

*Radon*

*Geologia*

*Georadar*

*Geotecnica*

*Geoelettrica*

*Indagini Sismiche*

*Rilievi Topografici*

*Indagini Ambientali*

*Indagini Geognostiche*

*Monitoraggi ambientali*

*Indagini non distruttive*

*Bonifica siti contaminati*

*Consulenza Idrogeologica*

*Piani di Protezione civile*



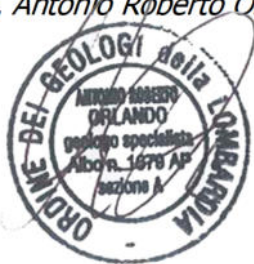
**COMUNE DI TREZZO SULLA'ADDA (MI)**  
**Via Achille Grandi**

**Relazione Geologica-Geotecnica**

*ai sensi del D.M. 17.01.18 (R1-R2) e della D.G.R. IX/2616 e del 30.11.2011 (R3)*

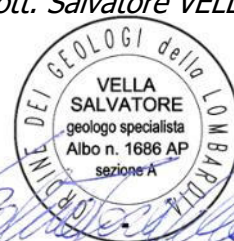
**IL GEOLOGO**

*Dott. Antonio Roberto ORLANDO*



**IL GEOLOGO**

*Dott. Salvatore VELLA*



17-10-2025

| Indagine geologica tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.        |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 1 a 33 |

## **INDICE**

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. PREMESSA E QUADRO NORMATIVO .....</b>                            | <b>3</b>  |
| <b>2. UBICAZIONE .....</b>                                             | <b>4</b>  |
| <b>3. COMPONENTE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>4. INDAGINE GEOTECNICA .....</b>                                    | <b>13</b> |
| <b>5. SISMICITA' DELL'AREA E CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE.....</b> | <b>19</b> |
| <b>6. INDAGINE SISMICA .....</b>                                       | <b>29</b> |
| <b>7. CONCLUSIONI.....</b>                                             | <b>33</b> |

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | <i><b>Data di redazione:</b></i> | <i><b>Redatto da:</b></i>                                          | <i><b>Committente</b></i>                                    | <i><b>Pag.</b></i> |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------|
|                                                         | 17/10/2025                       | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 2 a 33        |

## 1. **PREMESSA E QUADRO NORMATIVO**

Nel seguente rapporto verranno illustrati i risultati delle indagini e degli studi di carattere geologico, geotecnico, idrogeologico e sismico condotte su un terreno sito nel territorio comunale di Trezzo sull'Adda (MI), presso la Via Achille Grandi dove è prevista la realizzazione di un nuovo capannone industriale.

Finalità degli studi e delle indagini eseguite, illustrate nel seguente documento, è definire in modo puntuale le caratteristiche dei terreni di sottofondo dell'area di intervento, a supporto dell'istanza di autorizzazione per l'intervento come da oggetto.

L'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico dei terreni oggetto di studio è stato desunto dalla documentazione esistente presente nel PGT in vigore e dai sopralluoghi e rilievi eseguiti in sito.

Per la definizione delle caratteristiche geotecniche e sismiche degli orizzonti più superficiali dei terreni, sono state eseguite specifiche indagini in sito ovvero **n° 5 prove penetrometriche dinamiche DPSH e n°1 indagine sismica MASW** per la caratterizzazione del parametro  $V_{s30eq}$ .

Lo studio è stato redatto in conformità ai contenuti nella Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia 30 novembre 2011 - n. IX/2616 aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374.

Sono state adottate, inoltre, i riferimenti normativi ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018, recante "Norme Tecniche per le Costruzioni", che raccolgono in forma unitaria le norme che disciplinano la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni al fine di garantire, per stabiliti livelli di sicurezza, la pubblica incolumità in modo da determinare e verificare la costituzione geologica dell'area interessata dal progetto come in oggetto;

- ✓ studiare le caratteristiche geomorfologiche, con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti;
- ✓ definire l'assetto idrogeologico, con riguardo alla circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- ✓ indicare le caratteristiche tecniche dei terreni, con particolare interesse a quelle che più riguardano il terreno su cui poggiano le fondazioni.

A tale scopo sono state effettuate le seguenti attività:

- ✓ Rilevamento geologico di superficie per il riconoscimento dei litotipi affioranti, loro identificazione e la definizione dei reciproci rapporti stratigrafici;
- ✓ Rilevamento geomorfologico per l'individuazione dell'eventuale presenza di aree caratterizzate da precaria stabilità, di frane attive e/o incipienti e/o di zone a rischio esondazione e/o liquefazione.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni di sedime sono state prese in considerazione i dati presenti in letteratura, inoltre è stato, investigato il terreno con indagini per poter determinare i parametri geotecnici e sismici dell'area oggetto di studio, come riportato negli allegati.

Ritenuto i dati acquisiti più che sufficienti per gli scopi del presente lavoro è stata redatta la relazione geologica, corredata da:

- ✓ Corografia; Fig. 1
- ✓ Carta della Fattibilità Geologica; Fig. 2
- ✓ Carta della Pericolosità Sismica; Fig. 3
- ✓ Carta dei Vincoli; Fig. 4
- ✓ Carta Geolitologica; Fig. 5
- ✓ Carta Idrogeologica; Fig. 6
- ✓ Ubicazione delle indagini; Fig. 7

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.        |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 3 a 33 |

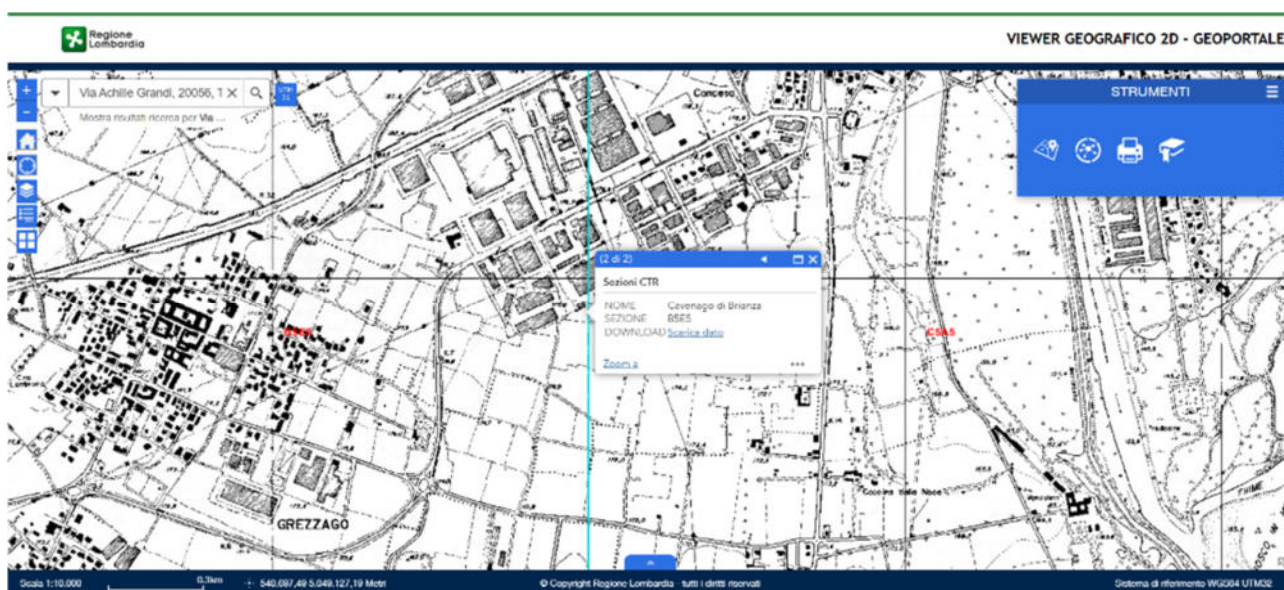
## 2. UBICAZIONE

In riferimento alla cartografia catastale l'area oggetto d'interesse risulta identificata sulla CTR della Lombardia in scala 1:10.000, a cavallo tra la sezione B5E5 denominata "Cavenago di Brianza" e la sezione C5A5 denominata "Vaprio d'Adda", censita al catasto provinciale di Milano al foglio 21 e particella 1090 – Territorio Servizi Catastali.

Utilizzando il sistema GPS si è rilevato che l'area su cui si dovrà effettuare l'intervento si attesta ad una quota altimetrica media di circa 175 metri s.l.m. e le coordinate geografiche medie sono le seguenti:

Latitudine 45°35'29.05" N

Longitudine 9°30'44.44" E



**Fig. 1 – Corografia**

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | <b>Data di redazione:</b> | <b>Redatto da:</b>                                                 | <b>Committente</b>                                           | <b>Pag.</b> |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                         | 17/10/2025                | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 4 a 33 |

Secondo la normativa regionale (L.R. 12/05) il territorio comunale è sottoposto ad azionamento in base alle caratteristiche geologiche, idrogeologiche, morfologiche e geotecniche, le quali permettono di determinare la classe di fattibilità geologica e di cui lo stralcio della relativa carta viene qui di seguito riportata.

Nel dettaglio l'area di nostro interesse rientra nell'ambito della classe di **fattibilità geologica 2** (Fattibilità senza modeste limitazioni). La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Si sottolinea che gli approfondimenti di cui sopra, non costituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dal D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni (Figura 2).

Secondo quanto stabilito con D.G.R. n. 2129 del 11 luglio 2014 il territorio comunale appartiene alla **zona sismica 3** con  $a_{max}$  pari a 0,093984, con **PSL Z4a** - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi (Figura 3).

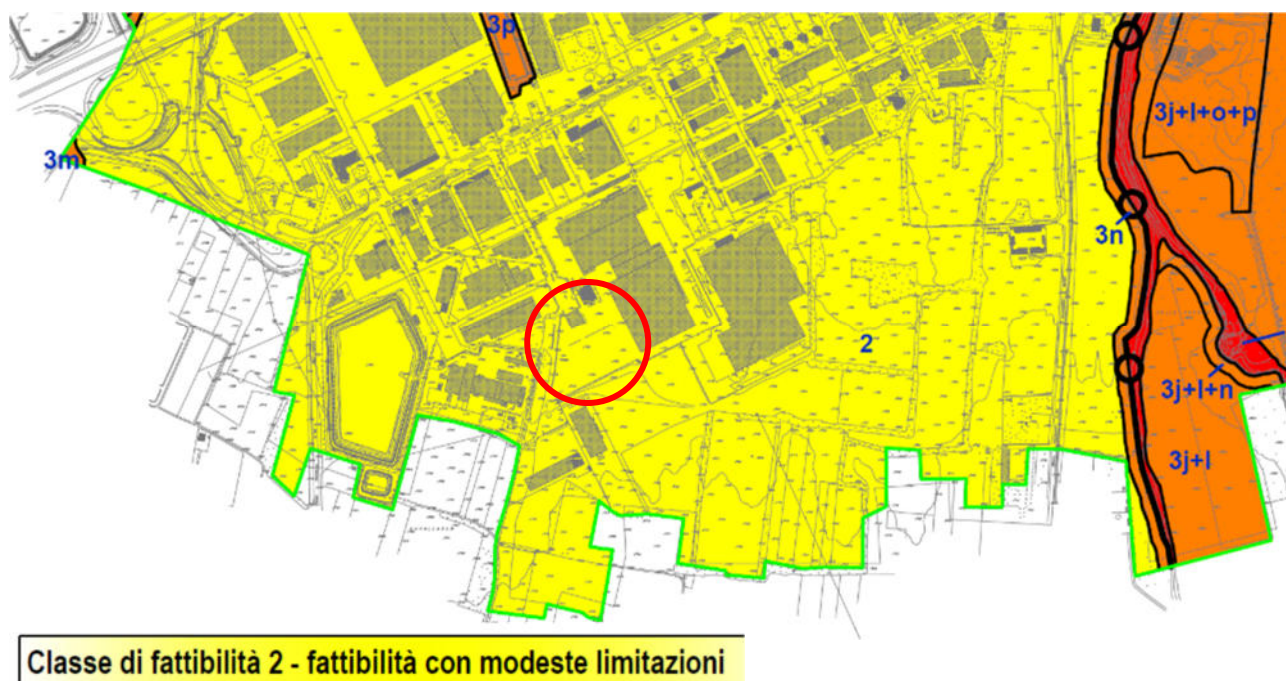
L'area di nostro interesse non è interessata a vincoli geo ambientali (Figura 4).

