

## INDICE

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1.</b> | <b>PREMESSA .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>2.</b> | <b>RELAZIONE GEOLOGICA.....</b>                                      | <b>4</b>  |
| 2.1       | Inquadramento geologico e morfologico .....                          | 4         |
| 2.2       | Inquadramento idrografico e idrogeologico.....                       | 4         |
| 2.3       | Inquadramento sismico .....  | 6         |
| 2.4       | Analisi della cartografia esistente .....                            | 10        |
| <b>3.</b> | <b>RELAZIONE GEOGNOSTICA.....</b>                                    | <b>12</b> |
| 3.1       | Prove penetrometriche .....  | 12        |
| 3.2       | Stratigrafia terreni e caratteristiche geotecniche .....             | 13        |
| 3.2.1     | Stratigrafia .....   | 13        |
| 3.2.2     | Caratteristiche geotecniche dei terreni .....                        | 13        |
| 3.3       | Cenni sulle azioni sismiche e stati limite.....                      | 14        |
| <b>5.</b> | <b>RELAZIONE GEOTECNICA.....</b>                                     | <b>18</b> |
| 5.1       | Premessa.....  | 18        |
| 5.2       | Capacità portante agli stati limite (NTC2008) e stima cedimenti..... | 18        |
| 5.3       | Stabilità dei fronti di scavo.....                                   | 25        |
| <b>6.</b> | <b>CONCLUSIONI .....</b>   | <b>26</b> |

### Tavole e allegati al testo:

All. 1: Prove scpt – grafici

All. 2: Documentazione fotografica

Tav. 1 - Ubicazione area - ctr

Tav. 2 - Ubicazione area – fotogrammetrico

Tav. 3 - Carta geologica-geomorfologica

Tav. 4 - Ubicazione indagini eseguite

Tav. 5 - Sezione geotecnica

## 1. PREMESSA

Con incarico della Ditta U.F.P. S.r.l. è stata redatta la presente relazione geologica, geognostica e geotecnica, per l'ampliamento di un fabbricato industriale, in località Barriano, nel comune di Missaglia (LC).

L'area in oggetto si trova nell'area industriale del Comune di Missaglia, in corrispondenza di un'area sub pianeggiante, in adiacenza al fabbricato industriale di proprietà esistente, alla quota media di circa 284 m s.l.m..



*Fig. 1 - Immagine tratta da Google Earth*

Il progetto prevede l'ampliamento del fabbricato industriale esistente, in aderenza al lato NE, l'ampliamento ha superficie di 417.78 m<sup>2</sup>, larghezza 21.10 m e lunghezza di 19.80 m, è inoltre prevista la realizzazione di un'area adibita a parcheggio e un ingresso carraio.

La quota di fondazione è ipotizzata a 1.5 m da p.c. attuale.

Si ricorda brevemente che la relazione geologica ha la finalità di:

- ✓ Definire le condizioni geologiche, morfologiche, idrogeologiche dell'area in esame e circostanti.
- ✓ Valutare il grado di stabilità dell'area d'edificazione.
- ✓ Valutare la compatibilità tra l'intervento in oggetto e l'assetto geologico, morfologico, idrogeologico dell'area ospitante.
- ✓ Definire la categoria del suolo di fondazione e la classe di zonazione sismica, ai sensi della nuova normativa sismica (ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003).

Le relazioni geognostica e geotecnica hanno la finalità di:

- ✓ Assumere il modello stratigrafico e geotecnico per le verifiche di capacità portante, di stabilità dei terreni di fondazione e scavo.
- ✓ Definire i parametri geotecnici necessari per il dimensionamento delle strutture di fondazione.
- ✓ Elaborazione e restituzione dei dati ai sensi delle NTC2008 (DM 11.01.2008).
- ✓ indicare i valori di portata ammissibile ed i relativi cedimenti del terreno per le possibili soluzioni di fondazioni;
- ✓ Indicare, in via preliminare, le possibili soluzioni e modalità d'apertura degli scavi e, ove necessario, le possibili soluzioni per il sostegno degli stessi.

Per quanto riguarda l'ubicazione dell'area, si rimanda alle tavole 1 e 2 allegate a fine testo.

## **2. RELAZIONE GEOLOGICA**

### **2.1 Inquadramento geologico e morfologico**

L'area in oggetto è ubicata nel comune di Missaglia (LC), in località Barriano, alla quota media di circa 284 m s.l.m..

L'area che ospita i terreni da edificarsi è attualmente tenuta in parte a piazzale in ghiaia, e in parte a prato, è circondata da numerosi edifici industriali e l'uso del territorio è prevalentemente industriale (zona artigianale/produttiva del Comune di Missaglia).

Dal punto di vista morfologico, l'area si inserisce in un contesto dove le forme tipiche sono legate al modellamento alluvionale antico (depositi alluvionali antichi o fluvioglaciali) e recente. I depositi alluvionali antichi hanno caratteristico aspetto terrazzato, rappresentano eventi deposizionali via via più recenti quanto più topograficamente depressi.

Le zone pianeggianti depresse sono generalmente ricoperte da coltri più o meno sottili di depositi eluvio colluviali e alluvionali recenti, a granulometria più fine e con grado di addensamento ridotto.

