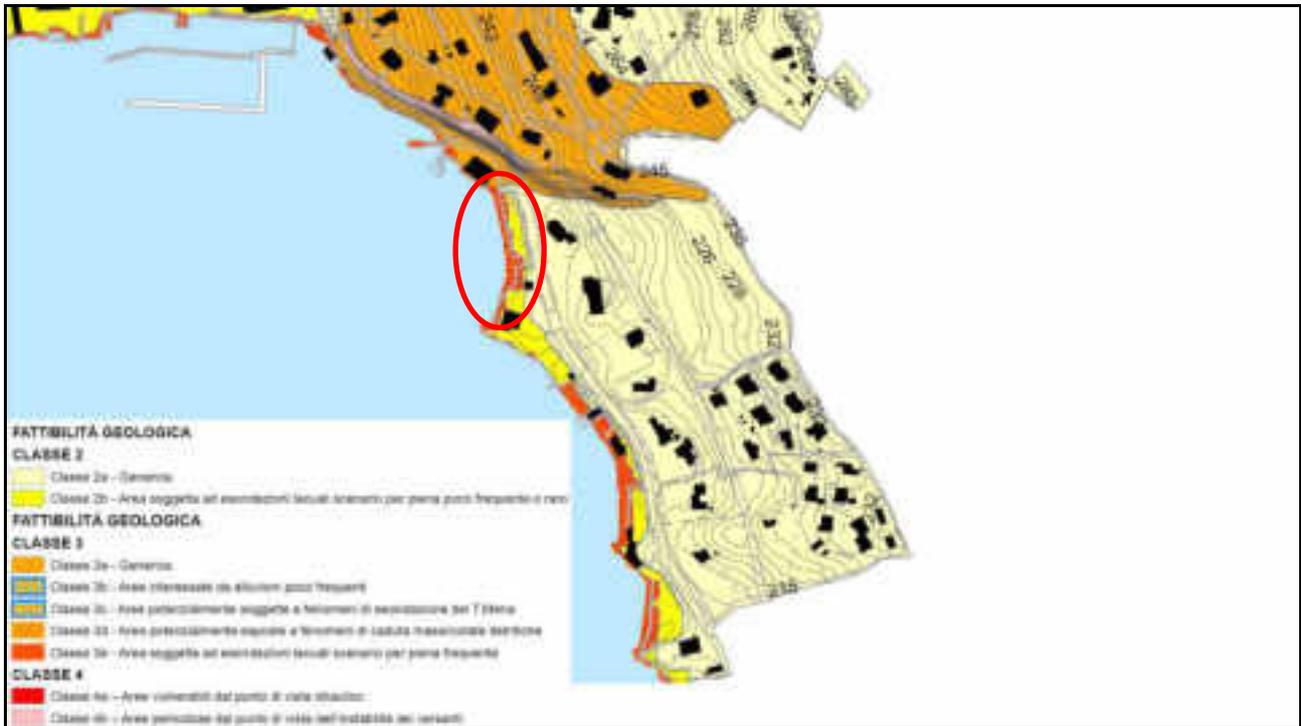
Secondo quanto riportato nelle Norme Geologiche allegate allo Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario:

*Per la Classe 2b oltre alle norme previste per la classe 2a si applicano le seguenti. Gli interventi ammessi sono subordinati alla realizzazione di uno studio di compatibilità idraulica, che l'Amministrazione comunale è tenuta ad acquisire in sede di rilascio del titolo edilizio, finalizzato a definire i limiti e gli accorgimenti da assumere per rendere l'intervento compatibile con le criticità rilevate, in base al livello di esposizione locale con specifico riferimento ai valori di quota della piena indicati dal PGRA per diversi scenari, così come riportati in allegato 4 alla d.g.r. n. X/6738 del giugno 2017. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell'area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero di sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza). I piani interrati e seminterrati dovranno essere dotati di sistemi di autoprotezione e idonei accorgimenti edilizi dimensionati sulla base degli esiti dello studio di compatibilità idraulica; ne è comunque vietato l'uso che preveda la presenza continuativa di persone. Si dovranno progettare e realizzare le trasformazioni consentite in modalità compatibili, senza danni significativi, con la sommersione periodica per più giorni consecutivi, e tenendo conto delle oscillazioni piezometriche tipiche di un territorio perilacuale. Progettare gli interventi in modo da favorire il deflusso/infiltrazione delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo ovvero che comportino l'aggravio delle condizioni di pericolosità/rischio per le aree circostanti. Dovrà essere garantita l'applicazione di misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare e non peggiorare la capacità ricettiva del sistema idrogeologico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio.*

La Classe 3a comprende le zone nelle quali si sono riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni, per l'entità e la natura delle condizioni di pericolosità nelle aree. Queste condizioni possono essere per lo più rimosse con interventi idonei alla eliminazione o minimizzazione del rischio, realizzabili nell'ambito del singolo lotto edificatorio o di un suo intorno significativo. Nel caso in esame sono state individuate una serie di aree che presentano problematiche geologiche variabili. Si tratta di fenomenologie più marcate e/o dirette che possono richiedere la necessità di realizzare opere di difesa. Fatte salve norme diverse e/o più restrittive derivanti dalla sovrapposizione di altri ambiti di pericolosità/vulnerabilità sono ammessi gli interventi di nuova costruzione così come definiti all'art. 3 comma 1, lettera e) del d.p.r. 380/01. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo e di ristrutturazione edilizia definiti dall'art. 3 comma 1 lettere a), b), c) e d) del D.P.R. 380/01 e s.m.i. Gli interventi ammessi devono essere subordinati all'esecuzione di uno studio geologico-geomorfologico di dettaglio, supportato da indagini geognostiche e/o geotecniche specifiche e puntuali, condotto in ottemperanza alle prescrizioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018, al fine di valutare il grado di pericolosità e conseguente rischio per le nuove edificazioni e verificare la stabilità dei versanti interessati dall'intervento progettuale e di un suo intorno significativo. Lo studio dovrà comprendere l'analisi degli scavi/sbancamenti relativamente alla stabilità a breve e lungo termine, con verifica delle possibili interazioni areali; valutazione degli effetti della proposta sulla sicurezza locale di eventuali strutture e infrastrutture pubbliche e private limitrofe. Si precisa che per ragioni puramente grafiche, lungo la linea di costa compresa tra l'abitato di Mandello del Lario e la loc. Olcio, è stata mantenuta la classe 3 in sovrapposizione alle fasce di esondazione lacuale riferite ai  $Tr=100$  e al massimo storico. Pertanto, previa verifica del tracciamento a scala locale dei limiti di esondazione (vedasi carta di sintesi), entro tali aree dovrà essere inoltre applicato quanto indicato nella classe 2b delle presenti norme.

Per la Classe 3e, fatte salve norme diverse e/o più restrittive derivanti dalla sovrapposizione di altri ambiti di pericolosità/vulnerabilità, sono ammessi gli interventi di nuova costruzione così come definiti all'art. 3 comma 1, lettera e) del d.p.r. 380/01. Piani interrati e seminterrati dovranno essere dotati di sistemi di autoprotezione e idonei accorgimenti edilizi dimensionati sulla base degli esiti dello studio di compatibilità idraulica; ne è comunque vietato l'uso che preveda la presenza continuativa di persone. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo e di ristrutturazione edilizia così come definiti all'art. 3 comma 1, lettere a), b), c), d) del d.p.r. 380/01. Entro le aree P3/H, oltre alle norme della classe 3a è necessario: subordinare gli eventuali interventi edilizi alla realizzazione di uno studio di compatibilità idraulica, che l'Amministrazione comunale è tenuta ad acquisire in sede di rilascio del titolo edilizio, finalizzato a definire i limiti e gli accorgimenti da assumere per rendere l'intervento compatibile con le criticità rilevate, in base al livello di esposizione locale con specifico riferimento ai valori di quota della piena indicati dal PGRA per diversi scenari, così come riportati in allegato 4 alla d.g.r. n. X/6738 del giugno 2017; garantire l'applicazione di misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare e non peggiorare la capacità ricettiva del sistema idrogeologico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio; vietare la realizzazione di piani interrati o seminterrati, non dotati di sistemi di autoprotezione e idonei accorgimenti edilizi. Nei piani interrati o seminterrati, dotati di sistemi di autoprotezione e idonei accorgimenti edilizi dimensionati sulla base degli esiti dello studio compatibilità idraulica, vietare un uso che preveda la presenza continuativa di persone; progettare e realizzare le trasformazioni consentite in modalità compatibili, senza danni significativi, con la sommersione periodica per più giorni consecutivi, e tenendo conto delle oscillazioni piezometriche tipiche di un territorio perilacuale; progettare gli interventi in modo da favorire il deflusso/infiltrazione delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo ovvero che comportino l'aggravio delle condizioni di pericolosità/rischio per le aree circostanti. Per tutti gli interventi consentiti sono subordinati alla all'esecuzione di uno studio geologico e geomorfologico di dettaglio, supportato da indagini geognostiche e/o geotecniche specifiche e puntuali, condotto in ottemperanza alle prescrizioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Di seguito viene presentato uno stralcio della carta della fattibilità geologica allegata allo studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del P.G.T. del comune di Mandello del Lario.



Ubicazione terreno in esame su carta della fattibilità geologica da P.G.T.

## 2.6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione del modello stratigrafico e geotecnico dei terreni presenti nell'area in esame sono stati utilizzati i dati raccolti dalle indagini geognostiche e sismiche eseguite dallo scrivente sul terreno d'interesse i giorni 23 e 24 settembre 2024. Le indagini hanno compreso:

- n. 5 prove penetrometriche SCPT;
- n. 2 prove penetrometriche DMP;
- n. 1 indagine sismica a rifrazione;
- n. 1 indagine sismica HVSR
- n. 1 rilievo geomeccanico di dettaglio del fronte roccioso.
- n. 7 rilievi batimetrici del fondale lacustre;

Per quanto riguarda l'ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche di riferimento, si rimanda alla tavola n. 1 (TAV01) allegata a fine testo.

### 2.6.1 Prove penetrometriche SCPT

Le prove penetrometriche SCPT (Standard Cone Penetration Test) permettono di ricavare i principali valori di resistenza meccanica del terreno alla penetrazione di una batteria di aste gradate alle quali è applicata una punta conica e che vengono infisse nel terreno attraverso un maglio battente.

Durante l'esecuzione delle prove si procede contando il numero di colpi (N30) di maglio necessario per ottenere l'infissione della punta conica per tratti di 30 cm ciascuno. Il numero di colpi (Nspt) permette di determinare i principali parametri geotecnici del terreno.

Le prove penetrometriche SCPT sono state eseguite mediante l'utilizzo di un penetrometro super-pesante dinamico della ditta PAGANI modello TG-63 200, con attrezzatura conforme alla normativa geotecnica vigente, le cui caratteristiche sono riassunte di seguito.

- Rif. Norme DIN 4094
- Peso Massa battente 72,5 Kg
- Altezza di caduta libera 0,75 m
- Peso sistema di battuta 6 Kg
- Diametro punta conica 50,46 mm
- Area di base punta 20 cm<sup>2</sup>
- Lunghezza delle aste 1 m
- Peso aste a metro 7 Kg/m
- Profondità giunzione prima asta 0,80 m
- Avanzamento punta 0,30 m
- Numero colpi per punta N30
- Coeff. Correlazione 1,15
- Rivestimento/fanghi No
- Angolo di apertura punta 60°

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche principali delle prove eseguite.

Prova n.	Quota p.c. (m s.l.m.)	Profondità (m da p.c.)	Rifiuto	Piezometro (m)	Misura falda (m da p.c.)
1	200,70	6,30	Sì	-	-
2	200,70	6,60	Sì	-	-
3	200,70	9,60	Sì	-	-
4	200,70	8,70	Sì	-	-
5	200,70	10,20	No	-	-

Le prove sono state eseguite sul terrazzamento prativo alla quota di 200,70 m s.l.m. delimitato dai muri di confine, che si trova a valle della SP72 (quota 203,10 m s.l.m.), e a monte del lago.

Le prove hanno dato un rifiuto alla penetrazione alla profondità di 6,30 – 9,60 m da p.c. attuale, ovvero si sono interrotte a seguito del raggiungimento di n. 100 colpi del maglio. Solo la prova n. 5 non ha riscontrato rifiuto alla penetrazione ed è stata protratta fino al raggiungimento della profondità di 10,20 m da p.c. attuale

In nessuna delle prove è stato installato un piezometro, tramite il quale è possibile eseguire una misurazione della profondità del livello della falda acquifera, in quanto il livello della falda corrisponde in questo caso al livello del lago (zero idrometrico pari a 197,83 m s.l.m.).

I risultati delle prove penetrometriche SCPT eseguite sono riportati nei diagrammi allegati a fine testo come allegato n.1a (All01a).

### 2.6.2 Prove penetrometriche DMP

Le prove penetrometriche DMP (Dynamic Medium Penetrometer) permettono di ricavare i principali valori di resistenza meccanica del terreno alla penetrazione di una batteria di aste gradate alle quali è applicata una punta conica e che vengono infisse nel terreno attraverso un maglio battente.

Durante l'esecuzione delle prove si procede contando il numero di colpi (N10) di maglio necessario per ottenere l'infissione della punta conica per tratti di 10 cm ciascuno. Il numero di colpi (Nspt) permette di determinare i principali parametri geotecnici del terreno.

Le prove penetrometriche DMP sono state eseguite mediante l'utilizzo di un penetrometro medio dinamico della ditta PAGANI modello 3020, con attrezzatura conforme alla normativa geotecnica vigente, le cui caratteristiche sono riassunte di seguito.

- Rif. Norme DIN 4094
- Peso Massa battente 30 Kg
- Altezza di caduta libera 0,20 m
- Peso sistema di battuta 15,25 Kg
- Diametro punta conica 35,68 mm
- Area di base punta 10 cm<sup>2</sup>
- Lunghezza delle aste 1 m
- Peso aste a metro 2,4 Kg/m
- Profondità giunzione prima asta 0,80 m
- Avanzamento punta 0,10 m
- Numero colpi per punta N10
- Coeff. Correlazione 0,783
- Rivestimento/fanghi No
- Angolo di apertura punta 60°

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche principali delle prove eseguite.

Prova n.	Quota p.c. (m s.l.m.)	Profondità (m da p.c.)	Rifiuto	Piezometro (m)	Misura falda (m da p.c.)
1	198,0	5,0	Sì	-	-
2	198,0	4,40	Sì	-	-

Le prove sono state eseguite sulla spiaggia alla quota di 198 m s.l.m. a limite con la sponda del lago, a valle del terrazzamento prativo (quota 200,70 m s.l.m.) delimitato dai muri di confine.

Le prove eseguite hanno dato un rifiuto alla penetrazione alla profondità di 4,40 – 5,0 m da p.c. attuale, ovvero si sono interrotte a seguito del raggiungimento di n. 100 colpi del maglio.

In nessuna delle prove è stato installato un piezometro, tramite il quale è possibile eseguire una misurazione della profondità del livello della falda acquifera, in quanto il livello della falda corrisponde in questo caso al livello del lago (zero idrometrico pari a 197,83 m s.l.m.).

I risultati delle prove penetrometriche DPM eseguite sono riportati nei diagrammi allegati a fine testo come allegato n.2b (All02b).

### **2.6.3 Indagine sismica a rifrazione**

La sismica a rifrazione è un metodo di indagine geofisico che consente l'individuazione delle variazioni di velocità delle onde sismiche nel sottosuolo in funzione delle caratteristiche fisiche dei materiali attraversati e la conseguente determinazione di unità sismo stratigrafiche. Tale metodo consiste nel disporre, lungo una linea, una serie di geofoni che registrino le perturbazioni (onde sismiche) indotte nel terreno da una sorgente energizzante artificiale ubicata in posizione nota. Leggendo i tempi dei primi arrivi delle onde sismiche ai geofoni, si costruiscono i diagrammi delle dromocrone, i quali permettono di individuare le variazioni verticali di velocità e le velocità reali dei diversi sismostrati al di sotto dello stendimento di geofoni.

La successiva elaborazione tomografica prevede di stimare la distribuzione delle velocità delle onde sismiche nel terreno tramite un processo matematico di regressione che utilizza algoritmi di calcolo che tendono a minimizzare le differenze tra il modello elaborato e i dati di partenza (misure dei primi arrivi). La tomografia sismica consente di raggiungere una migliore definizione della distribuzione delle velocità e risulta indicata in aree a elevata acclività o con morfologie sepolte irregolari o allo scopo di raggiungere una maggior definizione dell'andamento dei rifrattori.

La registrazione sismica a onde P rifratte ed elaborazione topografica ha come obiettivo di determinare le caratteristiche sismo stratigrafiche dei terreni investigati. In particolare l'obiettivo è stato quello di definire l'andamento degli orizzonti profondi, e permettere di valutare la velocità sismica degli orizzonti individuati.

È stato eseguito n. 1 stendimento sismico sul terrazzamento alla quota di 200,70 m s.l.m. per cui sono stati usati 12 geofoni (g1-g12), per una lunghezza totale dello stendimento pari a 45 m (spaziatura inter-geofonica di 3 m). Tale distanza inter-geofonica ha consentito di ottenere una buona risoluzione orizzontale e verticale. Lungo la linea sismica il terreno è stato energizzato in punti ben precisi allo scopo di acquisire un numero di sismogrammi tali da consentire un'analisi tomografica ottimale. Sono state eseguite energizzazioni (tiri) in 7 punti, disposti come segue:

- n. 2 tiri simmetrici (end-shots) esterni o a distanza di 6 m dal geofono n. 1 e n. 12;
- n. 5 tiri interni allo stendimento con spaziatura regolare.

Dall'analisi dei segnali sismici è stata riscontrata una discreta risposta dei terreni investigati; la qualità dei sismogrammi ottenuti ha così consentito di definire le caratteristiche sismo stratigrafiche lungo le sezioni investigate. I sismogrammi ottenuti sono risultati di qualità da discreta a buona, con poco rumore. Il modello finale è risultato compatibile con le indicazioni stratigrafiche riscontrate in campo e rilevate dalle altre indagini effettuate. Nella tabella seguente sono riassunti i risultati ottenuti dall'elaborazione tomografica.

Unità sismo-stratigrafica	Profondità (m da p.c.)	Velocità onde sismiche P (km/s)
Aerato / Riporti	0 – 1,20 / 1,60	0 – 0,50
Terreni poco addensati	1,20 / 1,60 – 4,0 / 5,60	0,50 – 1,40
Terreni compatti	4,0 / 5,60 – 5,60 / 8,80	1,40 – 2,30
Probabile Bedrock fratturato	5,60 / 8,80 – 12,0	2,30 – 4,0

È importante ricordare che il passaggio da un'unità sismica all'altra ha un significato principalmente geofisico, essendo il passaggio stesso una superficie separante zone caratterizzate da diverse velocità di propagazione dell'impulso sismico.

I risultati delle prove sismiche a rifrazione considerate sono riportati nei diagrammi allegati a fine testo come allegato n.2a (All02a).

#### **2.6.4 Indagine sismica HVSR**

L'indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) serve per determinare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, e quindi:

- il tipo di suolo sismico (A, B, C, D, E);
- le azioni sismiche con cui progettare e verificare le opere di Ingegneria Civile;
- il modulo di rigidezza del terreno G.

Grazie alla registrazione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs è possibile individuare il tipo di suolo sismico; a differenza della sismica a rifrazione, si usano in qualunque situazione stratigrafica pseudo-orizzontale, anche in presenza di falda.

L'indagine sismica è stata eseguita sul terrazzamento alla quota di 200,70 m s.l.m. per mezzo della strumentazione di seguito elencata:

- acquisitore digitale multi – canale (sismografo);
- ricevitore capaci di misurare il campo di moto nella direzione verticale (geofono triassiale);

L'elaborazione dei dati raccolti ha permesso di ricavare una buona curva, che dopo la pulizia dei transienti presenta un picco ampio a media frequenza (7,70 Hz) compatibile con il contrasto d'impedenza offerto dal top del probabile bedrock tenero posto a circa 7,50 m da p.c. attuale. È stato calcolato un valore di velocità delle onde sismiche S equivalente pari a  $V_S \text{ Eq.} = 372 \text{ m/s}$ . Nella tabella seguente sono riassunti i risultati ottenuti dall'elaborazione della sismica passiva.

Da Profondità (m da p.c.)	a Profondità (m da p.c.)	Vs (m/s)	Hi/Vi (s)	VsX (m/s)	G (N/mq)
0,0	0,70	105	0,0065	105	18
0,70	4,60	201	0,0194	177	69
4,60	7,60	280	0,0107	207	139
7,60	14,50	439	0,0156	277	374
14,50	22,80	524	0,0158	334	556
22,80	28,30	556	0,0101	363	635
28,30	36,50	688	0,0118	405	1036

I risultati dell'indagine sismica HVSR effettuata sono riportati nei grafici allegati a fine testo come allegato n.2b (All02b).

### **2.6.5 Rilievo geomeccanico di dettaglio**

Il rilievo geomeccanico di dettaglio (RGM) è finalizzato a definire i parametri geomeccanici in relazione alle caratteristiche geometriche, litologiche, di fratturazione, e di risposta alla percussione (prove sclerometriche); quindi classificando la roccia in posto in termini di qualità.

Le classificazioni di Beniauskis e Romana (la seconda è derivata dalla prima, che risultava troppo "conservativa") consentono di soddisfare i quesiti richiesti e le problematiche che si presentano. La classificazione di Beniauskis si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri:

- A1 = Resistenza a compressione uniassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = Spaziatura delle discontinuità;
- A4 = Condizioni delle discontinuità;
- A5 = Condizioni idrauliche;
- A6 = Orientamento delle discontinuità.

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

I risultati del rilievo geomeccanico di dettaglio effettuato sono riportati a fine testo come allegato n.3 (All03).

### **2.6.6 Rilievi batimetrici**

La batimetria è una disciplina della oceanografia e della geodesia che si occupa della misura delle profondità e della rappresentazione cartografica dei fondali. I rilievi batimetrici vengono effettuati quindi per la conoscenza dell'andamento morfologico del fondale marino, fluviale e lacustre. Sono necessari alla progettazione ed al monitoraggio delle opere marittime, fluviali e lacustri, oltre che nei dragaggi e ripascimenti e negli studi per l'erosione delle coste.