In tali aree, nel caso di progetti di opere classificate come strategiche o rilevanti, secondo il D.d.u.o n. 19904/03 della Regione Lombardia, analizzati gli aspetti derivanti dalla pericolosità sismica locale si dovrà passare a successivi livelli di approfondimento, in conformità alle vigenti disposizioni nazionali (D.M. 17.01.2018) e regionali (allegato 5 della D.G.R. n. 9/2616 del 2011), che prevedono:

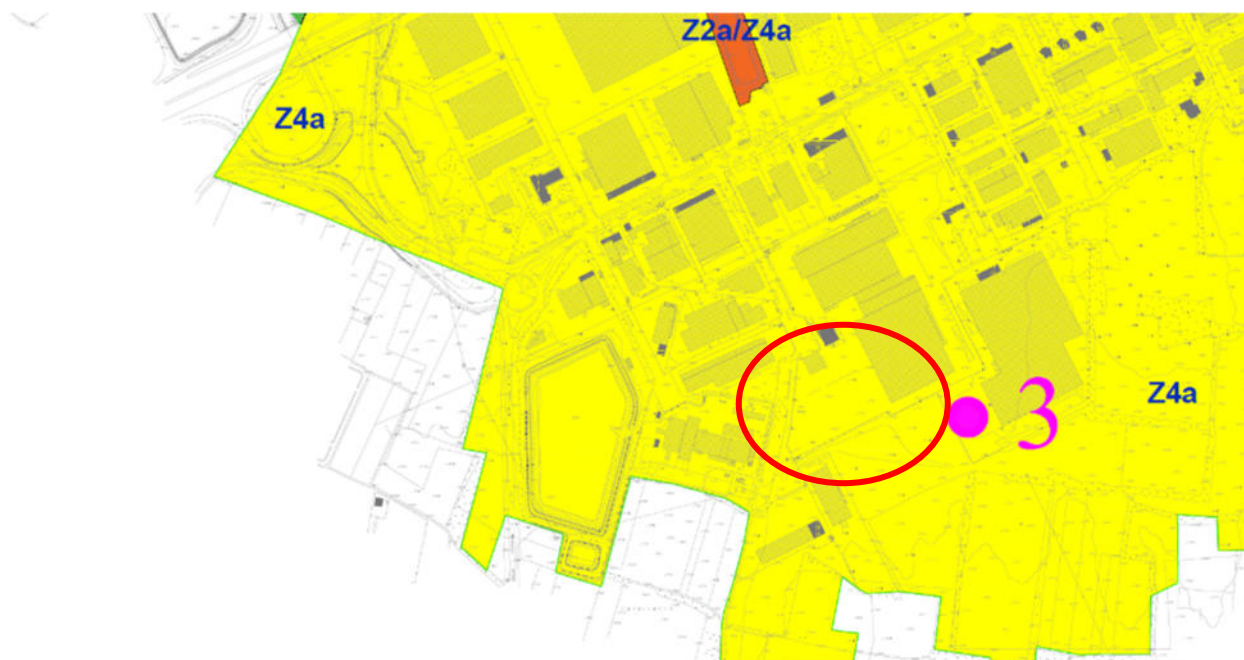
a) analisi sismica di 2° livello (fase pianificatoria) per caratterizzare in modo semiquantitativo gli effetti di amplificazione sismica attesi, verificando se in tali aree la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici locali; la valutazione va effettuata confrontando il valore di  $F_a$  ottenuto dalle Schede di valutazione con i valori soglia  $S_t$  e  $S_s$  previsti dalle NTC18;

b) analisi sismica di 3° livello (fase progettuale) per caratterizzare in modo quantitativo gli effetti di amplificazione sismica attesi, quando per le aree indagate con il 2° livello il fattore di amplificazione  $F_a$  calcolato supera il valore soglia corrispondente.

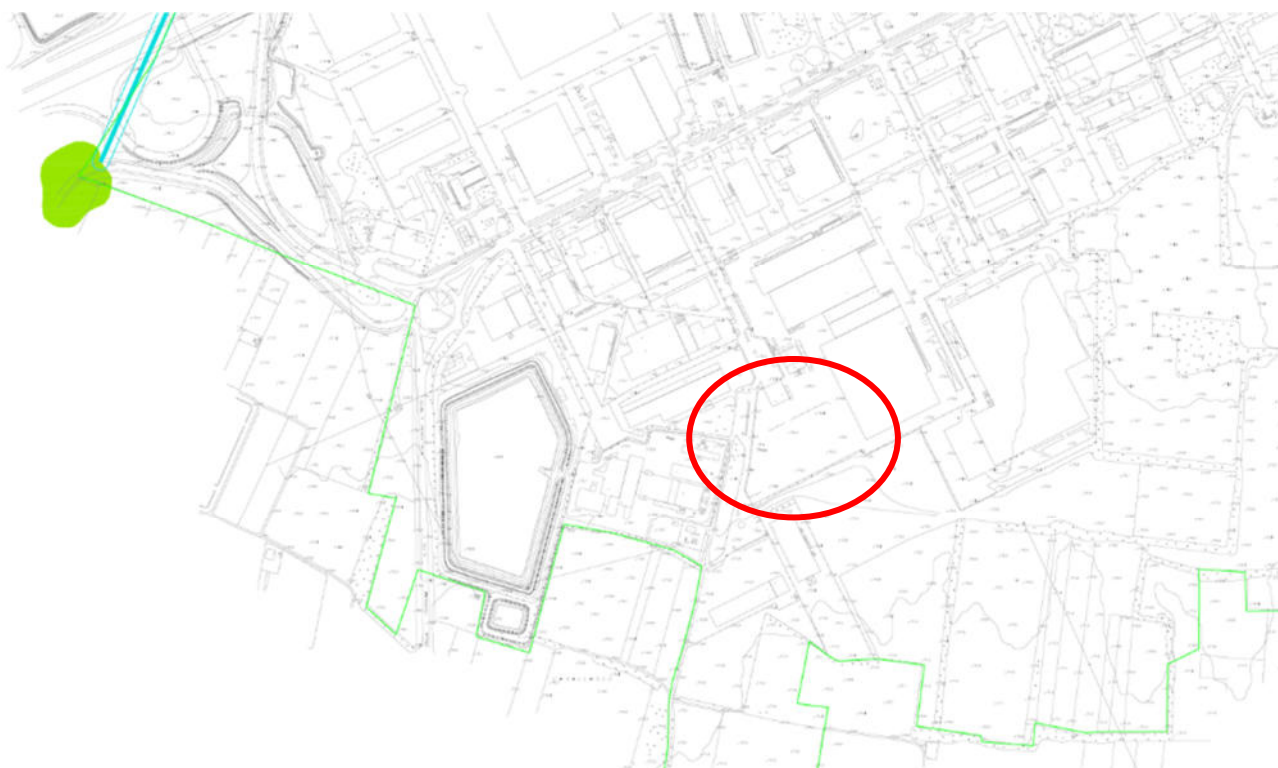
L'analisi della Carta di Sintesi non evidenzia per l'area oggetto di studio situazioni di criticità geologica quali aree in frana ed aree potenzialmente instabili.



**Fig. 2 – Carta della Fattibilità Geologica**



**Fig. 3 – Carta della Pericolosità Sismica Locale**



**Fig. 4 – Carta dei Vincoli**

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | <b>Data di redazione:</b> | <b>Redatto da:</b>                                                 | <b>Committente</b>                                           | <b>Pag.</b> |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                         | 17/10/2025                | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 6 a 33 |

### **3. COMPONENTE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

Il comune di Trezzo sull'Adda si inserisce nel quadro stratigrafico ed evolutivo del bacino sedimentario terziario della Pianura Padana costituito, a partire dal basso stratigrafico, da:

- depositi torbidity e di mare profondo sciolti o cementati di età Pliocenica;
- sedimenti di origine transizionale (litorali e deltizi) di età Pliocene sup. – Pleistocene Inf.;
- depositi continentali di piana fluvio-glaciale e/o fluviale (Pleistocene medio- Olocene).

L'attuale Pianura Padana è il risultato del colmamento di sedimenti di un bacino sedimentario compreso tra le falde sudvergenti delle Alpi meridionali e le strutture a thrust nordvergenti dell'Appennino settentrionale.

Nel corso dell'Oligocene una forte subsidenza del bacino sedimentario, unita alla fase di orogenesi delle catene Alpine e Appenniniche, favorì la deposizione di notevoli spessori di sedimenti di origine marina. Dal Messiniano importanti variazioni climatiche e movimenti tettonici su vasta scala determinarono in tutto il bacino Mediterraneo un abbassamento del livello medio del mare che favorì l'emersione di vaste porzioni di territorio interessate successivamente da fenomeni di erosione fluviale che produssero l'incisione delle valli principali e dei maggiori laghi prealpini. Nel corso del Pliocene e parte del Quaternario continuò la sedimentazione in ambiente marino mentre l'attività tettonica dei sovrascorrimenti appenninici produsse una riduzione della subsidenza del bacino Padano portando alla coalescenza delle delta-conoidi alpine a nord con quelli appenninici a Sud che colmarono definitivamente il bacino marino. Durante il Quaternario medio-superiore il bacino era oramai in condizioni di sedimentazione continentale; da questo momento in poi l'evoluzione geologica e geomorfologia della pianura padana fu condizionata prevalentemente dalle condizioni climatiche che, con l'alternanza di periodi glaciali e interglaciali, hanno determinato la deposizione ed erosione di estese piane fluviali e fluvio-glaciali.

Nel settore di contatto con i rilievi ("bordo di pianura") sono presenti superfici terrazzate più elevate ("terrazzi antichi") rispetto alla quota media di pianura interna (Marchetti, 2001); queste superfici, talvolta isolate nella pianura ("pianalti"), sono spesso ricoperte da loess la cui alterazione pedogenetica ha dato origine a suoli argillosi rubefatti spessi alcuni metri, caratterizzati da illuviazione di argilla e deposizione di ossidi Fe-Mn (suoli a "ferretto"). Le superfici terrazzate sono interpretate come relitti di antiche piane fluviali e fluvio-glaciali, incise e deposte a più riprese durante le fasi erosive in periodi interglaciali.

Nel corso dell'ultima deglaciazione, avvenuta nell'Olocene, il Po e i suoi affluenti alpini hanno inciso, più o meno profondamente, la piana fluvio-glaciale e fluviale deposta nel corso dell'Ultimo Massimo Glaciale; la superficie di tale piana è definita, con criterio fisiografico, "Livello Fondamentale della Pianura". Sulla superficie del Livello Fondamentale, è possibile individuare abbondanti tracce di idrografia abbandonata (paleoalvei), legate a corsi d'acqua in passato caratterizzati da portate molto maggiori rispetto agli attuali o a corsi d'acqua secondari attivi fino all'Olocene e caratterizzati da bacini idrografici di piccole dimensioni e spesso non più riconoscibili (Marchetti, 2001). Dall'Olocene fino ai giorni nostri l'azione di erosione e sedimentazione fluviale è stata quindi progressivamente confinata alle "Valli Attuali", ovvero alle aree ribassate rispetto al livello fondamentale nelle quali si sono verificate diverse fasi di erosione e sedimentazione che hanno portato alla formazione di elementi geomorfologici facilmente distinguibili quali terrazzi, lanche, paleoalvei, dossi fluviali.

Dal punto di vista geologico, il territorio comunale si situa ormai notevolmente a valle delle prime propaggini del sistema alpino, e in particolare dell'ambito conosciuto in letteratura geologica con il nome di Alpi Meridionali; in particolare l'ambito tipicamente alpino più prossimo al territorio alpino è quello della zona a pieghe e faglie delle Alpi; costituisce il settore più meridionale delle Prealpi, formato da unità prevalentemente Giurassiche e Cretacee e da uno stile a pieghe con asse est-ovest, rinvenibile a nord, seguendo il corso dell'Adda, presso la zona di Calusco d'Adda e Paderno. Vaprio d'Adda si situa in una zona ormai tipicamente pianeggiante, interessata dalla presenza di depositi di origine tipicamente continentali derivanti dall'importante azione deposizionale di corsi d'acqua originatisi dalle testate dei ghiacciai quaternari. Successivamente alla deposizione della coltre di depositi fluvio-glaciali, sul territorio in esame si è impostato l'elemento maggiormente caratterizzante del paesaggio: il fiume Adda, il quale ha determinato una profonda incisione nei depositi fluvio-glaciali e fluviali più antichi, deponendo sedimenti grossolani limitati, nella zona, allo stretto ambito dell'alveo attuale e recente. La presenza del fiume Adda, ed in particolare la sua azione erosiva nel corso della storia geologica, ha determinato l'aspetto dominante dal punto di vista morfologico, del territorio di Vaprio d'Adda, cioè la presenza di importanti scarpate che determinano una netta separazione tra l'ambito pianeggiante e l'ambito occupato dal corso attuale del fiume.

| Indagine geologica tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | <b>Data di redazione:</b> | <b>Redatto da:</b>                                                 | <b>Committente</b>                                           | <b>Pag.</b> |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                         | 17/10/2025                | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 7 a 33 |

**ALLUVIONI RECENTI E ANTICHE (OLOCENE)** Le alluvioni recenti (alluvium recente e attuale) e antiche (alluvium antico) comprendono i materiali alluvionali dell'alveo di piena dei corsi d'acqua e quelle che formano il letto normalmente occupato dalle acque; nella letteratura geologica recente tale unità viene chiamata anche Unità Postglaciale, utilizzata nella cartografia alla scala 1:10.000 della Regione Lombardia e precedentemente nella Carta della Provincia di Bergamo (BINI et alii, 2000), e "Sintema del Po" nel Foglio 097 – Vimercate. Nell'unità la superficie superiore è sempre costituita dalla superficie topografica. Alterazione assente. Superficie inferiore costituita da una superficie di erosione. Il sintema del Po può coprire qualunque deposito precedente. Dal punto di vista litologico l'unità è costituita da:

- depositi fluviali: alternanza di sabbia e ghiaia fine con matrice limoso argillosa. Debole organizzazione in lenti. Sabbia fine limosa; ghiaia media pulita; ghiaia a supporto clastico, con matrice sabbiosa, a stratificazione da evidente a indistinta; sabbie da grossolane a fini.
- depositi fluviali di esondazione e di bassa energia: limi, limi sabbiosi e sabbia, prevalentemente massivi, occasionalmente con clasti sparsi.