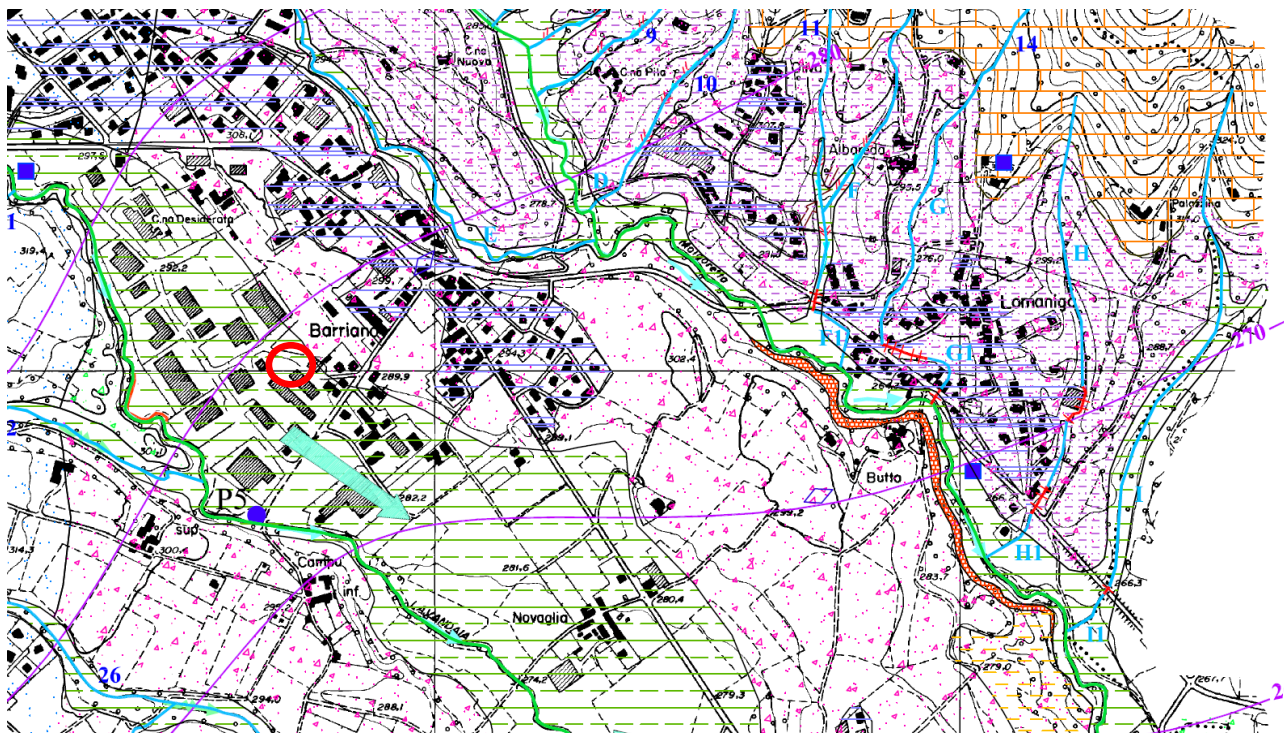
In particolare, dal punto di vista geologico, i terreni in corrispondenza dell'area in oggetto, sono caratterizzati da depositi fluviali recenti, costituiti da sabbie, sabbie limose, ghiaie e ciottoli. Verso SW sono presenti i depositi glaciali e fluvioglaciali antichi, questi ultimi caratterizzati da una tipica coltre superficiale di alterazione di colore bruno-rosso, detta Ferretto, costituita da matrice argillosa al cui interno si rinvencono clasti e ciottoli generalmente alterati. Al di sotto di tale coltre, il cui spessore può raggiungere anche 3-5 metri, i depositi sono costituiti da ghiaie, sabbie e ciottoli, di dimensioni variabili e forma generalmente arrotondata, immersi in matrice sabbioso-limosa presente in percentuali variabili. Dal punto di vista morfologico, l'area oggetto di intervento si trova in corrispondenza della piana alluvionale della Roggia Lavandaia su cui si trova edificata l'area industriale di Missaglia, nelle immediate vicinanze della località Barriano, alla quota di circa 284.0 m s.l.m.,.

Per maggiori informazioni si rimanda alla tavola 3 allegata a fine testo.

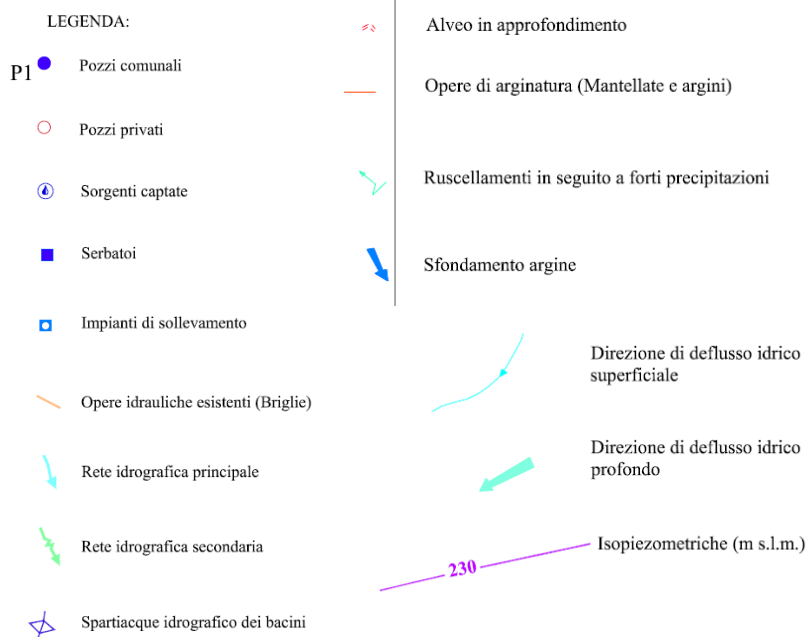
### **2.2 Inquadramento idrografico e idrogeologico**

Per quanto riguarda l'idrografia di superficie, l'area in oggetto dista circa 220 metri verso NE, dall'alveo della Roggia Lavandaia e a circa 400 metri verso SW dall'alveo del Torrente Molgoretta.

Per quanto riguarda la circolazione idrica profonda la misura effettuata nel piezometro installato nel foro della prova 1, ha individuato la presenza di acqua alla profondità di 0.8 m, legata comunque alle condizioni di pioggia intensa in corso durante la prova. Indagini eseguite nei terreni adiacenti (a SW, a NE ed a SE) hanno individuato la presenza di falda alla profondità compresa tra 3.6 m e 4.5 m da p.c. attuale.



Estratto della carta idrogeologica allegata al P.G.T. geologico del comune di Missaglia



| UNITA' CRONOSTRATIGRAFICHE                          | SIMBOLO   | FORMAZIONI IDROGEOLOGICHE                            |                                 |
|---|-----------|--|---------------------------------|
|   |           | LITOSTRATIGRAFIA                                     | PERMEABILITA'                   |
| T<br>R<br>I<br>A<br>S<br>S<br>I<br>C<br>O           | Unità Ia  | Scaglia e Flysch<br>Alternanze di marne e arenarie   | SECONDARIA PER<br>FRATTURAZIONE |
|   | Unità Ib  | Ceppo Lombardo                                       |                                 |
| Q<br>U<br>A<br>T<br>E<br>R<br>N<br>A<br>R<br>I<br>O | Unità II  | Depositi alluvionali<br>recenti e attuali            | MEDIO-ALTA                      |
|   | Unità III | Depositi cluvio<br>colluviali antropizzati           | MEDIA                           |
|   | Unità IV  | Depositi Fluvio-glaciali<br>Rissiani                 | BASSA                           |
|   | Unità V   | Depositi Fluvio-glaciali<br>Mindelliani antropizzati | BASSA-MEDIA                     |
|   | Unità VI  | Aree impermeabili<br>Urbanizzazione                  | NULLA                           |

Dall'analisi dello studio geologico a supporto del P.G.T. (carta idrogeologica) la falda dovrebbe essere posta alla quota di circa 280 m s.l.m. Il terreno in oggetto si ubica ad una quota di circa 284 m .s.l.m., poiché le indagini più vicine hanno mostrato la presenza di acqua alla profondità di circa 3.6 m, e in considerazione della differenze di quota di ipotizza la presenza di acqua, cautelativamente, a circa 3.0 m da p.c. attuale.

