

# Mario Sterli – Geologo

*Via G. Treboldi n° 17 Edolo (BS) - Tel. 3358036219 - e-mail: mariosterli.geo@gmail.com*

**NUOVA FABBRICATO A USO AGRICOLO ADIBITO A  
STALLA PER BOVINI - MAPPALI 165/166/168/169/172,  
FOGLIO 38, NCT VEZZA D'OGLIO (BS)**

## **INDAGINE GEOLOGICA**



EDOLO, MAGGIO 2020

PROFESSIONISTA INCARICATO  
**GEOL. MARIO STERLI**



## SOMMARIO

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Premessa</b> .....                                      | 02 |
| 1.1 <i>Normativa di riferimento</i> .....                     | 02 |
| <b>2. Fase di analisi</b> .....                               | 03 |
| 2.1 <i>Inquadramento geografico</i> .....                     | 03 |
| 2.2 <i>Analisi bibliografica</i> .....                        | 04 |
| 2.3 <i>Analisi del progetto</i> .....                         | 09 |
| 2.4 <i>Inquadramento geologico</i> .....                      | 10 |
| <b>3. Fase di indagine</b> .....                              | 12 |
| 3.1 <i>Prove penetrometriche dinamiche</i> .....              | 12 |
| 3.1.1 <i>Descrizione tipologia delle prove</i> .....          | 12 |
| 3.1.2 <i>Metodologia di Elaborazione</i> .....                | 12 |
| 3.1.3 <i>Risultati delle interpretazioni effettuate</i> ..... | 15 |
| 3.1.4 <i>Modello geologico del sottosuolo</i> .....           | 16 |
| 3.2 <i>Indagini sismiche</i> .....                            | 22 |
| 3.2.1 <i>Sismica a rifrazione</i> .....                       | 22 |
| 3.2.2 <i>Metodo MASW</i> .....                                | 27 |
| 3.3 <i>Verifica analisi sismica di II livello</i> .....       | 33 |
| 3.4 <i>Classificazione sismica dell'area</i> .....            | 36 |
| 3.5 <i>Stabilità dei pendii e dei fronti di scavo</i> .....   | 43 |
| <b>4. Fase di sintesi con indicazioni progettuali</b> .....   | 44 |

## 1. PREMESSA

La presente indagine geologica riguarda il progetto di realizzazione di un nuovo fabbricato ad uso agricolo adibito a stalla per bovini sui mappali 165, 166, 168, 169, 172 del foglio 38 del NCT del comune di Vezza d'Oglio (BS).

L'indagine ha lo scopo di valutare la fattibilità dell'intervento, definire i caratteri geologici, geomorfologici, idrogeologici e sismici di base richiesti dalla normativa e stimare i parametri geotecnici dei terreni di fondazione.

L'indagine si è articolata nelle seguenti fasi:

- Analisi della bibliografia e dei dati geologici esistenti
- Rilievo geologico di dettaglio dell'area di intervento e di un significativo intorno;
- Realizzazione di quattro prove penetrometriche dinamiche tipo DPHS;
- Analisi dei dati e predisposizione della relazione geologica

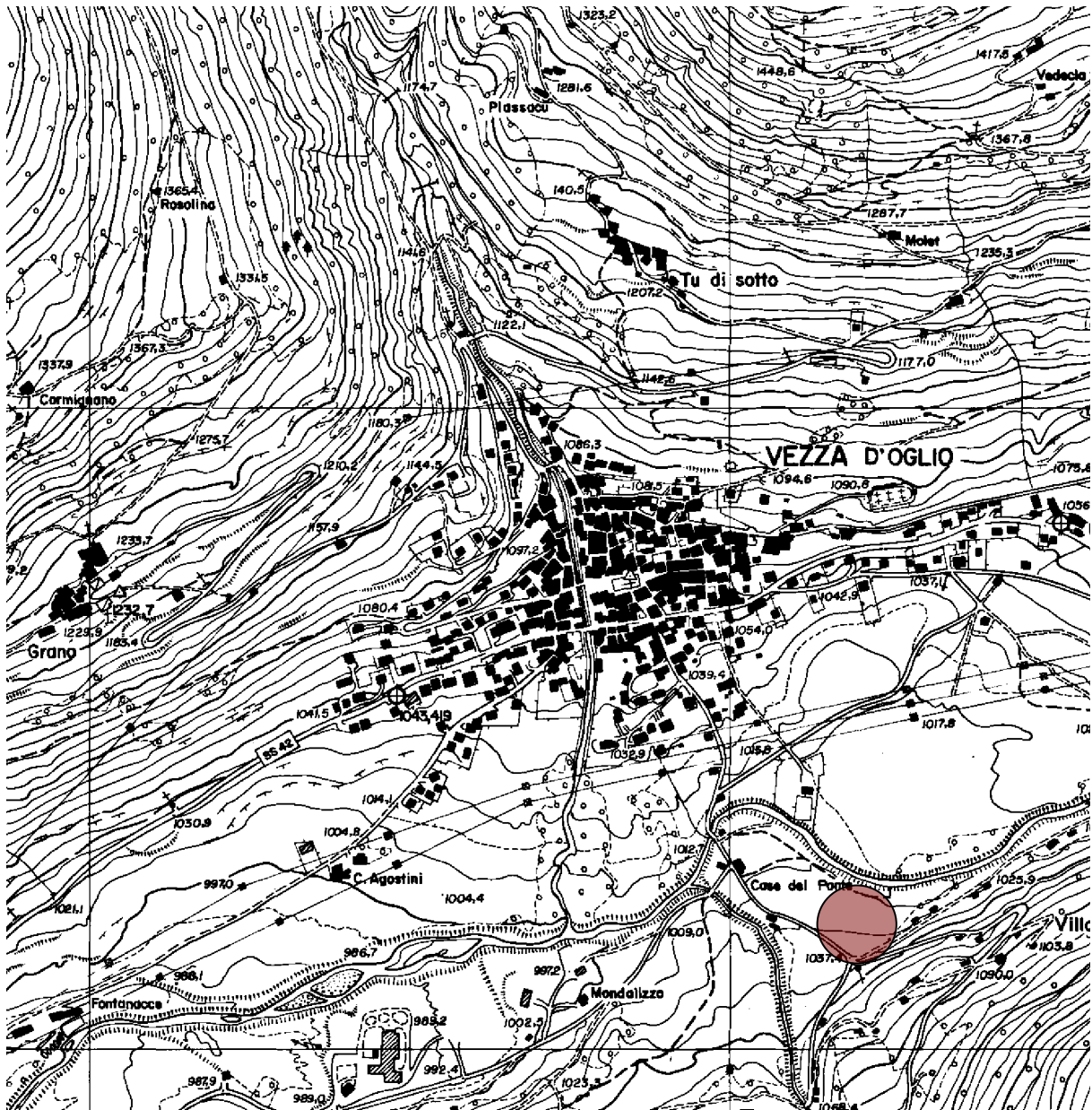
### 1.1. Normativa di riferimento

- **D.M. 11.03.1988 e s.m.i.** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- **D.M. 17 gennaio 2018** "Nuove Norme tecniche per costruzioni";
- **O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2000 e s.m.i.** "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica";
- **D.G.R. n. 2129 del 11 luglio 2014** "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia";
- **L.R. 33/2015** "Aggiornamento della normativa sulle costruzioni in zona sismica";
- **D.G.R. n. 5001/2016** "linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica";
- **D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011** ("Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio"): "La componente geologica nella pianificazione territoriale del Comune di Vezza d'Oglio"

## 2 FASE DI ANALISI

### 2.1 Inquadramento geografico

Figura 2.1: Ubicazione area di indagine (Stralcio CTR- Sez D2d5 - Scala 1:10.000)



## 2.2 Analisi bibliografica

⇒ **Carta inventario dei fenomeni franosi R.L.**

Non è segnalata alcuna situazione di dissesto attiva nel sito in esame, posto su una superficie di conoide alluvionale quiescente.

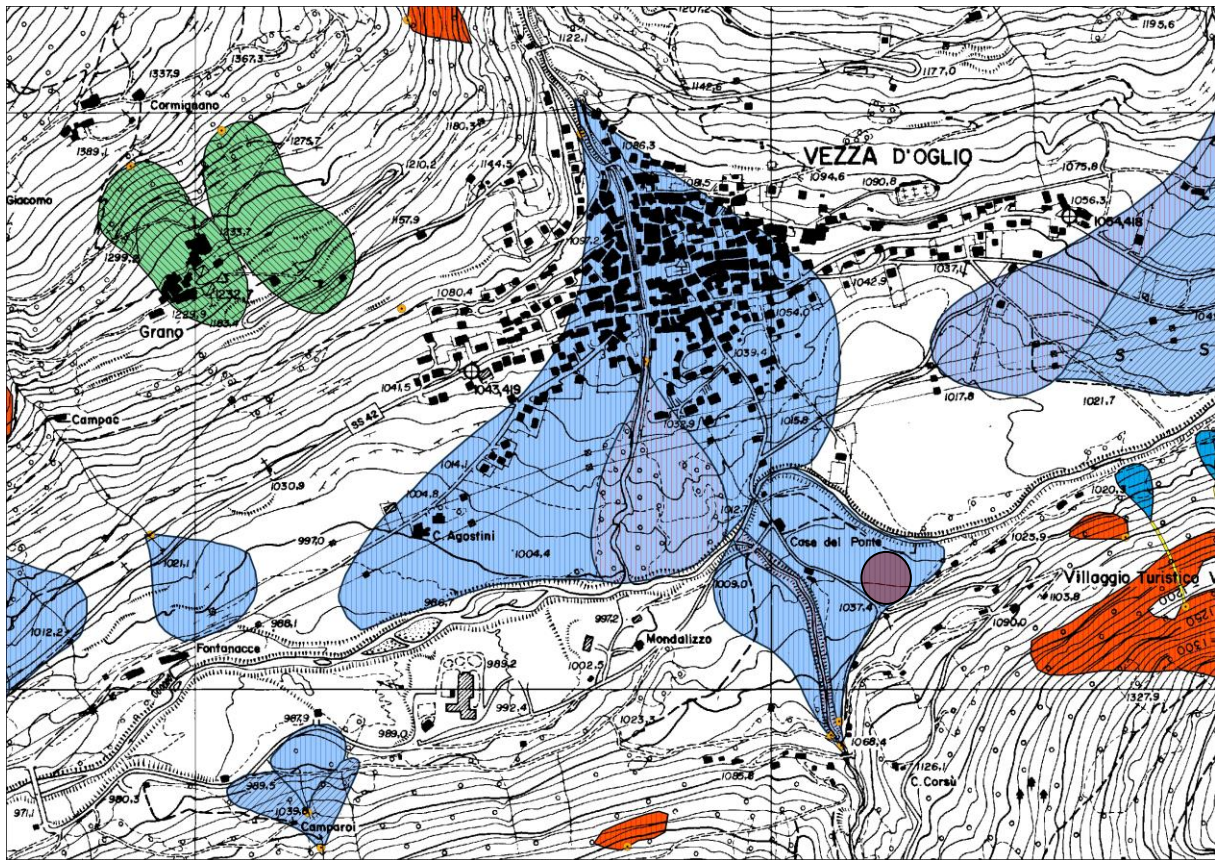
⇒ **Carta della fattibilità geologica e della azioni di piano**

Il settore di interesse è ubicato in classe 3Cn (fattibilità con consistenti limitazioni alla destinazione d'uso per la presenza di un'area di conoide completamente protetta).

⇒ **Carta della Pericolosità Sismica Locale**

Il settore di interesse ricade in "zona pedemontana di falda di detrito e conoide alluvionale (Z4B).

Figura 2.2: Stralcio Carta Inventario dei Fenomeni Franosi della R. L. - (scala 1:10.000)

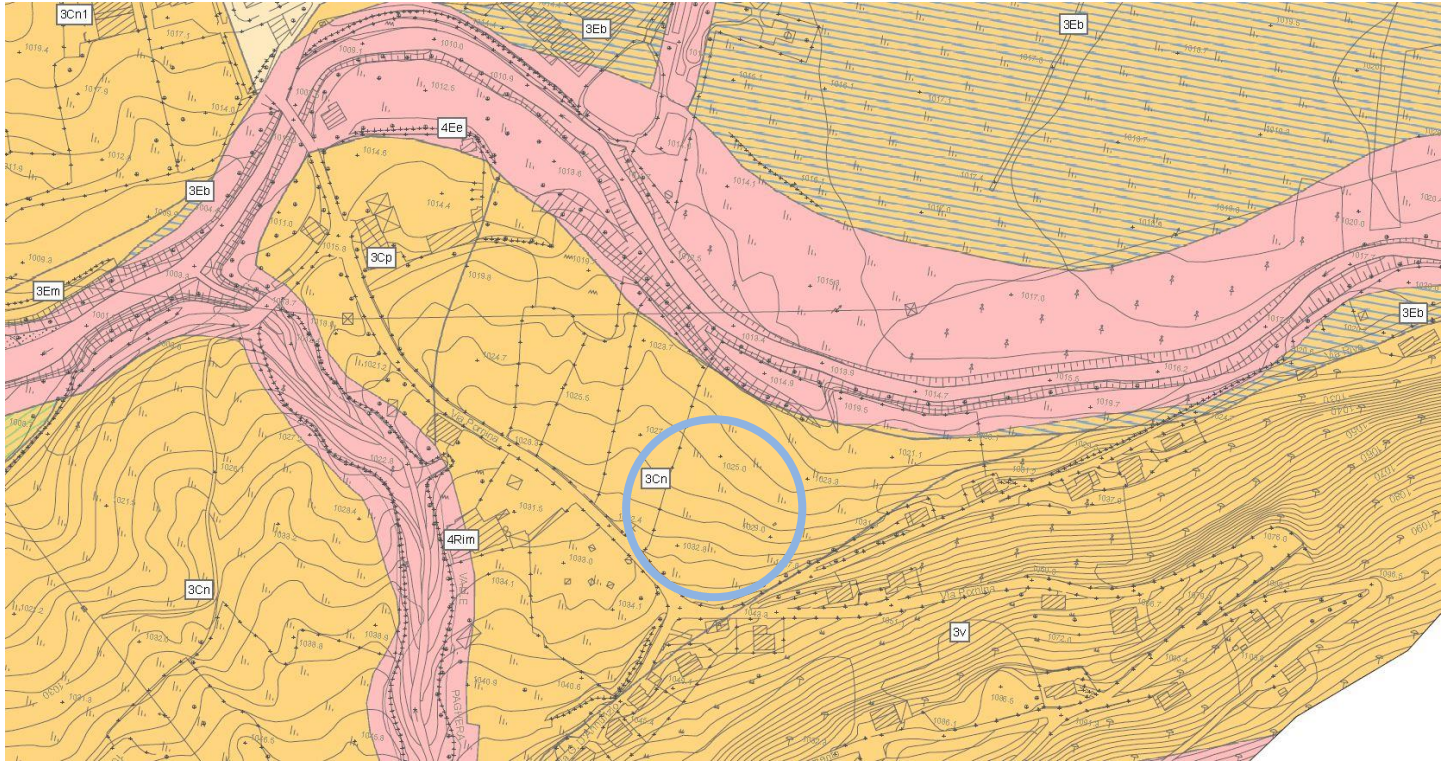


### INVENTARIO DELLE FRANE E DEI DISSESTI IDROGEOLOGICI

|  |  |   |
|--|--|---|
| ● Punto identificativo fenomeno franoso (PIFF) | ●●● scivolamento rotazionale Stabilizzato generico | ■ Scivolamento rotazionale/traslativo         |
| — colamento "lento" Attivo/riattivato/sospeso  | ●●● scivolamento traslativo Stabilizzato generico  | ■ Espansione                                  |
| — colamento "rapido" Attivo/riattivato/sospeso | ■ Conoidi  | ■ Sprofondamento                              |
| — colamento "rapido" Quiescente generico       | ■ Colamento lento                                  | ■ n.d.  |
| — colamento "rapido" Stabilizzato generico     | ■ Colamento rapido                                 | ■ DPGV Deformazione gravitativa di versante   |
| ≡≡≡ colamento "rapido" n.d.                    | ■ Movimento Complesso                              | ■ Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi |
| — complesso Quiescente generico                | ■ Crollo/Ribaltamento                              | ■ Aree soggette a frane superficiali diffuse  |
| — conoide Attivo/riattivato/sospeso            |  | ■ Aree soggette a sprofondamenti diffusi      |
| — conoide n.d.                                 |  | <b>STATO DI ATTIVITA</b>                      |
| — crollo Attivo/riattivato/sospeso             |  | ▨ Non determinato                             |
| — n.d.   |  | ▨ Attivo/riattivato/sospeso                   |
| — ribaltamento Attivo/riattivato/sospeso       |  | ▨ Quiescente                                  |
|  |  | ▨ Relitto                                     |