I depositi fluviali del sintema del Po sono prevalentemente ghiaiosi, con un top pelitico di spessore ridotto. I dati litologici ricavati dalle carte pedologiche (ERSAL, 1992) indicano che, lungo le aste dei fiumi principali (Brembo e Adda), i depositi fini sommitali acquistano importanza solo a sud dell'Isola Bergamasca e che gli spessori massimi non superano il metro; analogamente, le tessiture sono più fini verso S (fino a limi argillosi), mentre più a monte prevalgono limi e sabbie. Gli orizzonti superficiali di suolo sono comunemente arricchiti in materia organica. La distinzione tra alluvioni recenti e antiche può essere fatta su base morfologica e topografica, dal momento che le prime costituiscono, come detto, gli alvei recenti dell'Adda, mentre le seconde formano più sistemi di terrazzi sviluppati lungo il corso del fiume, ben evidenti nella zona di Monasterolo-Castelbarco (confine nord con il Comune di Trezzo d'Adda) e nell'area Molino Visconti.

**DILUVIUM RECENTE (PLEISTOCENE SUPERIORE)** Sotto il nome di Diluvium recente vengono compresi quei depositi di natura prevalentemente ghiaiosa che costituiscono il Livello Fondamentale della Pianura, su cui è impostata gran parte dell'alta pianura lombarda. Nel foglio 097 "Vimercate", tale unità viene indicata come "Unità di Bulgarograsso". Si tratta di depositi fluvioglaciali: ghiaia a supporto clastico, con rari livelli sabbiosi. Matrice sabbiosa. Ciottoli con dimensioni massime da centimetriche a circa 15 cm, arrotondati. Per quanto riguarda la natura litologica dei ciottoli, prevalgono quelli di natura carbonatica e terrigena. L'unità occupa gran parte del territorio comunale, dal confine comunale con Pozzo d'Adda a ovest fino all'orlo del terrazzo morfologico a est, dove avviene la netta separazione con le alluvioni recenti e antiche. La superficie limite superiore è costituita dalla superficie topografica, oppure è una superficie di erosione su cui poggia una coltre loessica. È caratterizzata da un profilo di alterazione poco evoluto. L'alterazione è scarsa, con percentuale dei ciottoli totalmente alterati compresa tra il 10% e il 20%. La superficie inferiore è una superficie di erosione che poggia sul Diluvium antico (formazione di Trezzo sull'Adda nel foglio 096 – Vimercate) e sul Ceppo dell'Adda. La morfologia dell'unità su tutto il territorio comunale è alquanto monotona e uniforme: non si osservano importanti variazioni di quota tra nord e sud e tra est e ovest, se non in presenza di orli di terrazzi morfologici (tra cui quello precedentemente citato) e di tracce (in verità poco marcate) di paleoalvei. La monotonia dell'andamento dell'unità in esame può essere anche interrotta da evidenti segni dell'attività antropica come canali irrigui e cave attive, come quella presente sul territorio comunale a ovest al confine con Pozzo d'Adda.

**DILUVIUM ANTICO (PLEISTOCENE INFERIORE-MEDIO)** Con il seguente nome vengono indicati i depositi alluvionali costituenti i ripiani altimetricamente più elevati, presenti al di fuori del territorio comunale, ma presenti nella carta geologica allegata al presente studio in comune di Grezzago. Nel foglio 097 "Vimercate" l'unità è chiamata "Formazione di Trezzo sull'Adda", ma le note rimarkano come i depositi fortemente alterati, tipici di tale formazione, siano conosciuti con il nome di "Ferretto". Dal punto di vista litologico si è in presenza di ghiaie a prevalente supporto di matrice, massive o rozzamente organizzate rappresentanti depositi fluviali. Ciottoli poligenici arrotondati, fortemente alterati; colore da rosso ad arancione; limite inferiore per fronte di alterazione. Dal punto di vista petrografico prevalgono le rocce cristalline (metamorfite, intrusivi sia acidi che basici), seguite dalle rocce terrigene carbonatiche (che in alcune sezioni possono prevalere), da terrigene silicee e vulcaniti (da scarse ad assenti) e dal quarzo. Completamente alterate le rocce terrigene carbonatiche; molto alterate le rocce cristalline. I ciottoli carbonatici sono sempre tutti argillificati (a E dell'Adda non si trovano calcari, neppure in forma argillificati) e le arenarie sono arenizzate. I ciottoli cristallini e metamorfici sono da totalmente arenizzati a fragili, con maggiore abbondanza di quelli totalmente alterati. Occasionalmente l'alterazione può essere inferiore alla media. Sono presenti sia ciottoli totalmente alterati anche di grandi dimensioni, sia ciottoli con solo un cortex di alterazione. I ciottoli, pur essendo alterati, spesso non sono

| Indagine geologica tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.        |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 8 a 33 |

“sezionati” come invece accade nei sedimenti appartenenti al supersintema del Bozzente. Le rocce ultrabasiche hanno in genere un cortex di alterazione arancione pronunciato. La superficie limite superiore è una superficie di erosione, mentre la superficie limite inferiore è estremamente articolata e irregolare: si tratta di un limite per fronte di alterazione, con formazione di “organi geologici” nel sottostante ceppo dell’Adda. Solo in un caso si osserva un passaggio graduale (attraverso orizzonti di suolo a pedogenesi decrescente) e planare a un conglomerato con una composizione petrografica che cade nel campo del ceppo dell’Adda. Le relazioni osservate portano a concludere che l’unità in questione rappresenta la porzione sommitale, alterata, del ceppo dell’Adda.

**CEPPO (PLEISTOCENE INFERIORE – PLIOCENE SUPERIORE)** Il Ceppo (nome classico attribuito alla formazione dagli Autori) rappresenta la formazione continentale più antica presente sul territorio comunale. Esso affiora in corrispondenza della sponda destra dell’Adda e costituisce sostanzialmente il punto in cui si individua l’orlo del terrazzo morfologico che separa il livello fondamentale della pianura (o Formazione di Bulgarograsso) dall’alveo del fiume. Il Ceppo del Brembo forma l’ossatura dell’alta pianura tra lo sbocco della Val Brembana e la confluenza dei fiumi Brembo e Adda: esso è visibile lungo le incisioni dei principali corsi d’acqua, dove origina forre caratterizzate da pareti verticali che raggiungono altezze di parecchie decine di metri. Poiché è stato ripetutamente eroso e ricoperto da depositi di altre unità, non dà mai origine a morfologie proprie. Il foglio 097\_Vimercate definisce tale unità litostratigrafica come “Conglomerato del Brembo” istituita da ROSSI & RIGAMONTI (2000). Secondo ROSSI & RIGAMONTI essa corrisponde interamente al membro di Trezzo sull’Adda del Ceppo dell’Adda (OROMBELLI, 1979) e al Ceppo calcareo superiore (OROMBELLI & GNACCOLINI, 1978); ROSSI & RIGAMONTI lo elevano a formazione e lo estendono fino all’area brembana. Il termine viene ripreso da STRINI (2001) e utilizzato in senso più restrittivo rispetto al precedente: essa infatti comprende solo la litozona caratterizzata dalle percentuali più elevate di ciottoli brembani tipici (rocce terrigene silicee e vulcaniti). Dai precedenti autori è stato indicato come:

- in area del F. Brembo che si ricorda essere prossimo al territorio comunale di Vaprio d’Adda: deposito caotico poligenico, cementato in conglomerato grossolano (VARISCO, 1881); conglomerato poligenico (DESIO, 1929; SACCO, 1900; TARAMELLI, 1895); Ceppo poligenico grossolano dell’Interglaciale Gunz-Mindel (VENZO, 1950); Ceppo poligenico nella massa maggiore (SERVIZIO GEOLOGICO D’ITALIA, 1954); Conglomerato del Brembo (CORSELLI et alii, 1985).
- per l’area del F. Adda si rimanda alla sinonimia del ceppo del Naviglio di Paderno, dal quale il ceppo del Brembo non è stato mai distinto in modo organico, fino ai citati lavori di OROMBELLI & GNACCOLINI. Il Ceppo, qui nella sua facies denominata Conglomerato del Brembo, è un conglomerato costituito da ghiaie a supporto clastico, con matrice arenacea; ciottoli, ben arrotondati, poligenici, di provenienza brembana (depositi fluviali). Intercalazioni basali di limi, argille e sabbie. È caratterizzato da forte cementazione. Il ceppo del Brembo è rappresenta depositi fluviali che, in area Adda, sono caratterizzati dalla presenza di:

a) conglomerati costituiti da ghiaie a supporto clastico organizzate in livelli a diversa granulometria, talora alternati a livelli con supporto di matrice; conglomerati costituiti da ghiaie a supporto di matrice, localmente clastico. Matrice arenacea, ciottoli arrotondati in genere con dimensioni massime fino a 10 cm. Presenza di letti e lenti arenacei.

b) Conglomerati costituiti da ghiaie a supporto clastico, massive. Matrice arenacea, ciottoli con dimensione massima fino a 20 cm, arrotondati;

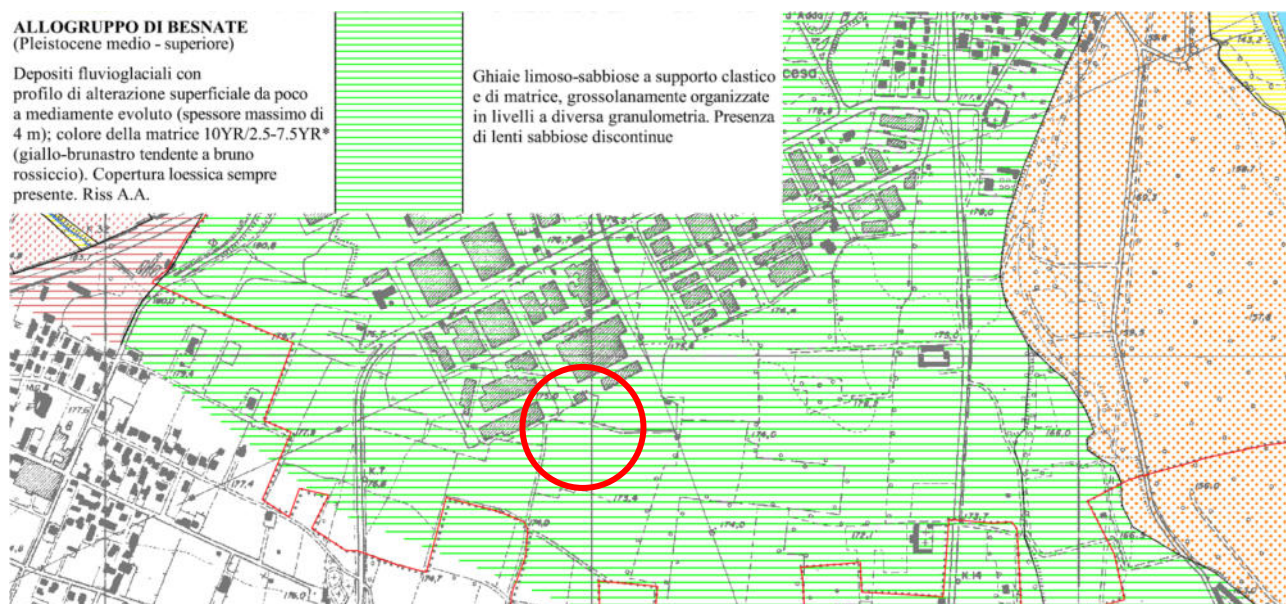
c) sabbie medie laminate con locale cementazione e intercalazioni di sabbia grossolana. La laminazione è disturbata, fino a convoluta. Colore della sabbia irregolare, anche molto arrossato, rosso giallastro; sabbie fini grigiastre con patine di alterazione che passano superiormente a sabbie di colore bruno giallastro.

In area Adda, il limite superiore è, presumibilmente (non si può osservare direttamente, perché corre lungo le parti centrali e sommitali della forra, in genere di difficile accessibilità), di natura erosionale e ricoperto dal ceppo dell’Adda. La superficie sommitale è però caratterizzata dalla presenza di un paleosuolo fortemente pronunciato ben seguibile nell’analisi della geologia di sottosuolo, ma non visibile in affioramento. La superficie inferiore non è visibile nell’ambito del Foglio 097-Vimercate, ma è anch’essa verosimilmente una superficie d’erosione che ricopre il supersintema di Ronco Briantino (unità sepolta) e i depositi marini (unità sepolta) (STRINI, 2001). Poco a S del foglio, a Trezzo d’Adda, è visibile il limite inferiore: il ceppo del Brembo poggia su una superficie di erosione a tetto di depositi, spessi circa 2 m, costituiti da alternanze di limi, argille e sabbie in parte cementati, ossidati di colore 2.5Y con sottili laminazioni e piccoli gusci di molluschi (OROMBELLI, 1979) (argille di Conche, STRINI 2001). Esso è stato depositato in un contesto di piana alluvionale pedemontana

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | <i>Data di redazione:</i> | <i>Redatto da:</i>                                                 | <i>Committente</i>                                           | <i>Pag.</i> |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                         | 17/10/2025                | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 9 a 33 |

a regime braided, che entrava in coalescenza verso W con un'analoga piana ad alimentazione locale (ceppo del Naviglio di Paderno); il limite occidentale di tale piana doveva localizzarsi lungo l'allineamento Almenno-Suisio (OROMBELLI, 1979; ROSSI & RIGAMONTI, 2000) e proseguire, in sponda destra dell'Adda, secondo la direttrice Porto d'Adda - Colnago - Roncello (dati di sottosuolo; STRINI, 2001).

L'area di nostro interesse su cui verrà realizzato l'intervento appartiene ai litotipi dell'Allogruppo di Besnate, costituito da ghiaie limoso-argillose a supporto clastico e di matrice, grossolanamente organizzate in livelli a diversa granulometria. Presenza di lenti sabbiose discontinue.