### 2.3 INQUADRAMENTO SISMICO

Il comune di Missaglia si trova in un'area relativamente tranquilla dal punto di vista sismico; sono disponibili 3 osservazioni dirette per il comune in oggetto nel Database dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. (M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011. DBMI11, versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>) di seguito riportate:

#### Seismic history of Missaglia [45.708, 9.336]

Total number of  
earthquakes: 4  
Effects

| Is  | Anno Me Gi Or | Area epicentrale | Io  | Mw         |
|-----|---------------|------------------|-----|------------|
| 3-4 |               | Parmense         | 6-7 | 5.06 ±0.09 |
| NF  |               | Alpi Centrali    |     | 5.10 ±0.22 |
| NF  |               | BRESCIA-BERGAMO  | 5-6 | 4.54 ±0.09 |

dove Is = intensità al sito in scala MCS, Io = intensità all'epicentro, Mw = magnitudo momento

NF: non avvertito (not felt); in caso di esplicita segnalazione in tal senso è equiparabile a I = 1.

La massima intensità osservata è pari al 4° grado della scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg), relativa al terremoto del 1983.

La scala MCS (Mercalli Cancani Sieberg) ha 12 gradi che vanno da 1° ("impercettibile"), a 12° ("grandemente catastrofico"); il 4° grado è definito "mediocre", ovvero avvertito da molti all'interno di un edificio in ore diurne, all'aperto da pochi; di notte alcuni vengono destati; automobili ferme oscillano notevolmente.

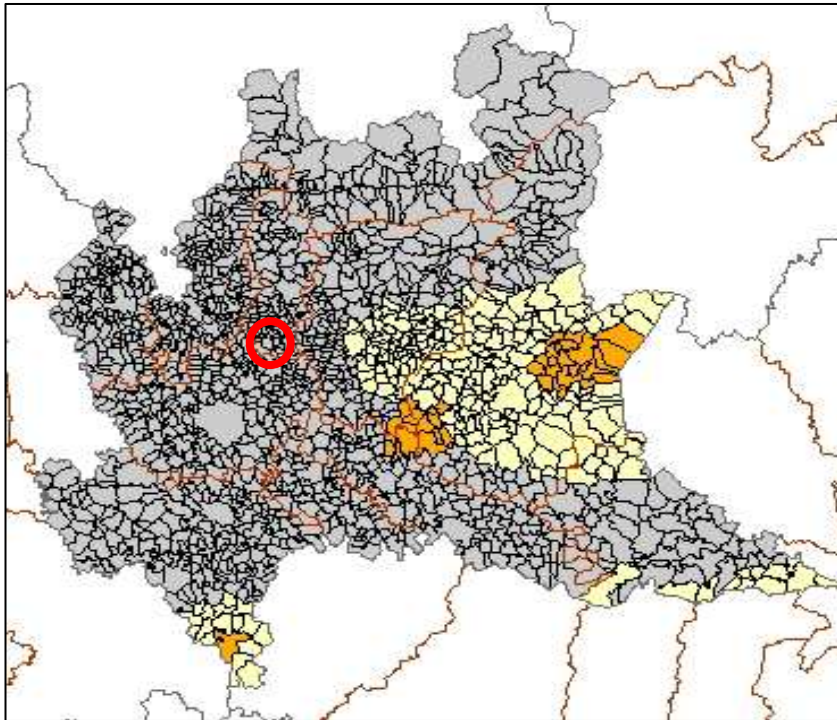
Per l'applicazione della nuova normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica (ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003), l'intero territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche con grado di pericolosità crescente da 4 a 1 (vedi allegato A della normativa: classificazione sismica dei comuni italiani).

Ciascuna zona è contrassegnata da un valore del parametro di accelerazione di picco orizzontale al suolo (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale, secondo la tabella seguente.



| zona | accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni<br>[a <sub>g</sub> /g] | accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche)<br>[a <sub>g</sub> /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   |

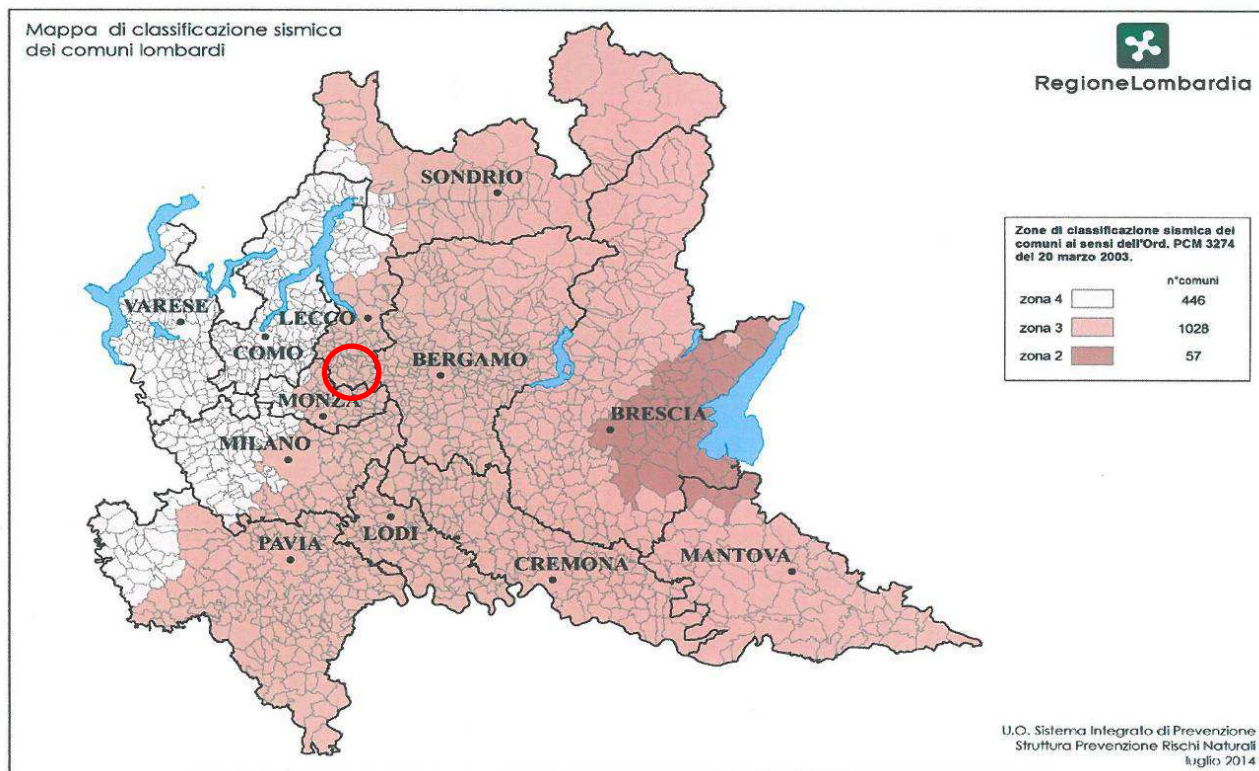
Come si può osservare dalla figura di seguito riportata, ai sensi della zonazione sismica del 2003, il territorio del Comune di Missaglia è stato inserito in zona 4, caratterizzata da un valore di a<sub>g</sub> pari a 0.05 g.