Per una maggiore e più dettagliata conoscenza dell'andamento dei terreni e del substrato roccioso oltre la linea di costa sono state eseguite n. 7 sezioni di rilievo batimetrico.

I rilievi effettuati a supporto dell'intervento in oggetto sono stati eseguiti tramite imbarcazione e strumentazione analogica (metro e filo a piombo) che ha permesso la misura della distanza orizzontale parallelamente al profilo d'acqua e la misura verticale dalla superficie dell'acqua in profondità fino al fondale.

I risultati dei rilievi batimetrici effettuati sono riportati nelle tavole allegate a fine testo come tavola n.2a e tavola n. 3b (TAV03a e TAV03b).

### 2.6.7 Modello stratigrafico

La natura dei terreni è stata dedotta durante lo svolgimento delle prove penetrometriche SCPT e DMP dal numero di colpi necessari per l'avanzamento della punta conica e dall'osservazione durante la fase di recupero dei residui litologici sulle aste. Lo stato di addensamento è stato misurato direttamente, rilevando la resistenza all'avanzamento della punta nel terreno.

Nelle tabelle seguente vengono rappresentati gli orizzonti individuati e le caratteristiche ad essi associati considerando i valori medi. Sono stati distinti due differenti modelli stratigrafici, basati sulle prove penetrometriche corrispondenti.

PROVE SCPT TERRAZZAMENTO 200,70 m s.l.m.			
Orizzonte	Nspt	Profondità (m da p.c.)	Grado di addensamento
A	2 – 9	0 – 4,50 / 6,60	Da sciolto a poco denso
B	16 – 19	4,50 / 6,60 – 6,60 / 10,20	Mediamente addensato
C	> 50	> 6,60 / 10,20	Molto addensato

Dove:

- Numero di colpi prova penetrometrica (Nspt).

PROVE DMP SPIAGGIA 198,0 m s.l.m.			
Orizzonte	Nspt	Profondità (m da p.c.)	Grado di addensamento
A	5 – 24	0 – 0,80 / 1,0	Da poco denso a mediamente addensato
B	17 – 27	1,0 – 4,40 / 5,0	Mediamente addensato
C	> 50	> 4,40 / 5,0	Molto addensato

Dove:

- Numero di colpi prova penetrometrica (Nspt).

## 2.6.8 Caratteristiche geotecniche terreni di fondazione

Le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione sono state determinate attraverso le correlazioni formulate dai diversi Autori (Skempton, Meyerhof, Schmertmann, Menzenbach & Malcev, e Terzaghi-Peck.), a partire dai valori di resistenza di punta registrati attraverso le prove Scpt, riferite a terreni a comportamento granulare.

La tabella a seguire riassume le principali caratteristiche geotecniche individuate, con riferimento agli orizzonti stratigrafici descritti nel precedente paragrafo.

PROVE SCPT TERRAZZAMENTO 200,70 m s.l.m.						
Orizzonte	$\Phi$ (°)	E (kg/cm <sup>q</sup> )	Ed (kg/cm <sup>q</sup> )	Yn (t/mc)	Ysat (t/mc)	V (n)
A	24 – 28	15 – 70	14 – 62	1,37 – 1,46	1,85 – 1,91	0,35 – 0,34
B	31 – 33	123 – 170	109 – 150	1,54 – 1,61	1,96 – 2,0	0,32 – 0,31
C	> 35	> 520	> 461	> 1,93	> 2,20	< 0,22

Dove:

- angolo di attrito ( $\phi$ );
- modulo elastico (E);
- modulo edometrico (Ed);
- peso naturale del terreno (Yt);
- peso del terreno saturo (Ysat);
- coefficiente di Poisson ( $\nu$ ).

PROVE DMP SPIAGGIA 198,0 m s.l.m.						
Orizzonte	$\Phi$ (°)	E (kg/cm <sup>q</sup> )	Ed (kg/cm <sup>q</sup> )	Yn (t/mc)	Ysat (t/mc)	V (n)
A	27 – 32	44 – 155	40 – 138	1,42 – 1,59	1,88 – 1,99	0,34 – 0,32
B	31 – 33	128 – 168	114 – 149	1,55 – 1,61	1,97 – 2,0	0,32 – 0,31
C	> 37	> 373	> 331	> 1,83	> 2,14	< 0,26

Dove:

- angolo di attrito ( $\phi$ );
- modulo elastico (E);
- modulo edometrico (Ed);
- peso naturale del terreno (Yt);
- peso del terreno saturo (Ysat);
- coefficiente di Poisson ( $\nu$ ).

La sezione stratigrafica interpretativa è riportata alla tavola n. 2 (TAV02) allegata a fine testo.

### **3. RELAZIONE GEOTECNICA**

Nella presente relazione geotecnica vengono sintetizzate le procedure e i risultati dei calcoli geotecnici allo stato di progetto, riguardo alle portate e cedimenti delle fondazioni.

#### **3.1 CAPACITÀ PORTANTE E CEDIMENTI TERRENI DI FONDAZIONE**

Le resistenze di progetto ottenute secondo i vari approcci e combinazioni di calcolo comprendono la correzione sismica allo S.L.V. secondo i parametri sismici determinati nella relazione geologica per il suolo di categoria D, ed una categoria topografica T1. Non essendo noti i carichi d'esercizio si restituisce il solo valore della resistenza di progetto (Rd), rimandando allo Strutturista la verifica definitiva alle N.T.C. 2018.

È stato utilizzato il codice di calcolo "MP" della Geostru, con restituzione delle resistenze di progetto secondo diversi autori e secondo l'approccio 2, A1+M1+R3 (N.T.C. 2018), sia in condizioni statiche che pseudo – statiche, e applicando la correzione sismica secondo i parametri sismici locali trovati per l'area di progetto. La seconda combinazione (A1+M1+R3+Sisma), è da utilizzare e ritenere valida, solo se la pressione di progetto fornita dallo strutturista non consideri già la correzione sismica, in caso contrario è possibile fare riferimento alla sola combinazione A1+M1+R3.

##### **3.1.1 Modello di calcolo**

Il modello stratigrafico – geotecnico di riferimento per i calcoli è basato su quanto riportato al paragrafo precedente, considerando a livello cautelativo i valori minimi e solamente i livelli stratigrafici continui.

Allo stato di fatto l'area dove è previsto l'intervento è composta da un terrazzamento che si sviluppa alla quota di 200,70 m s.l.m., delimitato a monte da un muro di confine con la strada provinciale n. 72 che si sviluppa alla quota 203,10 m s.l.m., e a valle da un muro di confine con la spiaggia che da sul lago il quale ha lo zero idrometrico alla quota di 197,83 m s.l.m., e piena massima prevista che raggiunge la quota di 200,10 m s.l.m.

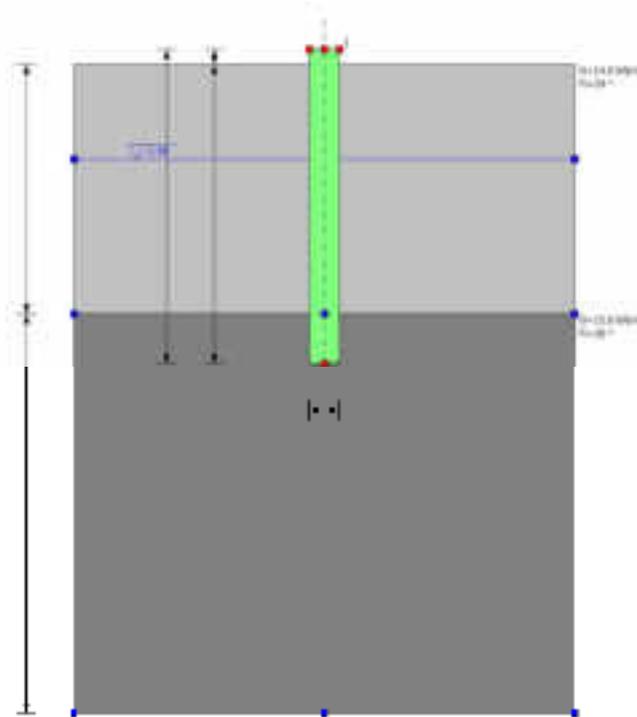
Il progetto prevede la realizzazione di una struttura composta da un livello impostato sul terrazzamento ma con piano terra alla quota di 200,30 m s.l.m. (quindi 0,40 m più basso del livello del p.c. attuale), il quale prosegue poi con una balconata per 4,30 m oltre il muro attuale di confine con la spiaggia che da sul lago. Al tetto di questo livello base è prevista la realizzazione di un parcheggio alla quota di 203,80 m s.l.m. La struttura così descritta sarà sorretta da circa 20 – 25 pilastri strutturali con passi circa pari a 5 m, i quali andranno a posarsi su fondazioni dirette tipo plinti, collegati tra loro da un reticolo di travi, con i plinti che andranno a loro volta sorretti da fondazioni profonde tipo pali.

I pilastri strutturali andranno quindi per la maggior parte a posizionarsi sul terrazzamento esistente, con quota piano di posa delle fondazioni a circa 199,70 m s.l.m.; mentre i pali dei pilastri delle strutture a sbalzo verso il lago andranno a posizionarsi sulla spiaggia, con quota piano di posa delle fondazioni a circa 198,0 m s.l.m.

Di seguito si riporta il report di calcolo di portate e cedimenti delle fondazioni considerate, ovvero:

- Fondazioni profonde tipo pali trivellati diametro 0,60 m lunghezza 6 – 12 m con testa posta alla quota di 199,70 m s.l.m. (struttura principale)
- Fondazioni profonde tipo pali trivellati diametro 0,60 m lunghezza 6 – 12 m con testa posta alla quota di 198,0 m s.l.m. (terrazza sul lago)

### 3.1.2 Pali $d = 0,60\text{ m}$ $l = 6\text{ m}$ $q = 199,70\text{ m s.l.m.}$



Modello geotecnico

#### Dati generali

Diametro punta	0.60 m
Lunghezza	6.00 m
Tipo	Trivellato
Sporgenza dal terreno	0.30 m
Portanza di punta calcolata con:	Berezantzev
Profondità falda da piano campagna	1.90 m
Calcestruzzo tipo	1
Acciaio tipo	1

#### SISMA

Accelerazione sismica	0.083
Coefficiente di intensità sismico [Kh]	0.0166
Coefficiente di intensità sismico [Kv]	0.0083

#### Conglomerati

Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [MPa]	Ec [MPa]	fck [MPa]	fcd [MPa]	fctd [MPa]	fctm [MPa]
1	C20/25	25	29960	20	11.33	1.01	2.21
2	C25/30	30	31475	25	14.16	1.14	2.56
3	C28/35	35	32308	28	15.86	1.26	2.76
4	C40/50	50	35220	40	22.66	1.63	3.5

### Acciai

Nr.	Classe Acciaio	Es [MPa]	fyk [MPa]	fyd [MPa]	ftk [MPa]	ftd [MPa]	ep_tk	epd_ult	$\beta_1 \cdot \beta_2$ in.	$\beta_1 \cdot \beta_2$ fin.
1	B450C	200000	450	391.3	450	391.3	.075	.0675	1	.5
2	B450C*	200000	450	391.3	540	450	.05	.04	1	.5
3	S235H	210000	235	204.35	360	204.35	.05	.04	1	.5
4	S275H	210000	275	239.13	430	239.13	.05	.04	1	.5
5	S355H	210000	355	308.7	510	308.7	.05	.04	1	.5

### Stratigrafia

Nr.	Hs	Peso Unità di Volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso Unità di volume Saturato [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	Fi (°)	Roccia	RQD (%)	Punta Palo [MN/m <sup>2</sup> ]	Attrito negativo	$\alpha$	Modulo elastico [MN/m <sup>2</sup> ]	Vs [m/s]	Descrizione litologica
1	5.00	14.00	16.00	0.00	24.00	No	0.00	0.00	No	0.00	1.50	0	A
2	8.00	15.00	17.00	0.00	31.00	No	0.00	0.00	No	0.00	12.00	0	B

### Carico limite

Stratigrafia	Nq	Nc	Punta Palo	Peso palo [kN]	Carico limite punta [kN]	Carico limite laterale [kN]	Carico limite [kN]	Attrito negativo [kN]	Carico limite orizzontale [kN]
A1+M1+R3	38.66	60.86	$\phi=31.75/c=0.00$	42.41	579.24	93.41	630.24	--	--

### RESISTENZA DI PROGETTO CARICHI ASSIALI

Resistenza caratteristica carichi assiali. Nome combinazione: A1+M1+R3  
 Numero verticali di indagine: 1  
 Fattore correlazione verticale indagate media ( $\xi_3$ ): 1.50  
 Fattore correlazione verticale indagate minima ( $\xi_4$ ): 1.34

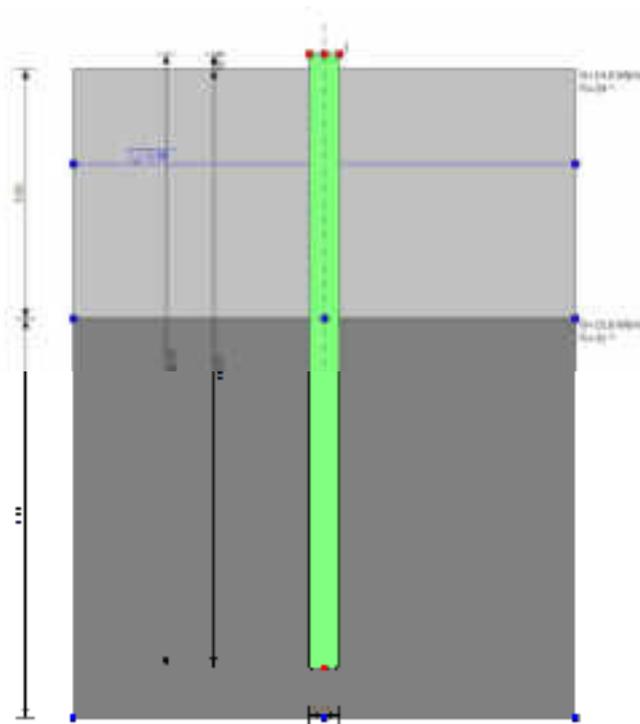
	Rc, Min [kN]	Rc, Media [kN]	Rc, Max [kN]
Base	579.24	579.24	579.24
Laterale	93.41	93.41	93.41
Totale	630.24	630.24	630.24

Coefficiente parziale resistenza caratteristica R3  
 Base 1.35  
 Laterale 1.15  
 Resistenza di progetto base 286.04 kN  
 Resistenza di progetto laterale 54.15 kN  
 Resistenza di progetto 297.79 kN

### Cedimento (Fleming 1992)

Lunghezza 6.0 m  
 Diametro testa 0.60 m  
 Diametro punta 0.60 m  
 Tratto attrito laterale nullo 0.00 m  
 Modulo elastico sezione 3.00E+07 kN/mq  
 Punto di applicazione risultante resistenza attiva 0.45  
 Fattore flessibilità terreno/palo 1.00E-03  
 Carico applicato 105.00 kN  
 Carico limite laterale 73.04 kN  
 Carico limite di punta 430.61 kN  
 Modulo elastico terreno corrispondente 1.50E+03 kN/mq  
 Accorciamento elastico 0.05 mm  
 Cedimento rigido 24.39 mm  
 Cedimento totale 24.43 mm

### 3.1.3 Pali $d = 0,60 \text{ m}$ $l = 12 \text{ m}$ $q = 199,70 \text{ m s.l.m.}$



Modello geotecnico

#### Dati generali

Diametro punta	0.60 m
Lunghezza	12.00 m
Tipo	Trivellato
Sporgenza dal terreno	0.30 m
Portanza di punta calcolata con:	Berezantzev
Profondità falda da piano campagna	1.90 m
Calcestruzzo tipo	1
Acciaio tipo	1

#### SISMA

Accelerazione sismica	0.083
Coefficiente di intensità sismico [Kh]	0.0166
Coefficiente di intensità sismico [Kv]	0.0083

#### Conglomerati

Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [MPa]	Ec [MPa]	fck [MPa]	fcd [MPa]	fctd [MPa]	fctm [MPa]
1	C20/25	25	29960	20	11.33	1.01	2.21
2	C25/30	30	31475	25	14.16	1.14	2.56
3	C28/35	35	32308	28	15.86	1.26	2.76
4	C40/50	50	35220	40	22.66	1.63	3.5

#### Acciai

Nr.	Classe Acciaio	Es [MPa]	fyk [MPa]	fyd [MPa]	ftk [MPa]	ftd [MPa]	ep_tk	epd_ult	$\beta_1 \cdot \beta_2$ in.	$\beta_1 \cdot \beta_2$ fin.
1	B450C	200000	450	391.3	450	391.3	.075	.0675	1	.5
2	B450C*	200000	450	391.3	540	450	.05	.04	1	.5
3	S235H	210000	235	204.35	360	204.35	.05	.04	1	.5
4	S275H	210000	275	239.13	430	239.13	.05	.04	1	.5
5	S355H	210000	355	308.7	510	308.7	.05	.04	1	.5

### Stratigrafia

Nr.	Hs	Peso unità di Volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso Unità di volume Saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	Fi (°)	Roccia	RQD (%)	Punta Palo [MN/m <sup>2</sup> ]	Attrito negativo	$\alpha$	Modulo elastico [MN/m <sup>2</sup> ]	Vs [m/s]	Descrizione litologica
1	5.00	14.00	16.00	0.00	24.00	No	0.00	0.00	No	0.00	1.50	0	A
2	8.00	15.00	17.00	0.00	31.00	No	0.00	0.00	No	0.00	12.00	0	B

### Carico limite

Stratigrafia	Nq	Nc	Punta Palo	Peso palo [kN]	Carico limite punta [kN]	Carico limite laterale [kN]	Carico limite [kN]	Attrito negativo [kN]	Carico limite orizzontale [kN]
A1+M1+R3	34.21	53.67	$\phi=31.75/c=0.00$	84.82	930.13	354.36	1199.67	--	--

### RESISTENZA DI PROGETTO CARICHI ASSIALI

Resistenza caratteristica carichi assiali. Nome combinazione: A1+M1+R3  
 Numero verticali di indagine: 1  
 Fattore correlazione verticale indagate media ( $\xi_3$ ): 1.50  
 Fattore correlazione verticale indagate minima ( $\xi_4$ ): 1.34

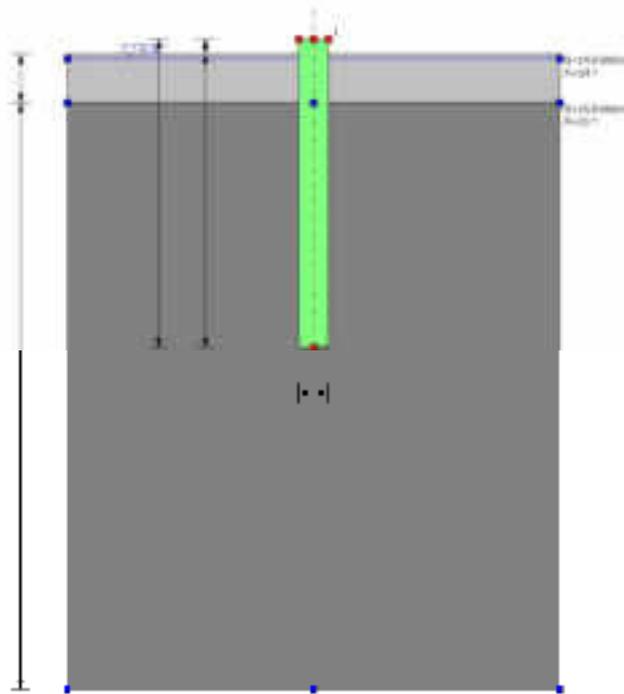
	Rc, Min [kN]	Rc, Media [kN]	Rc, Max [kN]
Base	930.13	930.13	930.13
Laterale	354.36	354.36	354.36
Totale	1199.67	1199.67	1199.67

Coefficiente parziale resistenza caratteristica R3  
 Base: 1.35  
 Laterale: 1.15  
 Resistenza di progetto base: 459.33 kN  
 Resistenza di progetto laterale: 205.43 kN  
 Resistenza di progetto: 579.93 kN

### Cedimento (Fleming 1992)

Lunghezza: 12.00 m  
 Diametro testa: 0.60 m  
 Diametro punta: 0.60 m  
 Tratto attrito laterale nullo: 0.00 m  
 Modulo elastico sezione: 3.00E+07 kN/mq  
 Punto di applicazione risultante resistenza attiva: 0.45  
 Fattore flessibilità terreno/palo: 1.00E-03  
 Carico applicato: 105.00 kN  
 Carico limite laterale: 73.04 kN  
 Carico limite di punta: 430.61 kN  
 Modulo elastico terreno corrispondente: 1.50E+03 kN/mq  
 Accorciamento elastico: 0.09 mm  
 Cedimento rigido: 24.39 mm  
 Cedimento totale: 24.48 mm

### 3.1.4 Pali $d = 0,60\text{ m}$ $l = 6\text{ m}$ $q = 198,0\text{ m s.l.m.}$



Modello geotecnico

#### Dati generali

Diametro punta	0.60 m
Lunghezza	6.00 m
Tipo	Trivellato
Sporgenza dal terreno	0.30 m
Portanza di punta calcolata con:	Berezantzev
Profondità falda da piano campagna	0.10 m
Calcestruzzo tipo	1
Acciaio tipo	1

#### SISMA

Accelerazione sismica	0.083
Coefficiente di intensità sismico [Kh]	0.0166
Coefficiente di intensità sismico [Kv]	0.0083

#### Conglomerati

Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [MPa]	Ec [MPa]	fck [MPa]	fcd [MPa]	fctd [MPa]	fctm [MPa]
1	C20/25	25	29960	20	11.33	1.01	2.21
2	C25/30	30	31475	25	14.16	1.14	2.56
3	C28/35	35	32308	28	15.86	1.26	2.76
4	C40/50	50	35220	40	22.66	1.63	3.5