Regione Lombardia

Figura 2.3: Stralcio Carta della fattibilità' geologica e delle azioni di piano



**CLASSE DI FATTIBILITA' 3**

In questa classe ricadono le aree con consistenti limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni. L'utilizzo di tali aree sarà pertanto subordinato alla realizzazione di supplementi di indagine per acquisire maggiore conoscenza geologico - tecnica e/o idrogeologica dell'area e del suo intorno. Tali indagini dovranno valutare la possibilità edificatoria, in caso affermativo, l'entità dell'intervento sostenibile nonché le opere di bonifica e di difesa. Per l'uso di tali aree, si dovrà tenere in particolare considerazione quanto contenuto nelle Norme Tecniche di Costruzione (cfr. § 6.1.1- § 6.1.2) e nella circolare del 2 febbraio 2009 N. 217 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

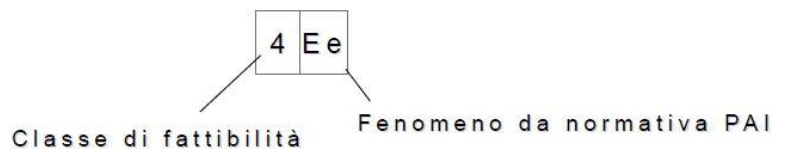
NB: Da sottolineare che le classi 3Cp, 3Eb, 3Em/C sono regolate in modo più restrittivo dalle Nda del PAI art. 27 L.R.12/05

**SOTTOCLASSI**

- Cn2
- Eb
- Em/C

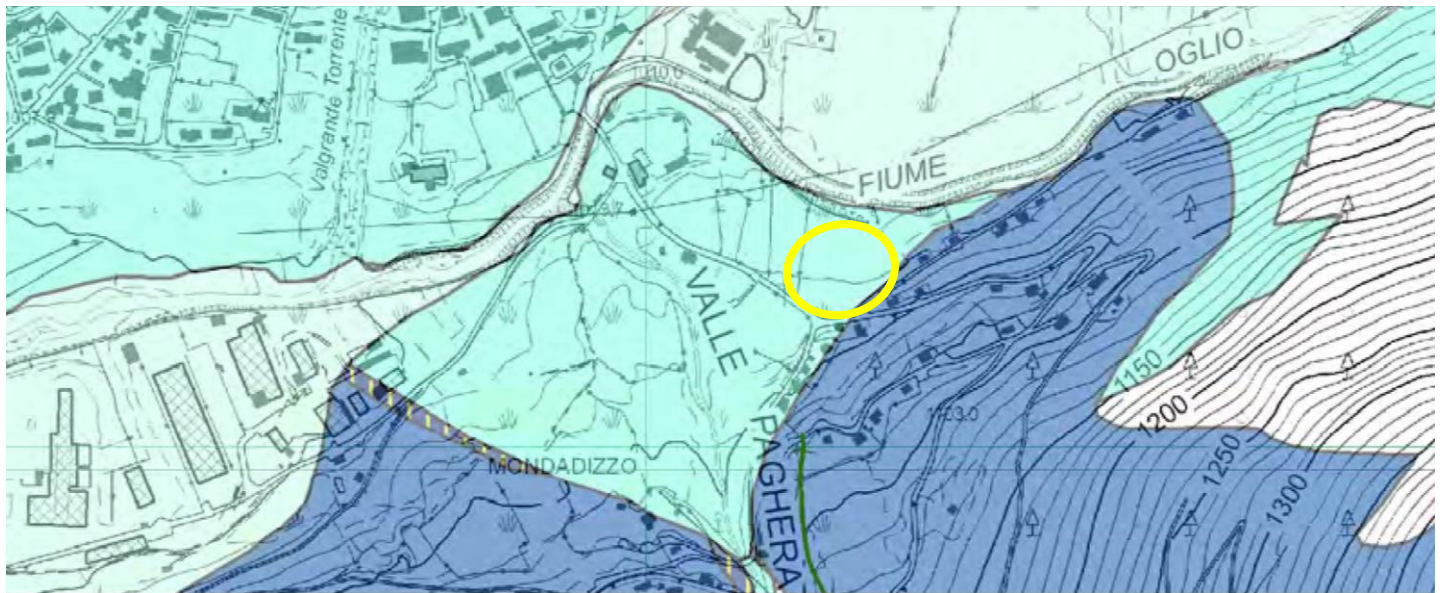
**CLASSE DI FATTIBILITA' 4**

In questa classe ricadono le aree in cui l'alto rischio comporta gravi limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni. Dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione se non tenuta al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica dei siti. Per gli edifici esistenti sono ammessi interventi così come definito dall'art. 27, lettera a,b,c, della L.R.12/2005. Norme specifiche d'uso del suolo sono riportate per ogni sottoclasse nelle norme tecniche.



| FENOMENO NORMATIVA PAI |  |
|------------------------|--|
| Ee                     | ESONDAZIONI - Area a pericolosità molto elevata        |
| Eb                     | ESONDAZIONI - Area a pericolosità elevata              |
| Em                     | ESONDAZIONI - Area a pericolosità media                |
| Ca                     | CONOIDI - Area di conoide attivo non protetta          |
| Cp                     | CONOIDE - Area di conoide attivo parzialmente protetta |
| Cn                     | CONOIDE - Area di conoide completamente protetta       |
| Fs                     | FRANA - Area di frana stabilizzata                     |

Figura 2.4: Stralcio Carta della Pericolosità Sismica Locale













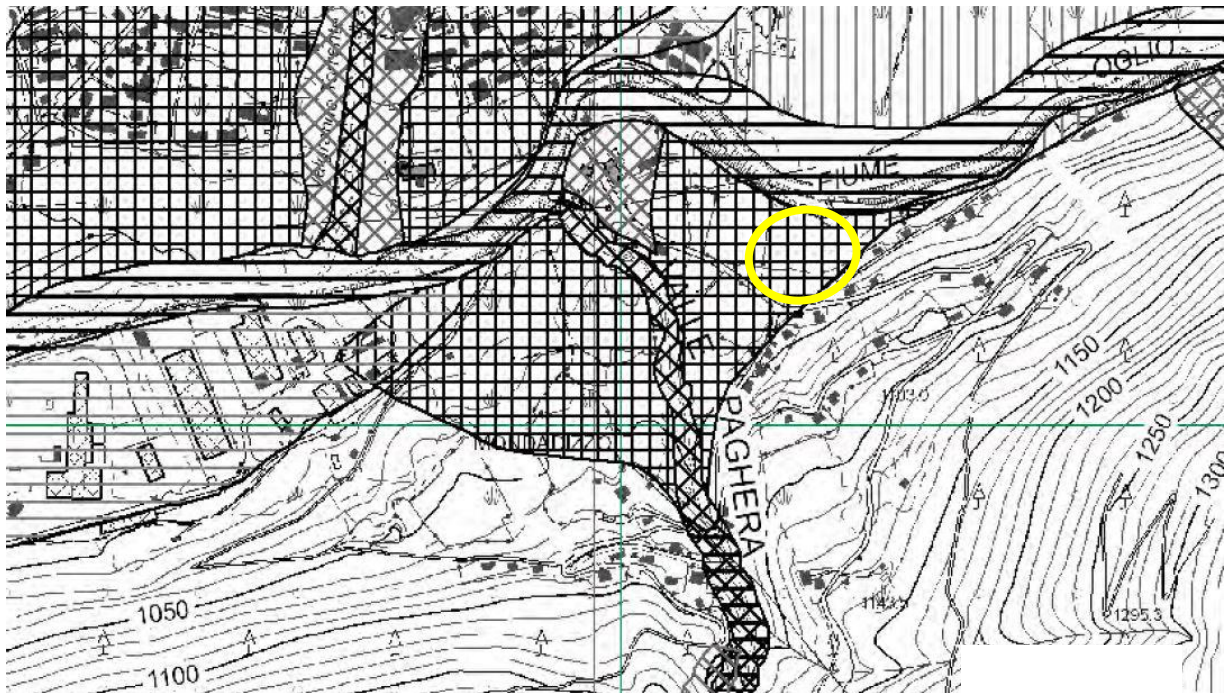











- +++ Z3A = Zona di ciglio con  $H > 10$  m
- +++ Z3B = Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo
-  Z1A = Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi
-  Z1B = Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti
-  Z1C = Zona potenzialmente franosa o esposta a rischi di frana
-  Z4A = Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio - glaciali granulari e/o coesivi
-  Z4B = Zona pedemontana di falda di detrito e conoide alluvionale
-  Z4C = Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi
-  Z4A/Z4B
-  Z4B/Z4C
-  Z1B/Z4B/Z4C
-  Z1C/Z4B/Z4C



Figura 2.5: Stralcio Carta con legenda uniformata PAI



-  Fa, aree interessate da frane attive
-  Fq, aree interessate da frane quiescenti
-  Fs, aree interessate da frane stabilizzate
-  Ee, esondazioni, aree a pericolosità molto elevata
-  Eb, esondazioni, area a pericolosità elevata
-  Em, esondazioni, area a pericolosità media o moderata
-  Ca, area di conoide attivo non protetta
-  Cp, area di conoide attivo non parzialmente protetta
-  Cn, area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta
-  Va, valanghe, aree a pericolosità molto elevata
-  Vm, valanghe, area a pericolosità media

### 2.3. Analisi del progetto

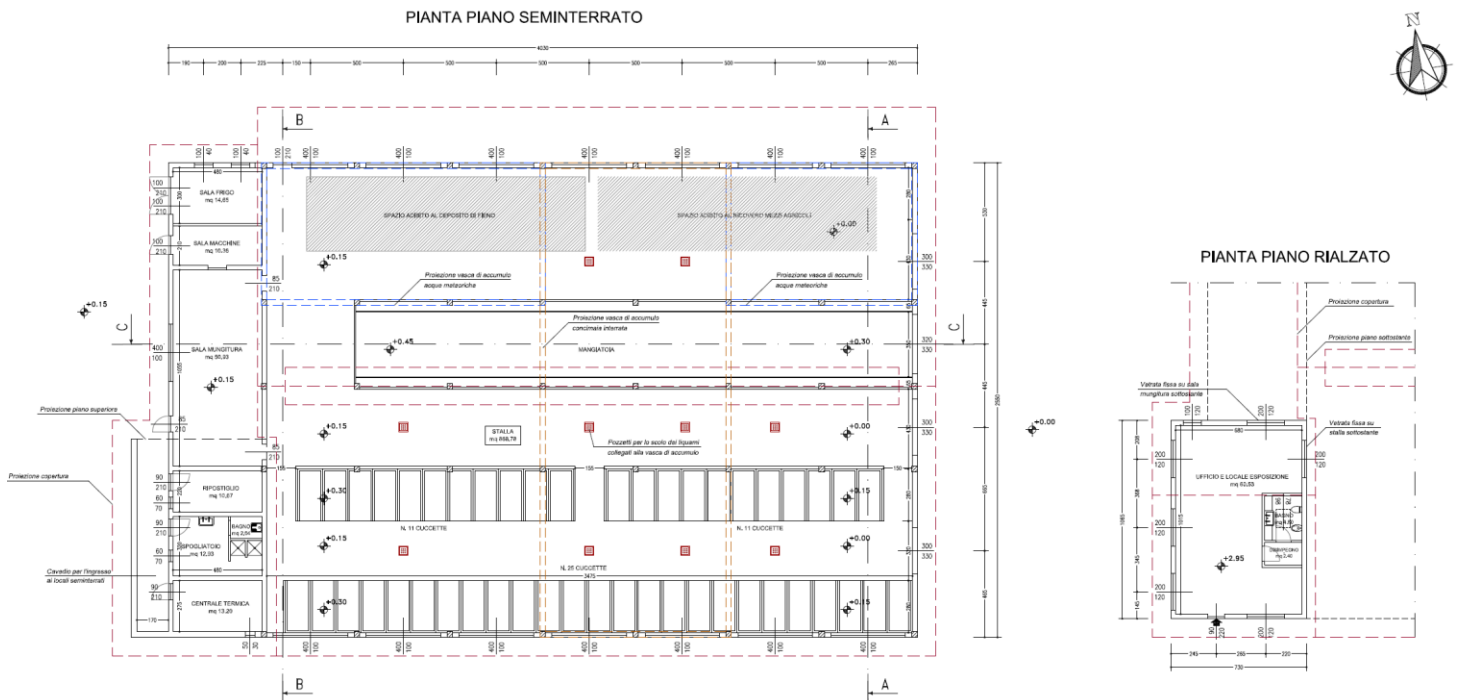


Figura 2.6: Stralcio piante di progetto

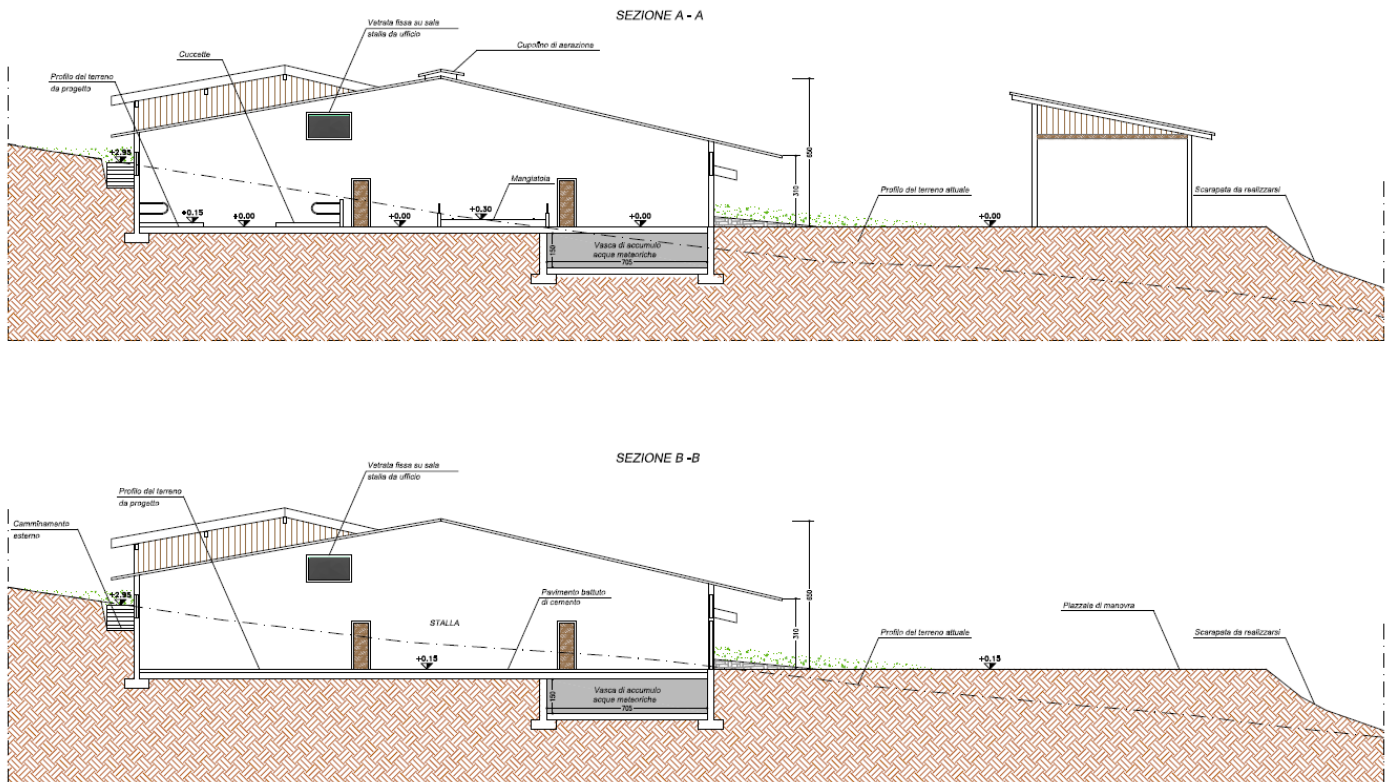


Figura 2.7: Stralcio sezioni A-A e B-B di progetto

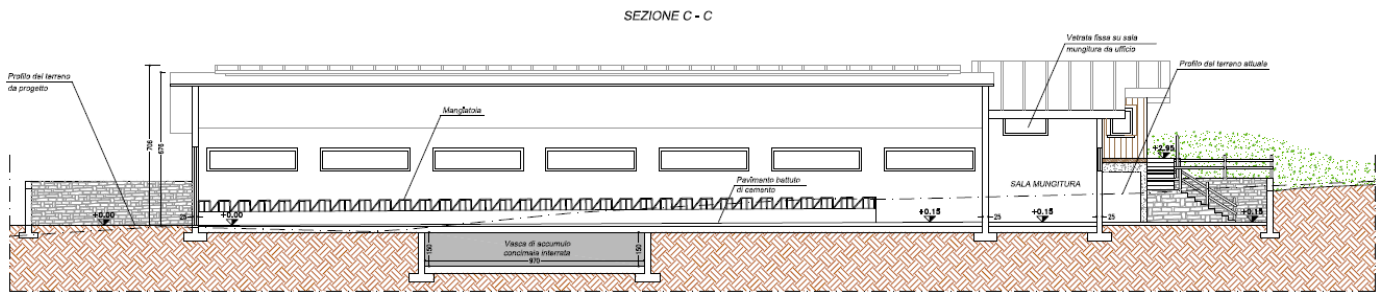


Figura 2.8: Stralcio sezione C-C di progetto

## 2.4. Inquadramento geologico

Il fabbricato agricolo in oggetto è ubicato al piede del versante sinistro idrografico dell'Alta Valle Camonica, ad una quota di circa 1035 m slm.