I valori di a<sub>g</sub>, espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g e da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

- Zona 1: è la 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; possibilità di danni sismici basse

**In ogni caso la nuova classificazione sismica della Regione Lombardia, DGR. n. X/2129 del 11/07/14, che entrerà in vigore dal 15 ottobre 2015, inserisce il comune di Missaglia nella zona sismica 3, con A<sub>g</sub> Max paria 0.060879.**



**La D.G.R. n° X/2489 del 10/10/14, stabilisce che, in attesa dell'entrata in vigore della nuova classificazione, nei comuni che saranno riclassificati dalla Zona 4 a Zona 3, tutti i progetti delle strutture riguardanti nuove costruzioni, pubbliche e private siano redatti in linea con le norme tecniche vigenti nelle Zone 3.**

**Ciò comporta la necessità di approfondimenti sismici come prescritto dalla normativa regionale in applicazione della L.R. 12/05 e s.m.i.**

La classificazione sismica dei terreni può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_s$ , o sul numero medio di colpi  $N_{SPT}$  ottenuti in una prova penetrometrica dinamica, o sulla coesione non drenata media  $C_u$ ; in base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti *categorie del suolo di fondazione*:

A) *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m;

B) *Rocce tenere e depositi a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica  $N_{SPT} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina;

C) *Depositi 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  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT} < 50$  nei terreni a grana grossa,  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina);

D) *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o 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  $V_{s30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $N_{SPT} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $cu_{30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina);

E) *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, su di un substrato di riferimento (con  $V_{s30} > 800$  m/s);

a cui si aggiungono:

S1) Depositi di terreni caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  inferiori a 100 m/s (ovvero  $10 < cu_{30} < 20$  kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche;

S2) Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

La probabile categoria del suolo è di tipo C, ma per la determinazione univoca della categoria di suolo sismico si dovrebbe eseguire un'indagine sismica tipo MASW e un'analisi di secondo livello finalizzato alla definizione del Fattore di Amplificazione (Fa) locale.

## 2.4 Analisi della cartografia esistente

### ⇒ Carta di inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia - Sistema Informativo Territoriale

Non è indicato alcun dissesto geologico - idrogeologico nel terreno in esame e nelle sue immediate vicinanze.

### ⇒ Pubblicazione del PAI (piano stralcio per l'assetto idrogeologico, Magistrato del Po' e Regione Lombardia - Sistema Informativo Territoriale)

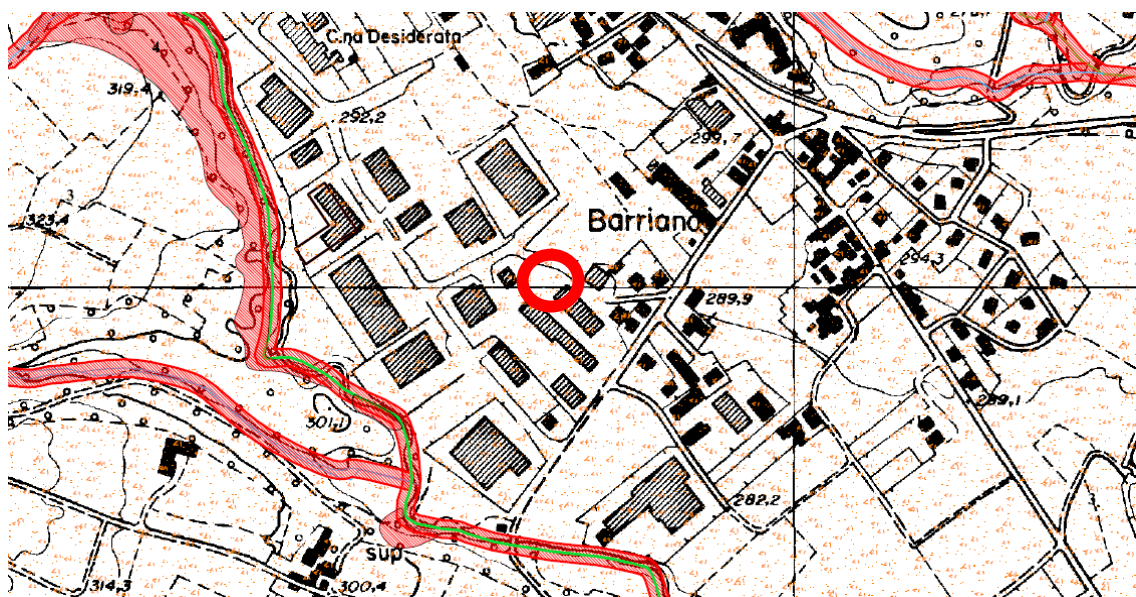
Non è indicato alcun dissesto idrogeologico nel terreno in esame e nelle sue vicinanze.

### ⇒ Centri abitati e infrastrutture a rischio frana in Regione Lombardia (Regione Lombardia)

Non è indicato alcun dissesto idrogeologico nel terreno in esame e nelle sue vicinanze.

### ⇒ Studio geologico a supporto del P.G.T. di Missaglia

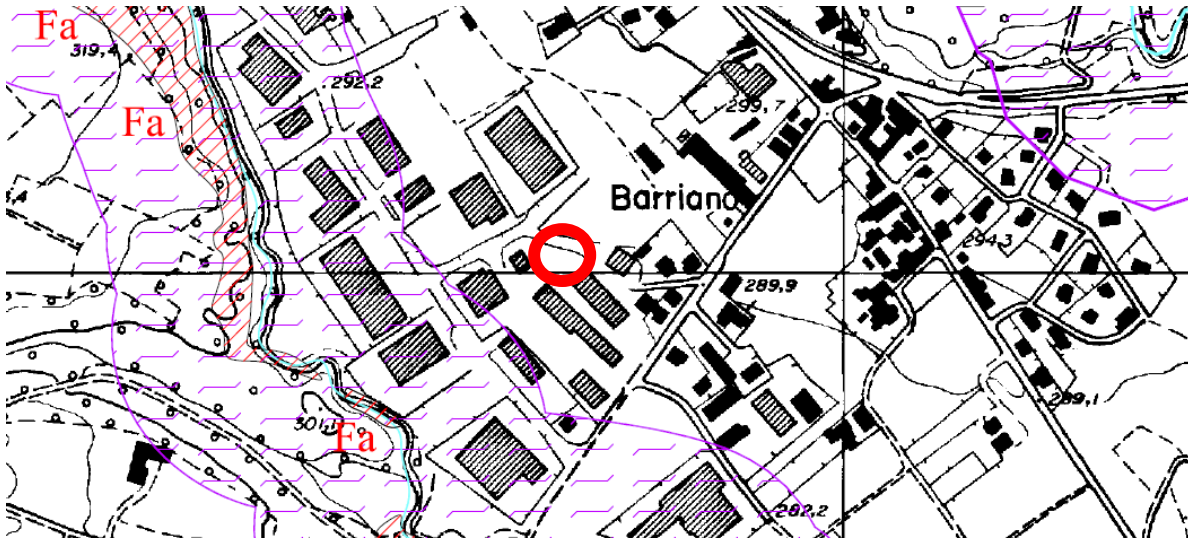
CARTA DI FATTIBILITA': il terreno in oggetto ricade in classe di fattibilità 3, "fattibilità con modeste limitazioni che comprende aree nelle quali sono state rilevate consistenti limitazioni, alla modifica delle destinazioni d'uso, son aree acclivi o soggette al dissesto idrogeologico o morfodinamico.