#### Acciai

Nr.	Classe Acciaio	Es [MPa]	fyk [MPa]	fyd [MPa]	ftk [MPa]	ftd [MPa]	ep_tk	epd_ult	$\beta_1 \cdot \beta_2$ in.	$\beta_1 \cdot \beta_2$ fin.
1	B450C	200000	450	391.3	450	391.3	.075	.0675	1	.5
2	B450C*	200000	450	391.3	540	450	.05	.04	1	.5
3	S235H	210000	235	204.35	360	204.35	.05	.04	1	.5
4	S275H	210000	275	239.13	430	239.13	.05	.04	1	.5
5	S355H	210000	355	308.7	510	308.7	.05	.04	1	.5

### Stratigrafia

Nr.	Hs	Peso unità di Volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso Unità di volume Saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	Fi (°)	Roccia	RQD (%)	Punta Palo [MN/m <sup>2</sup> ]	Attrito negativo	$\alpha$	Modulo elastico [MN/m <sup>2</sup> ]	Vs [m/s]	Descrizione litologica
1	1.00	14.00	16.00	0.00	24.00	No	0.00	0.00	No	0.00	1.50	0	A
2	12.00	15.00	17.00	0.00	31.00	No	0.00	0.00	No	0.00	12.00	0	B

### Carico limite

Stratigrafia	Nq	Nc	Punta Palo	Peso palo [kN]	Carico limite punta [kN]	Carico limite laterale [kN]	Carico limite [kN]	Attrito negativo [kN]	Carico limite orizzontale [kN]
A1+M1+R3	38.66	60.86	$\phi=31.75/c=0.00$	42.41	469.36	74.58	501.53	--	--

### RESISTENZA DI PROGETTO CARICHI ASSIALI

Resistenza caratteristica carichi assiali. Nome combinazione: A1+M1+R3  
 Numero verticali di indagine: 1  
 Fattore correlazione verticale indagate media ( $\xi_3$ ): 1.50  
 Fattore correlazione verticale indagate minima ( $\xi_4$ ): 1.34

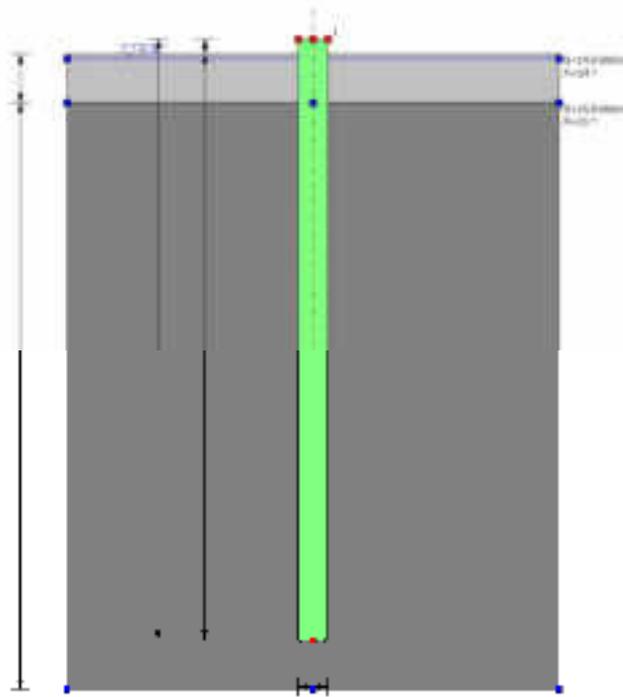
	Rc, Min [kN]	Rc, Media [kN]	Rc, Max [kN]
Base	469.36	469.36	469.36
Laterale	74.58	74.58	74.58
Totale	501.53	501.53	501.53

Coefficiente parziale resistenza caratteristica R3  
 Base: 1.35  
 Laterale: 1.15  
 Resistenza di progetto base: 231.78 kN  
 Resistenza di progetto laterale: 43.23 kN  
 Resistenza di progetto: 232.61 kN

### Cedimento (Fleming 1992)

Lunghezza: 6.00 m  
 Diametro testa: 0.60 m  
 Diametro punta: 0.60 m  
 Tratto attrito laterale nullo: 0.00 m  
 Modulo elastico sezione: 3.00E+07 kN/mq  
 Punto di applicazione risultante resistenza attiva: 0.45  
 Fattore flessibilità terreno/palo: 1.00E-03  
 Carico applicato: 105.00 kN  
 Carico limite laterale: 73.04 kN  
 Carico limite di punta: 430.61 kN  
 Modulo elastico terreno corrispondente: 1.50E+03 kN/mq  
 Accorciamento elastico: 0.05 mm  
 Cedimento rigido: 24.39 mm  
 Cedimento totale: 24.43 mm

### 3.1.5 Pali $d = 0,60 \text{ m}$ $l = 12 \text{ m}$ $q = 198,0 \text{ m s.l.m.}$



Modello geotecnico

#### Dati generali

Diametro punta	0.60 m
Lunghezza	12.00 m
Tipo	Trivellato
Sporgenza dal terreno	0.30 m
Portanza di punta calcolata con:	Berezantzev
Profondità falda da piano campagna	0.10 m
Calcestruzzo tipo	1
Acciaio tipo	1

#### SISMA

Accelerazione sismica	0.083
Coefficiente di intensità sismico [Kh]	0.0166
Coefficiente di intensità sismico [Kv]	0.0083

#### Conglomerati

Nr.	Classe Calcestruzzo	fck,cubi [MPa]	Ec [MPa]	fck [MPa]	fcd [MPa]	fctd [MPa]	fctm [MPa]
1	C20/25	25	29960	20	11.33	1.01	2.21
2	C25/30	30	31475	25	14.16	1.14	2.56
3	C28/35	35	32308	28	15.86	1.26	2.76
4	C40/50	50	35220	40	22.66	1.63	3.5

#### Acciai

Nr.	Classe Acciaio	Es [MPa]	fyk [MPa]	fyd [MPa]	ftk [MPa]	ftd [MPa]	ep_tk	epd_ult	$\beta_1 \cdot \beta_2$ in.	$\beta_1 \cdot \beta_2$ fin.
1	B450C	200000	450	391.3	450	391.3	.075	.0675	1	.5
2	B450C*	200000	450	391.3	540	450	.05	.04	1	.5
3	S235H	210000	235	204.35	360	204.35	.05	.04	1	.5
4	S275H	210000	275	239.13	430	239.13	.05	.04	1	.5
5	S355H	210000	355	308.7	510	308.7	.05	.04	1	.5

### Stratigrafia

Nr.	Hs	Peso unità di Volume [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso Unità di volume Saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	Fi (°)	Roccia	RQD (%)	Punta Palo [MN/m <sup>2</sup> ]	Attrito negativo	$\alpha$	Modulo elastico [MN/m <sup>2</sup> ]	Vs [m/s]	Descrizione litologica
1	1.00	14.00	16.00	0.00	24.00	No	0.00	0.00	No	0.00	1.50	0	A
2	12.00	15.00	17.00	0.00	31.00	No	0.00	0.00	No	0.00	12.00	0	B

### Carico limite

Stratigrafia	Nq	Nc	Punta Palo	Peso palo [kN]	Carico limite punta [kN]	Carico limite laterale [kN]	Carico limite [kN]	Attrito negativo [kN]	Carico limite orizzontale [kN]
A1+M1+R3	34.21	53.67	$\phi=31.75/c=0.00$	84.82	832.89	300.35	1048.42	--	--

### RESISTENZA DI PROGETTO CARICHI ASSIALI

Resistenza caratteristica carichi assiali. Nome combinazione: A1+M1+R3  
 Numero verticali di indagine: 1  
 Fattore correlazione verticale indagate media ( $\xi_3$ ): 1.50  
 Fattore correlazione verticale indagate minima ( $\xi_4$ ): 1.34

	Rc, Min [kN]	Rc, Media [kN]	Rc, Max [kN]
Base	832.89	832.89	832.89
Laterale	300.35	300.35	300.35
Totale	1048.42	1048.42	1048.42

Coefficiente parziale resistenza caratteristica R3  
 Base: 1.35  
 Laterale: 1.15  
 Resistenza di progetto base: 411.30 kN  
 Resistenza di progetto laterale: 174.12 kN  
 Resistenza di progetto: 500.60 kN

### Cedimento (Fleming 1992)

Lunghezza: 12.00 m  
 Diametro testa: 0.60 m  
 Diametro punta: 0.60 m  
 Tratto attrito laterale nullo: 0.00 m  
 Modulo elastico sezione: 3.00E+07 kN/mq  
 Punto di applicazione risultante resistenza attiva: 0.45  
 Fattore flessibilità terreno/palo: 1.00E-03  
 Carico applicato: 105.00 kN  
 Carico limite laterale: 73.04 kN  
 Carico limite di punta: 430.61 kN  
 Modulo elastico terreno corrispondente: 1.50E+03 kN/mq  
 Accorciamento elastico: 0.09 mm  
 Cedimento rigido: 24.39 mm  
 Cedimento totale: 24.48 mm

### 3.1.6 Commento ai risultati

I calcoli sopra riassunti riportano il valore di carico limite verticale (portanza) del singolo palo ricavato utilizzando le formule statiche, differenziando i diversi casi a seconda del tipo di struttura e della configurazione stratigrafica dei terreni di fondazione. Nella tabella seguente vengono riassunti i risultati ottenuti per ciascun caso considerato.

Descrizione	Quota imposta fondazioni (m s.l.m.)	Diametro singolo palo (m)	Lunghezza singolo palo (m)	Resistenza di progetto singolo palo (kN)
Struttura principale terrazzamento	199,70	0,60	6,0	297,79
Struttura principale terrazzamento	199,70	0,60	12,0	579,93
Balconata spiaggia su lago	198,0	0,60	6,0	232,61
Balconata spiaggia su lago	198,0	0,60	12,0	500,60

Mentre per quanto riguarda i cedimenti, non essendo stato fornito il valore del carico di progetto, è stato considerato il carico minore cui corrisponde un valore di cedimento (calcolato secondo la teoria di Fleming 1992) pari a circa 2,40 cm, ovvero valore che rappresenta il 40% del diametro del palo. Per tutti i casi considerati, si ottiene un cedimento pari a 2,40 cm nel caso il singolo palo sia soggetto ad un carico assiale di 105 kN, ovvero circa 10 t.

Poiché è stato considerato un singolo palo di fondazione per ogni pilastro strutturale, non è stata presa in considerazione la portata di gruppo dei pali. Infatti secondo le norme tecniche del DM Infrastrutture 17/01/2018 (in seguito indicate come NTC 2018) relative ai pali in gruppo, possono considerarsi pali isolati quelli disposti in modo che la loro distanza reciproca superi 6÷8 volte il loro diametro (ad esempio pali che portano singolarmente i pilastri e siano collegati da un graticcio di travi o da una platea). I pali che invece sono più vicini della suddetta distanza (detta di estinzione) e che siano tra loro collegati da un'unica testata vanno considerati come pali in gruppo (ad esempio ogni plinto su più pali realizza un gruppo; come pure una platea su pali ravvicinati). Per evitare eccessive interazioni e quindi eccessivi cedimenti i pali non devono mai essere a distanza reciproca minore di 3 volte il loro diametro.

Per i pali isolati la resistenza caratteristica, di tipo GEO, assiale e trasversale va calcolata con riferimento ad ognuno di essi, dividendo le resistenze ultime per i fattori di correlazione (§ 6.4.3.1.1, § 6.4.3.1.2 NTC). Calcolate così le resistenze caratteristiche queste vanno a loro volta divise per i coefficienti parziali R3 per ottenere le resistenze di progetto con cui verificare singolarmente i pali. Anche i cedimenti assoluti dei pali vanno verificati palo per palo controllando, inoltre, eventuali cedimenti e rotazioni differenziali.

Per i pali in gruppo le NTC 2018 fanno una precisa distinzione tra il calcolo di resistenza GEO per gli stati limite ultimi SLU e quello degli stati limite di esercizio SLE, quest'ultimo orientato prevalentemente al calcolo degli spostamenti e distorsioni. Mentre per il primo tipo di calcolo (SLU/SLV) viene richiesto di tener conto delle possibili riduzioni di resistenza dei pali per effetto di gruppo, per il secondo oltre all'effetto di gruppo si chiede di tenere soprattutto conto degli effetti di interazione tra i pali.

Mettere in conto l'effetto di gruppo (sia nelle verifiche SLU che in quelle SLE) consiste in pratica nel valutare (caso per caso) due fattori di efficienza (uno per forze assiale, l'altro per forze trasversali) mediante i quali ridurre la somma delle resistenze complessive dei pali. Mettere in conto, nelle verifiche SLE, gli effetti di interazione (essenzialmente quelli assiali per carichi verticali) significa invece valutare con maggiore attenzione i maggiori cedimenti e distorsioni che tali effetti vanno a produrre sia nella struttura di fondazione che nella sovrastruttura.

Il comportamento di un palo di fondazione è condizionato in maniera determinante dalla tecnologia esecutiva in relazione alla natura ed alle caratteristiche dei terreni attraversati. Inoltre la risposta in portata di un palo è in gran parte influenzata da aspetti esecutivi, spesso non controllabili in fase di progetto. Ne deriva che la verifica della capacità portante e integrità del palo, deve essere basata su osservazioni sperimentali relative alle specifiche condizioni in esame mediante prove e controlli obbligatori. Per questo motivo, secondo il D.M. 17/01/2018 par. 6.4.3.6 e par. 6.4.3.7 è obbligatorio eseguire delle prove di carico sui pali di fondazione.

Le prove di carico su pali sono da eseguirsi su pali appositamente realizzati per la prova, mentre il numero e l'ubicazione delle prove di verifica devono essere stabiliti in base all'importanza dell'opera e al grado di omogeneità del terreno di fondazione; in ogni caso il numero di prove non deve essere inferiore a:

- n.1 prova se il numero di pali è inferiore o uguale a 20;
- n.2 prove se il numero di pali è compreso tra 21 e 50;
- il numero intero di prove più prossimo al valore  $n.5 + N/500$ , se il numero N di pali è superiore a 500.

### **3.2 STABILITÀ FRONTI DI SCAVO E GESTIONE TERRE E ROCCE DA SCAVO**

La stabilità dei fronti di scavo, è influenzata dall'altezza e inclinazione dei fronti, dall'angolo d'attrito, dalla coesione non drenata del terreno, dalla presenza di sovraccarichi, dalle condizioni meteorologiche (variazioni di temperatura-precipitazioni), da eventuali venute d'acqua dai fronti stessi e dal tempo che lo scavo resterà aperto.

A tal proposito si specifica che:

- *Stabilità a breve termine* – Inclinazioni massime dovute principalmente alla coesione non drenata e all'angolo d'attrito del terreno: considerando terreni con un angolo d'attrito medio tra quello delle stratigrafie considerate, dotati di minima coesione non drenata, con scavi di altezze precedentemente indicate, in assenza di carichi e acqua.
- *Stabilità a medio termine* – Inclinazioni massime dovute all'angolo d'attrito del terreno: a medio e lungo termine, quindi senza l'effetto della coesione non drenata, terreni con lo stesso angolo d'attrito medio precedentemente considerato, e con le stesse altezze di scavo scavi, in assenza di carichi e acqua.

La norma/precauzione scatta per il pericolo di schiacciamento e non di scalzamento, ossia: dato che lo schiacciamento ritenuto mortale è quello della cassa toracica, che per un maschio adulto (lavoratore) sta a mediamente 1,50 m di altezza, allora in caso di scavi ristretti (altezza scavo molto maggiore rispetto alla larghezza scavo) se superano un'altezza di 1,50 m vanno armati.

Si riportano le cautele generali riferite agli scavi:

- Tenere aperti gli scavi il minor tempo possibile e proteggerli con teli impermeabili in caso di piogge.
- Evitare il transito dei mezzi, delle persone e la permanenza di carichi in prossimità dei cigli.
- Nel caso di comparsa di venute idriche interrompere gli scavi e mettere in atto i necessari accorgimenti, (sistemi di drenaggio, pompe portatili a fondo scavo, etc.) e solo successivamente riprendere le attività di scavo.
- Scavi in sezione ristretta, d'altezza maggiore a 1,50 m, nei quali si presuppone la permanenza anche temporanea e/o il passaggio delle maestranze, dovranno essere messi in sicurezza tramite opere di sostegno anche provvisorie (armature, sbadacchiature, ecc.).

In generale per l'esecuzione degli scavi si dovranno seguire le normative vigenti quali:

- Art. 12 e 13 D.P.R n. 164 del 7 Gennaio 1956 norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni; *art 12* "quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno" *art 13* "Nello scavo di pozzi o trincee profondi più di 1,5 m, quando la consistenza del terreno non dia sufficientemente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno".
- D.L.gs n. 494 del 14 Agosto 1996 modificato dal D.L.gs n 528 del 19 Novembre 1999 Attuazione della direttiva 92/57/CEE concernente le prescrizioni minime di sicurezza e di salute da attuare nei cantieri temporanei o mobili.
- Decreto presidente Consiglio dei Ministri n. 412 del 14 Ottobre 1997 – Regolamento recante l'individuazione delle attività lavorative comportanti rischi particolarmente elevati, per le quali l'attività di vigilanza può essere esercitata dagli ispettori del Lavoro dalle Direzioni Provinciali del Lavoro.

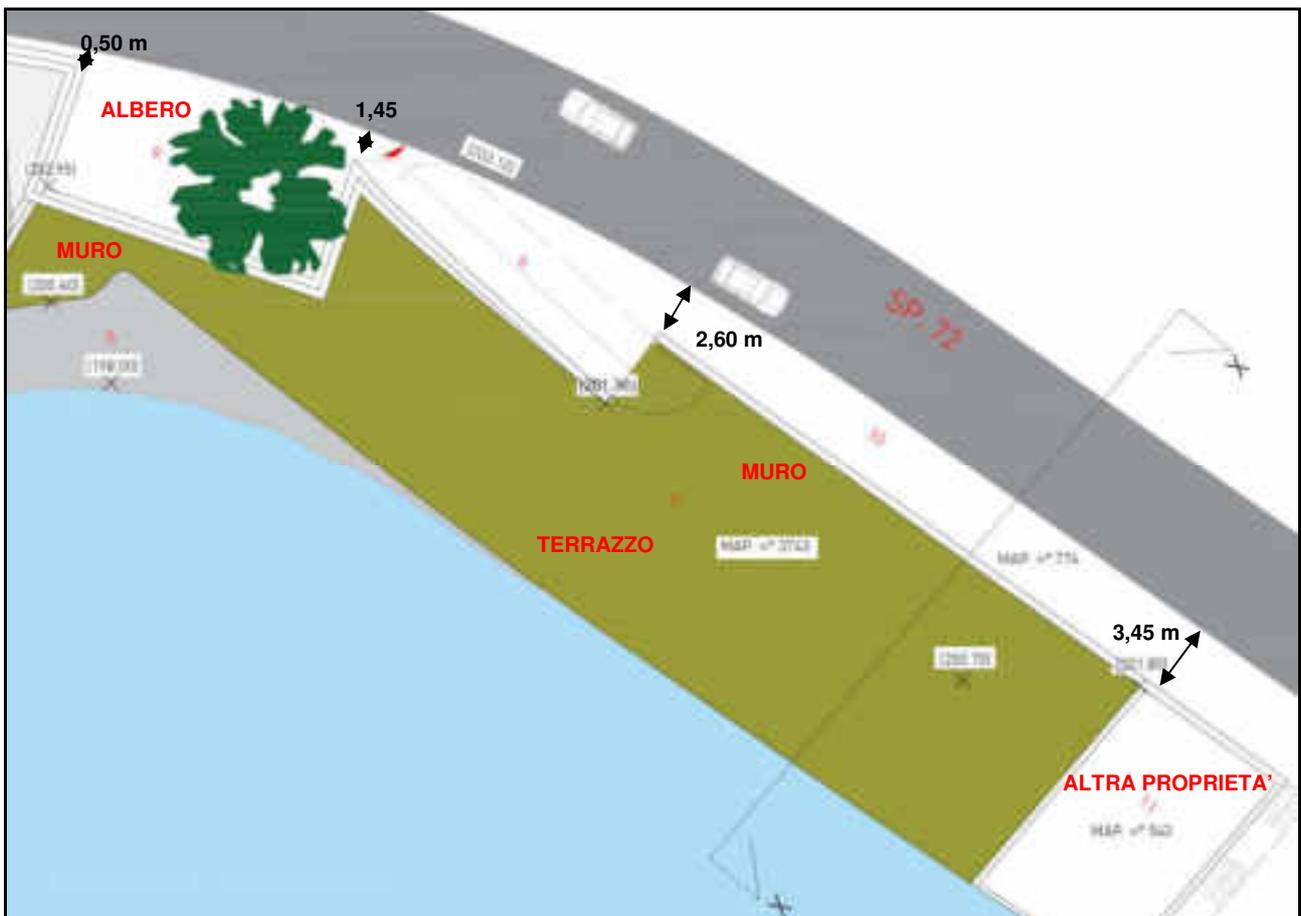
Per quanto riguarda la gestione delle terre e rocce da scavo, per quanto concerne le volumetrie, si evidenzia che parte del terreno di scavo può essere utilizzato entro l'area di progetto per la realizzazione dei rinterri. Nel caso in cui si dovesse provvedere allo smaltimento di parte del materiale di scavo, si dovrà adempiere a quanto previsto dalla vigente normativa relativa alla gestione e al riutilizzo delle terre e rocce da scavo (necessità di prevedere analisi chimiche dei terreni e di effettuare apposita comunicazione preventiva ad ARPA Lombardia – Provincia di competenza su deposito e riutilizzo del materiale in caso che il materiale oggetto di scavo sia riutilizzato direttamente in cantiere, depositato anche temporaneamente e/o riutilizzato al di fuori dell'area di cantiere) o alla gestione del materiale di scavo come rifiuto ed al relativo conferimento in discarica, dopo verifica della categoria di rifiuto tramite apposite analisi chimiche.