**Fig. 5 – Carta Geologica**

## INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### Classi di permeabilità dei depositi che costituiscono le strutture idrogeologiche riconosciute

Le classi di permeabilità sono state definite su base bibliografica:

- Unità a: terreni a permeabilità alta. In questa unità ricadono i depositi grossolani di versante.
- Unità b: terreni a permeabilità media alta. In questa classe rientrano i depositi fluvioglaciali medio-grossolani.
- Unità c: terreni a permeabilità media. In questa unità rientrano i depositi glaciali.
- Unità d: terreni a permeabilità media bassa. Ricadono in questa unità i depositi fluvioglaciali fini.
- Unità e: terreni a permeabilità bassa – molto bassa. In questa unità ricadono i depositi alluvionali-lacustri fini.
- Unità f: rocce a permeabilità molto bassa. In questa classe ricadono le formazioni lapidee del substrato roccioso.

A seguito dell'applicazione della stratigrafia sequenziale allo studio dei depositi alluvionali ("Geologia degli acquiferi Padani della Regione Lombardia", Regione Lombardia ed ENI divisione AGIP, 2002) le unità stratigrafiche precedentemente enunciate sono state riclassificate. In questo lavoro si introduce un nuovo concetto di Unità Idrostratigrafica Sequenziale (UIS) che definisce una particolare sottoclasse di Unità Idrostratigrafica che presenta le seguenti caratteristiche:

- è costituita da una o più Sequenze Deposizionali;
- è comprensiva di un livello geologico basale, scarsamente permeabile (acquitardo) o impermeabile (acquicludo), arealmente continuo (la continuità areale va intesa in senso geologico e non letterale).

La nuova classificazione prevede la suddivisione dall'alto stratigrafico nei seguenti gruppi acquiferi:

| Indagine geologica tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.         |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 10 a 33 |

- Gruppo Acquifero A (Olocene-Pleistocene Medio); all'incirca corrispondente all'unità ghiaioso sabbiosa;
- Gruppo Acquifero B (Pleistocene Medio); all'incirca corrispondente all'insieme delle unità sabbioso ghiaioso e a conglomerati e arenarie;
- Gruppo Acquifero C (Pleistocene Inf -Pleistocene Medio); corrispondente alla parte superiore dell'unità sabbioso-argillosa;
- Gruppo Acquifero D (Pleistocene Inf.); corrispondente alla restante parte dell'unità sabbioso argillosa

La successione litostratigrafica nelle alluvioni è caratterizzata dalla sovrapposizione di "unità idrogeologiche" che costituiscono il raggruppamento di più unità litologiche immediatamente susseguenti in ordine deposizionale od eteropiche tra loro. Possono essere litologicamente eterogenee, ma presentano un comportamento idrogeologico complessivamente omogeneo per caratteristiche di permeabilità, trasmissività, modalità di circolazione. A scala regionale, entro la quale è compresa anche l'area in esame è stata riconosciuta una serie idrogeologica definita dalle seguenti unità:

**Substrato roccioso indifferenziato** Esso è costituito da rocce delle ere Mesozoica e Cenozoica. Con questo termine ci si riferisce alla litologia presente nei rilievi che bordano la pianura, la stessa è rintracciabile ad una certa profondità sotto le coperture alluvionali. Non è individuabile nella zona oggetto di studio anche perché si sono presi in considerazione soltanto i primi cento metri al di sotto del piano di campagna.

**Acquifero delle "Argille sotto il Ceppo"** - Unità a limi con torbe, rare ghiaie e conglomerati. L'unità risulta costituita da limi, limi sabbiosi ed argillosi, con intercalazione di sabbia e rare ghiaie di origine continentale di età Villafranchiana. Gli acquiferi manifestano, in linea generale, una forma lenticolare; le ghiaie e le sabbie sono ovunque subordinate ai terreni limosi, che hanno la caratteristica colorazione grigio - azzurra e spesso recano intercalazioni. A questa unità difatti appartengono anche i sedimenti del Pleistocene inferiore di origine marina, (contenenti anche macrofaune fossili) i quali hanno litologia e comportamento idrogeologico analogo a quello dei sedimenti continentali sopra citate. I livelli più permeabili formano gli acquiferi nelle "Argille sotto il Ceppo" (denominati anche acquiferi profondi) che sono sede di falde semiconfinare o confinate, con potenzialità idrica molto ridotta.

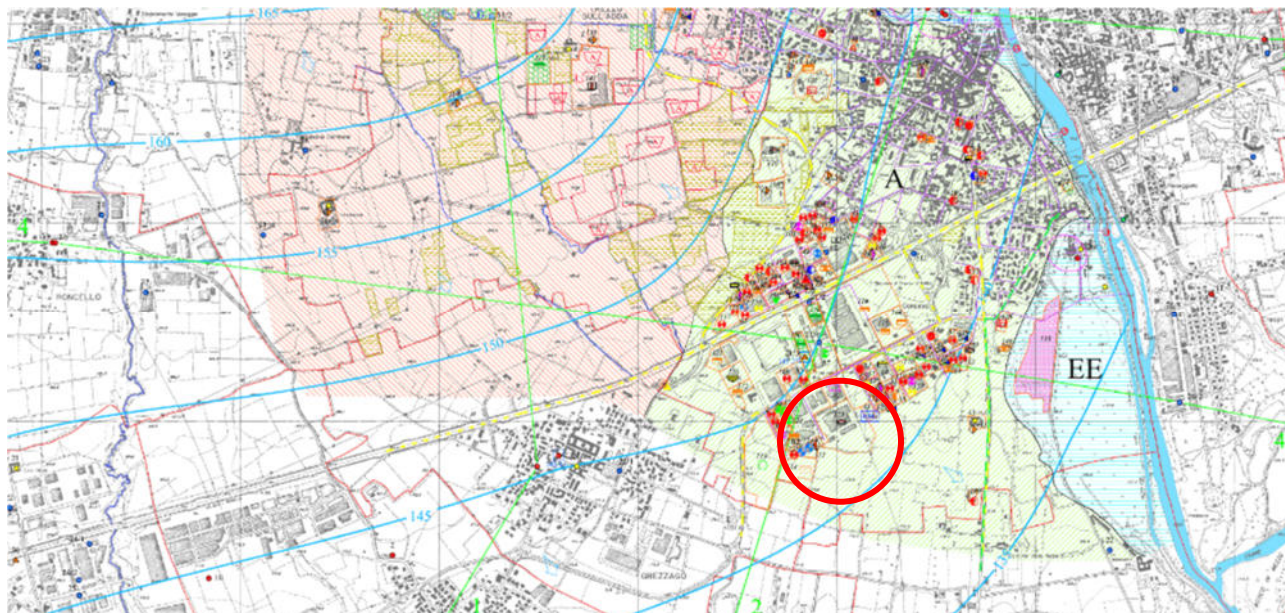
**Acquifero del "Ceppo"** - Unità a conglomerati. Si tratta di una successione di conglomerati compatti e fratturati, sabbie, arenarie e rare ghiaie, con scarse intercalazioni argillose, che si può rinvenire a varia profondità in tutta la pianura nella fascia più vicina ai rilievi prealpini. L'acquifero del "Ceppo" è la principale roccia serbatoio e contiene una falda libera che trova alimentazione principalmente dalla infiltrazione di acque meteoriche, favorite dalle caratteristiche di permeabilità dei sovrastanti depositi fluvioglaciali recenti, di quelle della rete irrigua ed in parte dalle perdite di subalveo dei corsi d'acqua superficiale. La permeabilità dei depositi conglomeratici è alquanto varia, influenzata dalla presenza di fratture e cavità di dissoluzione, dal grado di cementazione e dalla percentuale di sedimenti fini. Le lenti ghiaioso - sabbiose presentano una considerevole estensione areale (fino a 2-3 Km) e visto il loro discreto spessore costituiscono un corpo acquifero molto produttivo e sfruttato dai pozzi perforati nel settore. Tutto lo spessore dell'unità conglomeratica risulta pertanto caratterizzato da una marcata eterogeneità litologica che condiziona la circolazione idrica sotterranea, di conseguenza la variazione laterale delle caratteristiche idrauliche dell'acquifero porta a rendimenti dei pozzi molto diversificati. Essendo comunque lo spessore saturo mediamente superiore a 50 metri la potenzialità idrica dell'acquifero del "Ceppo" è piuttosto elevata. I pozzi che lo captano presentano portate specifiche con valori compresi tra i 10 ed i 30 l/s\*m in relazione ad una diminuzione progressiva dello spessore del "Ceppo" conseguente ad un innalzamento dell'unità "Villafranchiana".

**Acquifero del fluvioglaciale "Prewurm"** - Unità ghiaie, sabbie a componente limoso Questa unità, che costituisce il substrato degli acquiferi superficiali più produttivi, ha un certo interesse pratico in quanto ospita lenti ghiaioso - sabbiose di sensibile estensione ma non di grande spessore nelle quali possono essere contenute acque che fino ad ora si sono rilevate scadenti per l'elevato contenuto in ferro e idrogeno solforato. Lo spessore di tali depositi è talora ridotto al punto che i pozzi raggiungono i depositi limosi - argillosi marini del Pleistocene inferiore.

**Acquifero del fluvioglaciale "Würm Auct."** - Unità a ghiaie e sabbie Questa unità, in cui spesso è contenuta la prima falda, è costituita dalle ghiaie e dalle sabbie dei sedimenti alluvionali recenti e di quelli fluvioglaciali würmiani contraddistinti da caratteristiche di permeabilità elevate.

L'interesse idrogeologico dell'unità in esame risiede nella capacità che hanno tali terreni di trattenere le infiltrazioni dalla superficie e di trasmettere alimentazione alle falde.

| Indagine geologica tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.         |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 11 a 33 |



**Profondità della falda maggiore di -25 dal p.c.**

**Fig. 6 Carta Idrogeologica**

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | <b>Data di redazione:</b> | <b>Redatto da:</b>                                                 | <b>Committente</b>                                           | <b>Pag.</b>  |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025                | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 12 a 33 |

#### 4. **INDAGINE GEOTECNICA**

##### **PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT**

Al fine di approfondire le conoscenze geotecniche del sito oggetto di futura edificazione e per definire una caratterizzazione geotecnica dello stesso, anche in considerazione dei carichi a cui esso sarà sottoposto in seguito alla nuova edificazione in progetto, è stata disposta l'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche rappresentata da **n. 5 Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH** eseguita a partire dal piano campagna e spinte fino alla profondità massima di 6,6 metri.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi misurando il numero di colpi N necessari ad infiggere l'asta sul terreno di 20 cm. Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona. Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$  ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

| <b>Tipo</b>   | <b>Sigla di riferimento</b> | <b>peso della massa M<br/>(kg)</b> | <b>prof. max indagine battente<br/>(m)</b> |
|---------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|
| Leggero       | DPL (light)                 | M<10                               | 8                                          |
| Medio         | DPM (Medium)                | 10 < M < 40                        | 20-25                                      |
| Pesante       | DPH (Heavy)                 | 40 ≤ M < 60                        | 25                                         |
| Super pesante | DPSH                        | M ≥ 60                             | 25                                         |

Le prove penetrometriche dinamiche SCPT (Standard Penetration Test) sono state eseguite con penetrometro dinamico SUPER PESANTE DPSH TECOP, le cui caratteristiche sono:

|                                  |       |                                           |  |
|----------------------------------|-------|-------------------------------------------|--|
| <b>CARATTERISTICHE TECNICHE:</b> |       | <b>DPSH B TECOP - Rif. Norme DIN 4094</b> |  |
| Peso Massa battente              | 63,5  | Kg                                        |  |
| Altezza di caduta libera         | 0,75  | m                                         |  |
| Peso sistema di battuta          | 9,5   | Kg                                        |  |
| Diametro punta conica            | 50,46 | mm                                        |  |
| Area di base punta               | 20    | cm <sup>2</sup>                           |  |
| Lunghezza delle aste             | 1     | m                                         |  |
| Peso aste a metro                | 8     | Kg/m                                      |  |
| Profondità giunzione prima asta  | 0,80  | m                                         |  |
| Avanzamento punta                | 0,20  | m                                         |  |
| Numero colpi per punta           | N(20) |                                           |  |
| Coeff. Correlazione              | 0,973 |                                           |  |
| Rivestimento/fanghi              | No    |                                           |  |
| Angolo di apertura punta         | 90    | °                                         |  |

### Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di riportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M peso massa battente.
- M' peso aste.
- H altezza di caduta.
- A area base punta conica.
- $\delta$  passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

- Rpd resistenza dinamica punta (area A).
- e infissione media per colpo ( $\square/N$ ).
- M peso massa battente (altezza caduta H).
- P peso totale aste e sistema battuta.