- 3** CLASSE 3 FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI  
Comprende aree che presentano consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni. Sono aree acclivi o predisposte al dissesto idrogeologico e morfodinamico
- 4** CLASSE 4 FATTIBILITA' CON GRAVI LIMITAZIONI  
Comprende aree con gravi limitazioni per la modifica delle destinazioni d'uso. Dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione

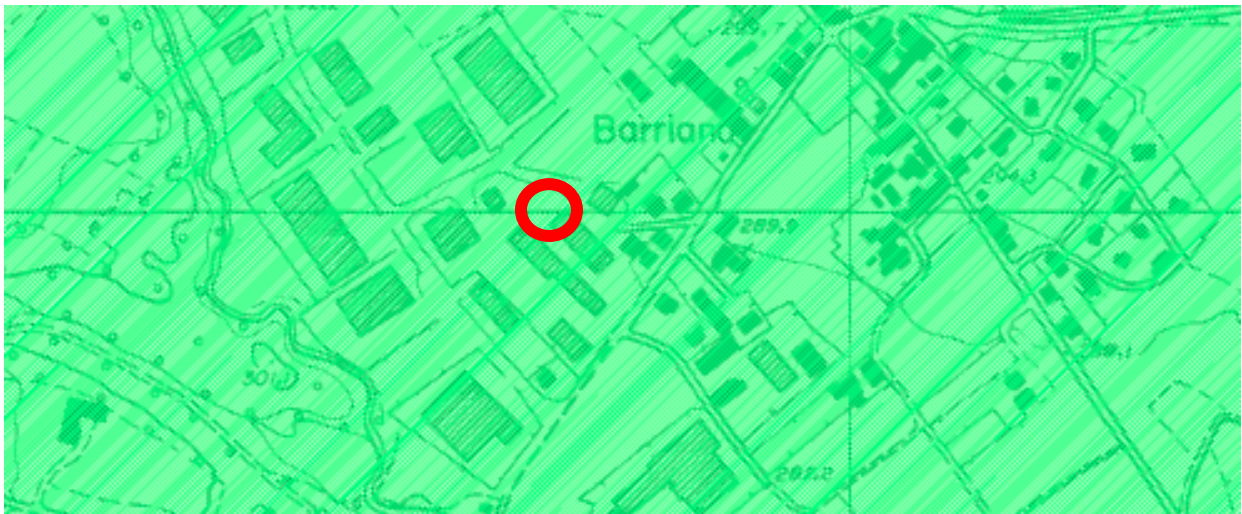
*Stralcio carta di fattibilità geologica – Studio geologico di supporto al PGT comunale*

CARTA DEI VINCOLI: il terreno in oggetto non è soggetto a vincoli.



Stralcio carta dei vincoli – Studio geologico di supporto al PGT comunale

CARTA PERICOSITA' SISIMICA LOCALE: il terreno ricade in zona Z4a, zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali e/o coesivi.



Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi

Stralcio carta pericolenza sismica locale – Studio geologico di supporto al PGT comunale

Le indagini ed i rilievi effettuati nell'area di edificazione e nel suo intorno non hanno mostrato la presenza di processi geomorfici in atto o potenziali che possano compromettere la stabilit  dei luoghi in corrispondenza dell'ampliamento dell'edificio industriale in progetto, come evidenziato anche dalla cartografia ufficiale consultata.

### 3. RELAZIONE GEOGNOSTICA

Le indagini geognostiche che hanno interessato l'area d'intervento, eseguite in data 14/02/15 hanno compreso:

- 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti;
- posa di 6 m di tubo piezometrico nel foro della prova 1.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella tavola 4 allegata a fine testo.

#### 3.1 Prove penetrometriche

Le prove penetrometriche dinamiche continue standard Scpt (punta conica) sono eseguite tramite penetrometro super-pesante della Ditta Pagani, con attrezzatura conforme alla normativa geotecnica vigente, le cui caratteristiche sono di seguito riassunte:



- |                                |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| ▪ Rif. Norme:                  | SCPT TG 63-300 Pagani |
| ▪ Peso Massa battente          | 73 kg                 |
| ▪ Altezza di caduta libera     | 0,75 m                |
| ▪ Diametro punta conica        | 51,00 mm              |
| ▪ Area di base punta           | 20,43 cm <sup>2</sup> |
| ▪ Lunghezza delle aste         | 1,00 m                |
| ▪ Peso aste                    | 6,31 kg/m             |
| ▪ Coeff. Correlazione con Nspt | 1,8                   |

Si procede contando il numero di colpi (N) necessario per ottenere l'infissione della punta conica per tratti di 30 cm ciascuno.

Di seguito, sono riportate le profondità massime raggiunte dalle prove scpt eseguite:

| Prova n° | Profondità<br>(m da p.c. originario) | Rifiuto <sup>1</sup> | Piezometro<br>(m) | Acqua<br>m da p.c. |
|----------|--------------------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|
| 1        | 12                                   | Si                   | 6                 | -0.8               |
| 2        | 10.5                                 | No                   |                   |                    |
| 3        | 10.2                                 | No                   |                   |                    |

<sup>1</sup> Per rifiuto s'intende l'interruzione della prova a causa del mancato avanzamento dell'intervallo prestabilito delle aste a seguito di 100 colpi del maglio

Solo la prova 1 si è arrestata per rifiuto alla penetrazione, probabilmente per la presenza di un grosso ciottolo. Le prove hanno individuato la presenza di acqua alla profondità di 0.8 m, legata comunque alle condizioni di pioggia intensa in corso durante la prova. Indagini eseguite nei terreni adiacenti ha individuato la presenza di falda alla profondità compresa tra 3.6 m e 4.5 m.

Dall'analisi dello studio geologico a supporto del P.G.T. la falda dovrebbe essere posta alla quota di circa 280 m s.l.m.. Il terreno in oggetto si ubica ad una quota di circa 284 m s.l.m., poiché le indagini più vicine hanno mostrato la presenza di acqua alla profondità di circa 3.6 m, e in considerazione della differenza di quota si ipotizza la presenza di acqua, cautelativamente a circa 3.0 m da p.c. attuale.

### 3.2 Stratigrafia terreni e caratteristiche geotecniche

#### 3.2.1 Stratigrafia

La natura dei terreni è stata dedotta dal numero di colpi necessari per l'avanzamento della punta conica e dall'osservazione dei residui litologici sulle aste durante la fase di recupero.

Lo stato d'addensamento è stato misurato direttamente rilevando la resistenza all'avanzamento della punta nel terreno.