### 3.2.1 Muro di confine terreno – SP72

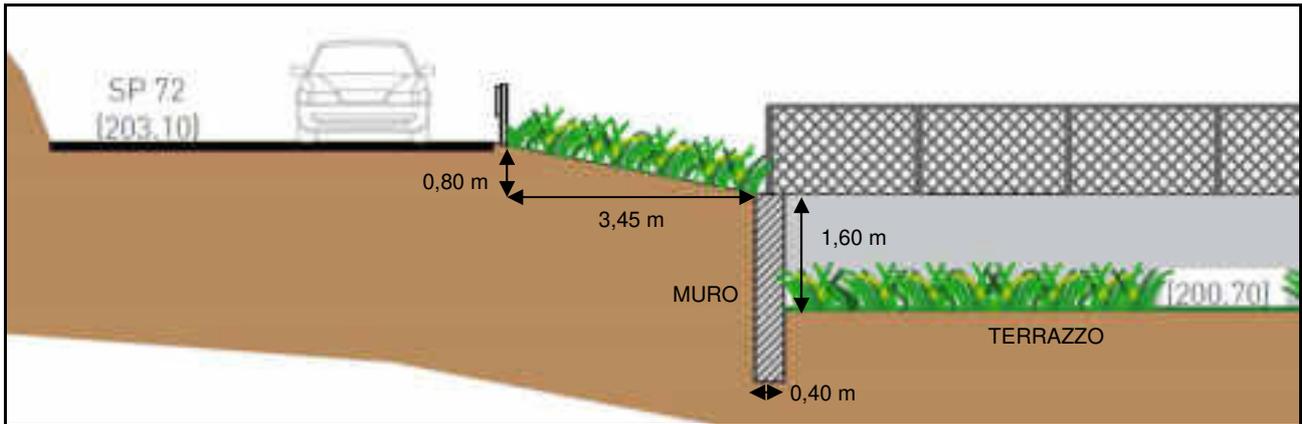
Da progetto è previsto il consolidamento / rifacimento del muro di monte del terrazzamento esistente che si trova ad una quota di 200,70 m s.l.m., posto a confine con la strada provinciale n. 72 la quale si trova invece ad una quota di 203,10 m s.l.m.

Il muro si sviluppa per circa 28 m dal lato sud – est del terreno con un'altezza media di circa 1,60 m (quota di testa 202,30 m s.l.m.) e uno spessore medio di 0,40 m fino al cancello di ingresso attualmente esistente. Dal cancello prosegue verso il lato nord – ovest dove delimita il terreno occupato da un albero di grandi dimensioni (altezza tronco circa 5 – 7 m) che si trova ad una quota di 202,95 m s.l.m, per cui il muro in questo punto ha un'altezza media pari a 2,25 m e uno spessore di 0,80 m.

La carreggiata della strada in corrispondenza del cancello di ingresso al terreno in oggetto si trova ad una distanza di circa 2,60 m dal muro di confine, mentre sul lato di confine del terreno con la proprietà limitrofa il muro si trova ad una distanza di circa 3,45 m dalla carreggiata della strada. Infine dove si trova l'albero il muro dista tra 0,50 e 1,45 m dalla carreggiata stradale.



Particolare pianta S.D.F.

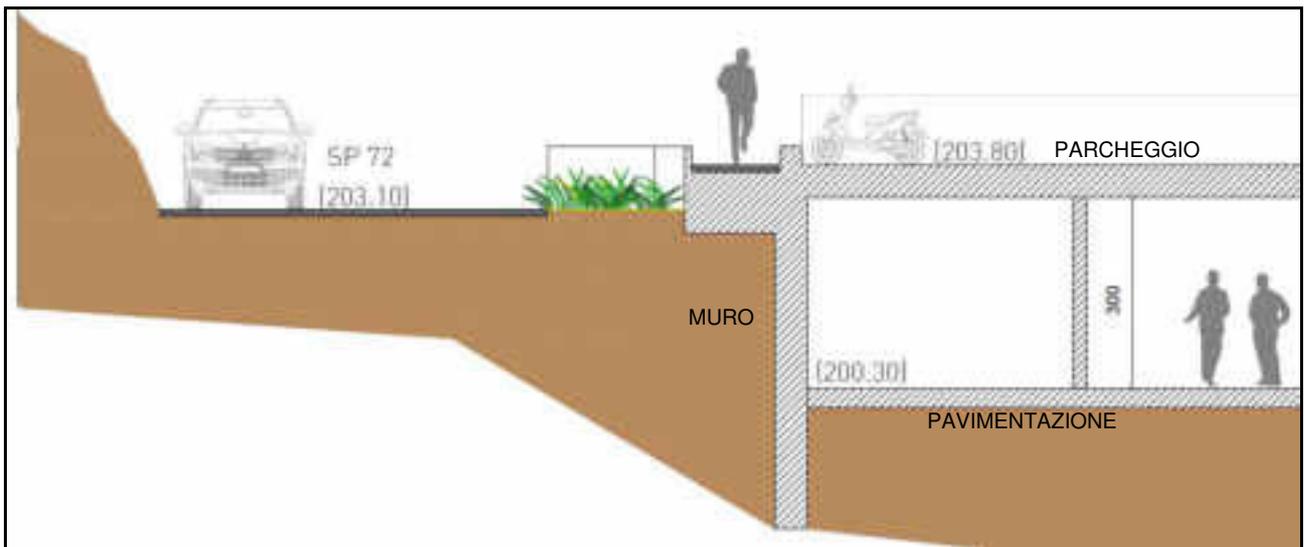


Particolare sezione XX S.D.F.

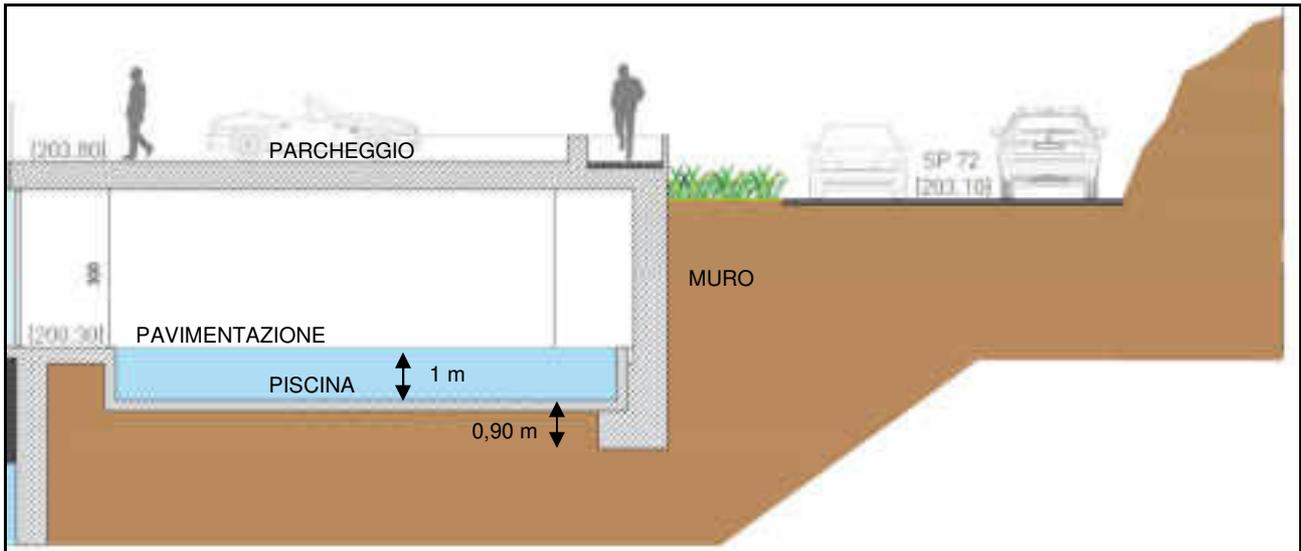
L'ingombro del nuovo fabbricato in progetto sul lato di monte andrà ad occupare il terrazzamento esistente mantenendo la medesima distanza dalla carreggiata della SP72 sul lato sud – est del terreno (3,45 m), mentre in corrispondenza del cancello di ingresso verrà a posizionarsi fino ad una distanza di 1,45 m dalla carreggiata stradale. Mentre nella porzione di terreno attualmente occupata dall'albero il fabbricato si troverà ad una distanza di 3,20 m.

Il fabbricato in progetto ha pavimentazione del piano terra prevista alla quota di 200,30 m s.l.m. (quindi 0,40 m più basso del livello del piano terrazzo), mentre al tetto è prevista la realizzazione di un parcheggio alla quota di 203,80 m s.l.m. (quindi 0,70 m più alto del livello del piano strada). La struttura così descritta sarà sorretta da circa 20 – 25 pilastri strutturali con passi circa pari a 5 m, i quali andranno a posarsi su fondazioni dirette tipo plinti, collegati tra loro da un reticolo di travi, con i plinti che andranno a loro volta sorretti da fondazioni profonde tipo pali di 0,60 m di diametro e lunghezza di 6 – 12 m. La quota piano di posa delle fondazioni sarà a circa 199,70 m s.l.m. (quindi 0,60 m più bassa del livello pavimentazione).

Il nuovo muro andrà a sostituire l'esistente con il medesimo sviluppo, ma avrà un'altezza media di circa 3 m (quota di testa 203,30 m s.l.m.) e uno spessore medio di 0,50 m fino al cancello di ingresso attualmente esistente. Mentre sul terreno occupato dall'albero il nuovo muro avrà un'altezza media pari a 4 m e uno spessore di 0,60 m. In questa zona è infatti prevista la realizzazione di una piscina con rematore, il cui fondo sarà a 1,0 m dal piano pavimentazione, mentre l'imposta del piano fondazioni ricadrà a quota 198,40 m s.l.m.



Particolare pianta e sezione XX S.D.P.



Particolare sezione YY S.D.P.

Di seguito vengono descritte le fasi costruttive di scavo per la realizzare delle opere di progetto incluso i pali di fondazione, considerando la realizzazione di un nuovo muro con demolizione dell'esistente:

1. Demolizione del muro esistente e riporto del materiale di scavo al piede della scarpata per la messa in sicurezza del fronte e contemporanea formazione del piano di lavoro per l'esecuzione delle palificazioni.
2. Esecuzione delle palificazioni con pali di diametro pari a 0,60 m e lunghezza di 6 – 12 m.
3. Formazione della trave di testa dei pali, di larghezza 1,30 m e spessore 0,60 – 0,70 m.
4. Esecuzione degli scavo fino a portare la quota del piano campagna attuale (200,70 m s.l.m.) fino alla quota del piano fondazioni come da progetto (199,70 m s.l.m. e 198,40 m s.l.m. nel caso della piscina con rematore) e contestuale rivestimento del fronte di scavo con una rete metallica in aderenza e calcestruzzo spruzzato (Spritz Beton).
5. Costruzione del nuovo muro di monte a confine tra il fabbricato in progetto e la strada provinciale 72.
6. Realizzazione del fabbricato in progetto.
7. Rinterro tra strada provinciale 72 e muro di monte del fabbricato in progetto.

Di seguito vengono invece descritte le fasi costruttive di scavo per la realizzare delle opere di progetto incluso i pali di fondazione, considerando come alternativa l'utilizzo di geo-blocchi:

1. Demolizione di porzioni del muro esistente e contestuale scavo a lotti con posa di due ordini di geo-blocchi di 1 mc (2 m di altezza totale).
2. Esecuzione dei pali di fondazione.
3. Realizzazione della trave di testa.
4. Costruzione del muro del fabbricato.
5. Realizzazione del fabbricato.

In ogni caso si specifica che sarà possibile / consigliabile durante l'esecuzione delle palificazioni proseguire sul terrazzamento per realizzare tutti i pali di fondazione della struttura in progetto fino alla spiaggia sul lago.

### 3.3 PERMEABILITÀ DEI TERRENI E GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE

Il terreno in esame si sviluppa su di un cono di deiezione / delta lacustre, composto da depositi grossolani, dilavati con granulometria decrescente da monte a valle con matrice sabbiosa e ciottoli arrotondati eterometrici, mal classati e geneticamente eterogenei. Secondo le tabulazioni caratteristiche della letteratura tecnica, a tali terreni può essere attribuito un grado di permeabilità da elevato a medio, con coefficiente di permeabilità  $k$  compreso tra  $10e-3$  e  $10e-5$  m/s, cui corrisponde un buon drenaggio

Grado di permeabilità		Valore di $k$ (m/s)	
alto		superiore a $10^{-2}$	
medio		$10^{-2}$ - $10^{-3}$	
basso		$10^{-3}$ - $10^{-4}$	
molto basso		$10^{-4}$ - $10^{-5}$	
impermeabile		inferiore di $10^{-5}$	

$k$ (m/s)	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
Drenaggio	buono		poor	praticamente impermeabile			
	ghiaia pulita	sabbia pulita e miscela di sabbia e ghiaia pulita	sabbia fine, limi organici e inorganici, miscela di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati	terreni impermeabili, argille omogenee senza la zona alterata dagli agenti atmosferici			
			terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo				

Classificazione in funzione di  $k$  del grado di permeabilità e del drenaggio di un terreno

Tuttavia è importante sottolineare:

- Che permeabilità e capacità di assorbimento di un terreno non dipendono soltanto dalla composizione granulometrica, ma anche dalla forma dei grani, dalla struttura e dalla tessitura, dallo stato di addensamento e da parametri che possono variare nel tempo, come ad esempio: il grado di umidità e la distanza dalla superficie freatica; per questo motivo i valori di permeabilità stimati sulla base di dati di letteratura e la conseguente stima della capacità di drenaggio possono essere considerati soltanto come indicativi.
- Che non è comunque possibile escludere variazioni a carattere locale dei valori di permeabilità, in relazione ad una percentuale della componente fine dei depositi non omogeneamente distribuita.

Per quanto riguarda lo smaltimento delle acque meteoriche, poiché gli interventi in progetto comportano la formazione di superfici impermeabilizzate, e quindi la diminuzione delle superfici attualmente infiltranti, le normative vigenti richiedono interventi di compensazione, mitigazione, rallentamento degli scarichi sui sistemi di recapito e smaltimento acque esterni e circostanti.

Poiché gli interventi in progetto comportano la formazione di superfici impermeabilizzate di circa 950 mq, quindi un valore maggiore rispetto al minimo di 300 mq previsto ai sensi dell'Art. 10 Comma 1 e successivo Art. 12 Comma 1 lettera A del vigente Regolamento Regionale 23/11/2017 n°7 (con successive modifiche ed integrazioni), risulta essere necessaria la predisposizione di apposito Progetto d'Invarianza Idraulica ed Idrologica per la gestione e lo scarico delle acque meteoriche captate dalle superfici d'intervento.

#### 4. CONCLUSIONI

Per conto del Comune di Mandello del Lario, è stata redatta la presente Relazione geologica ai sensi del D.M. 17/01/2018 e della D.G.R. IX 2616/2011 e Relazione geotecnica ai sensi del D.M. 17/01/2018 a supporto dello Studio di fattibilità tecnico economica per la realizzazione del nuovo centro remiero, presso la casina canottieri che sorge sulla Via Statale snc (strada provinciale n. 72), nel comune di Mandello del Lario, in provincia di Lecco.

Il terreno in esame si ubica nella parte mediana della sponda orientale del Lago di Como in località San Giorgio, alle pendici della Grigna Settentrionale, nella porzione meridionale del territorio comunale, subito a sud dell'abitato principale di Mandello del Lario (il quale si trova sulla conoide alluvionale del torrente Meria).

Dati identificativi:

- Foglio B4D3 della C.T.R.
- Codice Belfiore E879
- Foglio Censuario 1
- Foglio Cartografico 116
- Mappali 541, 3743

Il progetto, a cura di Arch. U. Gerosa cui si rimanda per i particolari, prevede il rifacimento delle strutture esistenti, e la realizzazione di nuove strutture con ampliamento sul terreno prativo interno alla proprietà a sud del fabbricato esistente. L'ampliamento si svilupperà con quota base a livello prato attuale, ovvero 200,30 m s.l.m., mentre al tetto verrà realizzato un parcheggio a quota piano strada statale, ovvero 203,80 m s.l.m.

L'opera in progetto può essere considerata costruzione di tipo 2 (costruzioni con livelli di prestazioni ordinari), con valori minimi di vita nominale (Vn) pari a 50 anni, classe d'uso II (normali affollamenti) e coefficiente d'uso (Cu) pari a 1 (D.M. 17 gennaio 2018 – tab. 2.4.1 e tab. 2.4.2).

Sono state definite le condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, idrografiche, geologico – tecniche e sismiche dell'area in esame e circostanti. Sono stati esaminati i rischi geologici, naturali e indotti dell'area in esame e circostanti. È stata inoltre valutata la fattibilità del progetto in esame, effettuando un'analisi della cartografia tecnica ufficiale (P.A.I., P.G.R.A e P.G.T.).

Per la definizione del modello stratigrafico e geotecnico dei terreni presenti nell'area in esame sono stati utilizzati i dati raccolti dalle indagini geognostiche e sismiche eseguite dallo scrivente sul terreno d'interesse i giorni 23 e 24 settembre 2024. Le indagini hanno compreso:

- n. 5 prove penetrometriche SCPT;
- n. 2 prove penetrometriche DMP;
- n. 1 indagine sismica a rifrazione;
- n. 1 indagine sismica HVSR
- n. 1 rilievo geomeccanico di dettaglio del fronte roccioso.
- n. 7 rilievi batimetrici del fondale lacustre;

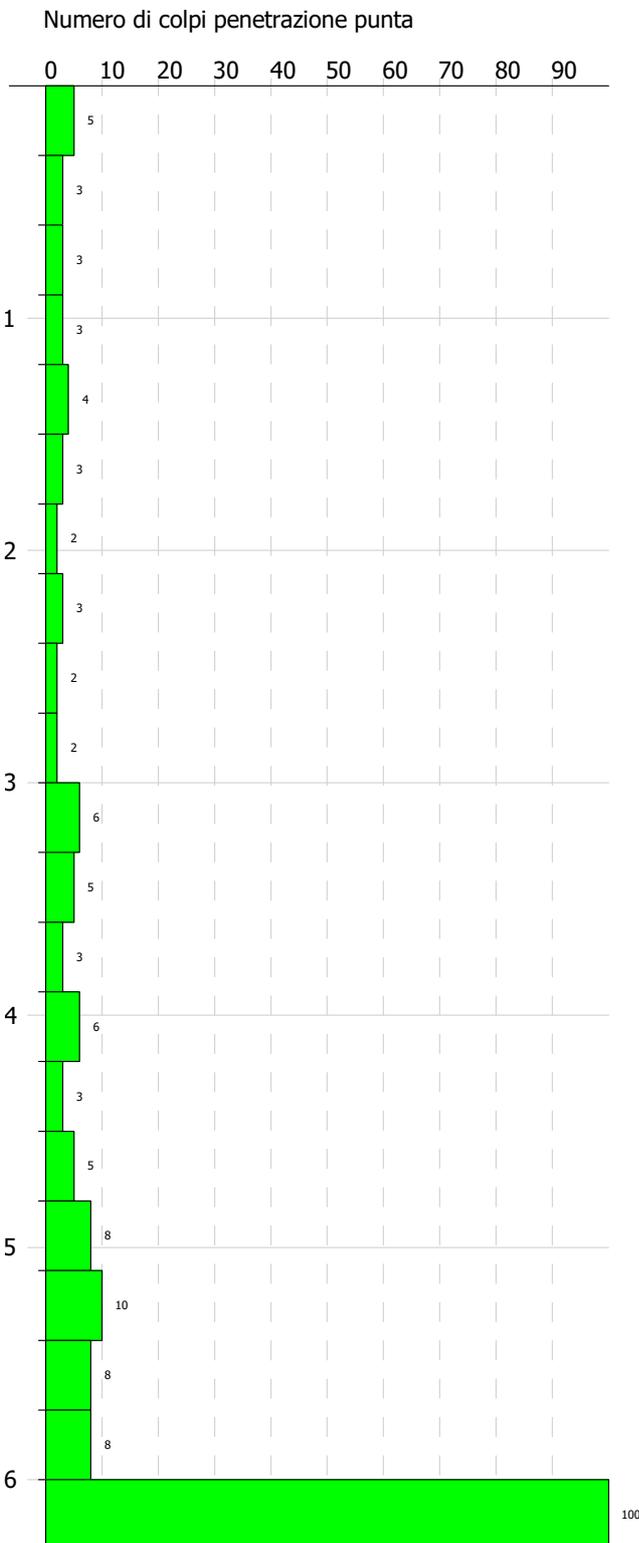
Sono infine stati eseguiti i calcoli geotecnici allo stato di progetto, riguardo alle portate e cedimenti delle fondazioni, fornendo indicazioni preliminari circa stabilità dei fronti di scavo e gestione delle terre e rocce da scavo, oltre che permeabilità dei terreni e gestione delle acque meteoriche.

Alla luce di quanto sopra esposto e commentato, si ritiene il progetto fattibile dal punto di vista geologico e compatibile con le condizioni geologiche, morfologiche e idrogeologiche locali.