Dal punto di vista geomorfologico, il settore di indagine è posto al margine orientale del conoide alluvionale del torrente Val Paghera. La superficie del sito è caratterizzata da acclività blande ed è attualmente adibita allo stazionamento di bestiame.

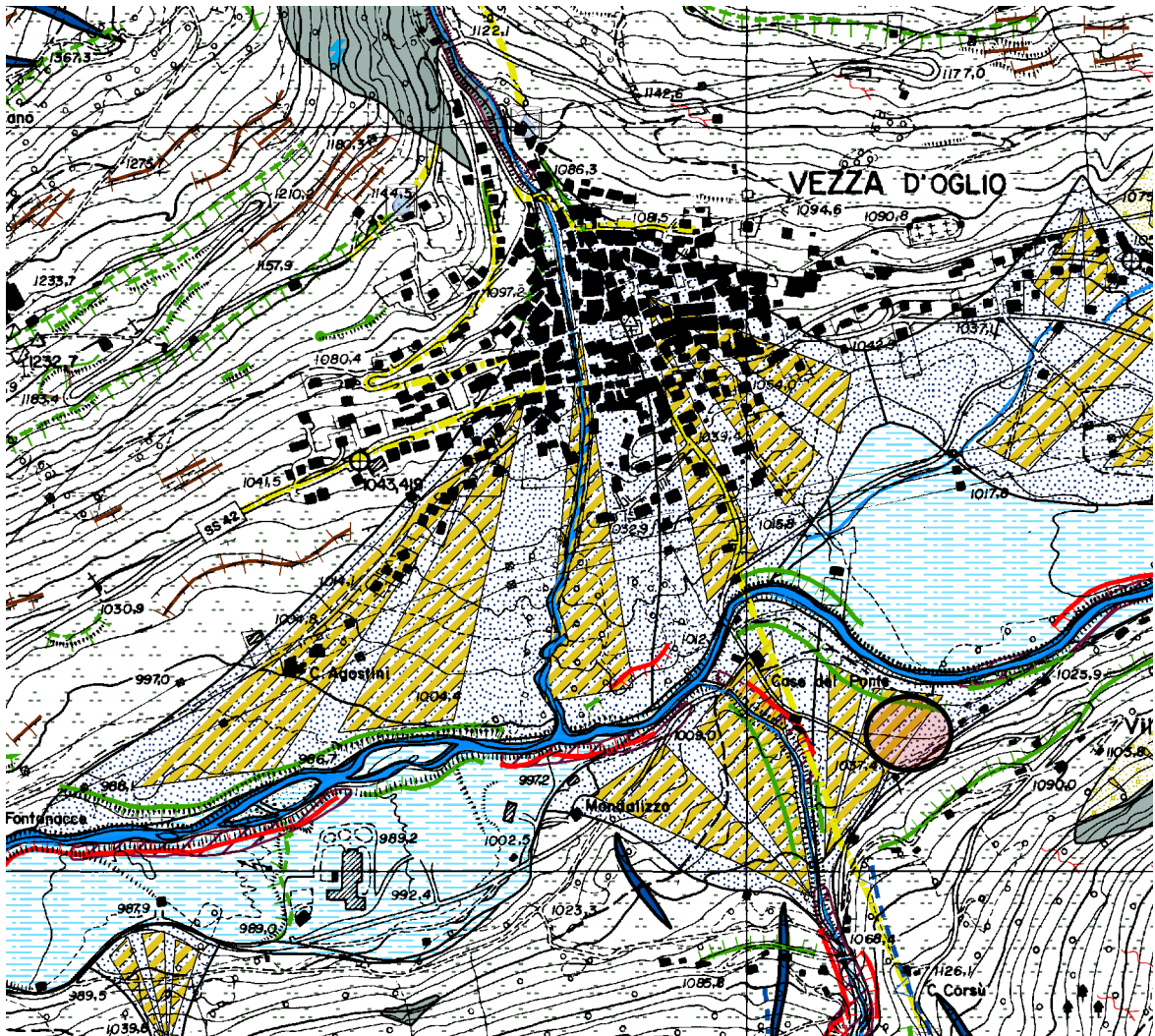
Dal punto di vista litologico, il sottosuolo del settore è costituito da depositi alluvionali con orizzonti grossolani con sabbia, ghiaia, ciottoli e trovanti alternati a livelli più fini prevalentemente sabbioso-limosi. Le indagini effettuate hanno evidenziato la progressiva prevalenza di questi ultimi procedendo verso Est.

In superficie, si estendono gli orizzonti colturali, contraddistinti dalla presenza di argilla e di sostanza organica, derivanti dai continui processi pedogenetici e dagli apporti fini colluviali. Nel sito di indagine tali orizzonti, caratterizzati da caratteristiche geotecniche scadenti, raggiungono spessori elevati (sino a 3 m).

Dal punto di vista idrogeologico, non si hanno evidenze che il sottosuolo del sito di indagine sia interessato da circolazione idrica sotterranea, se non a carattere temporaneo a seguito di condizioni particolari.

Dal punto di vista idraulico, il sito è protetto dall'azione del fiume Oglio dalla scarpata di erosione inattiva che demarca il piede del conoide. Per quanto riguarda il torrente Val Paghera, la notevole distanza dal potenziale punto di fuoriuscita (oltre 200 m), e la posizione defilata al margine orientale del conoide (il torrente tende se mai a inondare le aree poste più a Ovest) consentono ragionevolmente di affermare come il sito non possa essere interessato da eventuali fenomeni esondativi di entità consistente.

Figura 2.9: Carta di inquadramento geologico (Stralcio Cartografia R.L. 1:10.000)



**Rocce ignee**

- Rocce effusive
- Rocce filoniane
- Rocce intrusive

**Rocce metamorfiche**

- Micascisti e filladi
- Gneiss
- Quarziti
- Rocce metamorfiche carbonatiche
- Serpentiniti e altre rocce metamorfiche

**DEPOSITI QUATERNARI**

- Depositi colluviali
- Depositi eluviali
- Depositi eluvio/colluviali
- Depositi fluvioglaciali
- Depositi lacustri
- Morena stadiale
- Depositi morenici
- Depositi torbosi
- Depositi alluvionali
- Conoide di deiezione attivo
- Conoide di deiezione inattivo
- Falda e/o cono detritico attivo
- Falda e/o cono detritico inattivo
- Rete acquedottistica
- Collettore fognario

**Orli morfologici**

- Nicchia di frana attiva
- Nicchia di frana inattiva
- Orlo di scarpata di cava o miniera a cielo aperto
- Orlo di scarpata di degradazione o frana
- Orlo di scarpata di erosione fluviale attivo
- Orlo di scarpata di erosione fluviale inattivo
- Orlo di scarpata di erosione glaciale
- Orlo di scarpata di origine antropica
- Orlo di scarpata di origine strutturale attivo
- Orlo di scarpata di origine strutturale inattivo
- Orlo di scarpata morfologica inattiva
- Orlo di scarpata morfologica attiva
- Forra
- Circo glaciale
- Gradino di valle sospesa
- Gradonatura artificiale

**LINEAMENTI STRUTTURALI**

- Faglia sicura
- Faglia presunta
- Frattura principale
- Sovrascorrimento sicuro
- Sovrascorrimento presunto

### 3. FASE DI INDAGINE

#### 3.1 Prove penetrometriche dinamiche

##### **3.1.1 - Descrizione tipologia delle prove**

Le prove penetrometriche dinamiche tipo SCPT sono state eseguite con il penetrometro pesante TG 63 100 – Pagani, i cui dati tecnici, e i diagrammi di resistenza del terreno, sono riportati negli allegati alla presente relazione.

Il penetrometro pesante TG 63 100 – Pagani prevede l'utilizzo di aste dotate di una punta conica del diametro di 51 mm e conicità di 60°, maglio di 63,5 Kg di peso e caduta libera del maglio per 75 cm; la prova consiste nel rilevare il numero di colpi necessario per ottenere un avanzamento della punta di 20 cm all'interno del terreno.

Le prove sono state eseguite nel rispetto della "Raccomandazione" ISSMFE per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa (ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) Dynamic Probing (DP) International Reference Test Procedure).

I risultati sono illustrati in grafici che evidenziano le resistenze all'avanzamento della punta in funzione della profondità, misurate dai valori di  $N_{20\text{ cm}}$  ottenuti dalle prove.

L'analisi dei grafici delle prove penetrometriche permette di stimare la stratigrafia del sottosuolo ed i parametri geotecnici dei livelli di terreno attraversati. Nel caso in esame, a partire dalla superficie, si sono attraversati essenzialmente tre tipi di terreno: materiali di riporto, terreni superficiali fini vegetali ed agrari "mollì" e depositi glaciali grossolani più o meno addensati.

Di seguito si riportano l'ubicazione ed i diagrammi delle prove, ed i dati tecnici dello strumento utilizzato.

##### **3.1.2 - Metodologia di Elaborazione.**

Il penetrometro utilizzato permette di individuare i vari orizzonti che caratterizzano il sottosuolo e, tramite correlazioni con la prova di riferimento SPT comunemente adottata, consente di fornirne in maniera semi-qualitativa i relativi parametri

geotecnici. Per l'interpretazione delle prove sono stati innanzitutto identificati gli orizzonti contraddistinti da valori simili della resistenza alla punta, raggruppando tra di loro i livelli caratterizzati da valori simili e contigui di  $N_{20\text{ cm}}$  ricavati. A questi orizzonti, dopo aver scartato i valori più elevati, sono stati assegnati dei valori corrispondenti alla media dei valori inferiori, operando in questo modo a favore della sicurezza. Successivamente i valori della resistenza alla punta sono stati trasformati da dati  $N_{\text{SCPT}}$  in dati  $N_{\text{SPT}}$ . Viste le caratteristiche granulometriche dei terreni in esame, è stata adottata una correlazione del tipo  $N_{\text{SPT}} = 1,15 N_{\text{SCPT}}$ . Con una ulteriore semplificazione, quindi, questi "strati" individuati in base al loro comportamento meccanico, vengono suddivisi anche dal punto di vista stratigrafico e geotecnico.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

### Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

#### **Correzione $N_{\text{spt}}$ in presenza di falda**

$$N_{\text{spt}} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{\text{spt}} - 15)$$

$N_{\text{spt}}$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

#### **Angolo di Attrito**

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38° ).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.

- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda)  $s > 15$  t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per **sabbie** con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

**Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per **ghiaie** Dr viene sovrastimato, per **limi** sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per **limi** e **sabbie** e **sabbie da fini a grossolane** NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per **sabbie fini** e **ghiaiose** NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

**Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Terzaghi - elaborazione valida per **sabbia pulita** e **sabbia con ghiaia** senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

**Modulo Edometrico**

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

**Stato di consistenza**

- Classificazione A.G.I. 1977

**Peso di Volume Gamma**

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

**Peso di volume saturo**

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa  $\gamma = 2,65$  t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

**Modulo di poisson**

- Classificazione A.G.I.

**Velocità onde di taglio  $V_s$  (m/sec)**

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

**Modulo di deformazione di taglio ( $G$ )**

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

**Modulo di reazione ( $K_0$ )**

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson 1983  $Q_c$

### 3.1.3 – Risultati delle interpretazioni effettuate

Nello schema riportato più sotto sono riassunti i parametri geotecnici dei terreni stimati sulla base dei risultati delle prove.

| Profondità da p.f. (cm) | Tipo di terreno                                  | Angolo di resistenza al taglio | Densità relativa | Peso unità di volume                | Peso unità di volume saturo         | Modulo di Young               |
|-------------------------|--|--------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 0 ÷ 280                 | Terreni agrari e orizzonti superficiali scadenti | $\phi = 23^\circ$              | 30               | $\gamma = 1,65$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,75$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 18<br>Kg/cm <sup>2</sup>  |
| 280 ÷ 600               | Depositi alluvionali addensati                   | $\phi = 33^\circ$              | 62               | $\gamma = 1,85$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,95$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 130<br>Kg/cm <sup>2</sup> |

| Profondità da p.f. (cm) | Tipo di terreno                                  | Angolo di resistenza al taglio | Densità relativa | Peso unità di volume                | Peso unità di volume saturo         | Modulo di Young               |
|-------------------------|--|--------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 0 ÷ 100                 | Terreni agrari e orizzonti superficiali scadenti | $\phi = 23^\circ$              | 30               | $\gamma = 1,65$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,75$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 18<br>Kg/cm <sup>2</sup>  |
| 100 ÷ 220               | Depositi alluvionali poco addensati              | $\phi = 28^\circ$              | 50               | $\gamma = 1,75$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,85$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 42<br>Kg/cm <sup>2</sup>  |
| 220 ÷ 280               | Depositi alluvionali addensati                   | $\phi = 33^\circ$              | 62               | $\gamma = 1,85$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,95$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 130<br>Kg/cm <sup>2</sup> |

| Profondità da p.f. (cm) | Tipo di terreno                                  | Angolo di resistenza al taglio | Densità relativa | Peso unità di volume                | Peso unità di volume saturo         | Modulo di Young               |
|-------------------------|--|--------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 0 ÷ 250                 | Terreni agrari e orizzonti superficiali scadenti | $\phi = 23^\circ$              | 30               | $\gamma = 1,65$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,75$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 18<br>Kg/cm <sup>2</sup>  |
| 250 ÷ 380               | Depositi alluvionali poco addensati              | $\phi = 27^\circ$              | 48               | $\gamma = 1,70$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,80$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 35<br>Kg/cm <sup>2</sup>  |
| 380 ÷ 520               | Depositi alluvionali mediamente addensati        | $\phi = 30^\circ$              | 56               | $\gamma = 1,80$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,90$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 70<br>Kg/cm <sup>2</sup>  |
| 520 ÷ 680               | Depositi alluvionali poco addensati              | $\phi = 27^\circ$              | 48               | $\gamma = 1,70$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,80$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 35<br>Kg/cm <sup>2</sup>  |
| 680 ÷ 760               | Depositi alluvionali addensati                   | $\phi = 34^\circ$              | 64               | $\gamma = 1,90$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 2,00$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 140<br>Kg/cm <sup>2</sup> |

| Profondità da p.f. (cm) | Tipo di terreno                                  | Angolo di resistenza al taglio | Densità relativa | Peso unità di volume                | Peso unità di volume saturo         | Modulo di Young              |
|-------------------------|--|--------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 0 ÷ 200                 | Terreni agrari e orizzonti superficiali scadenti | $\phi = 23^\circ$              | 30               | $\gamma = 1,65$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,75$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 18<br>Kg/cm <sup>2</sup> |
| 200 ÷ 440               | Depositi alluvionali mediamente addensati        | $\phi = 31^\circ$              | 60               | $\gamma = 1,80$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,90$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 76<br>Kg/cm <sup>2</sup> |
| 440 ÷ 560               | Depositi alluvionali poco addensati              | $\phi = 28^\circ$              | 50               | $\gamma = 1,75$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,85$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 42<br>Kg/cm <sup>2</sup> |