### Metodologia di Elaborazione

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).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

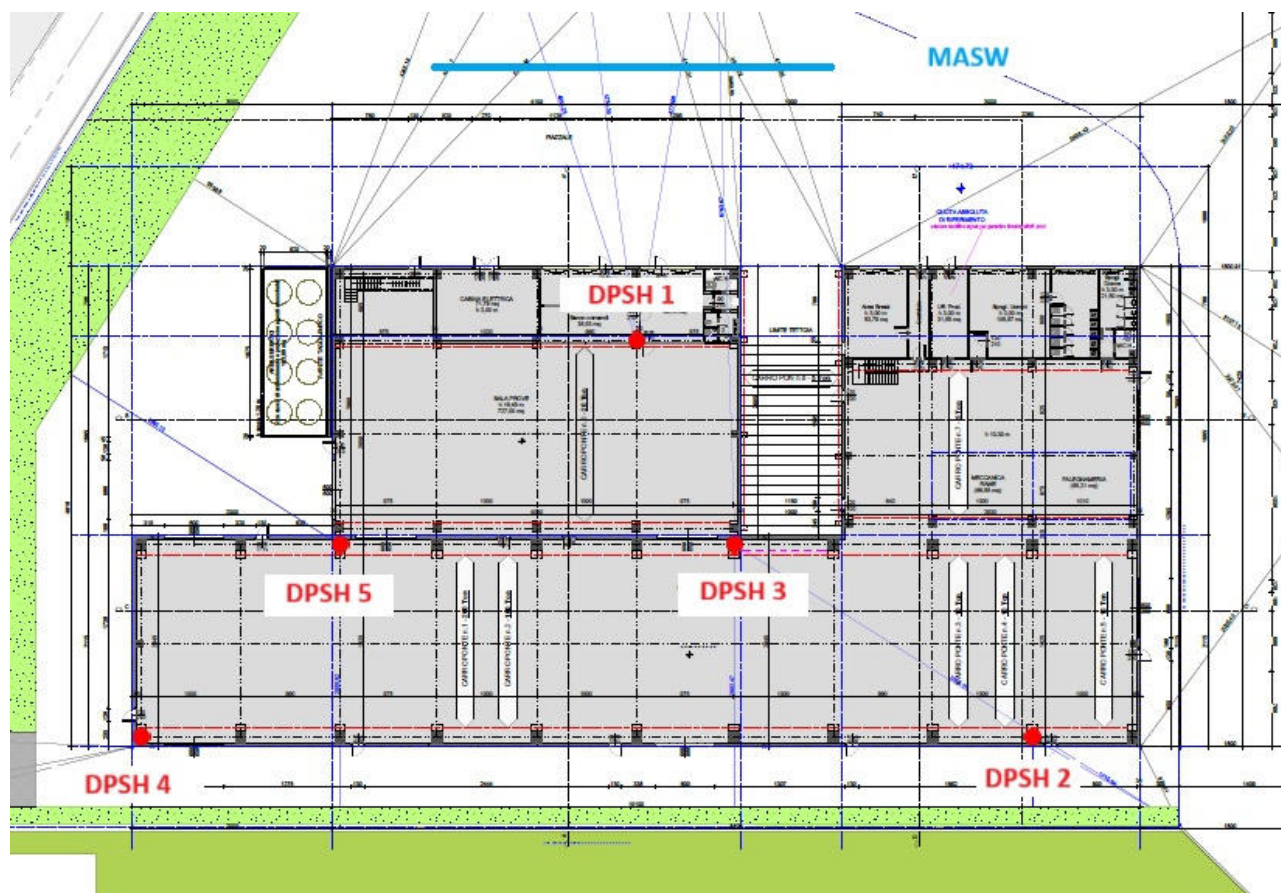
Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare, consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,

| Indagine geologica tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.         |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 14 a 33 |

- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.



**Fig. 7 – Ubicazione delle indagini**

Prova Penetrometrica Dinamica

| N. PROVA | PROFONDITÀ IN MT DA PIANO CAMPAGNA |
|----------|------------------------------------|
| DPSH 1   | 6,6                                |
| DPSH 2   | 2,6                                |
| DPSH 3   | 5,8                                |
| DPSH 4   | 6,4                                |
| DPSH 5   | 6                                  |

Le caratteristiche geologiche dei terreni indagati sono state desunte sulla base delle prove penetrometriche dinamiche DPSH (Dynamic Probing Super Heavy) eseguite. Di seguito si allegano i diagrammi delle **prove penetrometriche DPSH e le interpretazioni stratigrafiche**.

**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

| Descrizione                              | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione    | Densità relativa (%) |
|------------------------------------------|-------|------------------|------------|-----------------|----------------------|
| Strato (1)<br>Riporto                    | 28,22 | 0,00-1,00        | 28,22      | Meyerhof (1957) | 100                  |
| Strato (2)<br>Sabbia debolmente ghiaiosa | 5,56  | 1,00-4,40        | 5,56       | Meyerhof (1957) | 45,64                |
| Strato (3)<br>Ghiaia debolmente sabbiosa | 25,83 | 4,40-6,60        | 25,83      | Meyerhof (1957) | 82,53                |

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.         |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 15 a 33 |

Angolo di resistenza al taglio

| Descrizione                           | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione      | Angolo d'attrito (°) |
|---------------------------------------|-------|------------------|------------|-------------------|----------------------|
| Strato (1) Riporto                    | 28,22 | 0.00-1,00        | N1,60=0    | Wolff (1989) N160 | 32,1                 |
| Strato (2) Sabbia debolmente ghiaiosa | 5,56  | 1,00-4,40        | N1,60=0    | Wolff (1989) N160 | 24,1                 |
| Strato (3) Ghiaia debolmente sabbiosa | 25,83 | 4,40-6,60        | N1,60=0    | Wolff (1989) N160 | 33,1                 |

Modulo di Young

| Descrizione                           | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione                 | Modulo di Young (Kg/cm²) |
|---------------------------------------|-------|------------------|------------|------------------------------|--------------------------|
| Strato (1) Riporto                    | 28,22 | 0.00-1,00        | 28,22      | Bowles (1982) (Sabbia media) | 216,10                   |
| Strato (2) Sabbia debolmente ghiaiosa | 5,56  | 1,00-4,40        | 5,56       | Bowles (1982) (Sabbia media) | 100,00                   |
| Strato (3) Ghiaia debolmente sabbiosa | 25,83 | 4,40-6,60        | 25,83      | Bowles (1982) (Sabbia media) | 204,15                   |

Modulo Edometrico

| Descrizione                           | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione                    | Modulo Edometrico (Kg/cm²) |
|---------------------------------------|-------|------------------|------------|---------------------------------|----------------------------|
| Strato (1) Riporto                    | 28,22 | 0.00-1,00        | 28,22      | Begemann 1974 (Limo con sabbia) | 85,43                      |
| Strato (2) Sabbia debolmente ghiaiosa | 5,56  | 1,00-4,40        | 5,56       | Begemann 1974 (Limo con sabbia) | 38,88                      |
| Strato (3) Ghiaia debolmente sabbiosa | 25,83 | 4,40-6,60        | 25,83      | Begemann 1974 (Limo con sabbia) | 80,52                      |

Classificazione AGI

| Descrizione                           | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione          | Classificazione AGI    |
|---------------------------------------|-------|------------------|------------|-----------------------|------------------------|
| Strato (1) Riporto                    | 28,22 | 0.00-1,00        | 28,22      | Classificazione A.G.I | MODERATAMENT ADDENSATO |
| Strato (2) Sabbia debolmente ghiaiosa | 5,56  | 1,00-4,40        | 5,56       | Classificazione A.G.I | POCO ADDENSATO         |
| Strato (3) Ghiaia debolmente sabbiosa | 25,83 | 4,40-6,60        | 25,83      | Classificazione A.G.I | MODERATAMENT ADDENSATO |

Peso unita' di volume

| Descrizione        | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione         | Peso Unità' di Volume (t/m³) |
|--------------------|-------|------------------|------------|----------------------|------------------------------|
| Strato (1) Riporto | 28,22 | 0.00-1,00        | 28,22      | Terzaghi-Peck (1948) | 1,68                         |
| Strato (2)         | 5,56  | 1,00-4,40        | 5,56       | Terzaghi-Peck (1948) | 1,42                         |

|                                          |       |           |       |                      |      |
|------------------------------------------|-------|-----------|-------|----------------------|------|
| Sabbia debolmente ghiaiosa               |       |           |       |                      |      |
| Strato (3)<br>Ghiaia debolmente sabbiosa | 25,83 | 4,40-6,60 | 25,83 | Terzaghi-Peck (1948) | 1,66 |

Peso unita' di volume saturo

| Descrizione                           | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione         | Peso Unità Volume Saturo (t/m³) |
|---------------------------------------|-------|------------------|------------|----------------------|---------------------------------|
| Strato (1) Riporto                    | 28,22 | 0.00-1,00        | 28,22      | Terzaghi-Peck (1948) | 1.89                            |
| Strato (2) Sabbia debolmente ghiaiosa | 5,56  | 1,00-4,40        | 5,56       | Terzaghi-Peck (1948) | 1.90                            |
| Strato (3) Ghiaia debolmente sabbiosa | 25,83 | 4,40-6,60        | 25,83      | Terzaghi-Peck (1948) | 1.85                            |

Modulo di Poisson

| Descrizione                           | NSPT  | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione | Poisson |
|---------------------------------------|-------|------------------|------------|--------------|---------|
| Strato (1) Riporto                    | 28,22 | 0.00-1,00        | 28,22      | (A.G.I.)     | 0,3     |
| Strato (2) Sabbia debolmente ghiaiosa | 5,56  | 1,00-4,40        | 5,56       | (A.G.I.)     | 0,34    |
| Strato (3) Ghiaia debolmente sabbiosa | 25,83 | 4,40-6,60        | 25,83      | (A.G.I.)     | 0,3     |

**MODELLO STRATIGRAFICO GEOTECNICO DPSH 1**

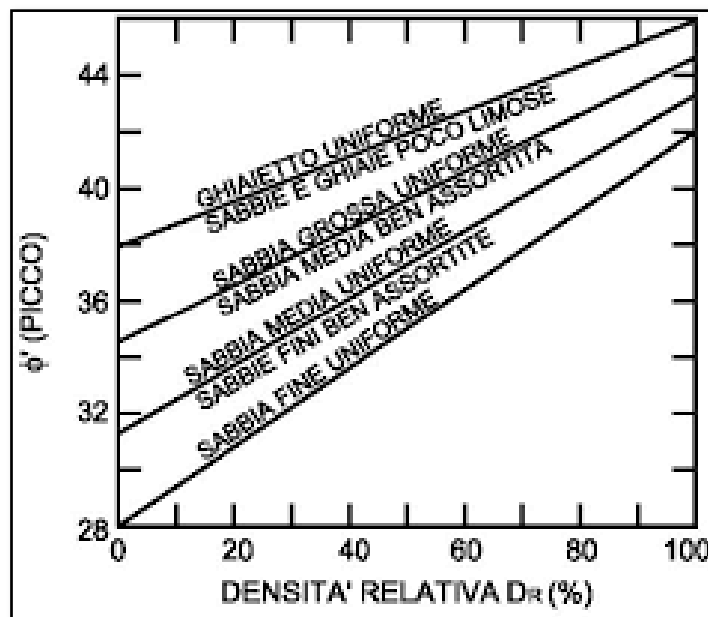
| Profondità dello strato (m) | NSPT  | Densità relativa (%) | Angolo d'attrito (°) | Modulo di Young (Kg/cm²) | Modulo Edometrico (Kg/cm²) | Peso unità di volume (t/m³) | Peso unità di volume saturo (t/m³) | Coesione non drenata (Kg/cm²) | Poisson | Classificazione AGI    |
|-----------------------------|-------|----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------|------------------------|
| 0.00-1,00                   | 28,22 | 100                  | 32,1                 | 216,10                   | 85,43                      | 1,68                        | 1.89                               | Nulla                         | 0,3     | MODERATAMENTE DDENSATO |
| 1,00-4,40                   | 5,56  | 45,64                | 24,1                 | 100,00                   | 38,88                      | 1,42                        | 1.90                               | Nulla                         | 0,34    | POCO ADDENSATO         |
| 4,40-6,60                   | 25,83 | 82,53                | 33,1                 | 204,15                   | 80,52                      | 1,66                        | 1.85                               | Nulla                         | 0,3     | MODERATAMENTE DDENSATO |

Il modello geotecnico di riferimento, preso in considerazione, è quello relativo alla prova n° 1, in tutta l'area si evidenzia un terreno a comportamento prevalentemente incoerente con discreta capacità portante fino a circa 4,40 metri dal piano campagna ed in aumento con la profondità. Tale modello andrà, a cura della DL, attentamente valutato e verificato in fase di esecuzione degli scavi, per confermare la presenza al piano di posa e per i volumi di terreni coinvolti dalle fondazioni, di orizzonti che autorizzano, ad estendere il modello stratigrafico caratteristico concettuale di riferimento, desunto dalle indagini in situ esistenti, a tutto l'ambito da edificare.

In ogni caso si raccomanda alla DL la massima attenzione in fase di scavo e verificare eventuale presenza di cavità o parti di suolo visibilmente scadenti al di sotto del piano di posa delle fondazioni. Qualora siano presenti tali condizioni andranno adeguatamente bonificate ed in casi estremi andranno valutate differenti tipologie di fondazioni.

| Indagine geologica tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.         |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 17 a 33 |

Prima della costruzione si rende disponibili ad integrare eventuali indagini in situ e considerare insieme al tecnico di riferimento gli opportuni accorgimenti per le future fondazioni.



Inclinazione fronte scavo secondo  $D_R$  e  $\phi$

Inoltre, si prescrive di mettere in atto tutte le misure atte all'allontanamento delle acque selvagge e delle acque di risalita capillare onde evitare ammaloramenti derivanti dalla comparsa di fenomeni di umidità.