Nella tabella a seguire si riportano i risultati delle indagini eseguite:

| Profondità da p.c. (m)       | Nspt                                      | Stato d'addensamento del terreno             |
|------------------------------|---|--|
| Da 0.0 a -5.7/-7.2           | 6-10<br>(15-16 prove 1 e 2)               | Sciolti con lente molto mediamente addensata |
| Da -5.7/-7.2 a -10.20/-12.00 | 13-22<br>(7 prova 1)<br>>100 solo prova 1 | Mediamente addensato con lente sciolta       |

Dalle indagini eseguite i terreni presentano un grado di addensamento crescente con la profondità, con la presenza di diverse lenti a grado di addensamento variabile, i terreni indagati sono costituiti da sabbie, sabbie limose, ghiaie e ciottoli, l'arresto della prova 1 è dovuto alla presenza di grossi ciottoli.

La sintesi stratigrafica del terreno in esame è riportata nella tavola 5 allegata a fine testo.

#### 3.2.2 Caratteristiche geotecniche dei terreni

Le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione sono state determinate attraverso le correlazioni formulate dai diversi Autori (Terzaghi, Meyerhof e altri), a partire dai valori di resistenza di punta registrati attraverso le prove Scpt.



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

| Profondità da p.c.<br>(m)    | Nspt                                      | Y <sub>t</sub><br>(t/m <sup>3</sup> ) | Y <sup>1</sup><br>(t/m <sup>3</sup> ) | Φ<br>(°)             | E<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Kw<br>(Kg/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Da 0.0 a -5.7/-7.2           | 6-10<br>(16 prove 1 e 2)                  | 1.70-1.75<br>(1.80)                   | 0.90-0.95<br>(1.00)                   | 27-29<br>(31)        | 52-78<br>(129)             | 2.08-3.12<br>(5.16)         |
| Da -5.7/-7.2 a -10.20/-12.00 | 13-22<br>(7 prova 1)<br>>100 solo prova 1 | 1.80-1.85<br>(1.70)<br>>1.90          | 1.00-1.05<br>(0.90)<br>1.10           | 30-34<br>(27)<br>>35 | 106-187<br>(53)<br>>450    | 4.24-7.48<br>(2.12)<br>(18) |

Dove:

- ✓ Nspt = Numero Spt
- ✓ Y<sub>t</sub> = Peso naturale del terreno
- ✓ Y<sup>1</sup> = Peso terreno immerso
- ✓ Φ = Angolo d'attrito Y<sup>1</sup>
- ✓ E = Modulo elastico
- ✓ Kw = coefficiente di reazione del terreno per una fondazione larga B = 0.3 m

### 3.3 Cenni sulle azioni sismiche e stati limite

Le *azioni sismiche di progetto*, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base del sito” di costruzione, che è descritta dalla *probabilità* che, in un fissato lasso di tempo (“periodo di riferimento VR”), 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<sub>VR</sub>)*”.

Ai fini delle NTC 2008, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P<sub>VR</sub>), a partire dai valori dei seguenti parametri sul sito di riferimento:

- a<sub>g</sub> accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T\*<sub>C</sub> periodo di 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 (SLU) sono:

- Stato limite di salvaguardia della Vita (SLV): 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: 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 (SLE) da considerare sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): 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 (SLD): 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 rigidità nei confronti delle azioni verticali ed 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. estratta dalle NTC.

**Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato**

| Stati Limite              |     | $P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ |
|---------------------------|-----|--|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81%  |
|                           | SLD | 63%  |
| Stati limite ultimi       | SLV | 10%  |
|                           | SLC | 5%   |

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

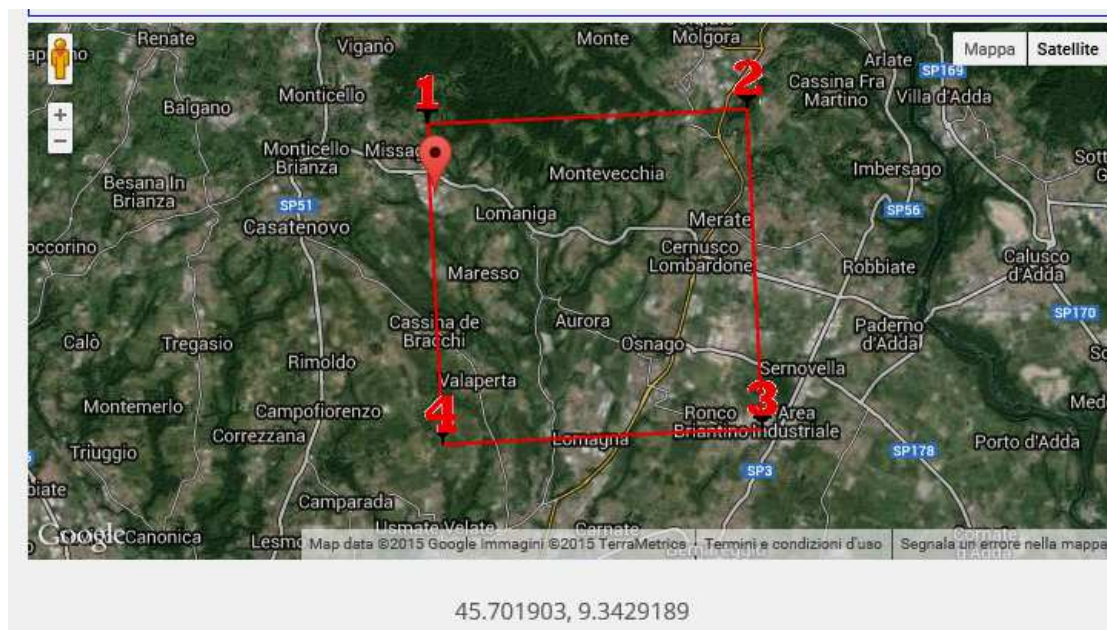
#### **Determinazione dei parametri e dei coefficienti sismici**

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

- Coordinate geografiche decimali:  
lat. = 45,7028299063773    Long. = 9,34397952360477
- Classe d'uso dell'edificio:  
II. Affollamenti normali senza funzioni pubbliche e senza contenuti pericolosi
- Vita Nominale (ipotizzata):  
50 anni
- Opzione di calcolo:  
Stabilità dei pendii e fondazioni
- Categoria di sottosuolo (ipotizzata)  
Categoria C
- Categoria Topografica (da morfologia locale, rif. Tab. 3.2.IV NTC)  
Categoria T1 – superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

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.

Nell'immagine di seguito riportata sono individuati i 4 vertici della maglia di riferimento:



I valori rispetto ai siti di riferimento sono i seguenti:

#### Siti di riferimento

|        |           |                         |                    |
|--------|-----------|-------------------------|--------------------|
| Sito 1 | ID: 11153 | Lat: 45,7139Lon: 9,3421 | Distanza: 1243,859 |
| Sito 2 | ID: 11154 | Lat: 45,7164Lon: 9,4135 | Distanza: 5600,643 |
| Sito 3 | ID: 11376 | Lat: 45,6664Lon: 9,4169 | Distanza: 6960,192 |
| Sito 4 | ID: 11375 | Lat: 45,6640Lon: 9,3455 | Distanza: 4318,239 |

Dall'elaborazione successiva otteniamo i tre valori caratteristici ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) che definiscono le forme spettrali e che sono di seguito tabulati:

| STATO LIMITE                                    | $T_r$ (anni) | $a_g$ (g) | $F_0$ | $T_c^*$ (s) |
|---|--------------|-----------|-------|-------------|
| SLO (Operatività)                               | 30           | 0.020     | 2.559 | 0.167       |
| SLD (Danno)                                     | 50           | 0.027     | 2.533 | 0.195       |
| SLV (Salvaguardia Vita)                         | 475          | 0.060     | 2.612 | 0.281       |
| SLC (Prevenzione Collasso)                      | 975          | 0.076     | 2.621 | 0.293       |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50 |              |           |       |             |

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 TC.