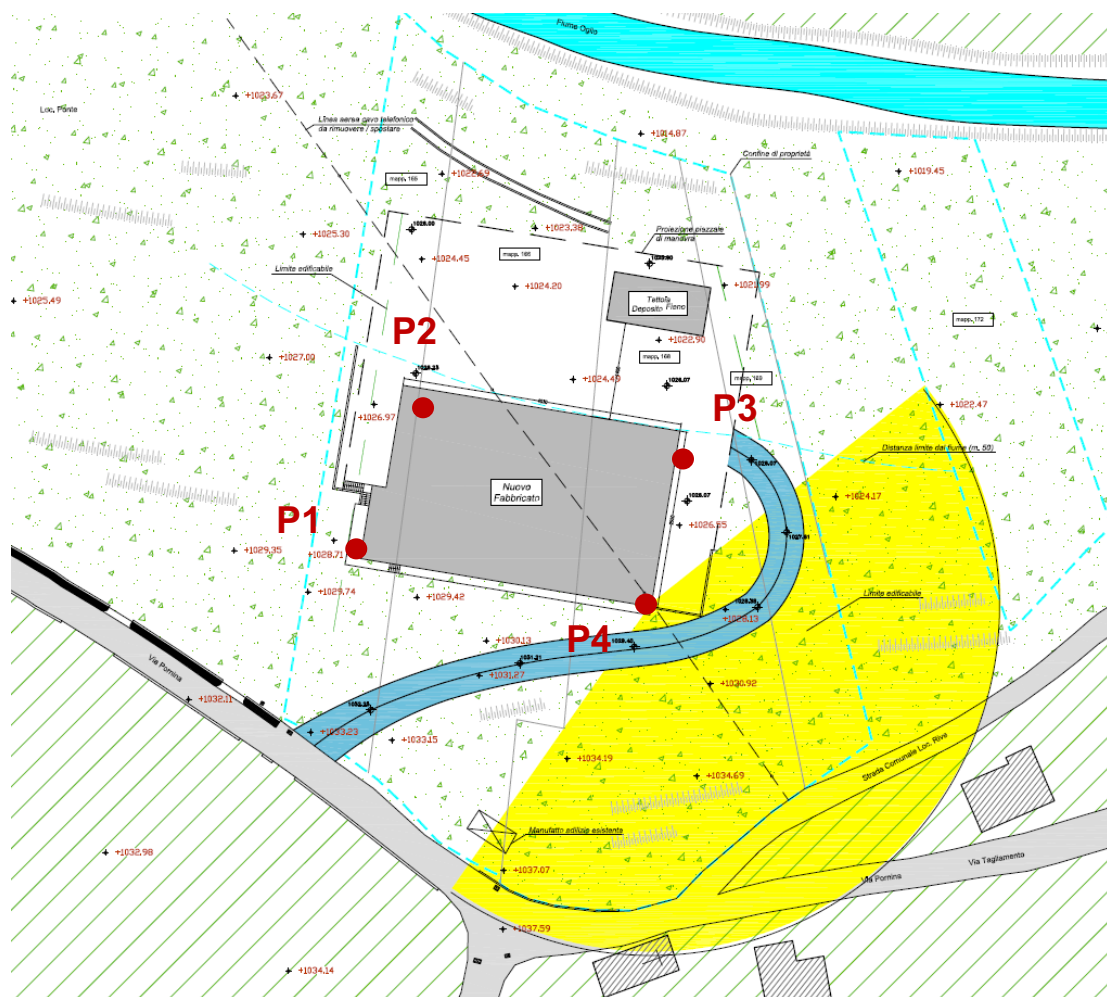


### 3.1.4 - Modello geologico del sottosuolo

Di seguito il modello geologico locale del sottosuolo, ottenuto dal confronto tra i risultati delle indagini effettuate in sito; la coesione può essere cautelativamente considerata nulla:

| Profondità da p.f. (cm) | Tipo di terreno                                  | Angolo di resistenza al taglio | Densità relativa | Peso unità di volume                | Peso unità di volume saturo         | Modulo di Young               |
|-------------------------|--|--------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 0 - 200÷280             | Terreni agrari e orizzonti superficiali scadenti | $\phi = 23^\circ$              | 30               | $\gamma = 1,65$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,75$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 18<br>Kg/cm <sup>2</sup>  |
| 200÷280 - 380           | Depositi alluvionali poco addensati              | $\phi = 27^\circ$              | 48               | $\gamma = 1,70$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,80$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 35<br>Kg/cm <sup>2</sup>  |
| 380 - 680               | Depositi alluvionali mediamente addensati        | $\phi = 29^\circ$              | 52               | $\gamma = 1,75$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,85$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 50<br>Kg/cm <sup>2</sup>  |
| 680 - 760               | Depositi alluvionali addensati                   | $\phi = 33^\circ$              | 62               | $\gamma = 1,85$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma = 1,95$<br>t/m <sup>3</sup> | E = 130<br>Kg/cm <sup>2</sup> |

Figura 3.1: Stralcio planimetria di progetto con ubicazione indagini



● Ubicazione prova penetrometrica

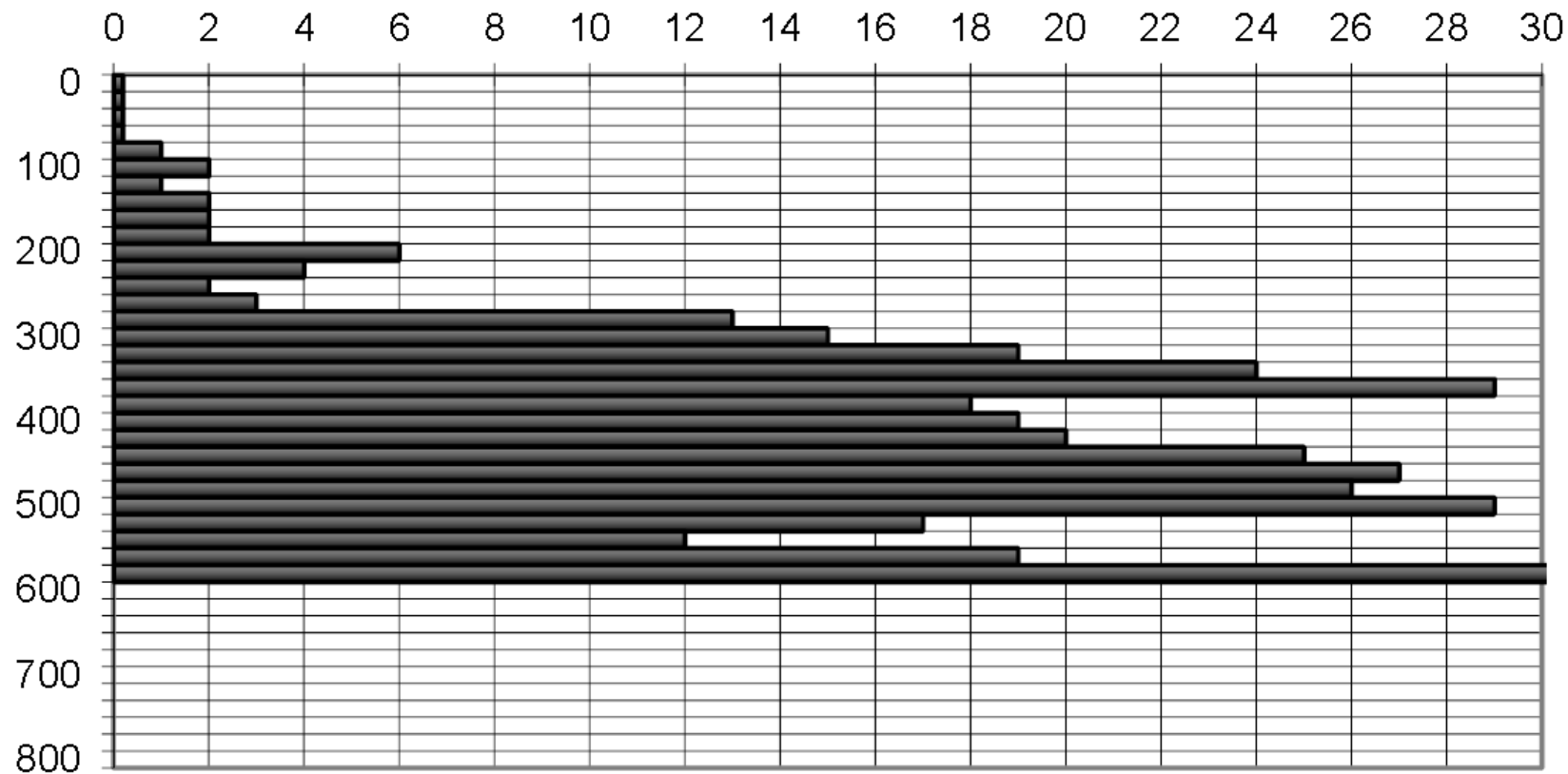
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° 1 - DIAGRAMMA N° COLPI PUNTA**

località: Vezza d'Oglio, via Stella

data: 18 maggio 2020

quota inizio: piano campagna

prof. falda: non rilevata



**PENETROMETRO DINAMICO tipo: TG 63 - 100 - PAGANI**

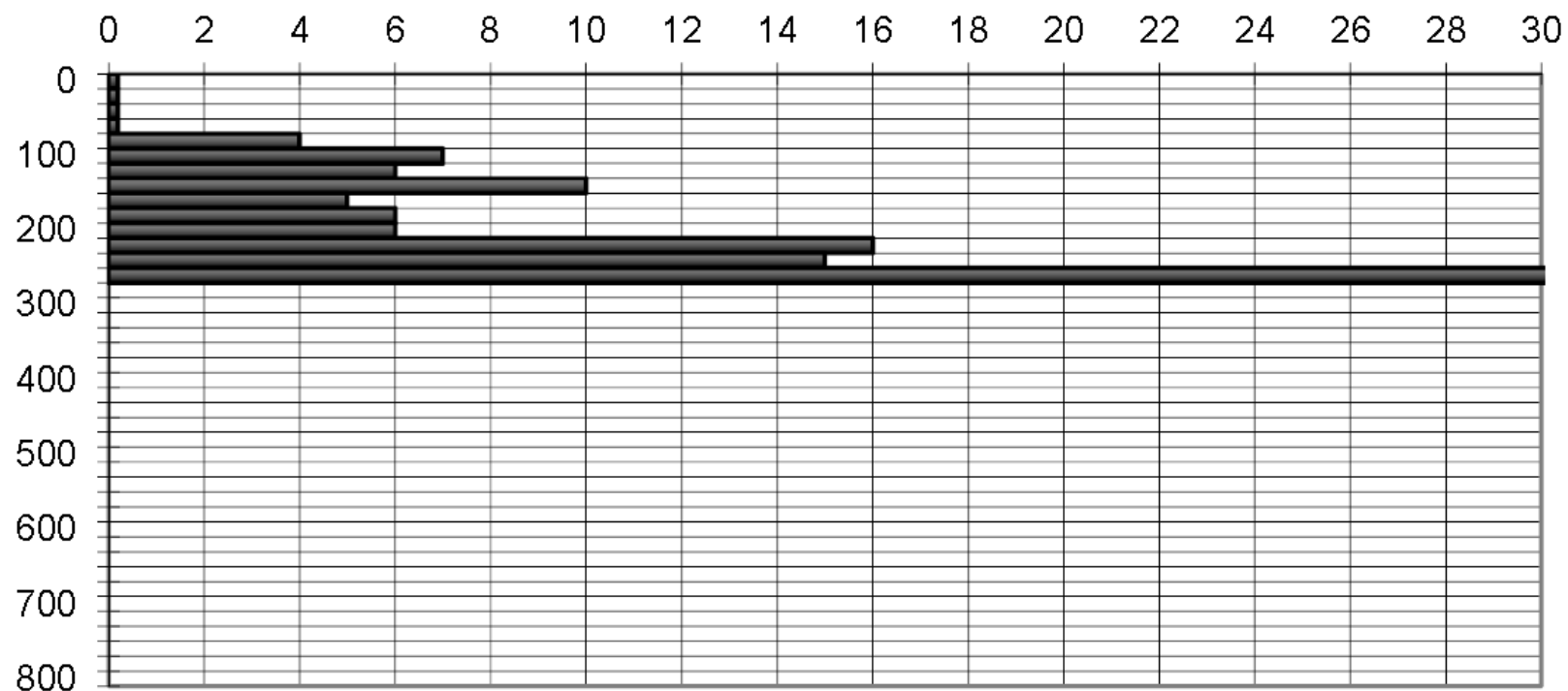
M (massa battente) = 63,50 kg

H caduta = 75 cm

Numero colpi punta N = N(20) d = 20 cm

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° 2 - DIAGRAMMA N° COLPI PUNTA**

località: Vezza d'Oglio, via Stella  
 data: 18 maggio 2020  
 quota inizio: piano campagna  
 prof. falda: non rilevata

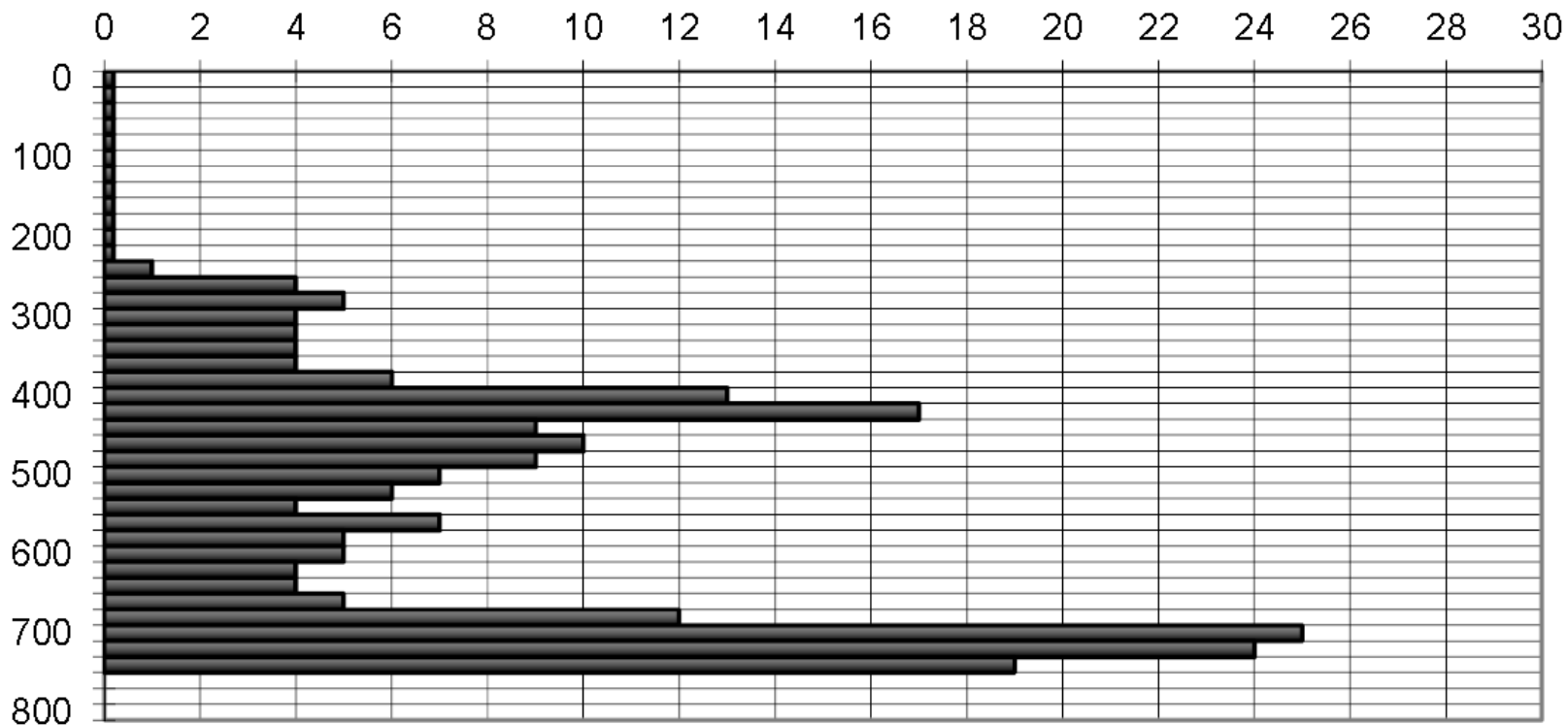


**PENETROMETRO DINAMICO tipo: TG 63 - 100 - PAGANI**

M (massa battente) = 63,50 kg  
 H caduta = 75 cm  
 Numero colpi punta N = N(20) d = 20 cm

**PROVA PENETROMETRICA N° 3 - DIAGRAMMA N° COLPI PUNTA**

località: Vezza d'Oglio, via Stella  
 data: 18 maggio 2020  
 quota inizio: piano campagna  
 prof. falda: non rilevata