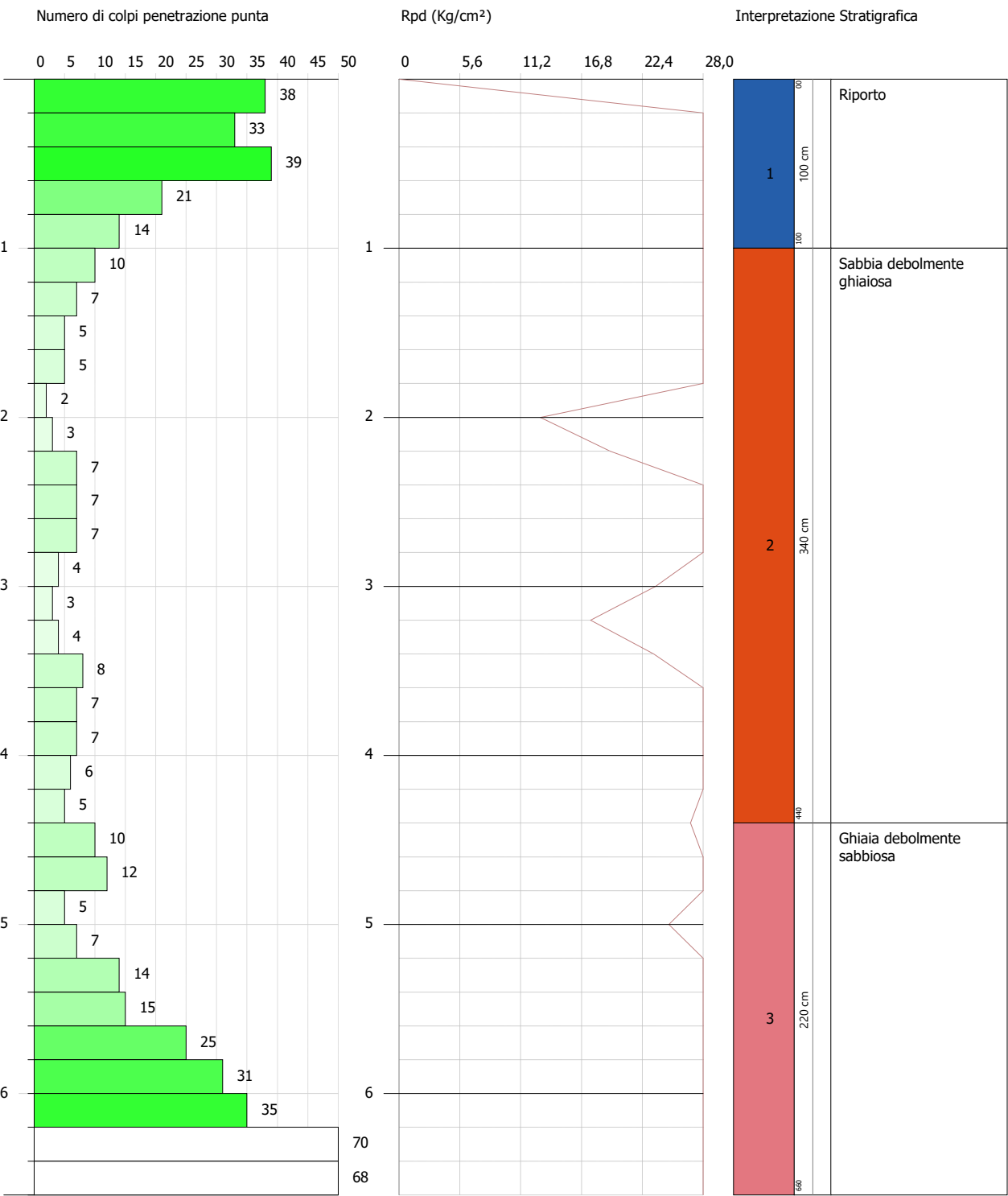
| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.         |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 18 a 33 |

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 1  
Strumento utilizzato... DPSH-TECOP

Committente: TecnoGras Srl  
Descrizione: Realizzazione di un nuovo capannone industriale  
Localita': Via Achille Grandi - Trezzo sull'Adda (MI)

22/09/2025

Scala 1:36



SIGNATURE 1

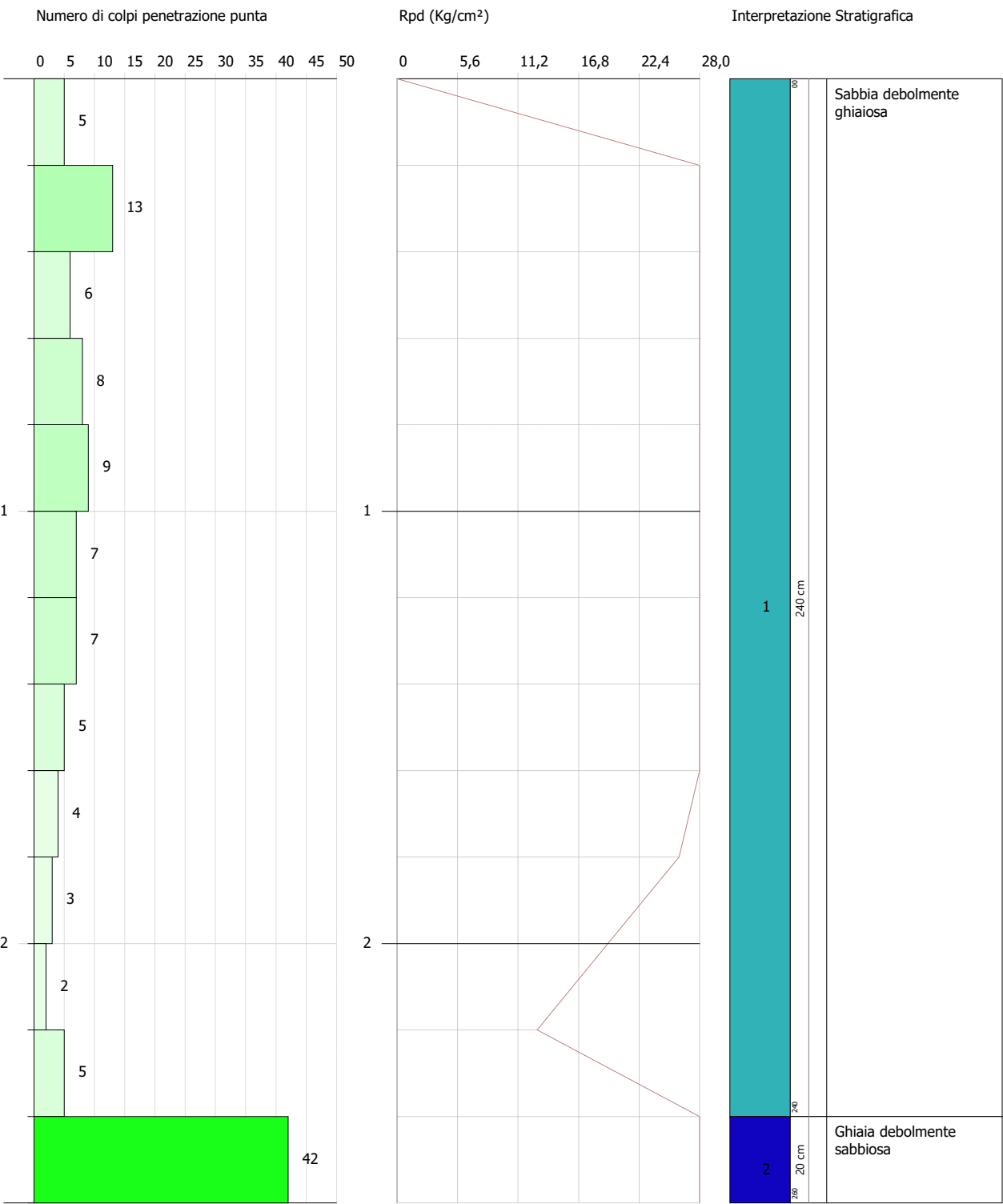
SIGNATURE 2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 2  
Strumento utilizzato... DPSH-TECOP

Committente: TecnoGras Srl  
Descrizione: Realizzazione di un nuovo capannone industriale  
Localita': Via Achille Grandi - Trezzo sull'Adda (MI)

22/09/2025

Scala 1:14



SIGNATURE 1

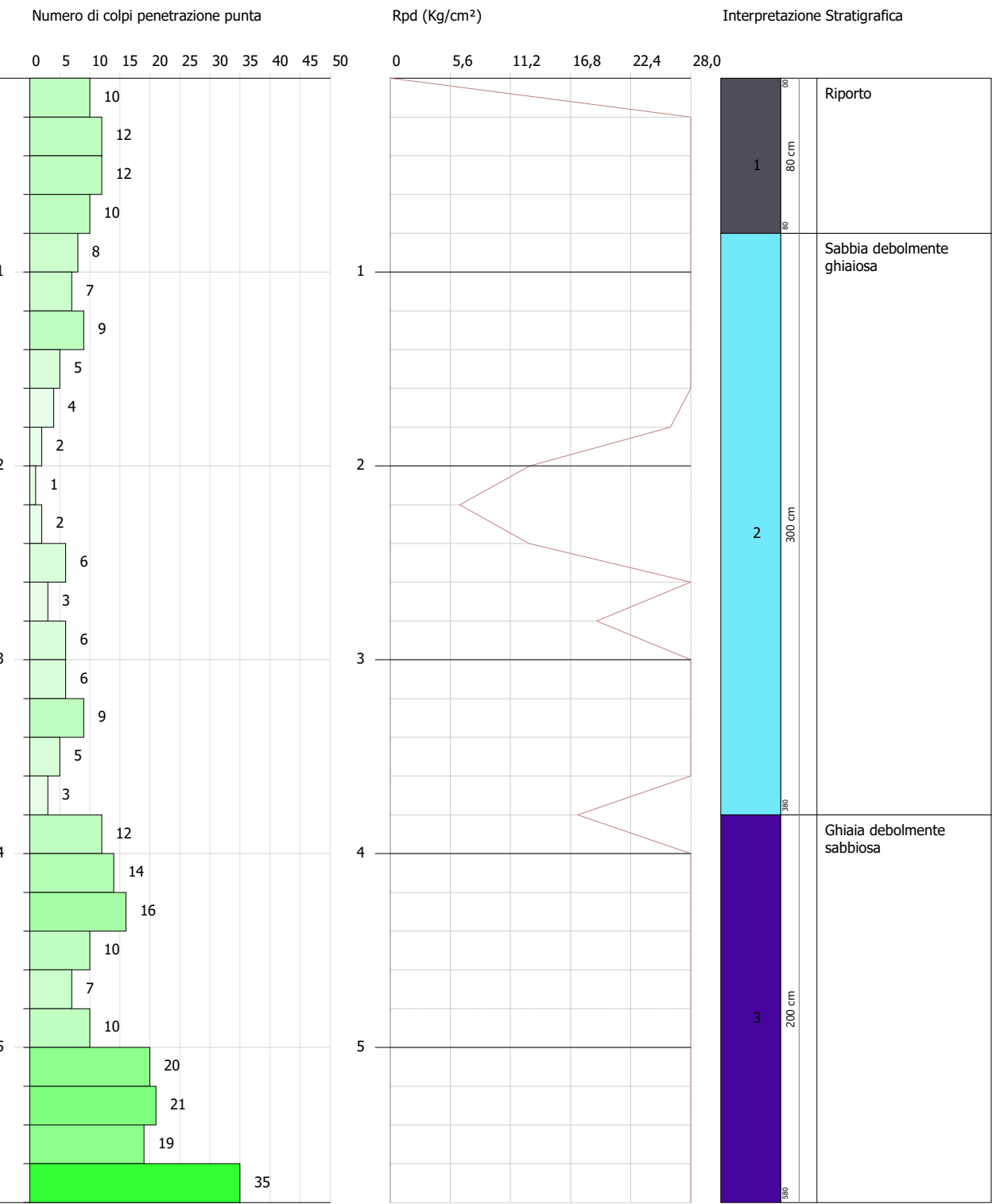
SIGNATURE 2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 3  
Strumento utilizzato... DPSH-TECOP

Committente: TecnoGras Srl  
Descrizione: Realizzazione di un nuovo capannone industriale  
Localita': Via Achille Grandi - Trezzo sull'Adda (MI)