Nel nostro caso inserendo i dati di input sopra esposti si ottengono i seguenti coefficienti correttivi:

| STATO LIMITE               | $S_s$ | $S_t$ | $C_c$ |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| SLO (Operatività)          | 1.50  | 1.00  | 1.89  |
| SLD (Danno)                | 1.50  | 1.00  | 1.80  |
| SLV (Salvaguardia Vita)    | 1.50  | 1.00  | 1.60  |
| SLC (Prevenzione Collasso) | 1.50  | 1.00  | 1.57  |

I coefficienti ottenuti sono i seguenti

| STATO LIMITE               | $A_{max}$ (m/s) | $\beta_s$ | $K_h$ | $K_v$ |
|----------------------------|-----------------|-----------|-------|-------|
| SLO (Operatività)          | 0.301           | 0.200     | 0.006 | 0.003 |
| SLD (Danno)                | 0.393           | 0.200     | 0.008 | 0.004 |
| SLV (Salvaguardia Vita)    | 0.883           | 0.200     | 0.018 | 0.009 |
| SLC (Prevenzione Collasso) | 1.114           | 0.200     | 0.023 | 0.011 |

Si ricorda che il rispetto dei vari Stati Limite viene considerato conseguito dalle NTC:

- Nei confronti di tutti gli Stati Limite Ultimi (SLU), quando siano soddisfatte le verifiche relative al solo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV.)
- Nei confronti di tutti gli Stati Limite di Esercizio (SLE), quando siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno (SLD.)

## 5. RELAZIONE GEOTECNICA

### 5.1 Premessa

Le opere in progetto si possono assimilare al tipo 2 con vita nominale  $V_n \geq 50$  anni (tabella 2.4.1 articolo 2.4 comma 2.4.1 del D.M. 14 gennaio 2008).

Le opere in progetto si possono inoltre individuare in classe d'uso II (art 2.4 comma 2.4.2 del D.M. 14 gennaio 2008).

Si utilizzerà uno spettro di risposta **suolo tipo C ipotizzato**.

### 5.2 Capacità portante agli stati limite (NTC2008) e stima cedimenti

Il progetto prevede l'ampliamento del fabbricato industriale esistente, in aderenza al lato NE, l'ampliamento ha superficie di  $417.78 \text{ m}^2$ , larghezza 21.10 m e lunghezza di 19.80 m, e inoltre prevista la realizzazione di un'area adibita a parcheggio e un ingresso carraio.

La quota di fondazione è ipotizzata a 1.5 m da p.c. attuale, e dalla indagini eseguite le fondazioni si ubicheranno nel livello sciolto.

Per i calcoli sono state considerate le seguenti caratteristiche geotecniche:

Terreno sciolto

- angolo di attrito terreno  $\phi$ :  $28^\circ$
- peso naturale del terreno di  $Y_t$ :  $1.75 \text{ t/m}^3$
- peso immerso  $Y^1$ :  $0.95 \text{ t/m}^3$
- peso saturo  $Y_{\text{sat}}$ :  $1.85 \text{ t/m}^3$

In funzione delle tipologia costruttiva, sono state ipotizzate fondazioni tipo plinto e tipo trave.

In particolare è stata calcolata la capacità portante per fondazioni dirette tipo plinto, a base quadrata, con lato di 2.0 m, 2.5 m e 3.0 m, con rinterro di 0.7 m.

È stata poi calcolata la capacità portante per fondazioni dirette tipo trave, con rinterro di 0.4 m, con larghezza di 1.0 m, 1.2 m e 1.5 m.

**I risultati, calcolati ai sensi delle NTC2008, sono di seguito riportati ed espressi in termini di  $\text{kg/cm}^2$  per le portate e carichi e in termini di cm per i cedimenti elastici stimati.**



**Plinti a base quadrata con lato di 2 m**

| <i>NTC 2008 A1+M1+R1</i>                      |      |      |
|---|------|------|
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 4.17 | 4.17 |
| Meyerhof                                      | 5.23 | 5.23 |
| Brinch-Hansen                                 | 4.88 | 4.88 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2</i>                      |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 2.25 | 1.25 |
| Meyerhof                                      | 2.54 | 1.41 |
| Brinch-Hansen                                 | 2.56 | 1.42 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2 + CORREZIONE SISMICA</i> |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 1.99 | 1.11 |
| Meyerhof                                      | 2.26 | 1.25 |
| Brinch-Hansen                                 | 2.36 | 1.31 |

Stima dei cedimenti (in cm) utilizzando un carico pari a **1.11 kg/cm<sup>2</sup>**

| Cedimenti Terzaghi (cm) |
|-------------------------|
| 1.8                     |

| Cedimenti Burland e Burbidge (cm) |
|-----------------------------------|
| 2.5                               |

**Plinti a base quadrata con lato di 2.5 m**

| <i>NTC 2008 A1+M1+R1</i>                      |      |      |
|---|------|------|
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 4.59 | 4.59 |
| Meyerhof                                      | 5.66 | 5.66 |
| Brinch-Hansen                                 | 5.12 | 5.12 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2</i>                      |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 2.46 | 1.37 |
| Meyerhof                                      | 2.71 | 1.51 |
| Brinch-Hansen                                 | 2.65 | 1.47 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2 + CORREZIONE SISMICA</i> |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 2.15 | 1.20 |
| Meyerhof                                      | 2.38 | 1.32 |
| Brinch-Hansen                                 | 2.41 | 1.34 |

Stima dei cedimenti (in cm) utilizzando un carico pari a **1.20 kg/cm<sup>2</sup>**

| Cedimenti Terzaghi (cm) |
|-------------------------|
| 2.4                     |

| Cedimenti Burland e Burbidge (cm) |
|-----------------------------------|
| 3.2                               |

**Plinti a base quadrata con lato di 3 m**

| <i>NTC 2008 A1+M1+R1</i>                      |      |      |
|---|------|------|
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 4.95 | 4.95 |
| Meyerhof                                      | 6.04 | 6.04 |
| Brinch-Hansen                                 | 5.34 | 5.34 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2</i>                      |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 2.64 | 1.47 |
| Meyerhof                                      | 2.87 | 1.59 |
| Brinch-Hansen                                 | 2.74 | 1.52 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2 + CORREZIONE SISMICA</i> |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 2.29 | 1.27 |
| Meyerhof                                      | 2.49 | 1.38 |
| Brinch-Hansen                                 | 2.47 | 1.37 |