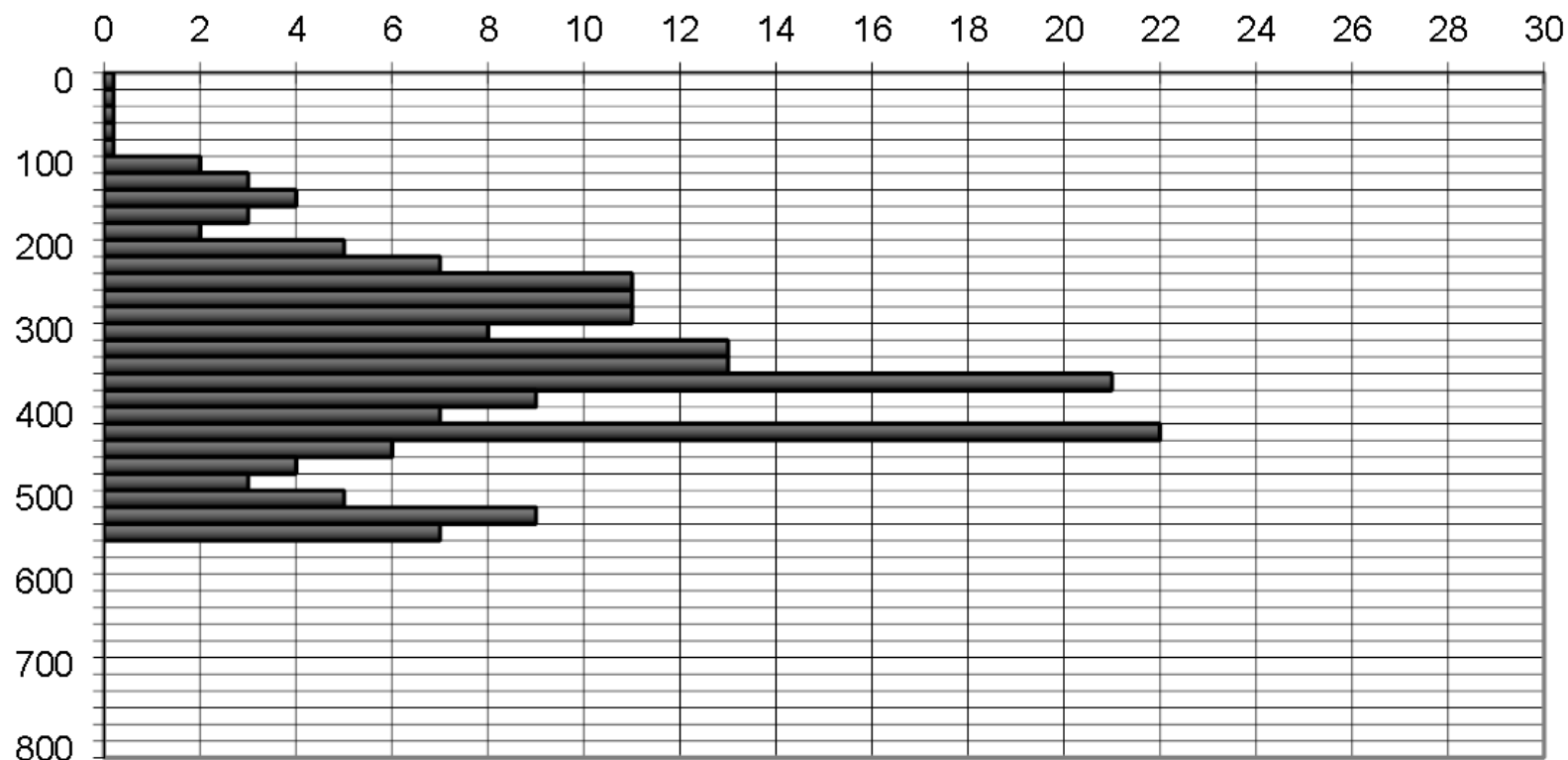


**PENETROMETRO DINAMICO tipo: TG 63 - 100 - PAGANI**

M (massa battente) = 63,50 kg  
 H caduta = 75 cm  
 Numero colpi punta N = N(20) d = 20 cm

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N° 4 - DIAGRAMMA N° COLPI PUNTA**

località: Vezza d'Oglio, via Stella  
 data: 18 maggio 2020  
 quota inizio: piano campagna  
 prof. falda: non rilevata



**PENETROMETRO DINAMICO tipo: TG 63 - 100 - PAGANI**

M (massa battente) = 63,50 kg  
 H caduta = 75 cm  
 Numero colpi punta N = N(20) d = 20 cm

**PENETROMETRO DINAMICO IN USO: TG 63 – 100 EML.C**

| Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici |                    |                            |
|---|--------------------|----------------------------|
| TIPO  | Sigla riferimento  | Peso Massa Battente M (kg) |
| Leggero   | DPL (Light)        | $M \leq 10$                |
| Medio   | DPM (Medium)       | $10 < M < 40$              |
| Pesante   | DPH (Heavy)        | $40 \leq M < 60$           |
| Super pesante   | DPSH (Super heavy) | $M \geq 60$                |

**CARATTERISTICHE TECNICHE: DPSH - PAGANI**

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| PESO MASSA BATTENTE                 | M = 63,50 kg  |
| ALTEZZA CADUTA LIBERA               | H = 0,75 m  |
| PESO SISTEMA BATTUTA                | Ms = 0,63 kg  |
| DIAMETRO PUNTA CONICA               | D = 51,00 mm  |
| AREA BASE PUNTA CONICA              | A = 20,43 cm <sup>2</sup>                                   |
| ANGOLO APERTURA PUNTA               | $\alpha = 60^\circ$   |
| LUNGHEZZA DELLE ASTE                | La = 1,00 m   |
| PESO ASTE PER METRO                 | Ma = 6,31 kg  |
| PROF. GIUNZIONE 1 <sup>a</sup> ASTA | P1 = 0,40 m   |
| AVANZAMENTO PUNTA                   | $\delta = 0,20$ m   |
| NUMERO DI COLPI PUNTA               | N = N(20) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 20 cm |
| RIVESTIMENTO/FANGHI                 | NO  |

ENERGIA SPECIFICA x COLPO  $Q = (MH)/(A\delta) = 11,66 \text{ kg/cm}^2$  (prova SPT:  $Q_{spt} = 7,83 \text{ kg/cm}^2$ )

COEFF. TEORICO DI ENERGIA  $\beta t = Q/Q_{spt} = 1,489$  (teoricamente:  $N_{spt} = \beta t N$ )

Valutazione resistenza dinamica alla punta  $R_{pd}$  [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE)

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

$R_{pd}$  = resistenza dinamica alla punta [area A] M = peso massa battente (altezza di caduta H)

e = infissione per colpo =  $\delta / N$

P = peso totale aste e sistema battuta

## UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm<sup>2</sup> = 0,098067 Mpa  
 1 Mpa = 1 MN/m<sup>2</sup> = 10,197 kg/cm<sup>2</sup>  
 1 bar = 1,0197 kg/cm<sup>2</sup> = 0,1 Mpa  
 1 kN = 0,001 MN = 101,97 kg

## 3.2 Indagini sismiche

Nei terreni attigui a quelli di indagine sono stati effettuati 2 stendimenti geofisici, una sismica a rifrazione e un'analisi multicanale delle onde di superficie (MASW).



Figura 3.2: Ubicazione stendimenti sismici.

### 3.2.1 Sismica a rifrazione

La prospezione sismica considera i tempi di propagazione di onde elastiche che, generate al suolo, si propagano nel semispazio riflettendosi e rifrangendosi su eventuali superfici di discontinuità presenti. Quando un'onda sismica incontra una superficie di separazione tra due mezzi con caratteristiche elastiche differenti, una parte dell'energia dell'onda si riflette nello stesso mezzo in cui si propaga l'onda incidente, e una parte si rifrange nel mezzo sottostante. Le relazioni matematiche dei principi fisici della riflessione e rifrazione sono regolate dalle note leggi di Snell.

La condizione necessaria per la riflessione e la rifrazione di un raggio sismico è la variazione del parametro impedenza sismica fra i 2 mezzi separati dalla superficie di discontinuità. L'impedenza sismica si determina attraverso il prodotto tra la velocità di propagazione dell'onda nel mezzo per la densità del materiale attraversato. Ogni litotipo è caratterizzato da una particolare velocità di propagazione, determinata sperimentalmente attraverso prove di laboratorio o in situ. La velocità di propagazione delle onde sismiche nelle rocce dipende essenzialmente dai parametri elastici che sono influenzati, a loro volta, da numerosi fattori quali, ad esempio, la densità, la porosità, la tessitura, il grado di alterazione e/o di fratturazione, la composizione mineralogica, la pressione, il contenuto di fluidi, ecc.

Questi parametri rendono piuttosto ampio il campo di variabilità della velocità per uno stesso litotipo. Per questo motivo, non sempre un orizzonte individuato con metodologie sismiche coincide con un orizzonte litologico. Un impulso generato da una sorgente sismica in superficie genera un treno d'onde sismiche di varia natura; in fase di acquisizione e di elaborazione è possibile analizzare onde sismiche di volume o di superficie, a seconda delle modalità con cui esse si propagano nel sottosuolo. Disponendo un certo numero di sensori (geofoni) sul terreno lungo uno stendimento sismico e osservando il tempo di percorrenza delle onde per giungere ai sensori, è possibile determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche che attraversano i vari strati nel sottosuolo, consentendo una ricostruzione attendibile delle sue caratteristiche elastico-dinamiche.

Come è noto, le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali “onde *P* o di compressione e dilatazione” per determinare spessori e andamenti dei livelli presenti. La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti, per lo stesso litotipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione, aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali, ad esempio una roccia fortemente fratturata e del materiale detritico saturo possono avere la stessa velocità per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponde alla reale situazione, per questo motivo è da associare ad altre indagini.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello può essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali siano superiori a quella dei livelli soprastanti “effetto della inversione di velocità”
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non essere rilevabile
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli arrivi dello strato sottostante “effetto dello strato nascosto e zona oscura”
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione ma può ovviamente ridursi la precisione della determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati.

Per contro i moderni metodi di elaborazione del dato sismico consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente accidentati e con velocità variabili lungo il profilo,



anche in presenza di morfologia di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

#### STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- Sistema di acquisizione dati: Sismografo Pasi 16S24U
- Sistema di ricezione: 12 geofoni verticali con frequenza propria di 10 Hz disposti lungo cavo sismico di 60 metri, i geofoni sono dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali prodotte da una specifica sorgente.
- Sistema di energizzazione onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra quadrata in acciaio posta direttamente sul p.c., creando la generazione di onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali.
- Sistema di trigger: geofono da 10 hz che rileva quando il circuito elettrico viene chiuso, durante l'istante che si energizza, in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

#### INTERPRETAZIONE STENDIMENTO SISMICA A RIFRAZIONE

L'indagine è consistita in uno stendimento di sismica a rifrazione di lunghezza pari a 60 m compresi gli offset, lungo il quale sono stati disposti in serie 12 geofoni verticali da 10 hz per la lunghezza di 44 m, posti a una distanza intergeofonica di 4 m.

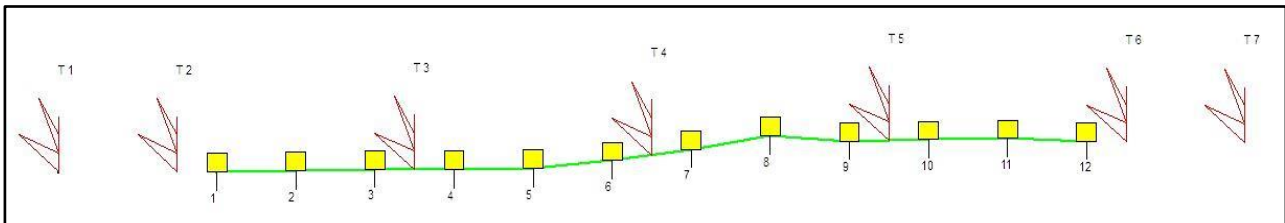


Figura 3.3: Schema stendimento sismica a rifrazione

#### Configurazione a 7 shots

- 2 offset shot posti a 8 m dai geofoni esterni (T1 e T7)
- 2 end-shots posti a 2 m dai geofoni esterni (T2 e T6)
- 2 intermedi posti rispettivamente tra il 3° e il 4° geofono e tra il 9° e 10° geofono (T3 e T5)
- 1 centrale tra il 6° e il 7° geofono (T4)

#### Elaborazione prova

Per le analisi interpretative è stato utilizzato il software WinSism versione 14.5 (2013) della W-GeoSoft, sono stati utilizzati 3 metodi di interpretazione, per trovare il modello migliore:

- Metodo *ITM* (*Intercept-Time Methods*)
- Metodo *ABC* (*Delay times*)
- Metodo *GRM* (*Generalized Reciprocal Method*).

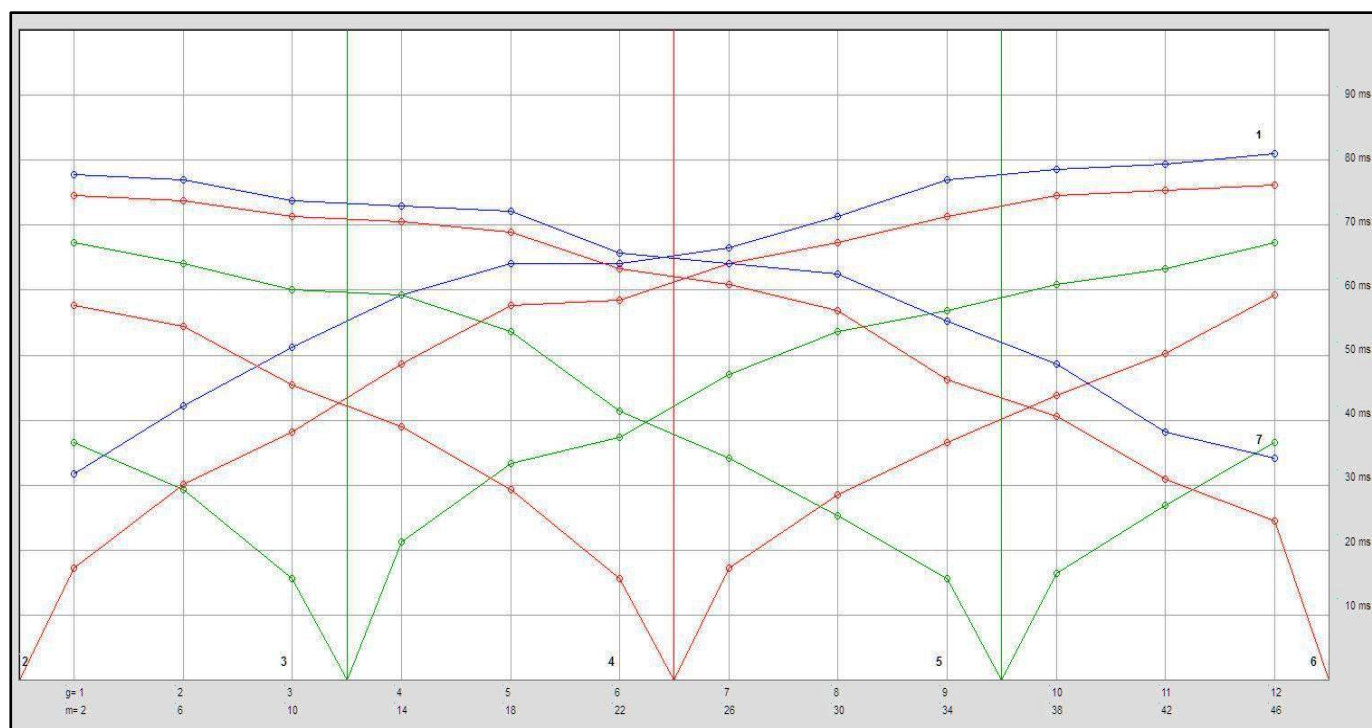


Figura 3.4: Dromocrone

Il metodo che ha dato l'interpretazione più attendibile è stato il primo quello delle intercette che è arrivato alla profondità di una trentina di metri, individuando 3 sismostrati differenti:

- Strato 1: Velocità onde P = 400 ÷ 600 m/s

dal piano di campagna ad una profondità di 8-10 metri, riconducibile al quaternario recente ultime modifiche della conoide, sabbia e ghiaia con trovanti poco addensati.

- Strato 2: Velocità onde P = 800 ÷ 1200 m/s

Dalla profondità di 8-10 metri fino a 15-20 metri, riconducibile a materiale quaternario di conoide meno recente, ghiaie grossolane e trovanti con grado di compattazione elevato.

- Strato 3: Velocità onde P = 2400 ÷ 2600 m/s

Dalla profondità di circa 20 metri a profondità non investigata, materiale con velocità molto elevata, con facilità riconducibile a roccia o ad una notevole quantità di trovanti.