22/09/2025

Scala 1:31



SIGNATURE 1

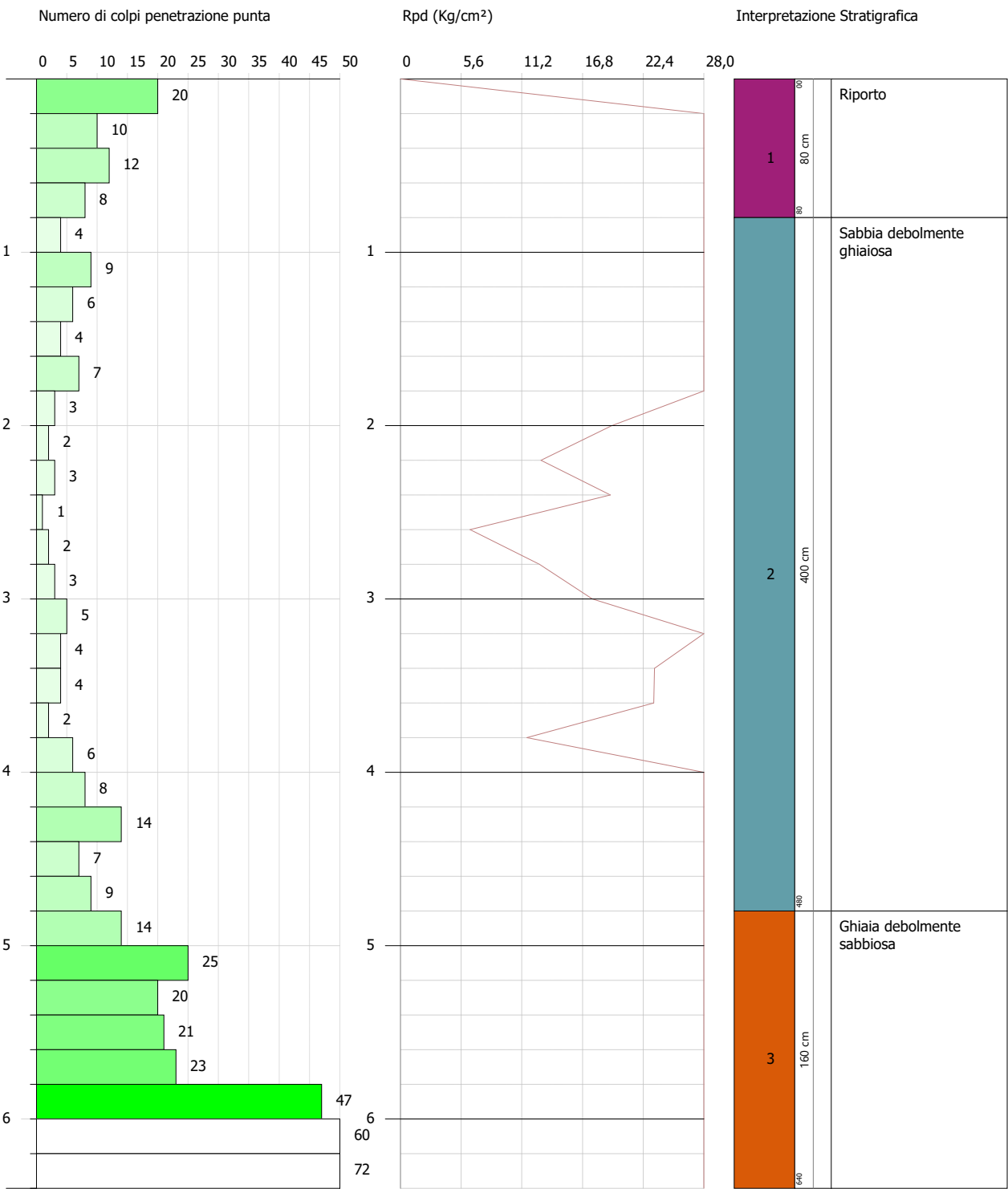
SIGNATURE 2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 4  
Strumento utilizzato... DPSH-TECOP

Committente: TecnoGras Srl  
Descrizione: Realizzazione di un nuovo capannone industriale  
Localita': Via Achille Grandi - Trezzo sull'Adda (MI)

22/09/2025

Scala 1:35



SIGNATURE 1

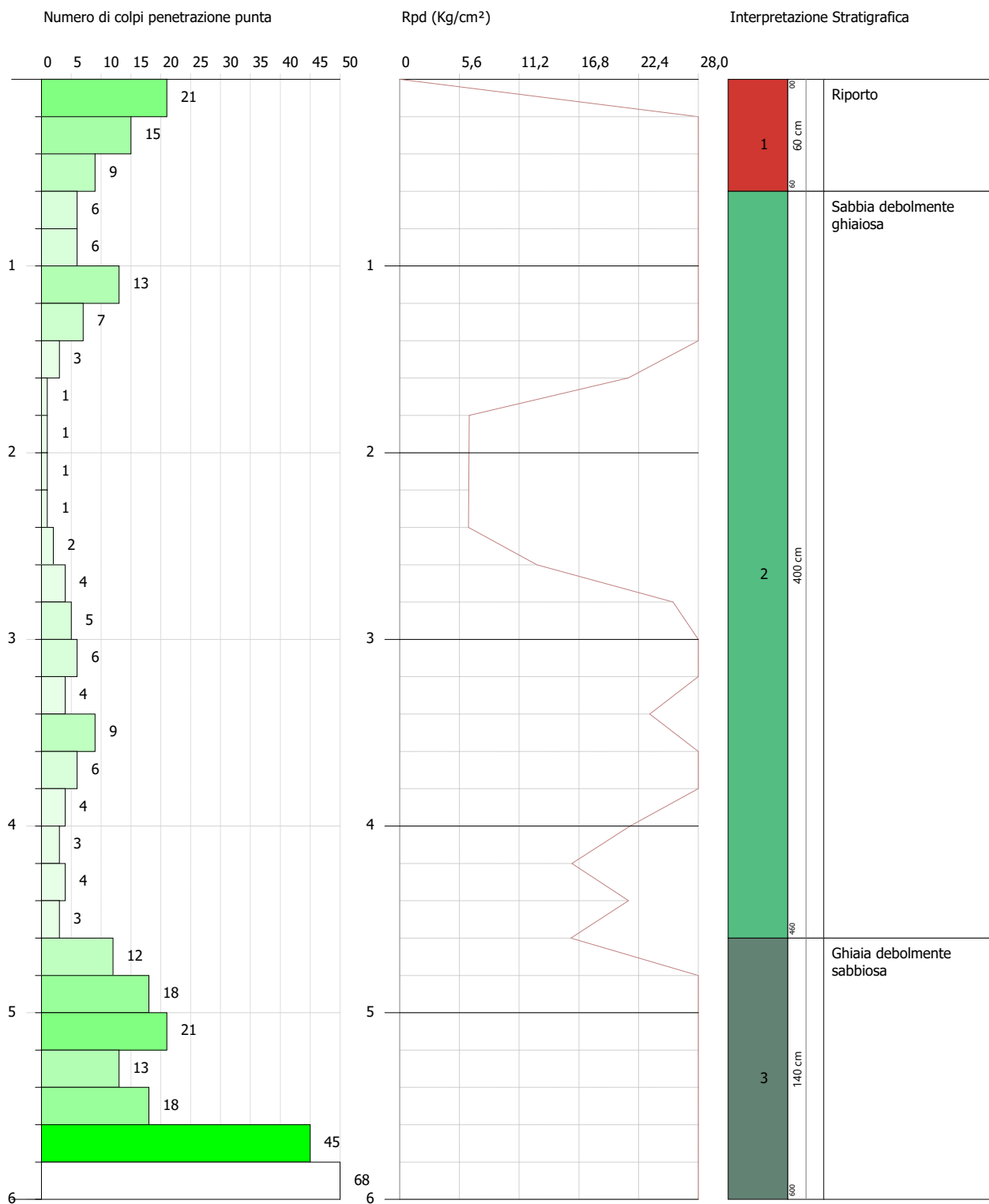
SIGNATURE 2

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 5**  
**Strumento utilizzato... DPSH-TECOP**

Committente: TecnoGras Srl  
Descrizione: Realizzazione di un nuovo capannone industriale  
Località: Via Achille Grandi - Trezzo sull'Adda (MI)

22/09/2025

Scala 1:32



SIGNATURE 1

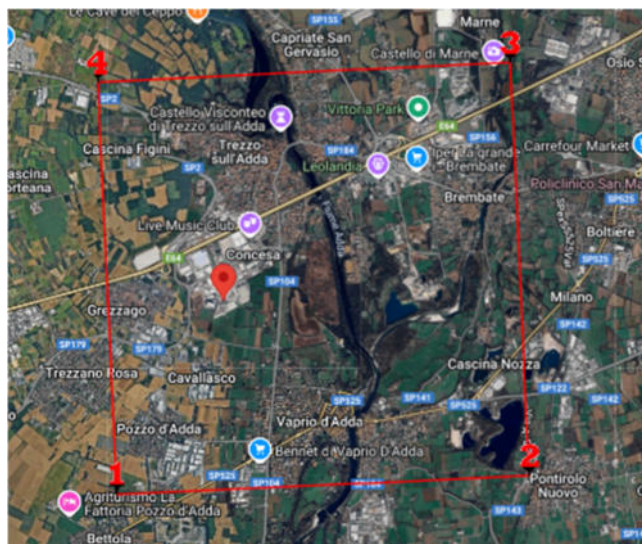
SIGNATURE 2

## 5. SISMICITA' DELL'AREA E CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE

### AZIONE SISMICA DI PROGETTO

La normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018) implica l'individuazione del sito di studio all'interno di un reticolo formato da 4 punti distanti tra loro non più di 4 Km. L'individuazione del reticolo di riferimento risulta indispensabile per la determinazione dei valori di accelerazione sismica ( $a_g$ ) attesa sul sito e per l'individuazione di tutti gli altri parametri necessari alla verifica degli stati limite in azione sismica. Si individuano quindi i parametri intrinseci del sito:

- Coordinate Geografiche del sito (Lat., Lon.)
- Coefficiente Topografico ( $T$ )
- Categoria del Suolo



*Localizzazione della maglia di appartenenza dell'area con indicazione dei vertici di riferimento*

Secondo le prescrizioni del D.M. 17.01.2018 si identifica il parametro ( $S$ ) di amplificazione dell'azione sismica di progetto, dipendente dalla categoria del suolo di fondazione e dalla situazione topografica del sito.

$$S = S_s \times S_t$$

Dove:

$S_s$  = Coefficiente di amplificazione stratigrafica determinato per ogni categoria di suolo tramite la seguente tabella:

**Tab. 3.2.IV**

| CATEGORIA SOTTOSUOLO | $S_s$                                                   | $C_c$                        |
|----------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------|
| A                    | 1,00                                                    | 1,00                         |
| B                    | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot A_g/g \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$ |
| C                    | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot A_g/g \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$ |
| D                    | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot A_g/g \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$ |
| E                    | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot A_g/g \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$ |

$S_t$  = Coefficiente di amplificazione topografica desunta dalla seguente tabella:

**Tab. 3.2.V**

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica                                                                                                    | $S_t$ |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| T1        | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$                                                      | 1     |
| T2        | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ (valore alla sommità del pendio)                                                                   | 1,2   |
| T3        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ (valore alla cresta del pendio) | 1,2   |
| T4        | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ (valore alla cresta del pendio)                  | 1,4   |

Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

- Vita Nominale ( $V_n$ ) • Classe d'Uso dell'opera • Coefficiente d'Uso ( $C_u$ ) • Vita di Riferimento ( $V_r$ )
- Smorzamento e fattore di struttura

#### Vita nominale (§ 2.4.1 NTC-18)

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I delle NTC-18 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

**Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere**

| <b>Tipi di costruzione</b> |                                                                                                        | <b>Vita nominale <math>V_T</math> (in anni)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1                          | Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva                                | 1                                               |
| 2                          | Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale | 1,2                                             |
| 3                          | Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica    | 1,2                                             |

#### Classi d'uso (§ 2.4.2 NTC-18)

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

| <b>Categoria</b> | <b>Caratteristiche della superficie topografica</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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 DM 5/11/2001, 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. |

#### Vita di riferimento (§ 2.4.3 NTC-18)

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_r$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_n$  per il coefficiente d'uso  $C_u$

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | <b>Data di redazione:</b> | <b>Redatto da:</b>                                                 | <b>Committente</b>                                           | <b>Pag.</b>  |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025                | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 20 a 33 |

$$V_r = V_n \times C_u$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_u$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella Tab. 2.4.II delle NTC-18.

**Tabella 2.4.II - Valori del coefficiente d'uso  $C_u$**

| Classe d'uso       | I   | II | III | IV |
|--------------------|-----|----|-----|----|
| Coefficiente $C_u$ | 0,7 | 1  | 1,5 | 2  |

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

## 5.2 FONDAZIONI SUPERFICIALI E CARICO LIMITE

### Norme tecniche per le Costruzioni 2018

*Aggiornamento alle Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018.*

### Norme tecniche per le Costruzioni 2008

*Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008 e circolare.*

Le fondazioni superficiali devono essere verificate almeno con riferimento a meccanismi di rottura per carico limite, scorrimento sul piano di posa e stabilità globale. La verifica della condizione fondamentale considerata dagli Eurocodici e dalle NTC 2018 (D.M. 17 gennaio 2018) è la seguente:

$$R_d \geq E_d$$

Tale verifica può essere effettuata tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle di riferimento:

Coefficienti A(6.2.I), M(6.2.II), R(6.4.I) delle Norme Tecniche delle Costruzioni, seguendo per la verifica a rottura per carico limite e per scorrimento almeno uno dei due approcci:

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 ( $A_2+M_2+R_2$ ) dell'Approccio 1 tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici, e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione ( $A_1+M_1+R_3$ ), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.II e 6.4.VI.

#### **Approccio1:**

- Combinazione 1 ( $A_1+M_1+R_1$ ) [STR] - Combinazione 2 ( $A_2+M_2+R_2$ ) [GEO]

#### **Approccio 2:**

- Combinazione ( $A_1+M_1+R_3$ ) [GEO]

- A = Coefficiente di amplificazione dei carichi;
- M = Coefficiente di riduzione dei parametri geotecnici;
- R = Coefficienti di riduzione delle Resistenze (portanza, scorrimento, etc.).