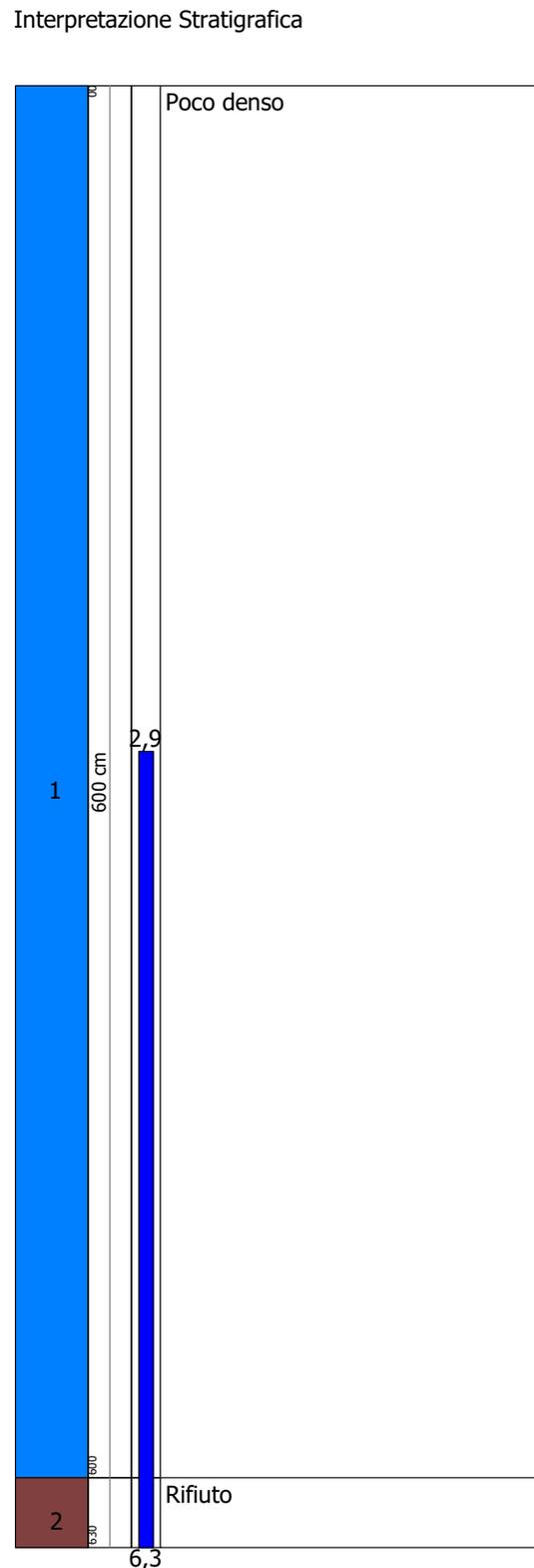
A cura di Dott. Geologo Massimo Riva



Con la collaborazione di Dott. Geologo Francesco Riva



SIGNATURE 1

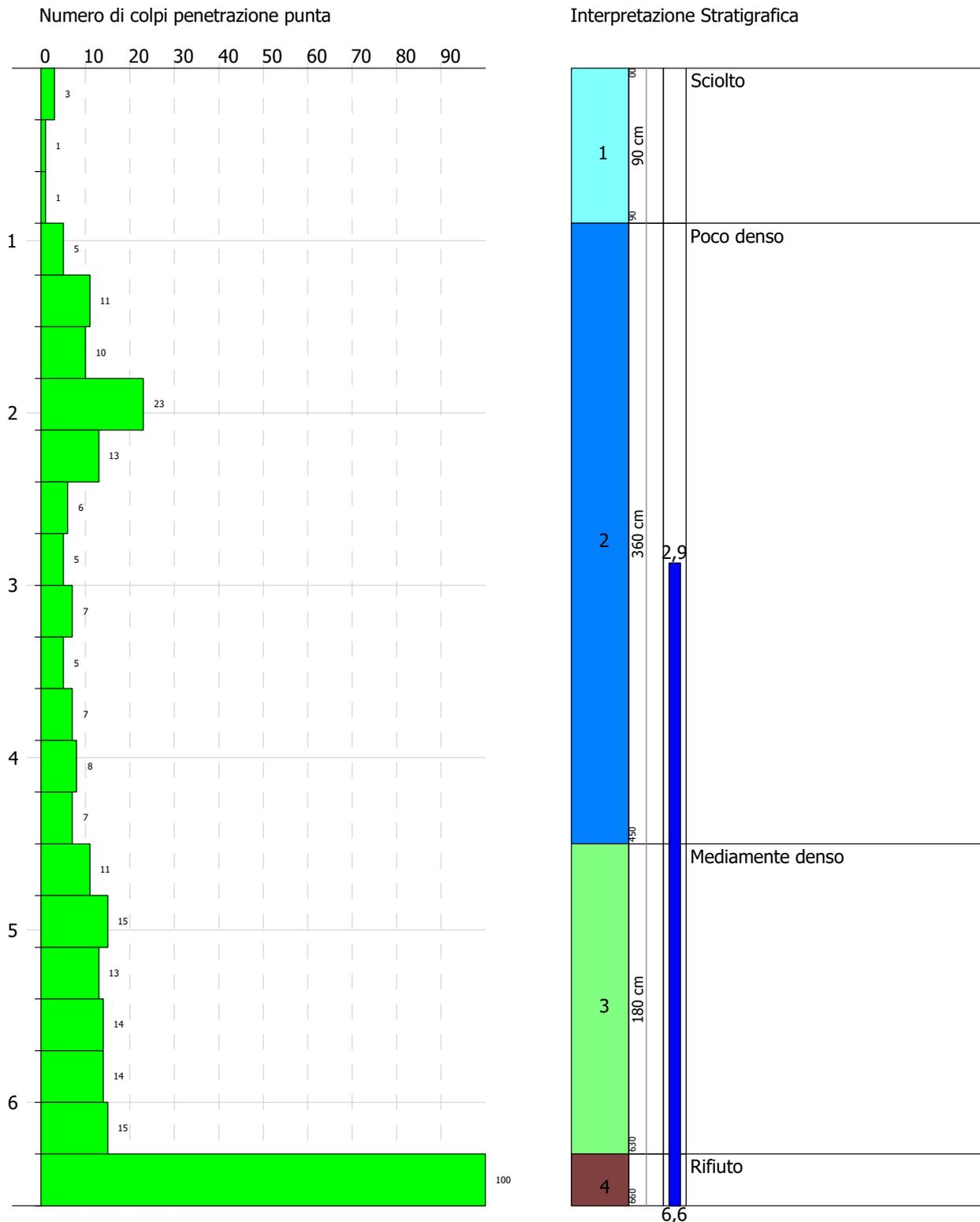


SIGNATURE 2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
 Strumento utilizzato... SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Committente: Comune di Mandello del Lario 23/09/2024  
 Descrizione: STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA PER LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO CENTRO REMIERO  
 Localita': Casina Canottieri Via Statale snc, 23826 Mandello del Lario LC

Scala 1:33



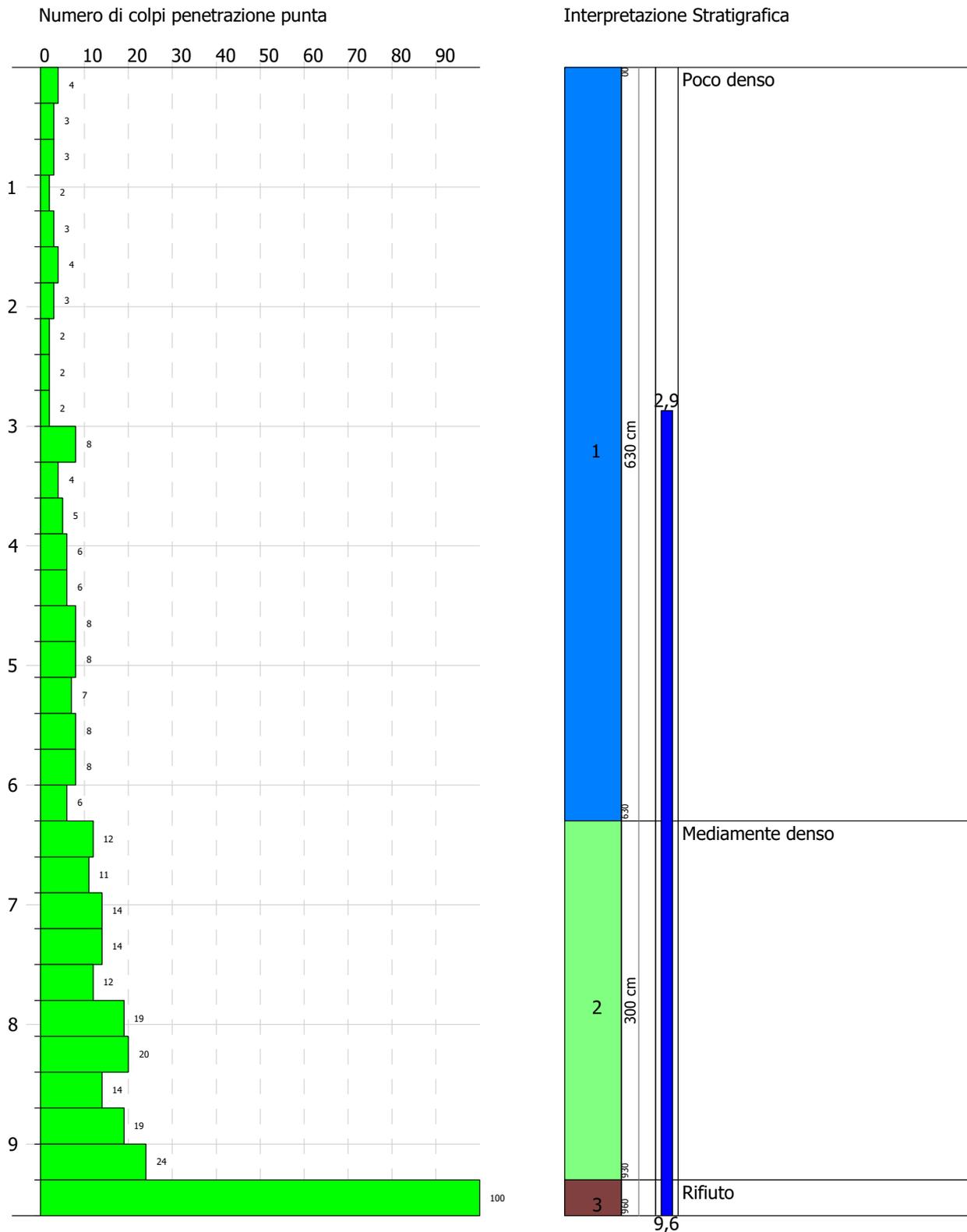
SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3  
 Strumento utilizzato... SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Committente: Comune di Mandello del Lario 23/09/2024  
 Descrizione: STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA PER LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO CENTRO REMIERO  
 Localita': Casina Canottieri Via Statale snc, 23826 Mandello del Lario LC

Scala 1:47



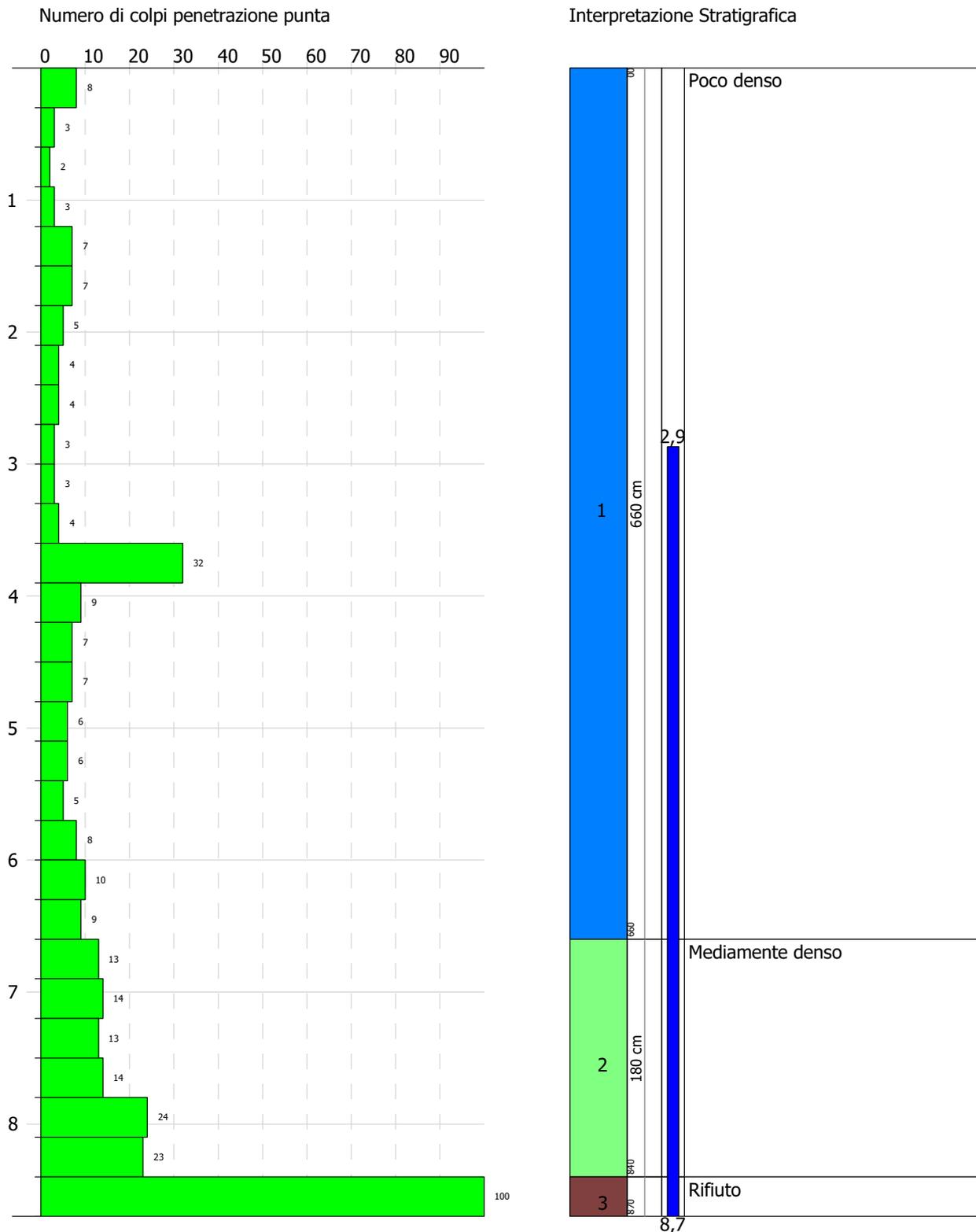
SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4  
 Strumento utilizzato... SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Committente: Comune di Mandello del Lario 23/09/2024  
 Descrizione: STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA PER LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO CENTRO REMIERO  
 Localita': Casina Canottieri Via Statale snc, 23826 Mandello del Lario LC

Scala 1:43



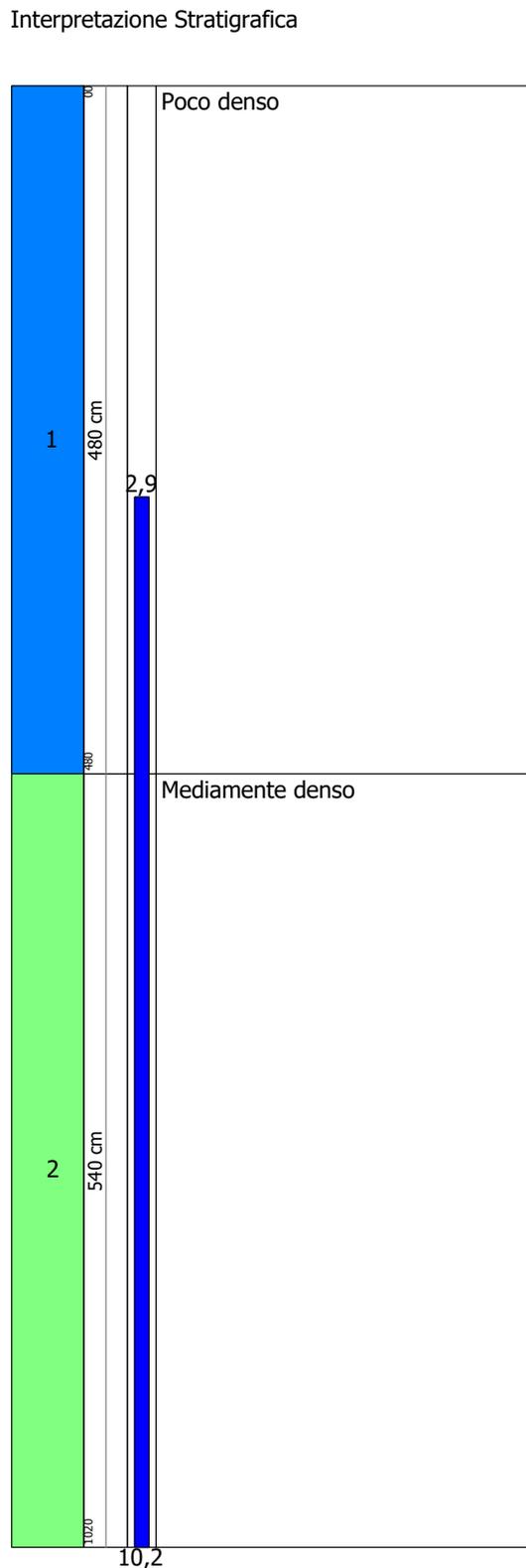
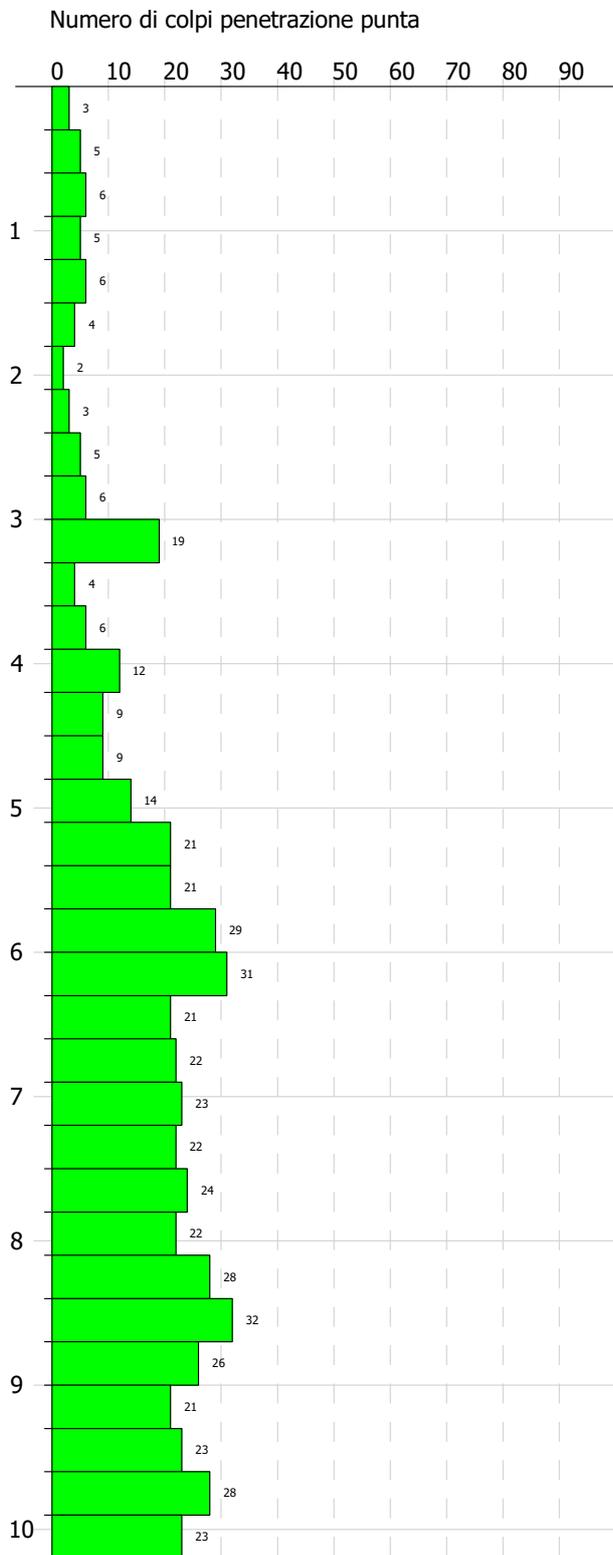
SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.5  
 Strumento utilizzato... SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Committente: Comune di Mandello del Lario 23/09/2024  
 Descrizione: STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA PER LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO CENTRO REMIERO  
 Localita': Casina Canottieri Via Statale snc, 23826 Mandello del Lario LC