Metodo ITM

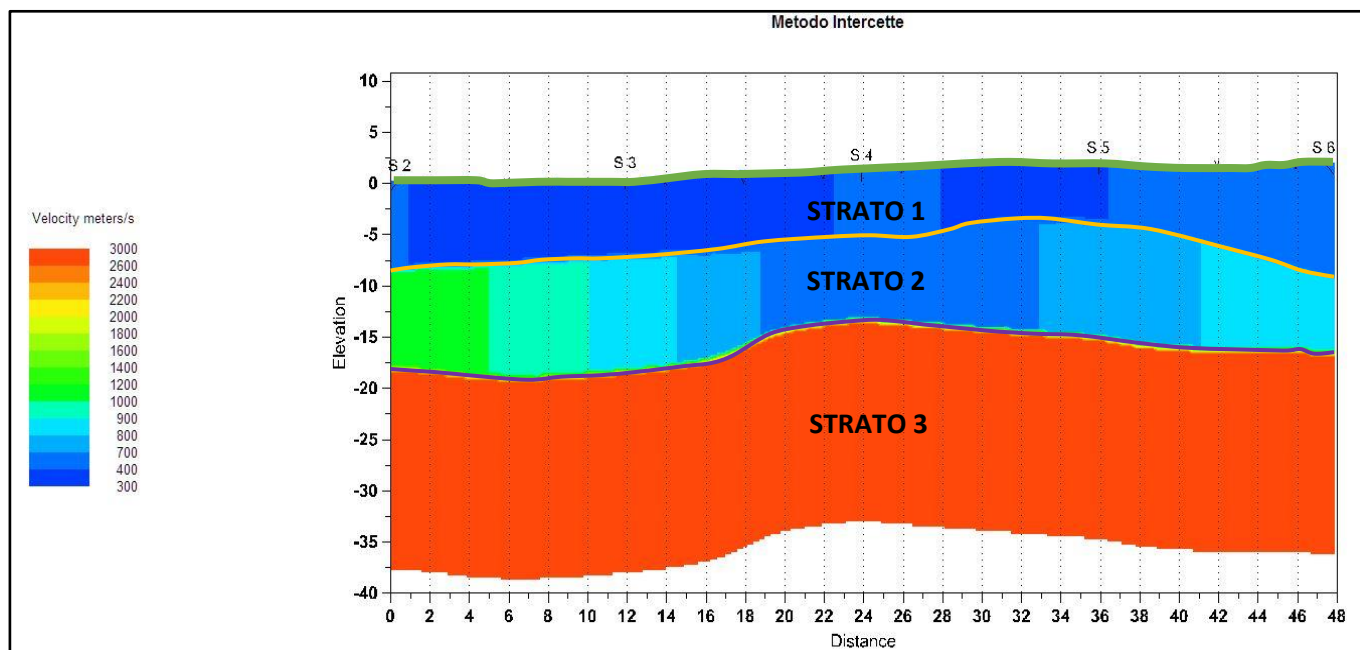


Figura 3.5: Interpretazione metodo delle intercette Winsism

Per avere un'idea migliore dell'andamento sismostratigrafico è stato ricostruito il grafico con il programma Surfer 11 della Golden Software.

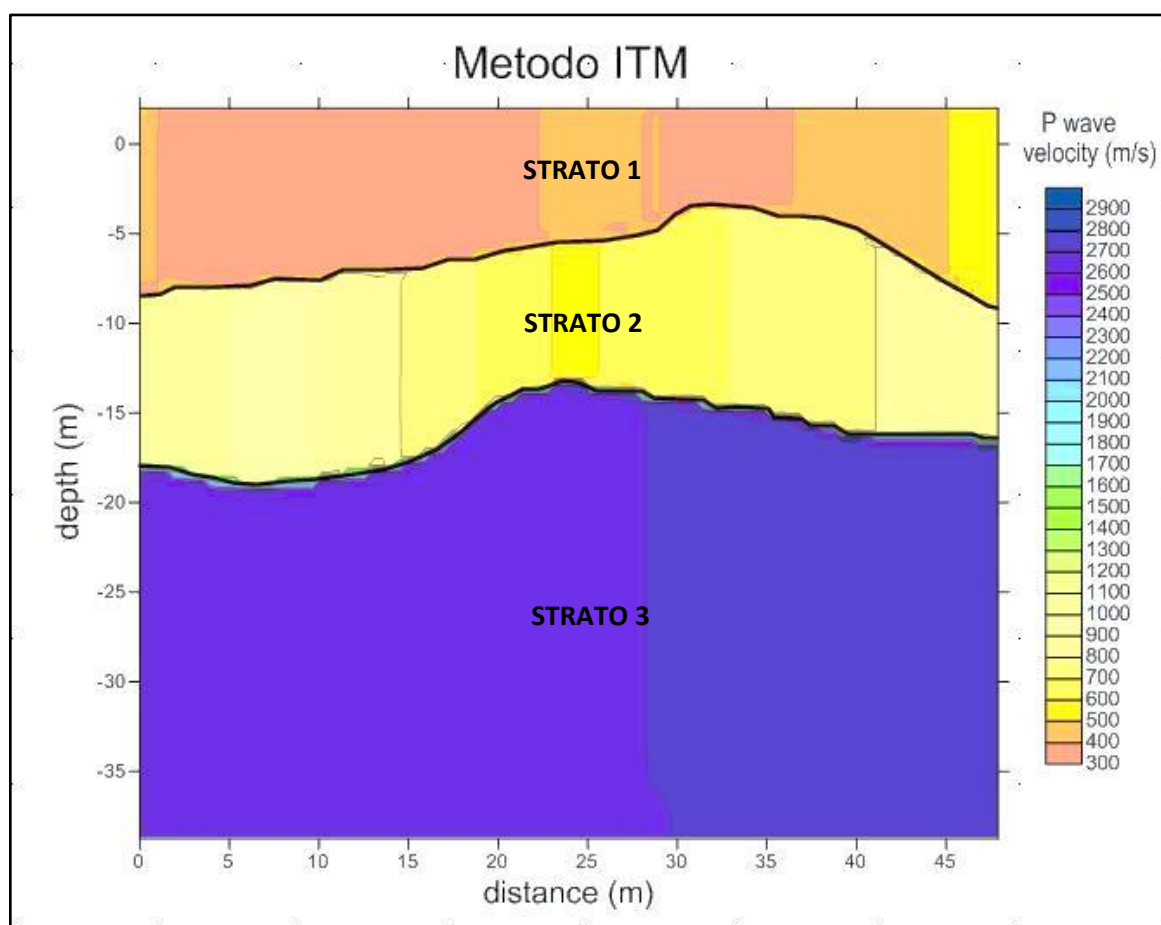


Figura 3.6: Grafico metodo delle intercette elaborato con Surfer

### 3.2.2 Indagine sismica MASW

Il metodo MASW “Multichannel Analysis of Surface Waves” è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori, geofoni posti sulla superficie del suolo.

Le onde di superficie sono due: quelle di Rayleigh e quelle di Love, sono dette superficiali perché la loro ampiezza decrementa in modo esponenziale con la profondità e la loro propagazione interessa quindi un limitato spessore di superficie, rispetto le onde di corpo la loro ampiezza è notevolmente maggiore e per questo motivo tipicamente dominano qualsiasi dataset sismico.

Le onde di Rayleigh si muovono su un piano radiale secondo un moto detto retrogrado, l'andamento del moto indica che queste onde hanno sia una componente verticale che una componente orizzontale radiale.

Le onde di Love si muovono solamente sul piano orizzontale con un'oscillazione la cui direzione è perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase sperimentale, che fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

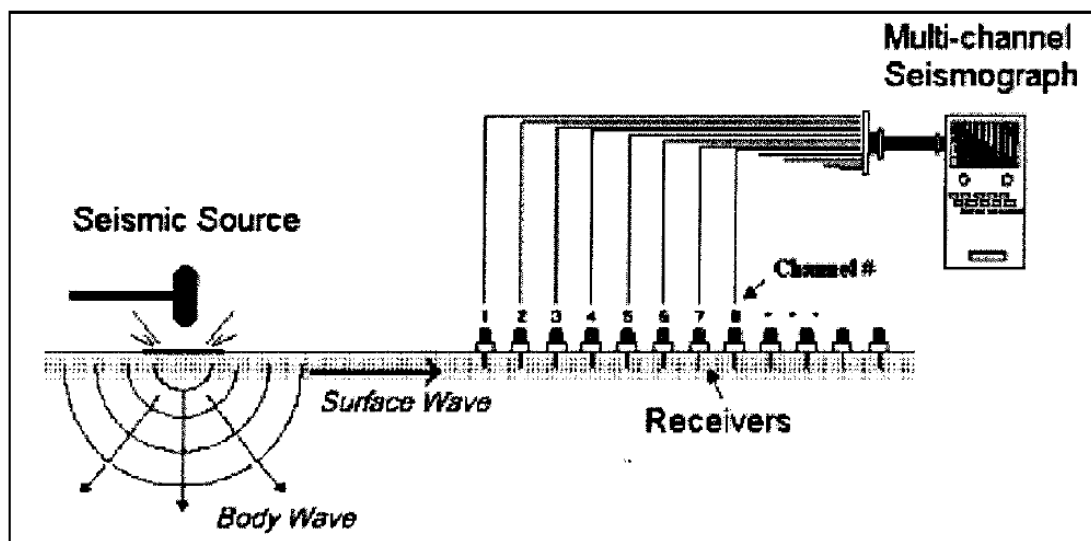


Figura 3.7: Schema stendimento sismico MASW

La Nuova Normativa antisismica (Ordinanza n° 3274 e Nuove Norme Tecniche per le costruzioni) ha introdotto la classificazione dei terreni secondo la velocità delle Onde di taglio “Onde S” con precisione il fattore discriminante è il Vs30.

Il parametro Vs30 rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S nei primi 30 metri di profondità ed è calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove  $h_i$  è lo spessore dello strato  $i$ -esimo

$V_i$  è la velocità dello strato  $i$ -esimo

L'acquisizione di campagna è stata condotta mediante il sismografo Pasi 16S24U, su uno stendimento di 44 metri, con geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz spazati di 4 m, un offset sorgente di 10 metri ed un energizzazione costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per effettuare l'analisi congiunta delle Onde di Rayleigh e Love ed ottenere 3 dataset differenti sono state effettuate altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
  - 12 geofoni verticali da 4,5 Hz
  - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio
  
- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
  - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
  - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio
  
- Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)
  - 12 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento
  - Energizzazione orizzontale su traversina in legno

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW Professional 6.0, prima di tutto si sono sommati i dataset per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF) e per le Onde di Love (THF). Con i dataset ottenuti sono stati creati gli spettri di velocità, dai quali si è scelto di modellare congiuntamente RVF e THF, ottenuto il modello è stato salvato e utilizzato per lanciare un'inversione congiunta con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati.