Stima dei cedimenti (in cm) utilizzando un carico pari a **1.27 kg/cm<sup>2</sup>**

| Cedimenti Terzaghi (cm) |
|-------------------------|
| 3.0                     |

| Cedimenti Burland e Burbidge (cm) |
|-----------------------------------|
| 3.9                               |

**Trave larghezza 1.0 m**

| <i>NTC 2008 A1+M1+R1</i>                      |      |      |
|---|------|------|
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 2.54 | 2.54 |
| Meyerhof                                      | 3.51 | 3.51 |
| Brinch-Hansen                                 | 3.25 | 3.25 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2</i>                      |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 1.39 | 0.77 |
| Meyerhof                                      | 1.74 | 0.97 |
| Brinch-Hansen                                 | 1.74 | 0.97 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2 + CORREZIONE SISMICA</i> |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 1.26 | 0.70 |
| Meyerhof                                      | 1.58 | 0.88 |
| Brinch-Hansen                                 | 1.64 | 0.91 |

Stima dei cedimenti (in cm) utilizzando un carico pari a **0.70 kg/cm<sup>2</sup>**

| Cedimenti Terzaghi (cm) |
|-------------------------|
| 1.2                     |

| Cedimenti Burland e Burbidge (cm) |
|-----------------------------------|
| 1.3                               |

**Trave larghezza 1.2 m**

| <i>NTC 2008 A1+M1+R1</i>                      |      |      |
|---|------|------|
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 2.75 | 2.75 |
| Meyerhof                                      | 3.69 | 3.69 |
| Brinch-Hansen                                 | 3.37 | 3.37 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2</i>                      |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 1.49 | 0.83 |
| Meyerhof                                      | 1.80 | 1.00 |
| Brinch-Hansen                                 | 1.79 | 0.99 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2 + CORREZIONE SISMICA</i> |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 1.34 | 0.74 |
| Meyerhof                                      | 1.62 | 0.90 |
| Brinch-Hansen                                 | 1.67 | 0.93 |

Stima dei cedimenti (in cm) utilizzando un carico pari a **0.74 kg/cm<sup>2</sup>**

| Cedimenti Terzaghi (cm) |
|-------------------------|
| 1.5                     |

| Cedimenti Burland e Burbidge (cm) |
|-----------------------------------|
| 1.6                               |



**Trave larghezza 1.5 m**

| <i>NTC 2008 A1+M1+R1</i>                      |      |      |
|---|------|------|
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 3.06 | 3.06 |
| Meyerhof                                      | 3.99 | 3.99 |
| Brinch-Hansen                                 | 3.69 | 3.69 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2</i>                      |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 1.65 | 0.92 |
| Meyerhof                                      | 1.92 | 1.07 |
| Brinch-Hansen                                 | 1.94 | 1.08 |
| <i>NTC 2008 A2+M2+R2 + CORREZIONE SISMICA</i> |      |      |
| Autore  | Qult | Rd   |
| Terzaghi                                      | 1.45 | 0.81 |
| Meyerhof                                      | 1.70 | 0.95 |
| Brinch-Hansen                                 | 1.79 | 1.00 |

Stima dei cedimenti (in cm) utilizzando un carico pari a **0.81 kg/cm<sup>2</sup>**

| Cedimenti Terzaghi (cm) |
|-------------------------|
| 2.0                     |

| Cedimenti Burland e Burbidge (cm) |
|-----------------------------------|
| 2.1                               |

Nel caso delle fondazioni tipo plinto, con lato di 2.5 m e 3.0 m, per contenere i cedimenti entro i 3 cm, si potranno considerare resistenze di progetto rispettivamente di 1.1 e 1.0 kg/cm<sup>2</sup>.

Qualora i carichi previsti non fossero adeguati alle azioni di progetto, volendo quindi ottenere portate maggiori senza aumentare le dimensioni delle fondazioni superficiali, si potrebbero valutare interventi di palificazione.

A titolo indicativo, in relazione al contesto ospitante e alla tipologia dei terreni di fondazione, indagati, si ritengono adatti pali di tipo trivellato, ad esempio ad elica continua, di diametro  $\geq 40$  cm, lunghezza  $\geq 10$ -15 m, con portate ammissibili  $\geq 20$ -30 t/palo.

In ogni caso la determinazione della tipologia, geometria e disposizione dei pali dovrà essere preceduta da indagini integrative mediante carotaggi di lunghezza  $\geq 15$  m, con eventuali prove di carico di progetto

In subordine possono essere valutati pali di tipo vibroinfissi, o battuti gettati in opera. Si dovrà però avere cura di eseguire controlli e verifiche preventive, anche dello stato di consistenza delle strutture esistenti al contorno, comprendente quelle di proprietà da ampliarsi.

Per quanto riguarda la pavimentazione, al fine evitare cedimenti differenziali, si reputa utile la bonifica del terreno superficiale per uno spessore  $\geq 0.5 - 1$  m, vibrointasamento a fondo bonifica per circa 30 - 50 cm, posa di uno strato di geogriglia, riporto di materiale granulare a strati, posa di un secondo strato di georete, infine getto della pavimentazione armata con doppia rete metallica.

L'esecuzione di prove di carico permetterà di evidenziare il grado di compattazione generale dopo l'intervento.

L'intervento andrà comunque definito in relazione ai carichi reali che verranno trasmessi alla pavimentazione.

### 5.3 Stabilità dei fronti di scavo

Per quanto riguarda la stabilità dei fronti di scavo, essa è influenzata dall'altezza ed 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.

Nel caso in oggetto non si prevedono particolari problematiche essendo previsti scavi con altezza massima di circa 1.5 m.

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

- **Art. 12 e 13 D.P.R n 164 del 07/01/1956** 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 14 ottobre 1997, n. 412 – 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.

## 6. CONCLUSIONI

Il progetto prevede l'ampliamento del fabbricato industriale esistente, in aderenza al lato NE, l'ampliamento ha superficie di 417.78 m<sup>2</sup>, larghezza 21.10 m e lunghezza di 19.80 m, è inoltre prevista la realizzazione di un'area adibita a parcheggio e un ingresso carraio.

Sono state definite le caratteristiche geologiche, morfologiche, idrogeologiche ed idrografiche dell'area ospitante l'intervento in oggetto e delle zone limitrofe.

È stata eseguita una campagna geognostica costituita da:

- 3 prove penetrometriche continue;
- 1 linea sismica MASW;
- Installazione di un tubo piezometrici di 6 m nella foro della prova 1.

Al fine di definire la stratigrafia locale e le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione.

Sono stati calcolati gli stati limite ai sensi delle NTC2008, ipotizzando un suolo di tipo C.

**Sulla base delle valutazioni e indagini effettuate si ritiene che il progetto in esame sia fattibile e compatibile con l'assetto geologico, morfologico ed idrogeologico dell'area in oggetto.**

**La struttura edilizia in progetto, e le azioni in fondazione relative, si considera compatibile con le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni di fondazione, seppure con portate medie, per la geometria di fondazione considerata (plinti, travi) di entità medio ridotta.**

A cura di Dott. Geologo Massimo Riva

Con la collaborazione di Dott. Geologo Marco Maggioni