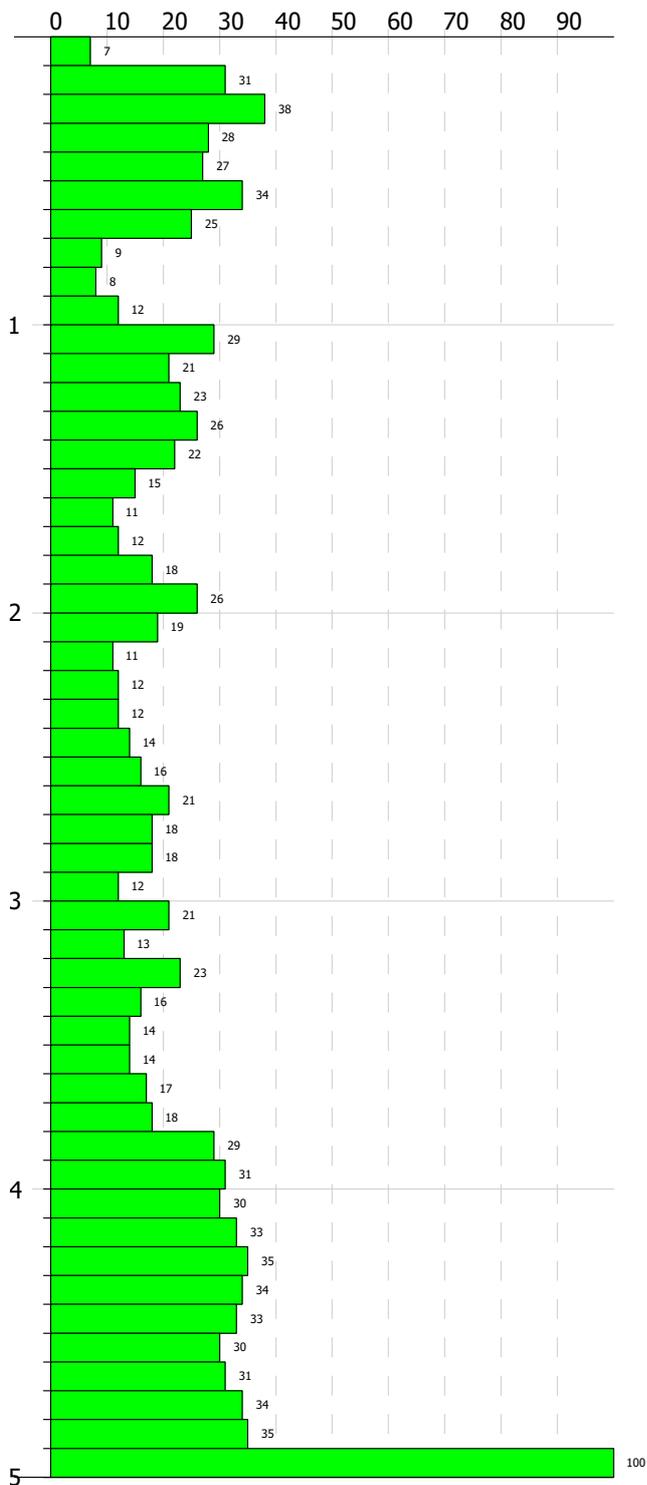
Scala 1:50



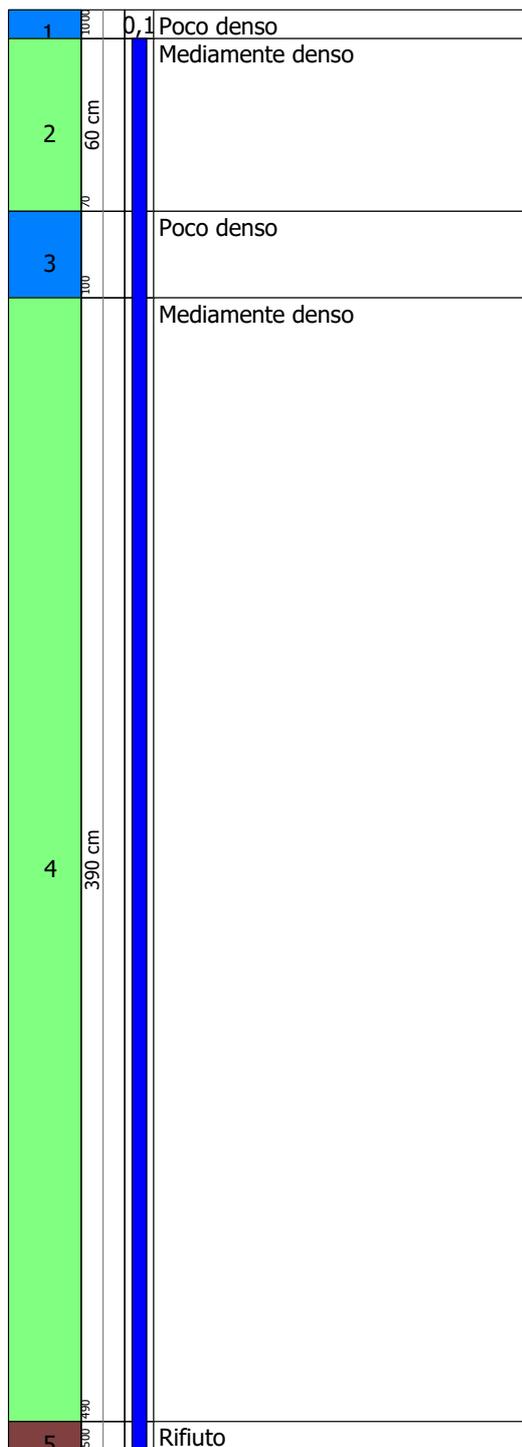
SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

Numero di colpi penetrazione punta



Interpretazione Stratigrafica



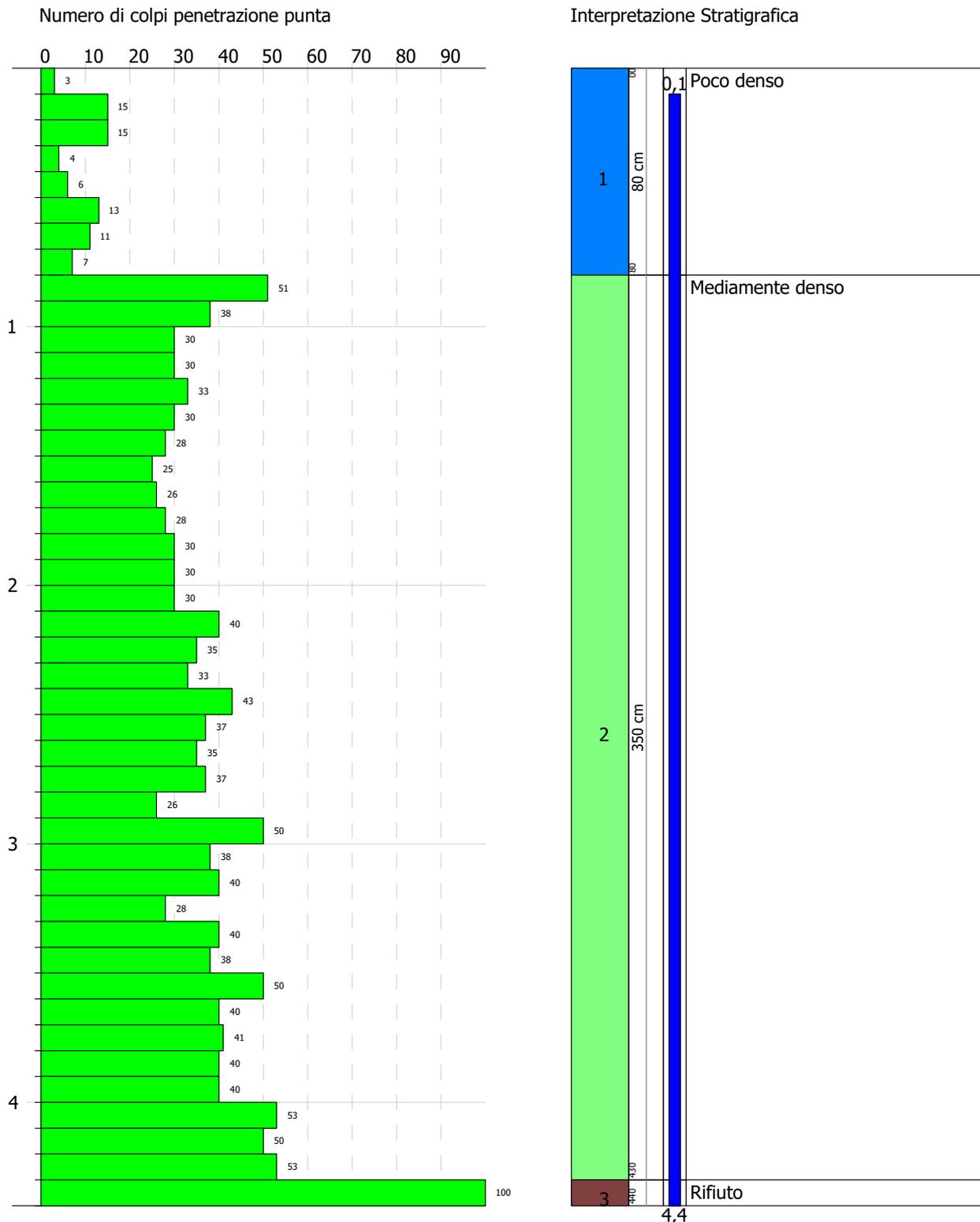
SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2  
 Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

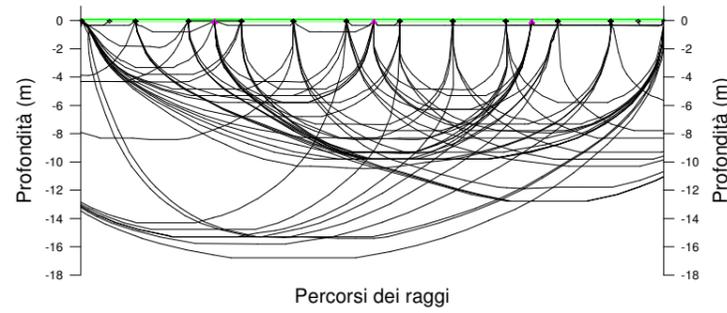
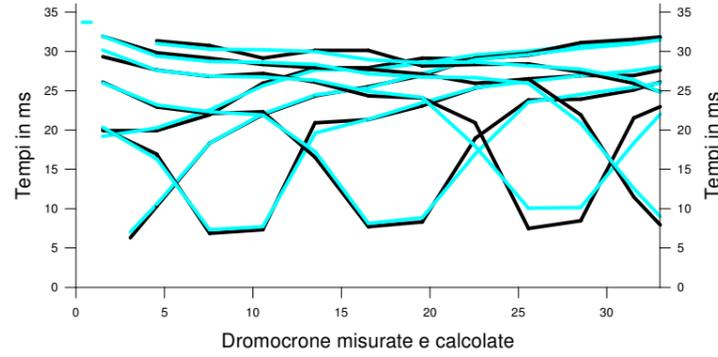
Committente: Comune di Mandello del Lario 23/09/2024  
 Descrizione: STUDIO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA PER LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO CENTRO REMIERO  
 Localita': Casina Canottieri Via Statale snc, 23826 Mandello del Lario LC

Scala 1:22



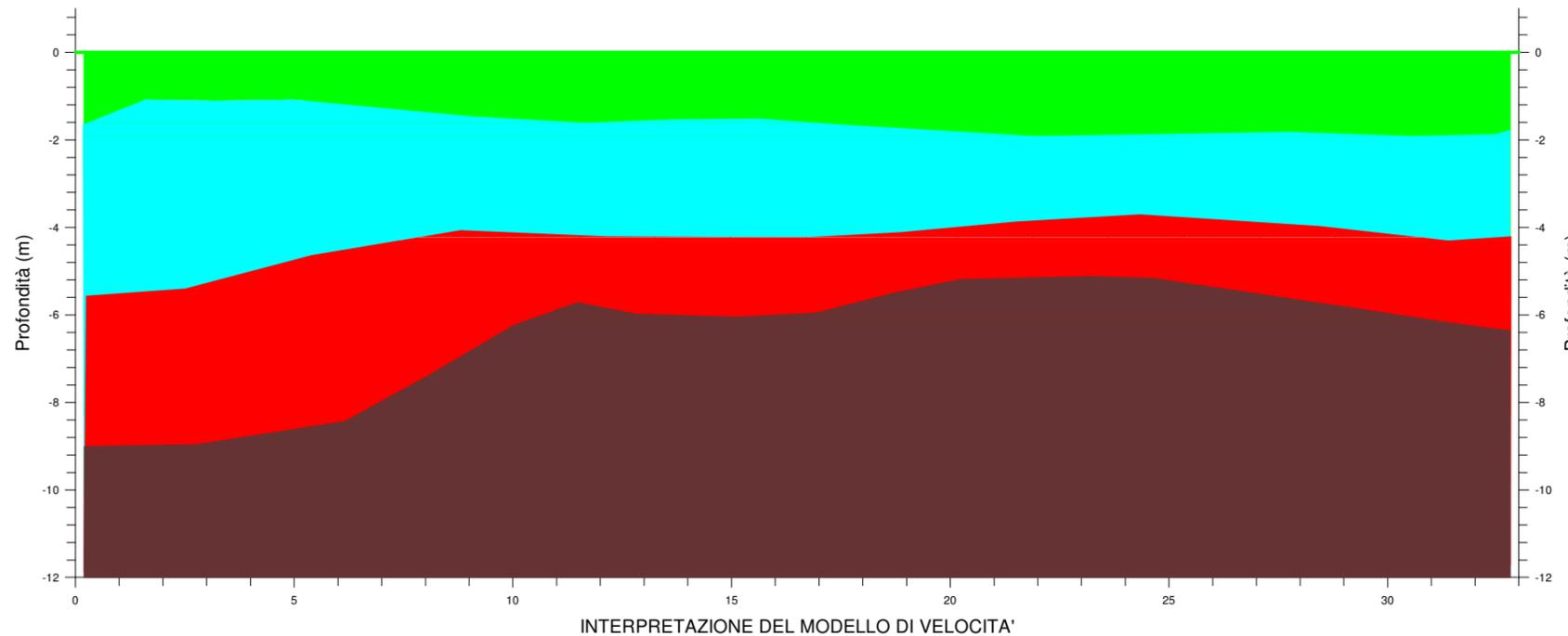
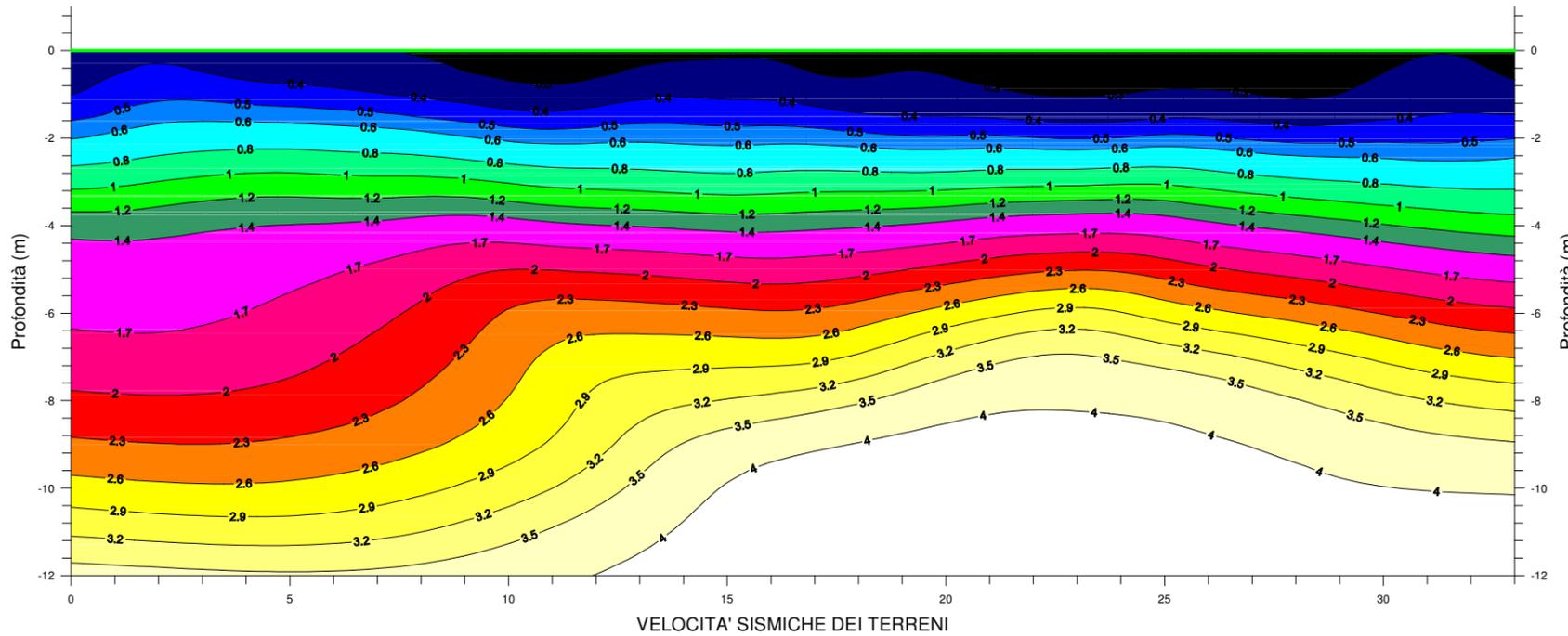
SIGNATURE 1

SIGNATURE 2



File with raypaths: b.ray  
 Number of data: 83  
 RMS residual: 0.810149  
 RMS relative residual(%): 6.761161

##	Source	Receiver	T obs.:	T calc.:	T - T0	Resid.:
1	-6.000	0.000	0.000	0.000	0.000	17.600
2	-6.000	0.000	0.000	3.000	0.000	17.993
3	-6.000	0.000	0.000	6.000	0.000	19.600
4	-6.000	0.000	0.000	9.000	0.000	20.264
5	-6.000	0.000	12.000	0.000	0.000	25.600
6	-6.000	0.000	15.000	0.000	0.000	25.329
7	-6.000	0.000	0.000	21.000	0.000	26.700
8	-6.000	0.000	0.000	24.000	0.000	27.246
9	-6.000	0.000	0.000	27.000	0.000	27.733
10	-6.000	0.000	0.000	30.000	0.000	28.300
11	-6.000	0.000	0.000	33.000	0.000	28.471
12	-6.000	0.000	0.000	0.000	0.000	29.794
13	0.000	0.000	1.500	0.000	0.000	4.750
14	0.000	0.000	6.000	0.000	0.000	16.038
15	0.000	0.000	9.000	0.000	0.000	19.736
16	0.000	0.000	12.000	0.000	0.000	22.000
17	0.000	0.000	15.000	0.000	0.000	22.137
18	0.000	0.000	18.000	0.000	0.000	24.600
19	0.000	0.000	21.000	0.000	0.000	24.911
20	0.000	0.000	24.000	0.000	0.000	26.800
21	0.000	0.000	27.000	0.000	0.000	27.317
22	0.000	0.000	30.000	0.000	0.000	28.670
23	0.000	0.000	33.000	0.000	0.000	29.645
24	7.500	0.000	3.000	0.000	0.000	14.600
25	7.500	0.000	6.000	0.000	0.000	16.038
26	7.500	0.000	9.000	0.000	0.000	19.736
27	7.500	0.000	12.000	0.000	0.000	22.000
28	7.500	0.000	15.000	0.000	0.000	22.137
29	7.500	0.000	18.000	0.000	0.000	24.600
30	7.500	0.000	21.000	0.000	0.000	24.911
31	7.500	0.000	24.000	0.000	0.000	26.800
32	7.500	0.000	27.000	0.000	0.000	27.317
33	7.500	0.000	30.000	0.000	0.000	28.670
34	7.500	0.000	33.000	0.000	0.000	29.645
35	16.500	0.000	3.000	0.000	0.000	20.600
36	16.500	0.000	6.000	0.000	0.000	20.896
37	16.500	0.000	9.000	0.000	0.000	24.200
38	16.500	0.000	12.000	0.000	0.000	24.628
39	16.500	0.000	15.000	0.000	0.000	25.210
40	16.500	0.000	18.000	0.000	0.000	25.210
41	16.500	0.000	21.000	0.000	0.000	26.600
42	16.500	0.000	24.000	0.000	0.000	26.600
43	16.500	0.000	27.000	0.000	0.000	27.861
44	16.500	0.000	30.000	0.000	0.000	27.861
45	25.500	0.000	3.000	0.000	0.000	24.500
46	25.500	0.000	6.000	0.000	0.000	24.558
47	25.500	0.000	9.000	0.000	0.000	24.421
48	25.500	0.000	12.000	0.000	0.000	22.603
49	25.500	0.000	15.000	0.000	0.000	21.877
50	25.500	0.000	18.000	0.000	0.000	18.600
51	25.500	0.000	21.000	0.000	0.000	15.689
52	25.500	0.000	24.000	0.000	0.000	6.200
53	25.500	0.000	27.000	0.000	0.000	7.878
54	25.500	0.000	30.000	0.000	0.000	19.200
55	33.000	0.000	3.000	0.000	0.000	29.600
56	33.000	0.000	6.000	0.000	0.000	29.626
57	33.000	0.000	9.000	0.000	0.000	27.119
58	33.000	0.000	12.000	0.000	0.000	26.800
59	33.000	0.000	15.000	0.000	0.000	26.406
60	33.000	0.000	18.000	0.000	0.000	25.600
61	33.000	0.000	21.000	0.000	0.000	25.600
62	33.000	0.000	24.000	0.000	0.000	24.874
63	33.000	0.000	27.000	0.000	0.000	23.500
64	33.000	0.000	30.000	0.000	0.000	24.200
65	39.000	0.000	3.000	0.000	0.000	5.500
66	39.000	0.000	6.000	0.000	0.000	6.557
67	39.000	0.000	9.000	0.000	0.000	29.000
68	39.000	0.000	12.000	0.000	0.000	28.707
69	39.000	0.000	15.000	0.000	0.000	26.800
70	39.000	0.000	18.000	0.000	0.000	27.883
71	39.000	0.000	21.000	0.000	0.000	27.654
72	39.000	0.000	24.000	0.000	0.000	26.255
73	39.000	0.000	27.000	0.000	0.000	26.255
74	39.000	0.000	30.000	0.000	0.000	26.330
75	39.000	0.000	33.000	0.000	0.000	26.100
76	39.000	0.000	36.000	0.000	0.000	25.876
77	39.000	0.000	39.000	0.000	0.000	24.083
78	39.000	0.000	42.000	0.000	0.000	24.083
79	39.000	0.000	45.000	0.000	0.000	21.400
80	39.000	0.000	48.000	0.000	0.000	20.772
81	39.000	0.000	51.000	0.000	0.000	6.628
82	39.000	0.000	54.000	0.000	0.000	3.025
83	39.000	0.000	57.000	0.000	0.000	0.000



**LEGENDA**

Velocità

Dromocrone misurate (black line)

Dromocrone calcolate (red line)

Strumento: EEG-BR24  
 Geofoni: Geospace 8 Hz  
 Energizzazione: Mazza su Piastra  
 Elaborazione: GRM + inversione tomografica 2D

Scala orizzontale = 1:150    Scala verticale = 1:150

**LEGENDA**

Aerato / Riporti (green)

Terreni poco addensati (cyan)

Terreni compatti (red)

Probabile Bedrock fratturato (brown)