### ANALISI CONGIUNTA ONDE RAYLEIGH E LOVE

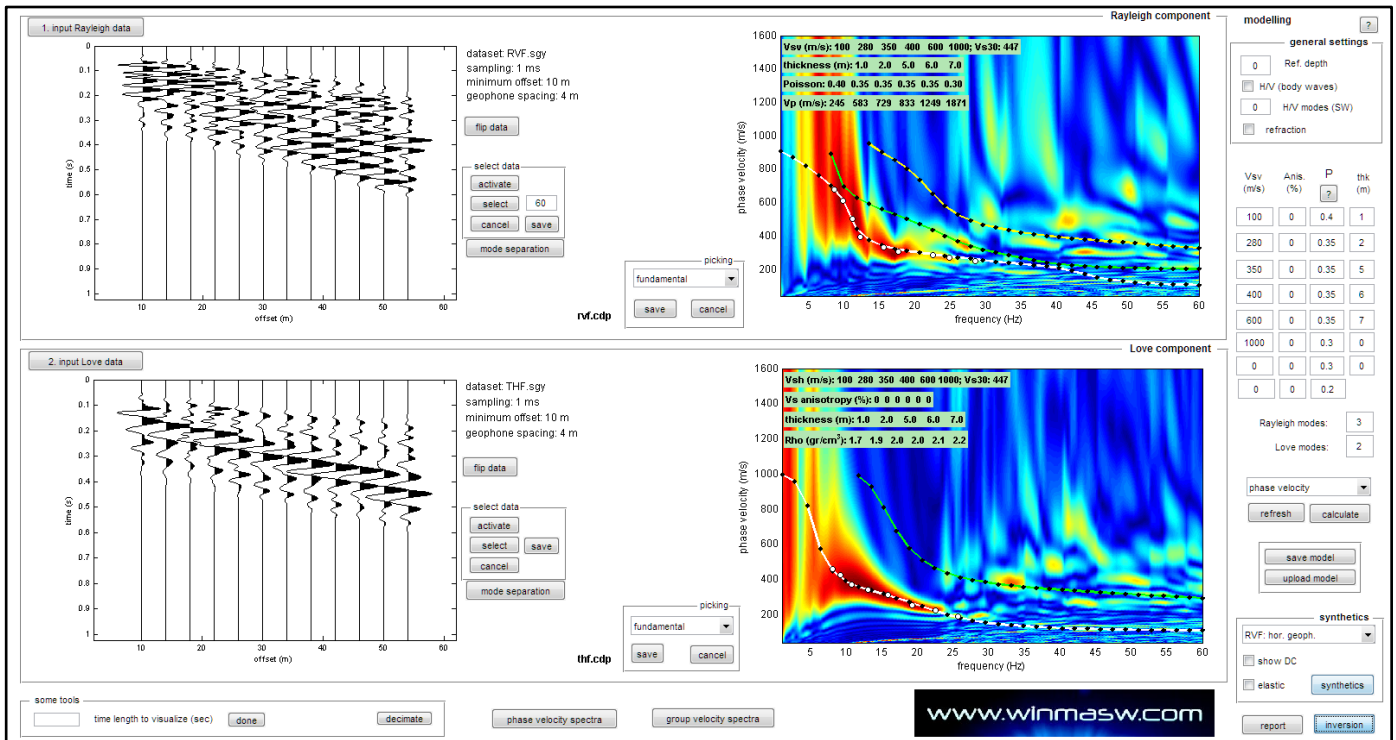


Figura 3.8: Input dati, spettro di velocità con modellazione visibile

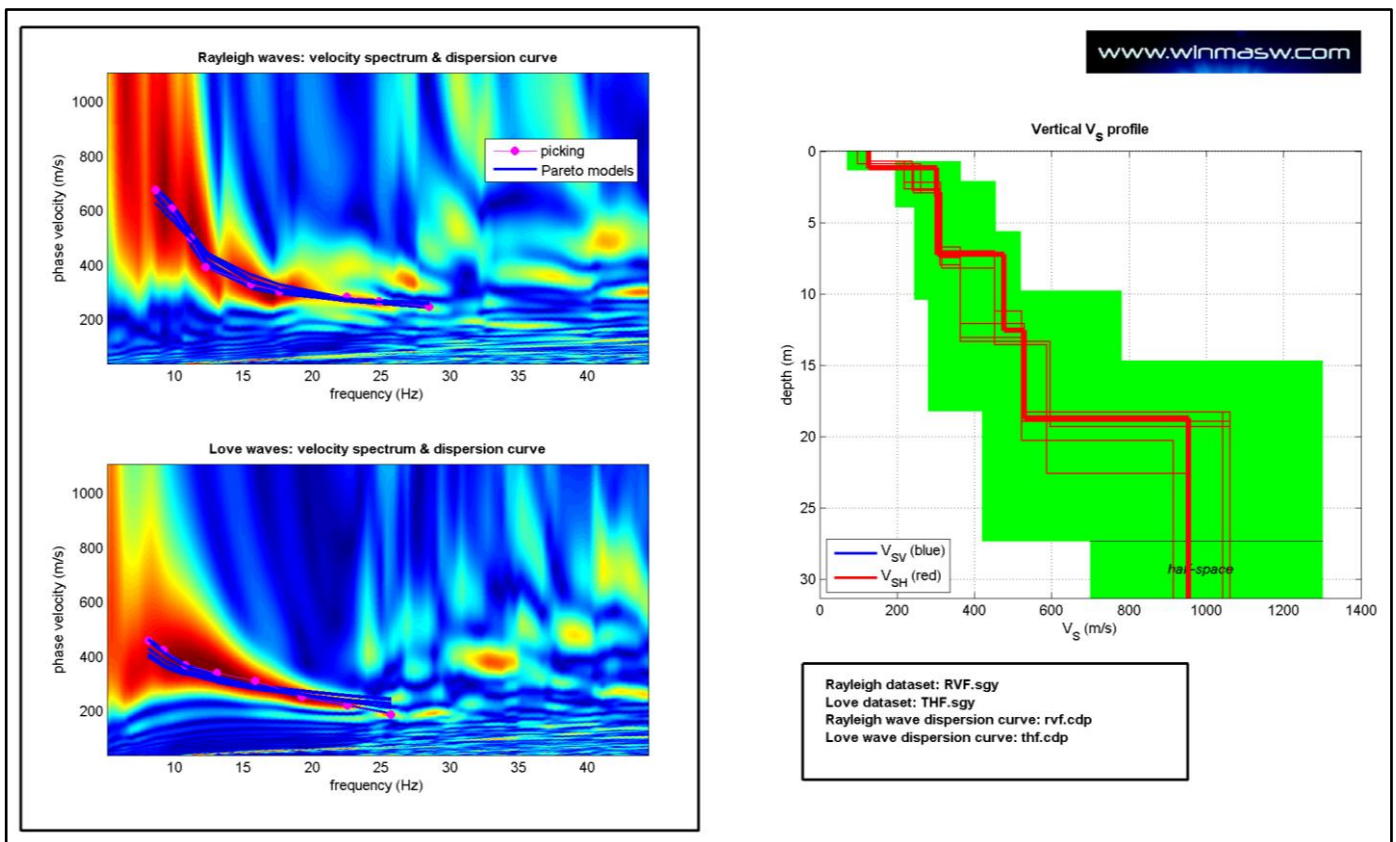


Figura 3.9: Inversione congiunta Rayleigh e Love

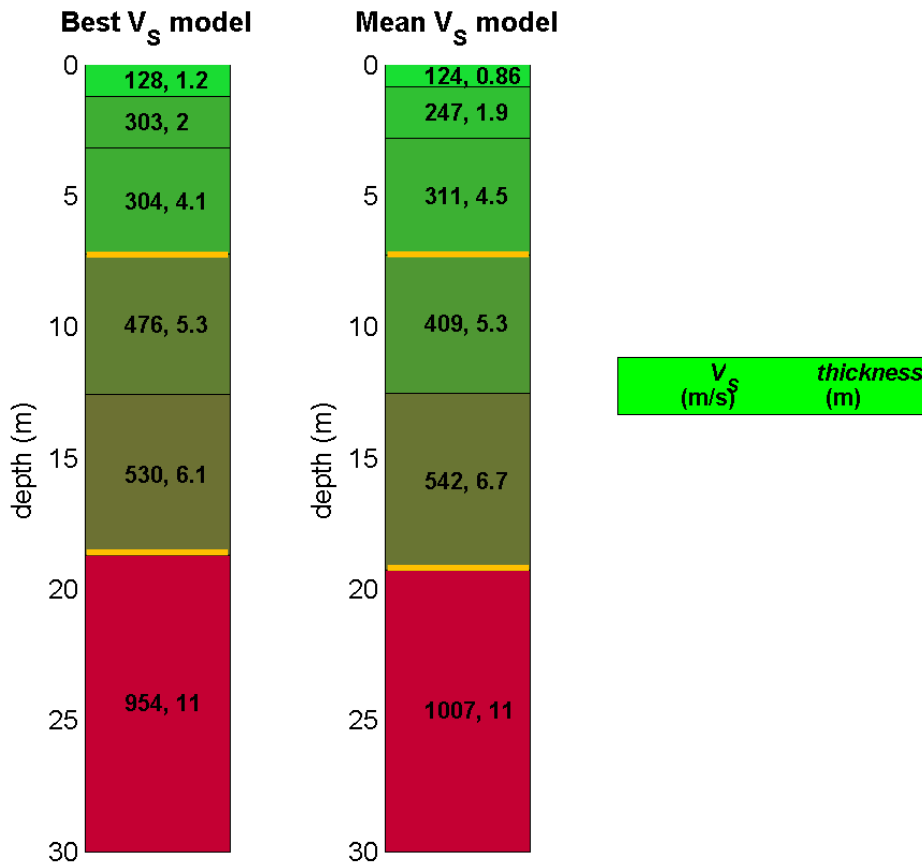


Figura 3.10: Migliore e Medio modello onde Vs, si può notare una certa corrispondenza con l'analisi di sismica a rifrazione, anche qui si potrebbero individuare 3 strati individuati nei due modelli con la linea arancio.

**Minimum Vs30 (m/s): 445**

**Maximum Vs30 (m/s): 471**

**Best model:**

Vsv (m/s): 128, 303, 304, 476, 530, 954

**Vsv30 (m/s): 470**

Vsh (m/s): 128, 303, 304, 476, 530, 954

**Vsh30 (m/s): 470**

Thickness (m): 1.2, 2.0, 4.1, 5.3, 6.1

**Mean model:**

Vsv (m/s): 124, 247, 311, 409, 542, 1007

**Vsv30 (m/s): 461**

Vsh (m/s): 124, 247, 311, 409, 542, 1007

**Vsh30 (m/s): 461**

Thickness (m): 0.9, 1.9, 4.5, 5.3, 6.7

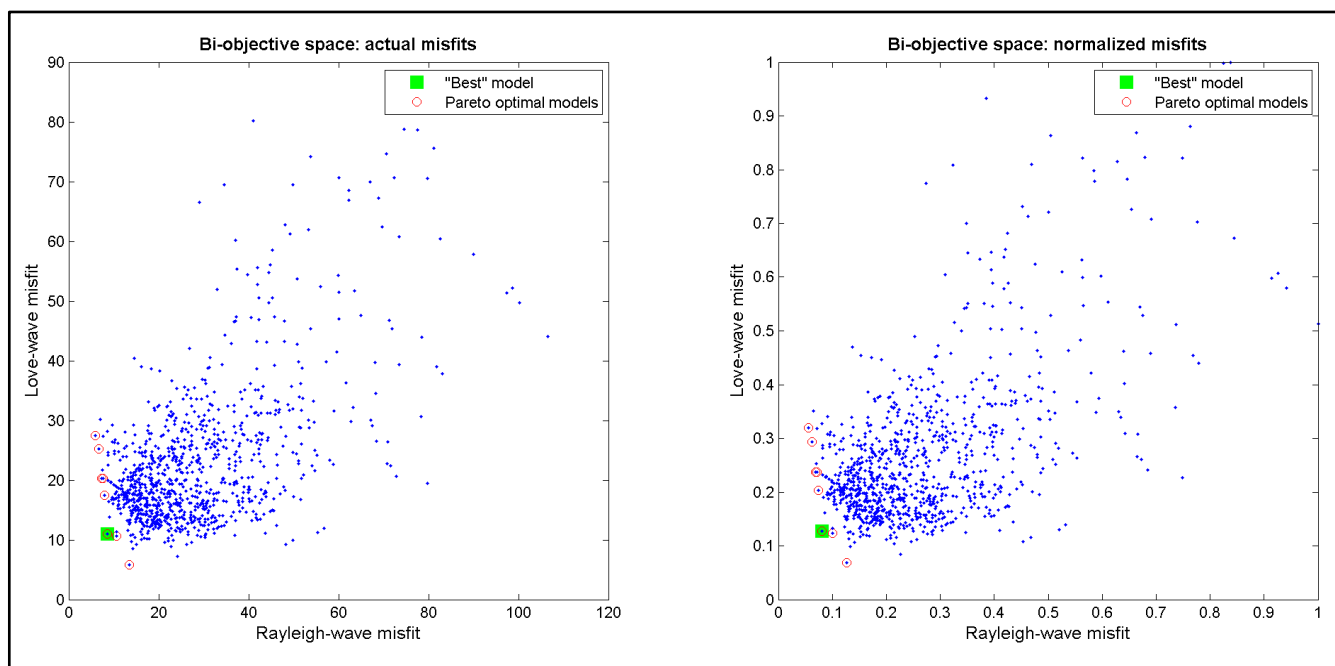


Figura 3.11: Diagramma distribuzione modelli ed errori

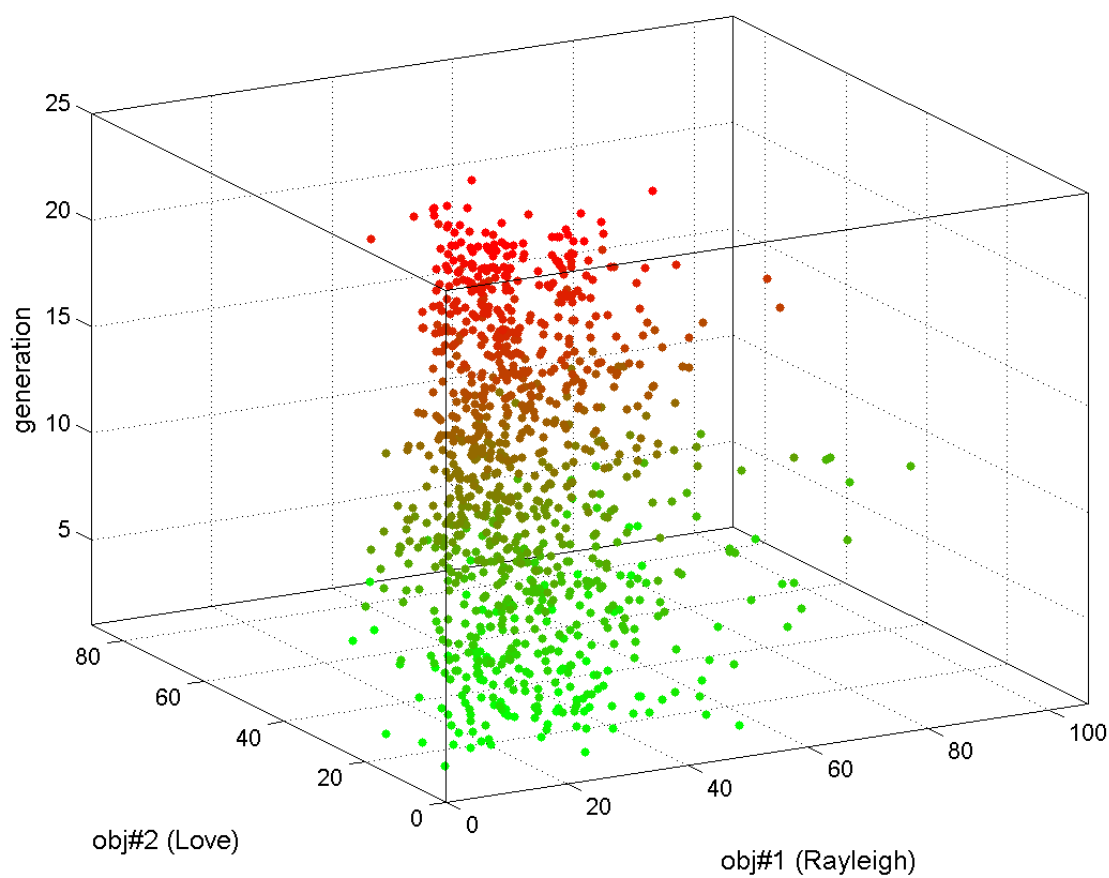


Figura 3.12: Distribuzione di Pareto tridimensionale



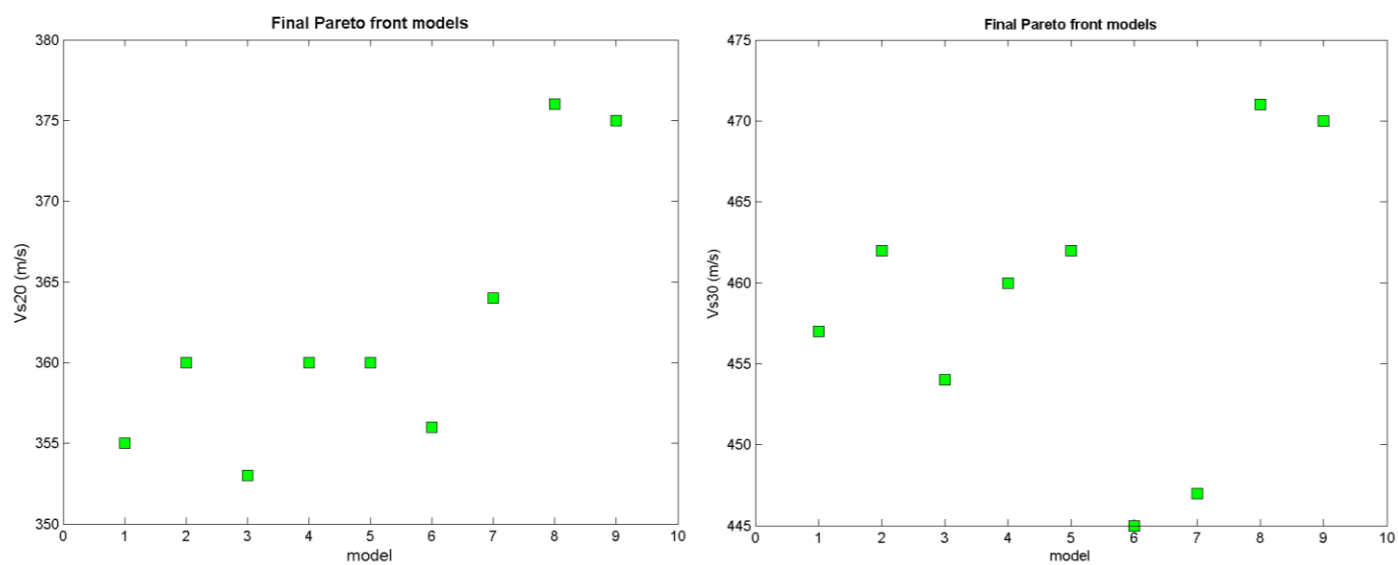


Figura 3.13: Distribuzione modelli Vs30 e Vs20

### 3.3 Verifica analisi sismica di secondo livello

La verifica di secondo livello è stata effettuata considerando l'intervallo di periodo tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide come quelle da progetto.

Adesso verificheremo il fattore di amplificazione (Fa) in base al modello medio "Mean" individuato con la MASW nel paragrafo precedente. Prima di tutto calcoliamo il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} = \boxed{T = 0,19 \text{ s}}$$

ove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Per trovare il fattore di amplificazione (Fa) è stata scelta la scheda litologia ghiaiosa, in base alle condizioni geologiche locali, che si può vedere nell'immagine sottostante.

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

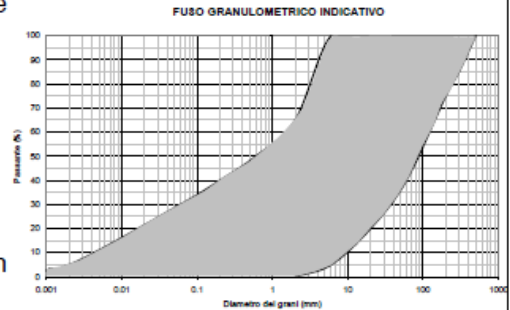
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

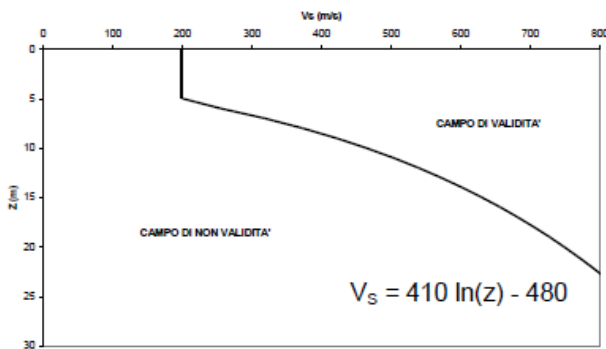
Da ghiaie e ciottoli con blocchi a ghiaie e sabbie limose debolmente argillose passando per ghiaie con sabbie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie con limo debolmente sabbiose e sabbie con ghiaie

NOTE:

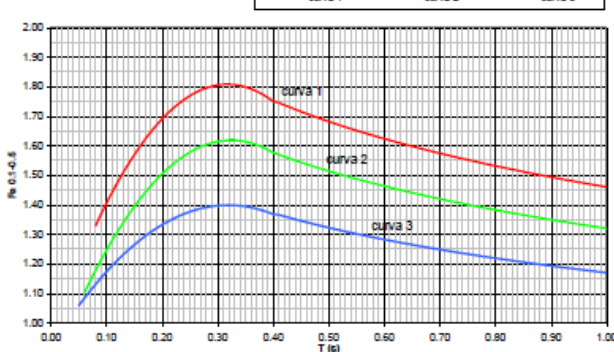
- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Frazione ghiaiosa superiore al 35%
- Frequenti clasti con  $D_{max} > 20$  cm
- Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 65%
- Matrice limoso - argillosa fino ad un massimo del 30% con frazione argillosa subordinata (fino al 5%)
- Presenza di eventuali trovanti con  $D > 50$  cm
- Presenza di eventuali orizzonti localmente cementati



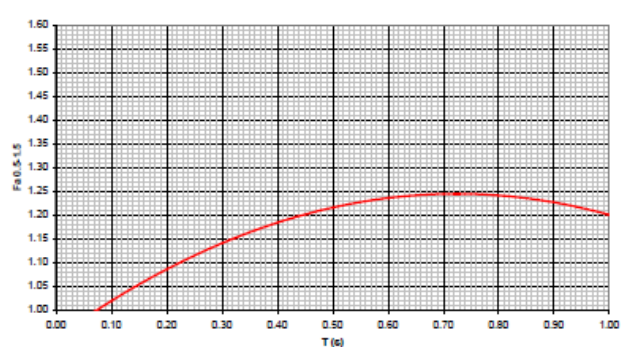
ANDAMENTO DEI VALORI DI  $V_s$  CON LA PROFONDITA'



Correlazione T - Fa 0.1-0.5



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.58T^2 + 0.84T + 0.94$$

| Curva | Tratto polinomiale                     | Tratto logaritmico              |
|-------|--|---------------------------------|
| 1     | $0.08 < T \leq 0.40$                   | $0.40 < T \leq 1.00$            |
|       | $Fa_{0.1-0.5} = -8.5T^2 + 5.4T + 0.95$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.46 - 0.32LnT$ |
| 2     | $0.06 < T \leq 0.40$                   | $0.40 < T \leq 1.00$            |
|       | $Fa_{0.1-0.5} = -7.4T^2 + 4.8T + 0.84$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.32 - 0.28LnT$ |
| 3     | $0.05 < T \leq 0.40$                   | $0.40 < T \leq 1.00$            |
|       | $Fa_{0.1-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.17 - 0.22LnT$ |

Figura 14: Scheda litologia ghiaiosa

Nel calcolo per l'intervallo del periodo tra 0.1-0.5 s, è stata utilizzata la formula della curva 2 verde considerando i primi 3 sismostrati come un unico strato di 7.3 ~ 6 metri con una velocità media di 250 m/s.