**INDAGINE GEOFISICA**

**Mandello**

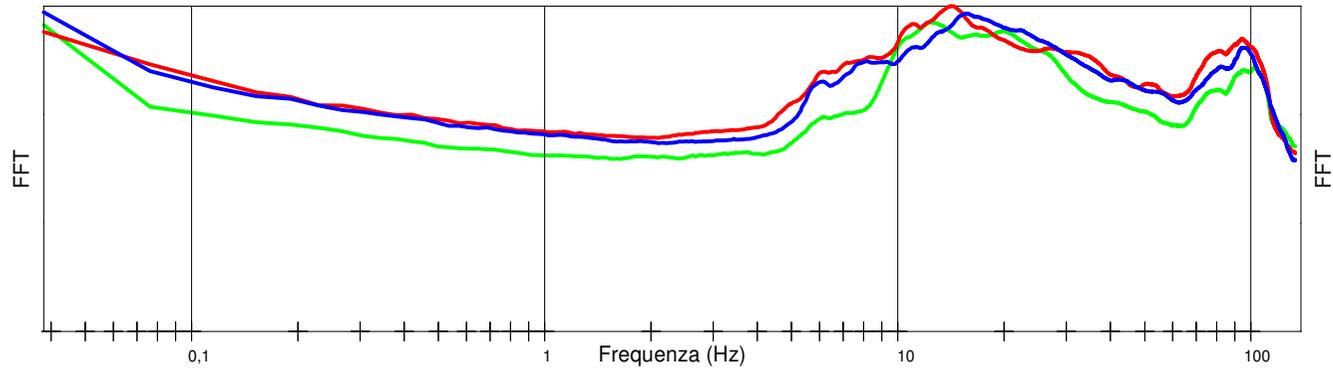
**Moto Guzzi**

**Rifrazione Sismiche**

**SEZIONI SISMICHE**

All.2/a    Settembre 2024

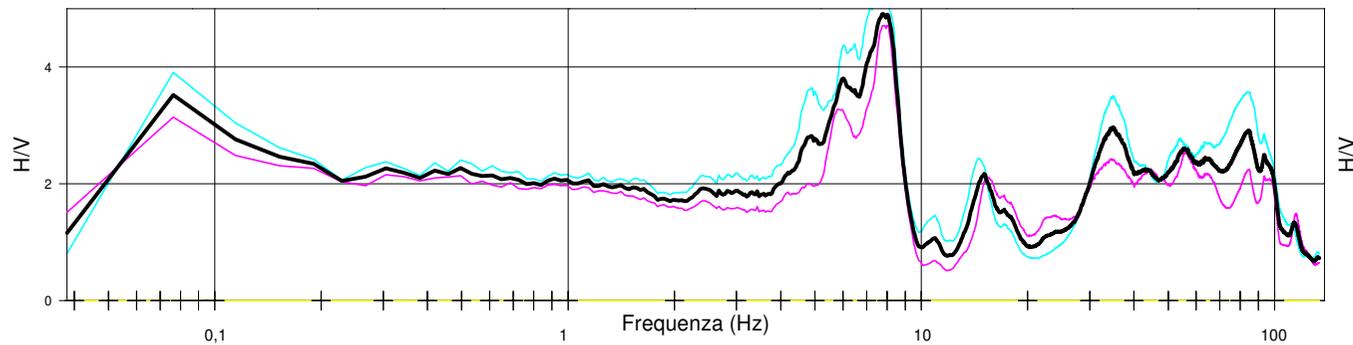
COMPONENTI XYZ DELLO SPETTRO DI FREQUENZA



LEGENDA

- Spettro asse Z (verticale)
- Spettro asse X
- Spettro asse Y
- H/V direzione X
- H/V direzione Y
- H/V media

RAPPORTO DELLE COMPONENTI SPETTRALI ORIZZONTALI SULLA VERTICALE

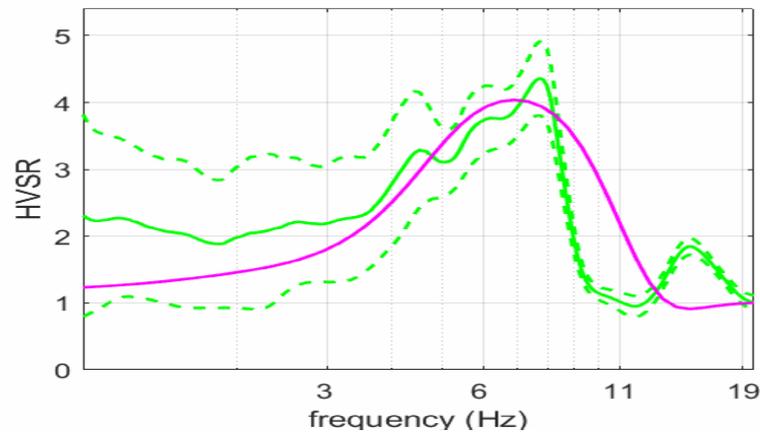


Durata della registrazione 21' 50.7"  
 Campionamento 10 Khz  
 Finestra di campionamento 26,2 s

TABELLA DI CALCOLO

Da Prof.	a Prof.	Vs	Hi/Vi	VsX	G
0	.7	105	.0065	105	18
.7	4.6	201	.0194	177	69
4.6	7.6	280	.0107	207	139
7.6	14.5	439	.0156	277	374
14.5	22.8	524	.0158	334	556
22.8	28.3	556	.0101	363	635
28.3	36.5	688	.0118	405	1036

VALORE CALCOLATO VS Eq. = 372 m/s



**Picco alla frequenza: 7.73 Hz**

**PROVA H/V**

**Mandello**

**Moto Guzzi**

**Metodo Nakamura**

**SPETTRI DI FREQUENZA  
 PROVA S1-2417**

All. 2/b

Settembre 2024

All.3

**CLASSIFICAZIONE AMMASSO ROCCIOSO "RMR"**

**Rock Mass Rating (Bieniawsky - 1973)**

versante ▼

UBICAZIONE: Canottieri Mandello del Lario

DATA: 23/09/2024

DIMENSIONI: 10 x 3 m

famiglie di discontinuità	immersione (°)	inclinazione (°)
Fronte	230	80
S	260	30
K1	140	60
K2	210	90
K3		

Parametro	Dati di campagna	Valore
Resistenza a compressione monoassiale (MPa)	45	5
RQD%	100	21
Intercetta discontinuità (m)	0.625	14
Condizione idrauliche generali	unico ▼	10
<b>Condizioni delle discontinuità</b>		
persistenza/continuità	3-10m ▼	2
apertura	0.1-1mm ▼	4
rugosità/scabrezza	liscio ▼	1
riempimento	nessuno ▼	6
alterazione	moder. alterato ▼	3
Compensazione in funzione delle discontinuità	indifferente ▼	-25
	<b>R.M.R. base</b>	<b>66</b>
	<b>R.M.R. corretto</b>	<b>41</b>

<b>Classe (da RMR corretto)</b>	III
<b>Descrizione</b>	discreta
<b>Angolo d'attrito ° (da R.M.R. base)</b>	38
<b>Coesione KPa (da R.M.R. base)</b>	330



**ALLEGATO N. 4 – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA INDAGINI DEL 23 E 24/09/2024**



Foto n. 1 – Prova penetrometrica SCPT n. 1



Foto n. 2 – Prova penetrometrica SCPT n. 2



Foto n. 3 – Prova penetrometrica SCPT n. 3



Foto n. 4 – Prova penetrometrica SCPT n. 4



Foto n. 5 – Prova penetrometrica SCPT n. 5

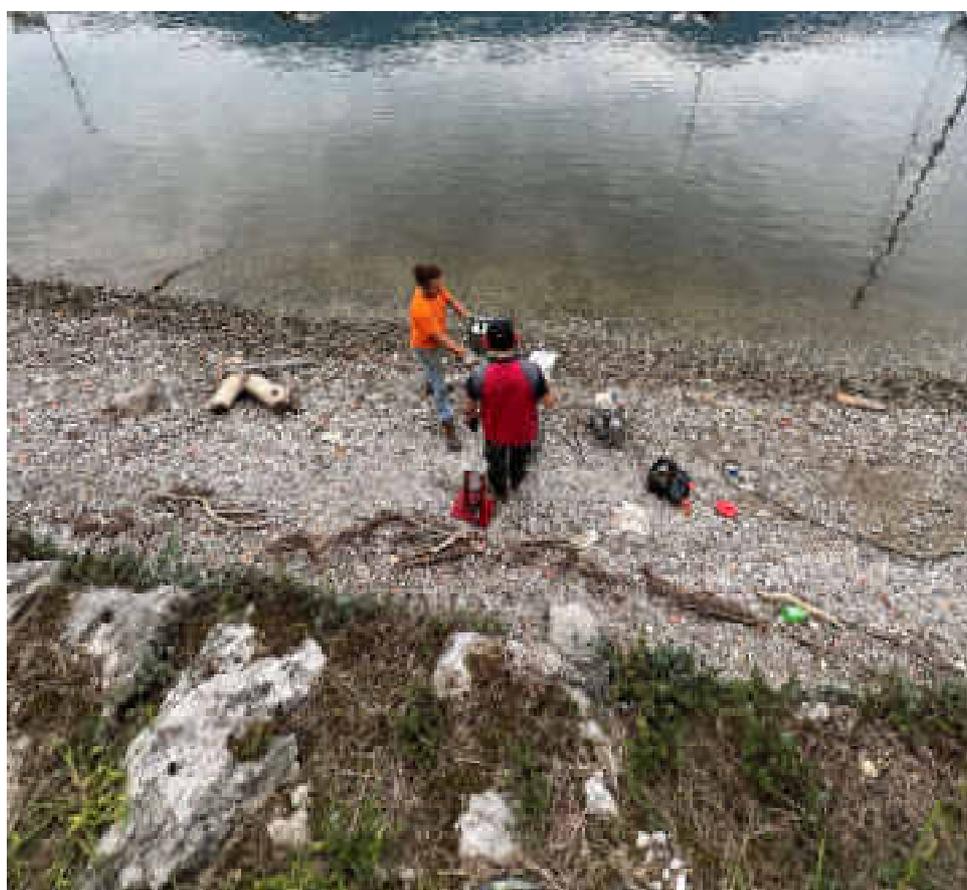


Foto n. 6 – Prova penetrometrica DPM n. 1



Foto n. 7 – Prova penetrometrica DPM n. 2



Foto n. 8 – Indagine sismica HVSr



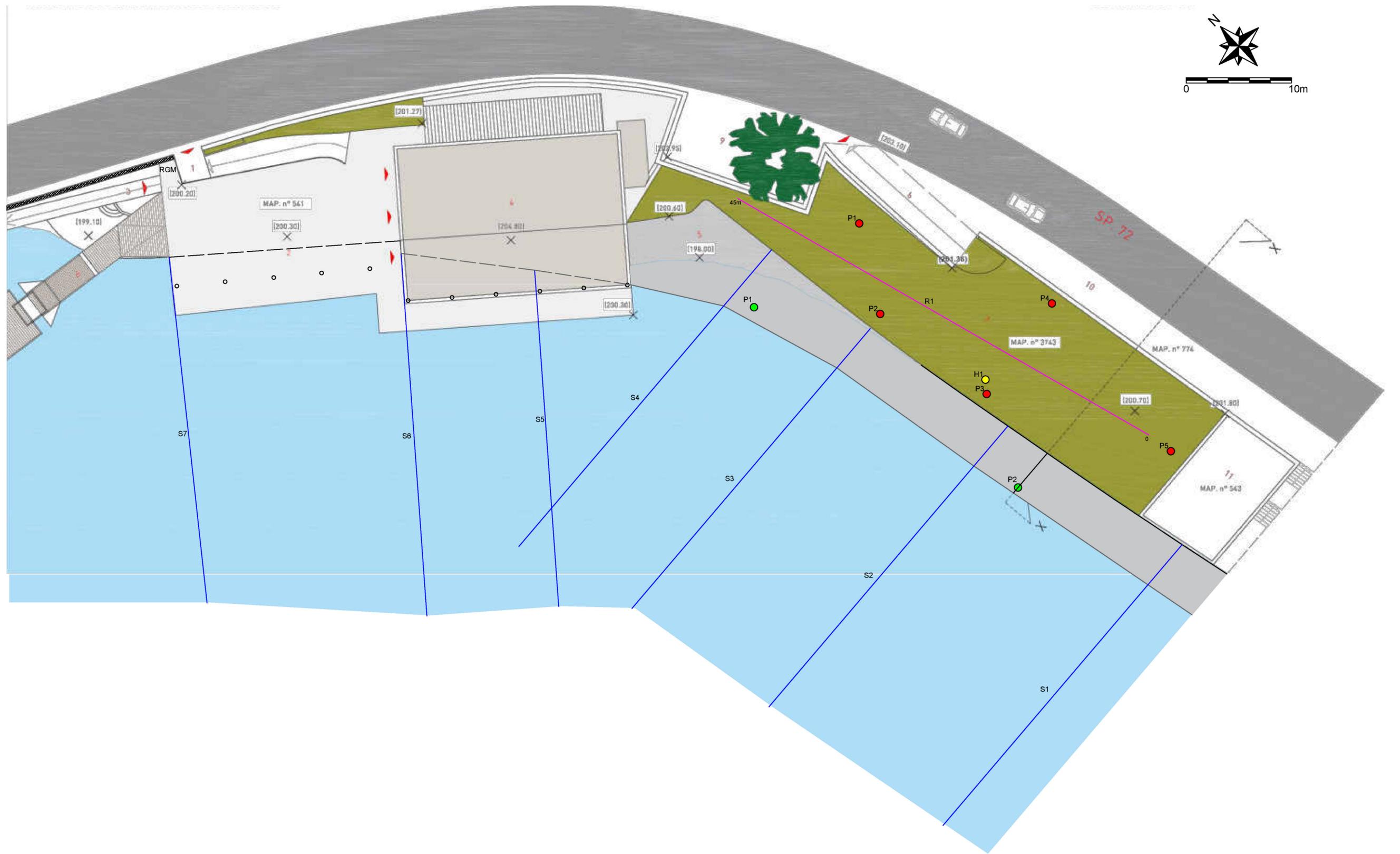
Foto n. 9 – Indagine sismica a rifrazione



Foto n. 10 – Rilievo geomeccanico di dettaglio del fronte roccioso



Foto n. 11 – Rilievo batimetrico del fondale lacustre



Carta base da planimetria stato di fatto di Arch. U. Gerosa

**LEGENDA**

- RGM Rilievo geomeccanico di dettaglio del fronte roccioso
- S1 Sezione di rilievo batimetria del fondale lacustre
- P1 Prova penetrometrica DPM (Dynamic Penetrometer Medium)
- RGM Prova penetrometrica SCPT (Standard Cone Penetration Test)
- R1 Indagine sismica a rifrazione ed elaborazione tomografica
- H1 Prova penetrometrica HVS (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

**STUDIO GEOLOGICO TECNICO LECCHESE**  
 Dott. Massimo Riva Geologo  
 Via G. Previati 16, 23900 Lecco LC  
 0341286095 - ufficiotecnico@sgtl.it



Committente:  
**COMUNE DI MANDELLO DEL LARIO**  
 Via Risorgimento 33, 23826 Mandello del Lario LC

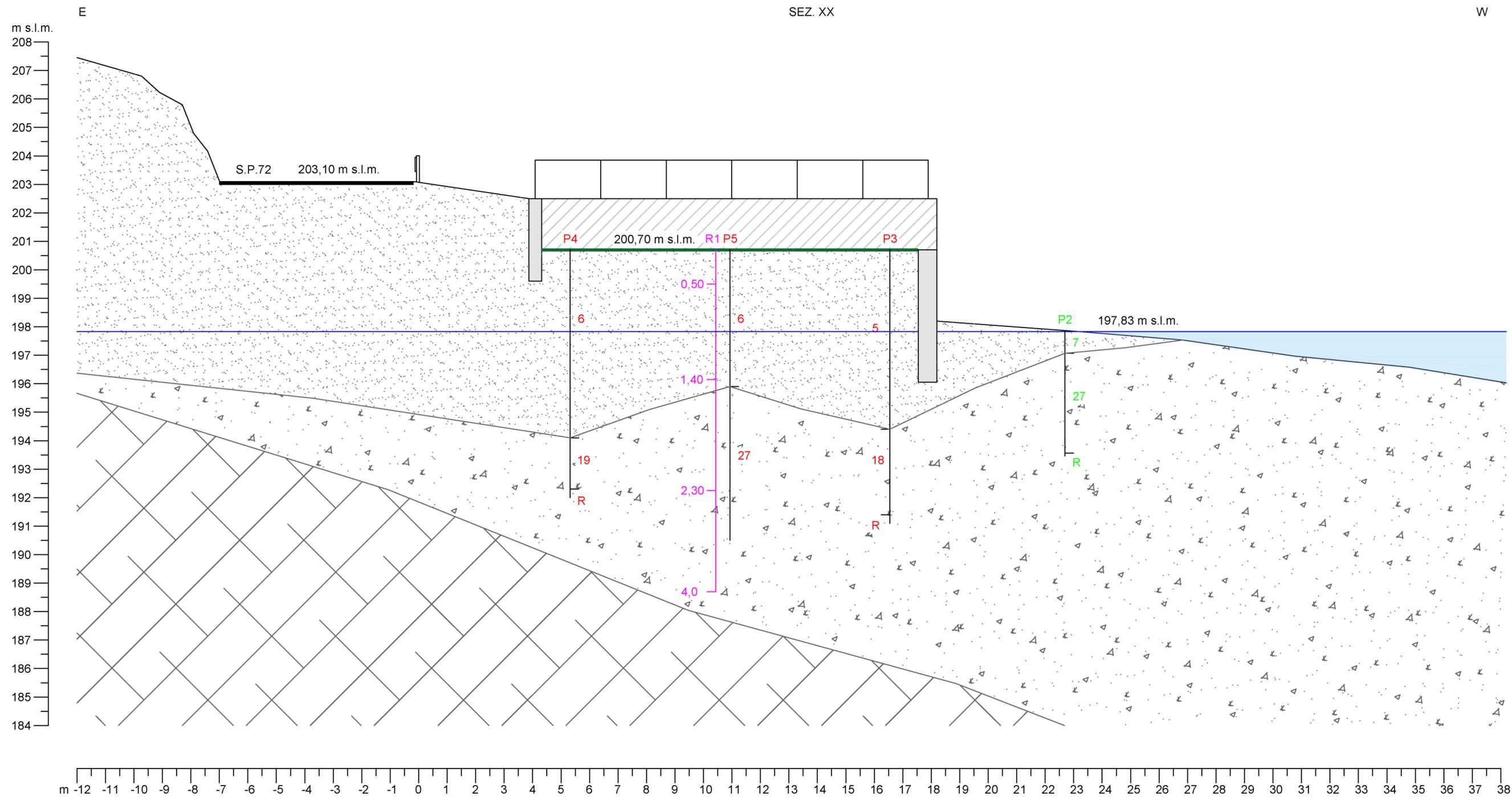
Progetto:  
 Studio di fattibilità tecnico economica per la realizzazione del nuovo centro remiero  
 Casina canottieri Via Statale snc, 23826 Mandello del Lario (LC)

Oggetto:  
 Relazione geologica e geotecnica ai sensi della D.G.R. IX 2616/2011 e del D.M. 17/01/18

Data:  
 10.2024  
 Documento:  
 Elaborato cartografico

Scala:  
 1: 250  
 Denominazione:  
 Ubicazione indagini

**TAVOLA N. 1**



Carta base da sezione stato di fatto di Arch. U. Gerosa

**LEGENDA**

- |   |  |    |   |  |
|---|--|----|---|--|
| Prova penetrometrica DPM<br>(Dynamic Penetrometer Medium)     |  | R1 | Terreno superficiale poco addensato<br>(Nspt = 5 - 6)     |  |
| Prova penetrometrica SCPT<br>(Standard Cone Penetration Test) |  | R1 | Terreno profondo mediamente addensato<br>(Nspt = 18 - 27) |  |
| Indagine sismica a rifrazione ed<br>elaborazione tomografica  |  | R1 | Substrato roccioso<br>(Nspt > 100)                        |  |

**STUDIO GEOLOGICO  
TECNICO LECCHESE**  
Dott. Massimo Riva Geologo  
Via G. Previati 16, 23900 Lecco LC  
0341286095 - ufficiotecnico@sgtl.it



Committente:  
**COMUNE DI MANDELLO DEL LARIO**  
Via Risorgimento 33, 23826 Mandello del Lario LC

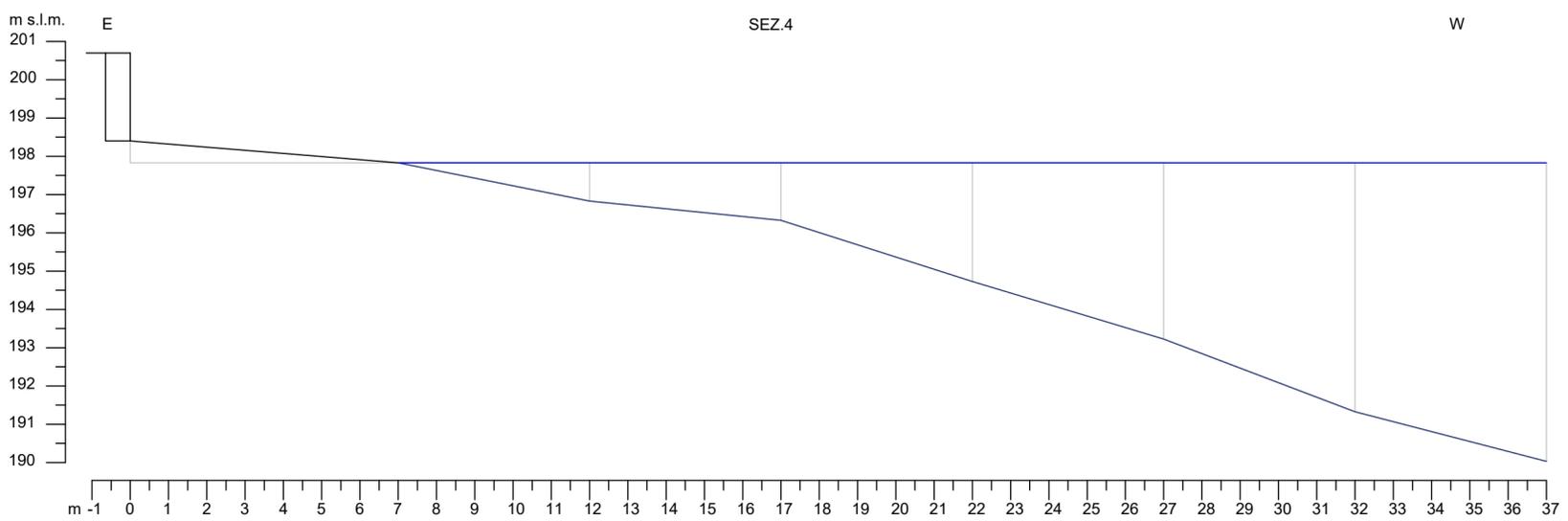
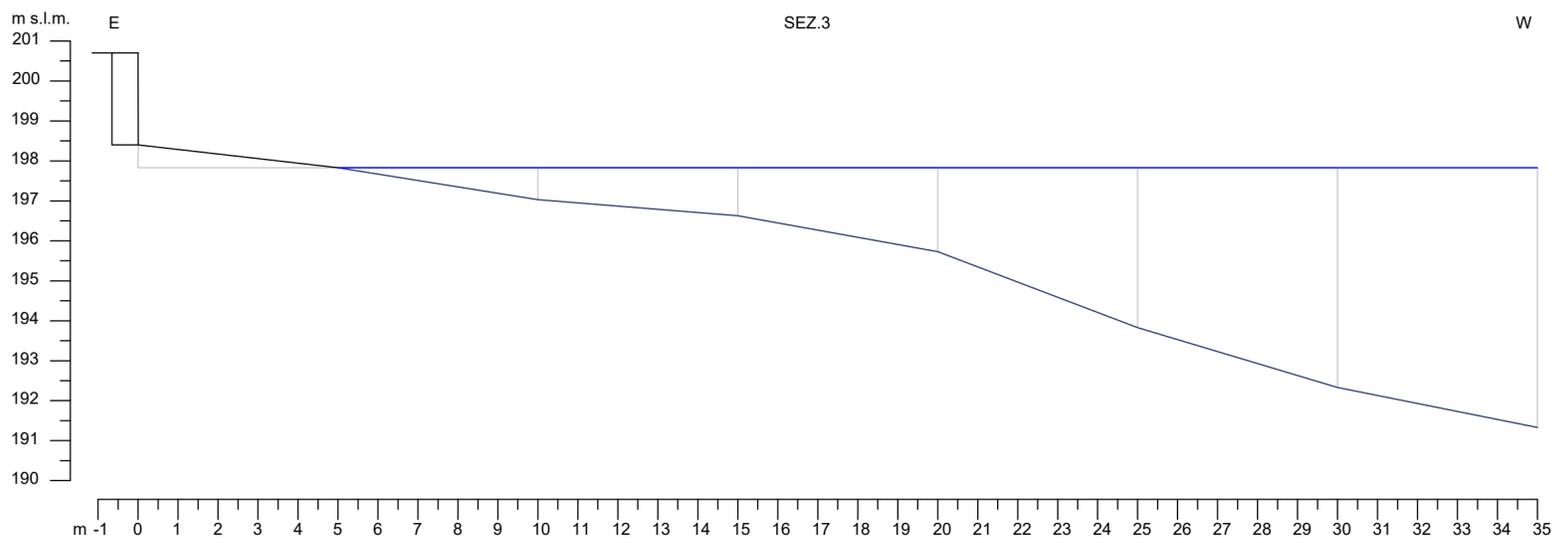
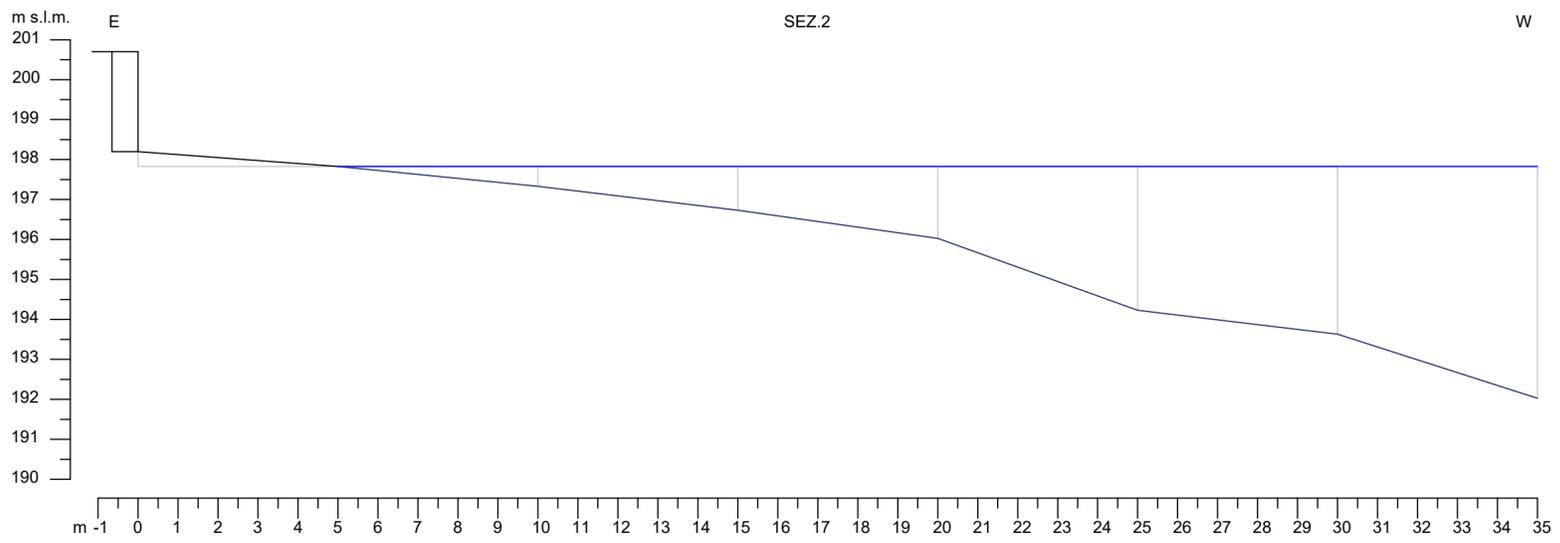
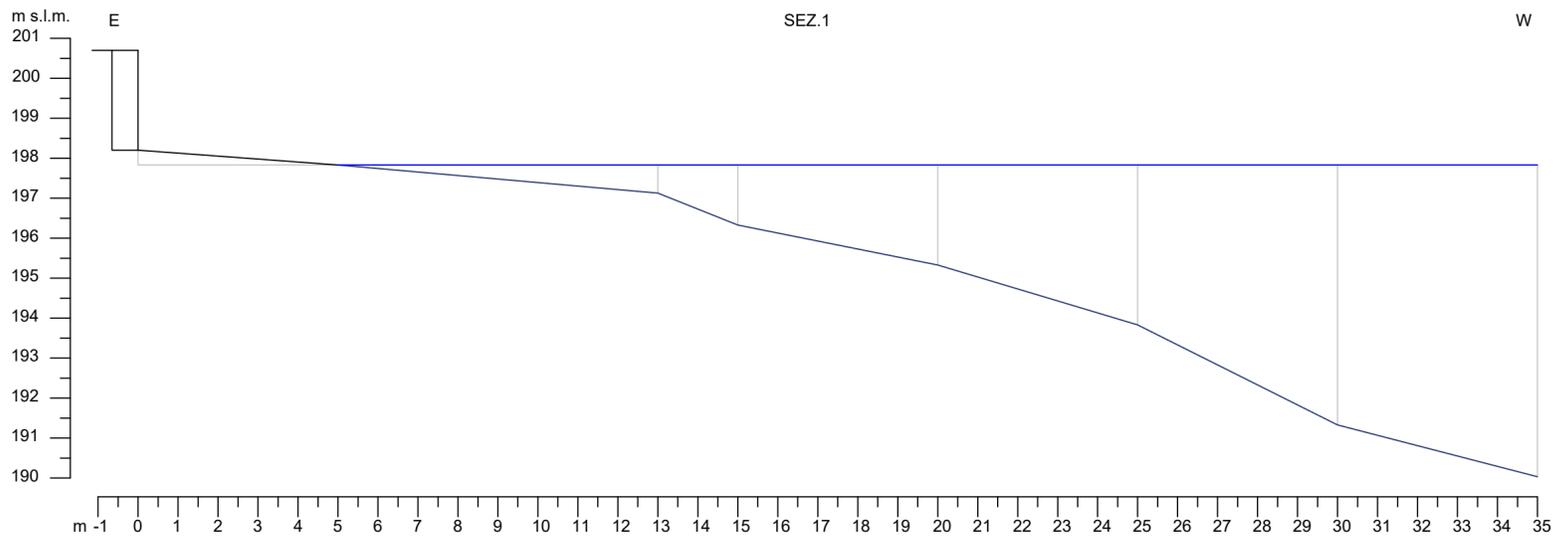
Progetto:  
Studio di fattibilità tecnico economica per la  
realizzazione del nuovo centro remiero  
Casina canottieri Via Statale snc, 23826  
Mandello del Lario (LC)

Oggetto:  
Relazione geologica e geotecnica  
ai sensi della D.G.R. IX 2616/2011 e del D.M. 17/01/18

Data:  
10.2024  
Documento:  
Elaborato cartografico

Scala:  
1: 100  
Denominazione:  
Sezione stratigrafica

**TAVOLA  
N. 2**



**LEGENDA**

- Zero idrometrico (197,83 m s.l.m.)
- Profilo fondale lacustre

**STUDIO GEOLOGICO  
TECNICO LECCHESE**  
Dott. Massimo Riva Geologo  
Via G. Previati 16, 23900 Lecco LC  
0341286095 - ufficiotecnico@sgtl.it



Committente:  
**COMUNE DI MANDELLO DEL LARIO**  
Via Risorgimento 33, 23826 Mandello del Lario LC

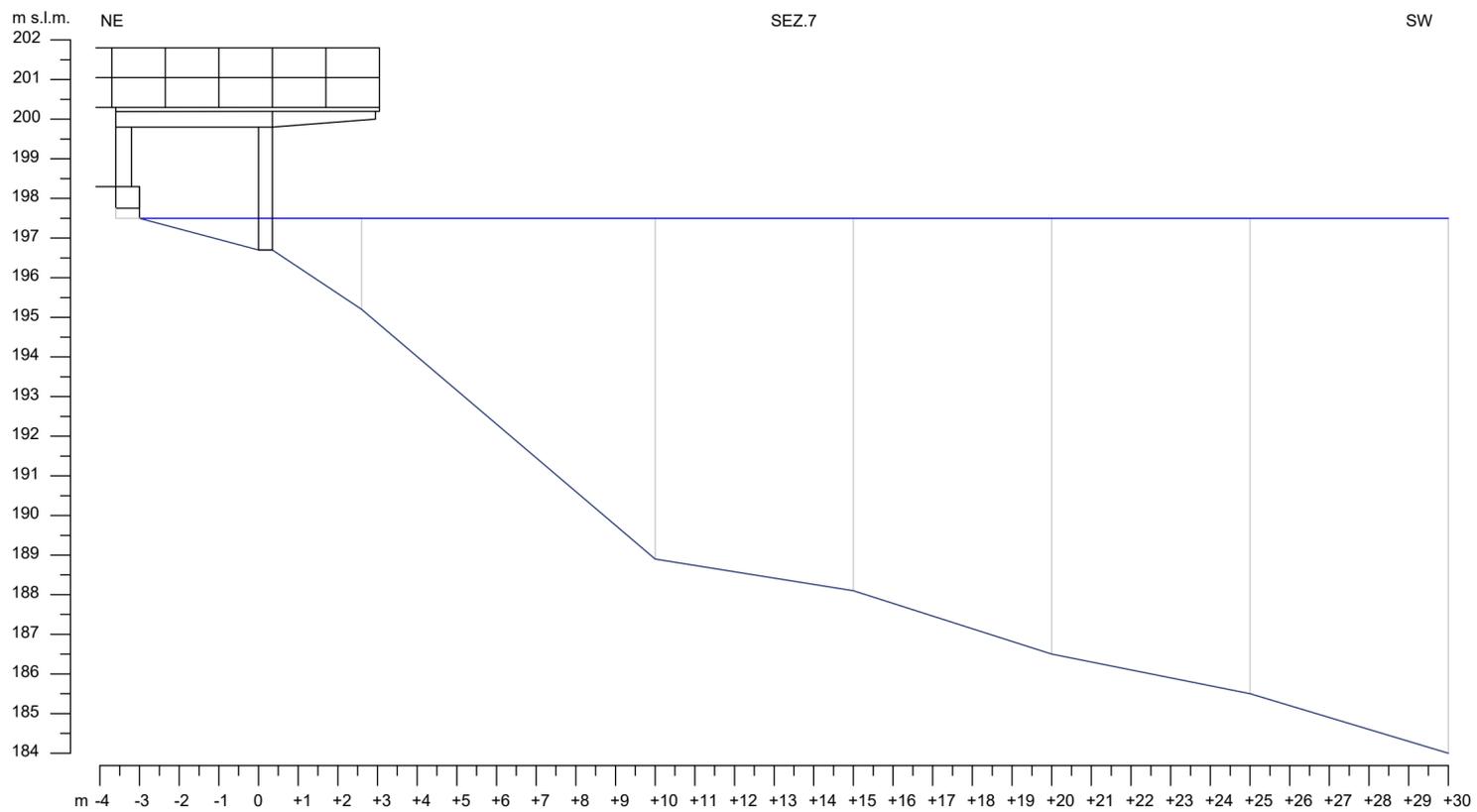
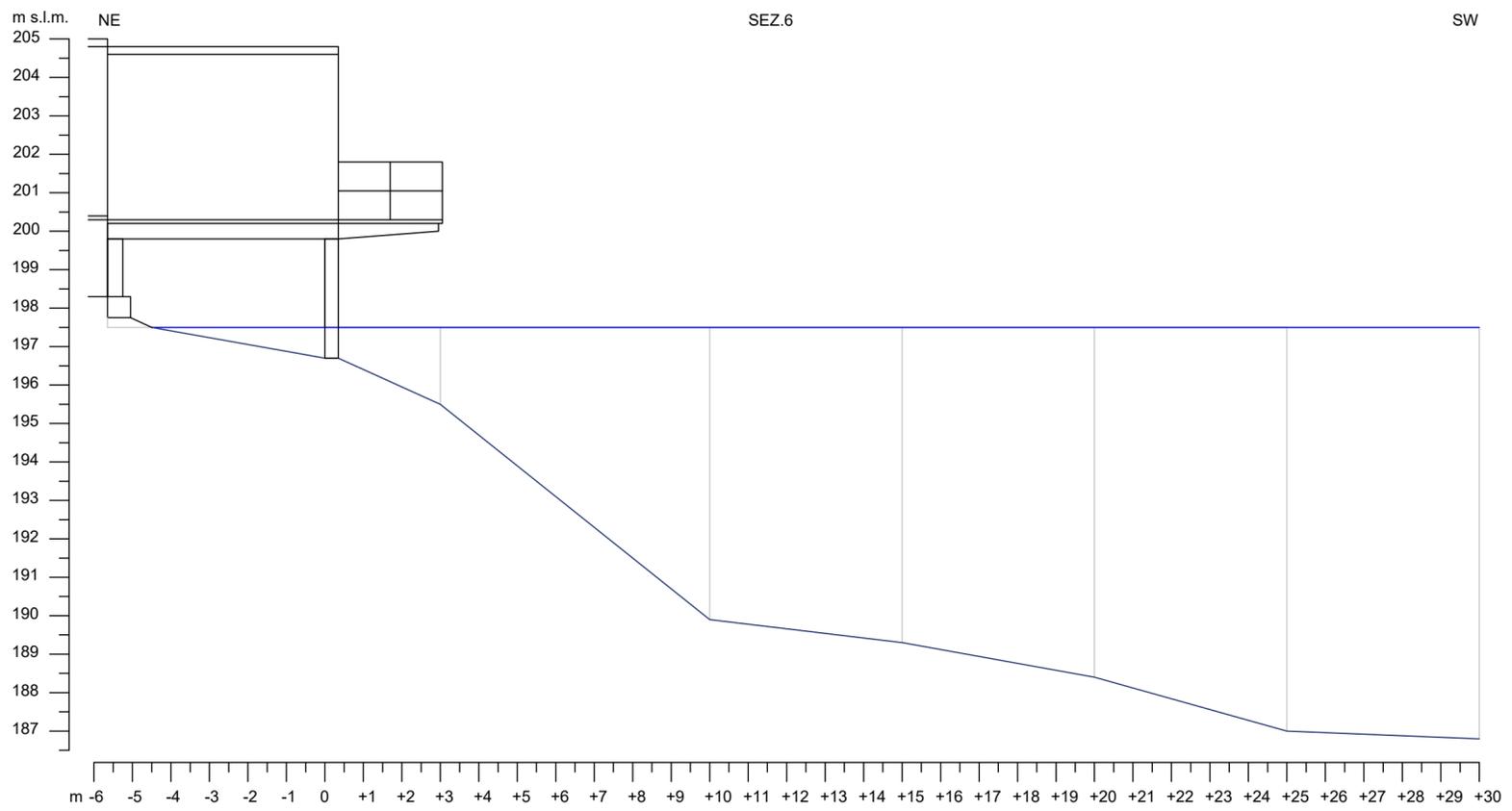
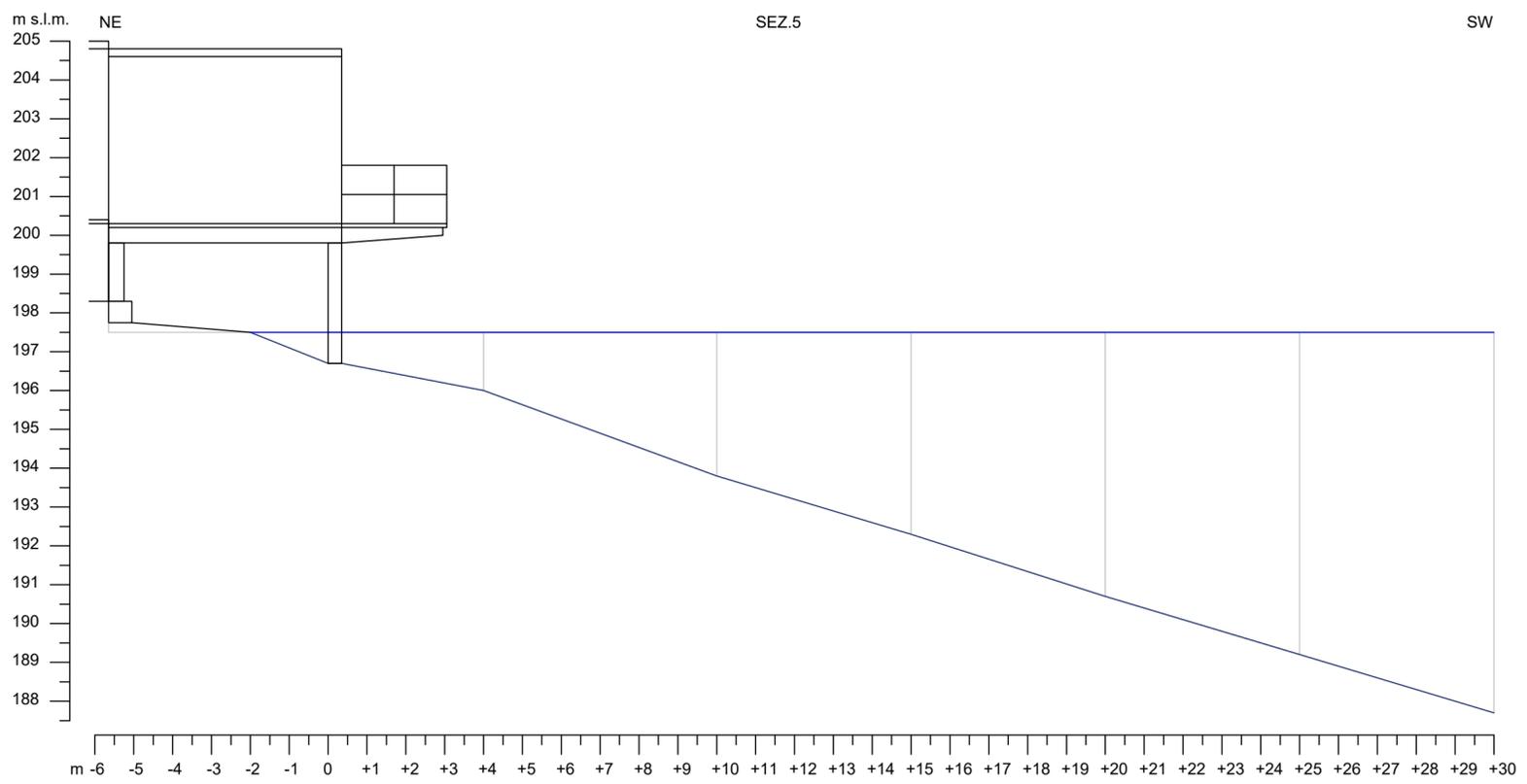
Progetto:  
Studio di fattibilità tecnico economica per la  
realizzazione del nuovo centro remiero  
Casina canottieri Via Statale snc, 23826  
Mandello del Lario (LC)

Oggetto:  
Relazione geologica e geotecnica  
ai sensi della D.G.R. IX 2616/2011 e del D.M. 17/01/18

Data:  
10.2024  
Documento:  
Elaborato cartografico

Scala:  
1: 125  
Denominazione:  
Sezioni batimetriche 1-4

**TAVOLA  
N. 3a**



**LEGENDA**

Zero idrometrico (197,83 m s.l.m.)

Profilo fondale lacustre



**STUDIO GEOLOGICO  
TECNICO LECCHESE**  
Dott. Massimo Riva Geologo  
Via G. Previati 16, 23900 Lecco LC  
0341286095 - ufficiotecnico@sgtl.it



Committente:  
COMUNE DI MANDELLO DEL LARIO  
Via Risorgimento 33, 23826 Mandello del Lario LC

Progetto:  
Studio di fattibilità tecnico economica per la  
realizzazione del nuovo centro remiero  
Casina canottieri Via Statale snc, 23826  
Mandello del Lario (LC)

Oggetto:  
Relazione geologica e geotecnica  
ai sensi della D.G.R. IX 2616/2011 e del D.M. 17/01/18

Data:  
10.2024  
Documento:  
Elaborato cartografico

Scala:  
1: 125  
Denominazione:  
Sezioni batimetriche 5-7

**TAVOLA  
N. 3b**