$F_a = 1,48 > 1.4$  (Soglia Suolo B) e  $1,48 < 1.8$  (Soglia Suolo C)

In base al valore  $F_a$  e ai valori soglia comunali, la categoria di suolo B individuata nella MASW non si ritiene verificata.

| Valori Soglia Comunali | Intervallo di periodo | Categoria di Suolo B | Categoria di Suolo C | Categoria di Suolo D | Categoria di Suolo E |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Veza d'Oglio           | 0.1 – 0.5             | 1.4                  | 1.8                  | 2.2                  | 1.9                  |

La velocità delle onde S equivalente è uguale a 461 m/s, corrisponde alla **categoria di suolo C** valutando le amplificazione litologiche di sito e il fattore di amplificazione.

Dal Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018, le nuove categorie di sottosuolo sono:

**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 di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

**C** - **Depositi 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 m/s e 360 m/s**

**D** - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di 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 tra 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.

### 3.4 Classificazione sismica dell'area

Il Comune di Vezza d'Oglio con l'OPCM 3274/2003 è stato classificato in zona sismica 4, ma con la D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129 il territorio comunale è stato declassato in classe 3 sismica.

| Zona sismica | Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag/g] | Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [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  |

Tabella: Zone sismiche OPCM 3274/2003

Con l'entrata in vigore del **D.M. 17 gennaio 2018**, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e non più tramite un criterio “zona dipendente”. L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla “pericolosità di base” del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica, ed è funzione delle condizioni topografiche del sito e della categoria sismica di sottosuolo. Per la caratterizzazione sismica del sito si è fatto riferimento alla sezione 3.2 “*Azione sismica*” delle Norme Tecniche per le Costruzioni che prevede, a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, l'individuazione delle azioni sismiche di progetto.

#### Stima della pericolosità sismica di base

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “**pericolosità sismica di base**” del sito oggetto di intervento, a sua volta definita dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento  $V_R$  espresso in anni), si verifichi un evento sismico di entità almeno pari al valore  $V_R$  prefissato. La probabilità è denominata “**Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento**”  $P_{VR}$ .

Si tratta quindi di definire i parametri relativi:

1) all'opera in progetto:

- Tipo di costruzione e Vita nominale  $V_N$ ;
- Classe d'uso e coefficiente d'uso  $C_U$ ;
- Vita di riferimento  $V_R$ ;
- Tipo di verifica sull'opera in progetto;

2) ai fattori di amplificazione sismica locale:

- Categoria di sottosuolo;

- Condizioni topografiche;

per poi procedere:

al calcolo delle forme spettrali  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per il sito

alla definizione dei coefficienti sismici  $S_s$  e  $C_C$  riguardanti le condizioni stratigrafiche

all'individuazione dei parametri per la progettazione sismica  $A_{max}$ ,  $K_h$ ,  $K_v$

*Parametri caratteristici dell'opera in progetto*

#### Tipo di opera e Vita nominale $V_N$

La vita nominale di un'opera  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata (Par. 2.4.1 delle NTC 2018).

La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella tabella seguente:

| Tipi di Costruzione |   | Vita Nominale $V_N$<br>(anni) |
|---------------------|---|-------------------------------|
| 1                   | Opere provvisorie <sup>1</sup> – Opere provvisionali –<br>Strutture in fase costruttiva                   | < 10                          |
| 2                   | Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni<br>contenute o di importanza normale | ≥ 50                          |
| 3                   | Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi<br>dimensioni o di importanza strategica    | ≥ 100                         |

1) Le verifiche sismiche di strutture provvisorie o in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

Con riferimento al caso in esame, è stato adottato un valore di  $V_N \geq 50$  anni

#### Classe d'uso e coefficiente d'uso $C_U$

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade

di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Nel caso in esame siamo in presenza di una nuova stalla, facendo riferimento alle indicazioni contenute nelle NTC 2018 è quindi stata adottata la **Classe d'uso II**.

A partire dalla classe d'uso dell'edificio è poi possibile ricavare il coefficiente d'uso  $C_U$ , utilizzando la tabella 2.4.

**Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$**

| CLASSE D'USO       | I   | II  | III | IV  |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| COEFFICIENTE $C_U$ | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni.

Per il caso in esame,  $C_U = 1,0$

#### Vita di riferimento $V_R$

Le azioni sismiche per ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N * C_U$$

Se  $V_R \leq 35$  anni, si pone comunque  $V_R = 35$  anni

Considerando che, per il caso in esame, l'opera in progetto è di tipo ordinario ( $V_N = 50$  anni) e si è in presenza di una classe d'uso II ( $C_U = 1.0$ ), si ottiene un valore di  $V_R$  pari a;

$$V_R = 50 * 1.0 = 50 \text{ anni}$$

#### Tipo di verifica sull'opera in progetto

Questo parametro si riferisce alla tipologia dell'opera che si prevede di realizzare. Il caso in esame rientra tra le **opere di fondazione**.

Nella tabella sottostante vengono sintetizzati i parametri relativi all'opera in progetto descritti in dettaglio nei paragrafi precedenti:

| <b>Parametri opera in progetto</b>      |                            |
|---|----------------------------|
| Tipo di costruzione                     | <b>2</b>                   |
| Vita nominale $V_N$                     | <b>50 anni</b>             |
| Classe d'uso                            | <b>II</b>                  |
| Coefficiente d'uso $C_U$                | <b>1.0</b>                 |
| Vita di riferimento $V_R$               | <b>50 anni</b>             |
| Tipo di verifica sull'opera in progetto | <b>Opere di fondazione</b> |

### Fattori di amplificazione sismica locale

Gli effetti della risposta sismica locale possono essere valutati con metodi semplificati oppure eseguendo specifiche analisi. Nel caso in esame si è adottato il metodo semplificato, basato sull'esame della categoria di sottosuolo, delle condizioni topografiche e delle condizioni stratigrafiche del sito in esame.

### Categoria di sottosuolo

In base alla tabella 3.2.II contenuta nelle NTC 2018 e riportata nel seguito, tramite la prova MASW effettuata e la verifica delle amplificazioni di sito, la **categoria di suolo per il periodo 0.1-0.5 è la C.**

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

| Categoria | Descrizione   |
|-----------|---|
| A         | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.  |
| B         | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).     |
| C         | <i>Deposit</i> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina). |
| D         | <i>Deposit</i> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).                 |
| E         | <i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).   |

### Condizioni topografiche

Per la determinazione dell'amplificazione sismica è necessario tenere in considerazione anche dei fattori morfologici locali che possono modificare le caratteristiche del moto sismico, filtrando le onde di passaggio dal "bedrock" alla superficie.

Nel caso di condizioni topografiche semplici come quelle del caso in esame, che è caratterizzata da superficie pianeggiante, è possibile adottare la classificazione contenuta nelle NTC 2018 e riportata nel seguito:

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica  |
|-----------|---|
| 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 $i > 30^\circ$                  |

Il sito in esame ricade in **categoria T2.**



## Stima dell'effetto sismico per l'opera in progetto

### Forme spettrali di sito

Le forme spettrali di sito sono costituite dai seguenti parametri:

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

per la stima dei quali bisogna considerare la posizione geografica del sito e fare riferimento, secondo la procedura dettagliata nel seguito, alla Tabella 1 del DM 17 gennaio 2018, che fornisce la terna dei valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per un reticolo che copre tutto il territorio Nazionale.

A partire dalle coordinate geografiche del sito di interesse in WGS84:

|              |                  |                |
|--------------|------------------|----------------|
| Nuova Stalla | Long = 10,403032 | Lat= 46,236002 |
|--------------|------------------|----------------|

si sono individuati i 4 nodi del reticolo di riferimento, all'interno dei quali ricade il sito di interesse:

| Punti griglia |      |
|---------------|------|
| 1             | 8948 |
| 2             | 8949 |
| 3             | 9171 |
| 4             | 9170 |

Attraverso la media ponderata (rispetto all'inverso della distanza) dei valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  forniti dalla Tab. 1 delle NTC per ciascuno dei suddetti nodi, è poi possibile calcolare (per interpolazione rispetto ai valori di tabella) le "forme spettrali" nel sito di interesse per i vari tempi di ritorno  $T_R$ , relativi alla vita di riferimento  $V_R$  (vedi 6.1.1) ed alle diverse condizioni di "stato limite":

| Forme spettrali                         |             | $V_R$        | SLE   |       | SLU           |       |
|---|-------------|--------------|-------|-------|---------------|-------|
|   |             |              | SLO   | SLD   | SLV           | SLC   |
| Tempo di ritorno                        | $T_R$ anni  | 50           | 30    | 50    | <b>475</b>    | 975   |
| Accelerazione di picco orizzontale      | $a_g$ [g]   | <b>0,030</b> | 0,024 | 0,030 | <b>0,0659</b> | 0,071 |
| Fatt.amplif.spettro acceleraz.orizz.    | $F_0$ [-]   | <b>2,607</b> | 2,581 | 2,607 | <b>2,740</b>  | 2,801 |
| Periodo inizio Vcost. Spettro acc.orizz | $T_c^*$ [S] | <b>0,198</b> | 0,180 | 0,198 | <b>0,293</b>  | 0,309 |

*Coefficienti sismici/ Condizioni stratigrafiche*

Anche le condizioni stratigrafiche, come quelle morfologiche locali, possono modificare le caratteristiche del moto sismico filtrando le onde di passaggio dal “bedrock” .

Le modifiche di tipo stratigrafico sono legate alla successione stratigrafica, alle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra substrato rigido ed i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno.

La tabella 3.2.V delle NTC indica le espressioni che permettono calcolare i coefficienti sismici  $S_s$  e  $C_c$  in funzione della categoria di sottosuolo:

**Tabella 3.2.V – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$** 

| Categoria sottosuolo | $S_s$   | $C_c$                        |
|----------------------|---|------------------------------|
| <b>A</b>             | 1,00  | 1,00                         |
| <b>B</b>             | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$ |
| <b>C</b>             | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$ |
| <b>D</b>             | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$ |
| <b>E</b>             | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$ |

Conoscendo i fattori di amplificazione sismica locale (par. 6.1.2) e le forme spettrali di sito (6.2.1), mediante le espressioni della tabella precedente è possibile calcolare i relativi coefficienti sismici  $S_s$  e  $C_c$ :

| Coefficienti sismici                |       | SLE  |      | SLU         |      |
|-------------------------------------|-------|------|------|-------------|------|
|                                     |       | SLO  | SLD  | SLV         | SLC  |
| Amplificazione stratigrafica        | $S_s$ | 1,50 | 1,50 | <b>1,50</b> | 1,50 |
| Coeff.funzione categoria sottosuolo | $C_c$ | 1,85 | 1,79 | <b>1,57</b> | 1,55 |
| Amplificazione topografica          | $S_t$ | 1,20 | 1,20 | <b>1,20</b> | 1,20 |

*Determinazione dei parametri per la progettazione sismica*

Utilizzando tutti i parametri precedentemente illustrati si arriva infine alla determinazione dei parametri da utilizzare per la progettazione sismica, costituiti da:

- accelerazione massima attesa al sito  $A_{max} = a_g \cdot g \cdot S_s \cdot S_t$  [m/ s<sup>2</sup>]

- coefficiente sismico orizzontale  $K_h = \beta_s * A_{max}/g$
- coefficiente sismico verticale  $K_v = \pm 0.5 \times k_h$

dove  $\beta_s$  è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ed è funzione sia di  $a_g$ , sia della categoria di sottosuolo (vedi tabella NTC riportata nel seguito).

**Tabella 7.11.II - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.**

|                         | Categoria di sottosuolo |            |
|-------------------------|-------------------------|------------|
|                         | A                       | B, C, D, E |
|                         | $\beta_m$               | $\beta_m$  |
| $0,2 < a_g(g) \leq 0,4$ | 0,31                    | 0,31       |
| $0,1 < a_g(g) \leq 0,2$ | 0,29                    | 0,24       |
| $a_g(g) \leq 0,1$       | 0,20                    | 0,18       |

I risultati ottenuti applicando le formulazioni riportate nelle NTC 2008 al caso in esame sono illustrati nella tabella seguente:

| Parametri progettazione sismica                           |                                  | SLE   |       | SLU          |       |
|---|----------------------------------|-------|-------|--------------|-------|
|   |                                  | SLO   | SLD   | SLV          | SLC   |
| Accelerazione massima attesa al sito                      | $A_{max}$<br>[m/s <sup>2</sup> ] | 0,431 | 0,531 | <b>1,043</b> | 1,261 |
| Coeff. riduzione dell'accelerazione massima $A_{max}$     | $\beta$                          | 0,200 | 0,200 | <b>0,200</b> | 0,200 |
| Coeff. sismico orizzontale<br>$K_h = \beta_s * A_{max}/g$ | $K_h$<br>[%]                     | 0,009 | 0,011 | <b>0,021</b> | 0,026 |
| Coeff. sismico verticale<br>$K_v = \pm 0.5 \times k_h$    | $K_v$<br>[%]                     | 0,004 | 0,005 | <b>0,011</b> | 0,013 |

Si precisa infine che secondo le Norme Tecniche delle Costruzioni, il rispetto dei vari stati limite relativamente agli elementi strutturali, viene conseguito:

- nei confronti di tutti gli stati limite ultimi (SLU) quando sono soddisfatte le verifiche relative al solo SLV (salvaguardia vita).
- nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio (SLE) quando sono soddisfatte le verifiche relative al solo SLD (danno).

### **3.5 Stabilità dei pendii e dei fronti di scavo**

Come evidenziato dalle sezioni di progetto, i nuovi manufatti appoggeranno su superfici con acclività tali da non dar luogo a fenomeni di instabilità di natura gravitativa.

Non si prospettano particolari problematiche nemmeno per quanto riguarda la stabilità dei fronti di scavo: sono previsti sbancamenti di altezza relativamente contenuta i quali, vista l'assenza nelle vicinanze di altre strutture, possono essere realizzati con angoli di tenuta adeguati alle caratteristiche meccaniche dei terreni, sia quelle prospettate in relazione, sia quelle emergenti in corso d'opera. In ogni caso, gli sbancamenti dovranno essere realizzati rispettando tutte le norme di sicurezza previste dalla vigente normativa. ;

#### 4. FASE DI SINTESI CON INDICAZIONI PROGETTUALI

La presente indagine ha riguardato il progetto di realizzazione di un nuovo fabbricato ad uso agricolo adibito a stalla per bovini sui mappali 165, 166, 168, 169, 172 del foglio 38 del NCT del comune di Vezza d'Oglio (BS). Il sito, attualmente adibito a prato/pascolo, è posto in un settore ove non sono evidenti fenomeni/segni di dissesto attivi/potenziati tali da impedire la realizzazione dei manufatti in progetto. Vista la sua particolare posizione, il sito non può ragionevolmente essere interessato da fenomeno idraulici entità tale da rendere necessari interventi di difesa.

Stabilità dei pendii: come evidenziato dalle sezioni di progetto, i nuovi manufatti appoggeranno su superfici con acclività tali da non dar luogo a fenomeni di instabilità di natura gravitativa.

Stabilità dei fronti di scavo: non si prospettano particolari problematiche. Sono previsti sbancamenti di altezza relativamente contenuta (max circa 3 m) i quali, vista l'assenza nelle vicinanze di altre strutture, possono essere realizzati con angoli di tenuta adeguati alle caratteristiche meccaniche dei terreni, sia quelle prospettate in relazione, sia quelle emergenti in corso d'opera. In ogni caso, gli sbancamenti dovranno essere realizzati rispettando tutte le norme di sicurezza previste dalla vigente normativa.

Acqua sotterranea: le indagini effettuate non hanno evidenziato la presenza di circolazione idrica sotterranea, presenza che non può comunque essere esclusa, anche solo in modo temporaneo a seguito di precipitazioni intense e/o prolungate, magari sostenuta dagli orizzonti poco permeabili presenti.

Caratteristiche geotecniche dei terreni: quelle proposte in relazione derivano dai risultati di quattro indagini penetrometriche effettuate sul sedime del fabbricato agricolo in progetto. Trattandosi di indagini di tipo puntuale, è buona norma verificare quanto prospettato in corso d'opera, durante le varie fasi di scavo. Le indagini hanno evidenziato la presenza sia di uno spessore relativamente elevato di terreni superficiali scadenti (sino a 3 m), sia, al di sotto di essi, di livelli fini poco addensati, livelli progressivamente prevalenti procedendo verso Est. A seguito di

quanto sopra, dovranno essere attentamente valutate sia la tipologia e il dimensionamento delle opere di fondazione e/o la preparazione dei terreni di appoggio, sia le problematiche legate alla formazione di cedimenti differenziali.

Edolo, maggio 2020

Geol. Mario Sterli