Gli Stati Limite rappresentano la frontiera tra il dominio di stabilità e quello di instabilità. Nella definizione di stato limite si distinguono:

**Stati Limite Ultimi (SLU):** associati al valore estremo della capacità portante o ad altre forme di cedimento strutturale che possono mettere in pericolo la sicurezza delle persone. Alcuni esempi delle cause che possono condurre agli SLU sono: a) perdita di stabilità di parte o dell'insieme della struttura; b) rottura di sezioni critiche della struttura; c) trasformazione della struttura in un meccanismo; d) instabilità in seguito a deformazione eccessiva; e) deterioramento in seguito a fatica; f) deformazioni di fluage o fessurazioni, che producono un cambiamento di geometria tale da richiedere la sostituzione della struttura. Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso. Nei confronti delle azioni sismiche (SLU dinamici) gli stati limite ultimi si suddividono in (D.M. 17.01.2018):

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | <b>Data di redazione:</b> | <b>Redatto da:</b>                                                 | <b>Committente</b>                                           | <b>Pag.</b>  |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025                | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 21 a 33 |

- ✓ **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 costruzione 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 (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi danni 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.

**Stati Limite di Esercizio (SLE):** sono stati oltre i quali non risultano più soddisfatti i requisiti di esercizio prescritti. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile: nel primo caso i danni o le deformazioni sono reversibili e cessano non appena sia eliminata la causa che ha portato al superamento dello SLE; nel secondo caso si manifestano danneggiamenti o deformazioni permanenti inaccettabili e ineliminabili per mezzo della soppressione della causa che le ha generate. Nei confronti delle azioni sismiche (SLE dinamici), gli stati limite di esercizio si suddividono in (D.M. 17.01.2019):

- ✓ **Stato Limite di operatività (SLO):** a seguito del terremoto, la costruzione nel suo complesso (incluso elementi strutturali, elementi non strutturali, ecc.) non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- ✓ **Stato limite di danno (SLD):** a seguito del terremoto, la costruzione nel suo complesso (incluso elementi strutturali, elementi non strutturali, apparecchiature rilevanti, ecc.) subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Nelle tabelle di seguito si riportano i coefficienti parziali con cui calcolare le diverse combinazioni, tratte dalle NTC.

**Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

|                              | Effetto     | Coefficiente Parziale<br>$\gamma_F$ (o $\gamma_E$ ) | EQU | (A1) | (A2) |
|------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------|-----|------|------|
| Carichi permanenti $G_1$     | Favorevole  | $\gamma_{G1}$                                       | 0,9 | 1,0  | 1,0  |
|                              | Sfavorevole |                                                     | 1,1 | 1,3  | 1,0  |
| Carichi permanenti $G_2$ (1) | Favorevole  | $\gamma_{G2}$                                       | 0,8 | 0,8  | 0,8  |
|                              | Sfavorevole |                                                     | 1,5 | 1,5  | 1,3  |
| Azioni variabili Q           | Favorevole  | $\gamma_{Qi}$                                       | 0,0 | 0,0  | 0,0  |
|                              | Sfavorevole |                                                     | 1,5 | 1,5  | 1,3  |

(1) Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

**Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

| Parametro                                    | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale $\gamma_M$ | (M1) | (M2) |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi'_{sk}$                                       | $\gamma_{cp'}$                   | 1,0  | 1,25 |
| Coesione efficace                            | $c'_{sk}$                                               | $\gamma_{c'}$                    | 1,0  | 1,25 |
| Resistenza non drenata                       | $c_{uk}$                                                | $\gamma_{cu}$                    | 1,0  | 1,4  |
| Peso dell'unità di volume                    | $\gamma_v$                                              | $\gamma_y$                       | 1,0  | 1,0  |

**Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali**

| Verifica      | Coefficiente parziale<br>(R3) |
|---------------|-------------------------------|
| Carico limite | $\gamma_R = 2,3$              |
| Scorrimento   | $\gamma_R = 1,1$              |

La misura del grado di sicurezza si ottiene con il "Metodo semiprobabilistico dei Coefficienti parziali" di sicurezza tramite l'equazione

$$Ed \leq Rd \text{ oppure } Rd - Ed \geq 0$$

con:

- $R_d$  = valore di progetto della resistenza del terreno (di pertinenza del geotecnico);
- $E_d$  = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni nelle varie combinazioni di carico (di pertinenza dello strutturista).

La resistenza del terreno  $R_d$  è determinata:

- Analiticamente (i valori di progetto si ottengono dai valori caratteristici divisi per il coefficiente parziale  $\gamma_M$ );
- Con misure dirette, utilizzando le tabelle sopra citate per i coefficienti parziali.

L'azione  $E_d$  è determinata dal valore caratteristico amplificato mediante i coefficienti parziali  $\gamma_F$  e deve essere fornita dallo strutturista.

Secondo le NTC il primo step è il calcolo della resistenza di progetto del terreno  $R_d$  secondo il metodo di Terzaghi descritto nel capitolo successivo o secondo il metodo di Brinch-Hansen. Il valore di  $R_d$  è il prodotto tra la capacità portante limite e l'area della fondazione. Per eseguire il secondo step il progettista deve fornire il valore delle azioni dei carichi per poter calcolare il valore di progetto dell'azione  $E_d$ . Come terzo e ultimo stadio si deve verificare se la condizione iniziale

$$Ed \leq Rd$$

sia soddisfatta. Questi step vanno effettuati per le tre combinazioni esistenti e viene scelto il valore più cautelativo. Per il fabbricato da realizzare, nelle verifiche geotecniche relative alla resistenza dei terreni, sono state considerate fondazioni a plinti con le seguenti caratteristiche:

- Fondazione  $h = 1,20$  m  $b = 2,40$  m
- piano di posa delle fondazioni = - 5,00 m dal p.c. incastro = - 1,20 m
- combinazione fondamentale statica SLU (GEO) **approccio 2** (A1+M1+R3) autore Terzaghi
- $R_d$  = resistenza di progetto (resistenza del terreno di fondazione)
- $E_d$  = combinazione delle azioni sulle fondazioni (tensione massima di esercizio)

#### DATI GENERALI

|                          |          |
|--------------------------|----------|
| Normativa                | NTC_2018 |
| Larghezza fondazione     | 2.4 m    |
| Lunghezza fondazione     | 2.4 m    |
| Profondità piano di posa | 5.0 m    |
| Altezza di incastro      | 1.2 m    |

#### SISMA

|                                |          |
|--------------------------------|----------|
| Accelerazione massima (amax/g) | 0.039    |
| Effetto sismico secondo        | NTC 2018 |

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

#### Dati generali

|                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| Tipo opera:          | 2 - Opere ordinarie |
| Classe d'uso:        | Classe II           |
| Vita nominale:       | 50.0 [anni]         |
| Vita di riferimento: | 50.0 [anni]         |

#### Parametri sismici su sito di riferimento

|                        |    |
|------------------------|----|
| Categoria sottosuolo:  | C  |
| Categoria topografica: | T1 |

S.L.

TR

ag

F0

TC\*

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.         |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 - MILANO (MI) | Pag. 23 a 33 |

| Stato limite | Tempo ritorno<br>[anni] | [m/s <sup>2</sup> ] | [-]   | [s]   |
|--------------|-------------------------|---------------------|-------|-------|
| S.L.O.       | 30.0                    | 0.255               | 2.47  | 0.191 |
| S.L.D.       | 50.0                    | 0.333               | 2.496 | 0.21  |
| S.L.V.       | 475.0                   | 0.892               | 2.465 | 0.275 |
| S.L.C.       | 975.0                   | 1.177               | 2.458 | 0.282 |

### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

| S.L.<br>Stato limite | amax<br>[m/s <sup>2</sup> ] | beta<br>[-] | kh<br>[-] | kv<br>[-] |
|----------------------|-----------------------------|-------------|-----------|-----------|
| S.L.O.               | 0.3825                      | 0.2         | 0.0078    | 0.0039    |
| S.L.D.               | 0.4995                      | 0.2         | 0.0102    | 0.0051    |
| S.L.V.               | 1.338                       | 0.2         | 0.0273    | 0.0136    |
| S.L.C.               | 1.7655                      | 0.24        | 0.0432    | 0.0216    |

### Carichi di progetto agenti sulla fondazione

| Nr. | Nome<br>combinazione | Pressione<br>normale di<br>progetto<br>[Kg/cm <sup>2</sup> ] | N<br>[Kg] | Mx<br>[Kg·m] | My<br>[Kg·m] | Hx<br>[Kg] | Hy<br>[Kg] | Tipo     |
|-----|----------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|----------|
| 1   | A1+M1+R3             | 1.87                                                         | 0.00      | 0.00         | 0.00         | 0.00       | 0.00       | Progetto |
| 2   | SISMA                | 1.87                                                         | 0.00      | 0.00         | 0.00         | 0.00       | 0.00       | Progetto |
| 3   | S.L.E.               | 1.87                                                         | 0.00      | 0.00         | 0.00         | 0.00       | 0.00       | Servizio |
| 4   | S.L.D.               | 1.87                                                         | 0.00      | 0.00         | 0.00         | 0.00       | 0.00       | Servizio |
| 5   | A(1)+M(1)+<br>R(3)   | 1.87                                                         | 0.00      | 0.00         | 0.00         | 0.00       | 0.00       | Progetto |

### Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

| Nr | Correzione<br>Sismica | Tangente<br>angolo di<br>resistenza<br>al taglio | Coesione<br>efficace | Coesione<br>non<br>drenata | Peso Unità<br>volume in<br>fondazione | Peso unità<br>volume<br>copertura | Coef. Rid.<br>Capacità<br>portante<br>verticale | Coef. Rid. C<br>apacità<br>portante<br>orizzontale |
|----|-----------------------|--------------------------------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1  | No                    | 1                                                | 1                    | 1                          | 1                                     | 1                                 | 2.3                                             | 1.1                                                |
| 2  | Si                    | 1                                                | 1                    | 1                          | 1                                     | 1                                 | 1.8                                             | 1.1                                                |
| 3  | No                    | 1                                                | 1                    | 1                          | 1                                     | 1                                 | 1                                               | 1                                                  |
| 4  | No                    | 1                                                | 1                    | 1                          | 1                                     | 1                                 | 1                                               | 1                                                  |
| 5  | No                    | 1                                                | 1                    | 1                          | 1                                     | 1                                 | 2.3                                             | 1.1                                                |

Si riportano i calcoli della resistenza del terreno (capacità portante), secondo la formula sopra citata (Terzaghi) con le dimensioni geometriche fondazionali ed i parametri geotecnici relativi (condizione A1+M1+R3):

### Carico limite verticale

| Nome<br>combinazione | Autore          | Carico<br>limite<br>[Qult]<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistenza<br>di progetto<br>[Rd]<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Tensione<br>[Ed]<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | Fattore<br>sicurezza<br>[Fs=Qult/<br>Ed] | Condizion<br>e di<br>verifica<br>[Ed<Rd] | Tipo<br>rottura                                                     | Costante<br>sottofond<br>o<br>(Kg/cm <sup>3</sup> ) | CEDIMENTI<br>TOTALI<br>IN MM |
|----------------------|-----------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------|
| A1+M1+R3             | TERZAGHI (1955) | 5.62                                                | 2.44                                                       | 1.87                                      | 3.01                                     | Verificata                               | * Rottura generale; l <sub>r</sub> =831.09 l <sub>crit</sub> =52.81 | 2.25                                                | 3.99 < 25                    |
| SISMA                | TERZAGHI (1955) | 5.60                                                | 3.11                                                       | 1.87                                      | 3                                        | Verificata                               | * Rottura generale; l <sub>r</sub> =831.09 l <sub>crit</sub> =52.81 | 2.24                                                |                              |

## CEDIMENTI DI BURLAND e BURBIDGE

Qualora si disponga di dati ottenuti da prove penetrometriche dinamiche per il calcolo dei cedimenti è possibile fare affidamento al metodo di Burland e Burbidge (1985), nel quale viene correlato un indice di compressibilità  $I_c$  al risultato  $N$  della prova penetrometrica dinamica. L'espressione del cedimento proposta dai due autori è la seguente:

$$S = f_s \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[ \sigma'_{v0} \cdot B^{0.7} \cdot I_c / 3 + (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B^{0.7} \cdot I_c \right]$$

nella quale:

$q'$  Pressione efficace lorda;

$\sigma'_{v0}$  Tensione verticale efficace alla quota d'imposta della fondazione;

$B$  Larghezza della fondazione;

$I_c$  Indice di compressibilità;

$f_s, f_H, f_t$  Fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e del tempo, per la componente viscosa.

L'indice di compressibilità  $I_c$  è legato al valore medio  $N_{AV}$  di  $N_{spt}$  all'interno di una profondità significativa  $z$ :

$$I_c = \frac{1.706}{N_{AV}^{1.4}}$$

Per quanto riguarda i valori di  $N_{spt}$  da utilizzare nel calcolo del valore medio  $N_{AV}$  va precisato che i valori vanno corretti, per sabbie con componente limosa sottofalda e  $N_{spt} > 15$ , secondo l'indicazione di Terzaghi e Peck (1948)

$N_c = 15 + 0.5 (N_{spt} - 15)$

dove  $N_c$  è il valore corretto da usare nei calcoli.

Per depositi ghiaiosi o sabbioso-ghiaiosi il valore corretto è pari a:

$N_c = 1.25 N_{spt}$

## CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

|                                                    |                        |
|----------------------------------------------------|------------------------|
| Pressione normale di progetto                      | 4.0 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Tempo                                              | 30.0                   |
| Profondità significativa $Z_i$ (m)                 | 2.048                  |
| Media dei valori di $N_{spt}$ all'interno di $Z_i$ | 26                     |
| Fattore di forma $f_s$                             | 1                      |
| Fattore strato compressibile $f_H$                 | 1                      |
| Fattore tempo $f_t$                                | 1.5                    |
| Indice di compressibilità                          | 0.018                  |
| Cedimento                                          | 16.936 mm              |

| FONDAZIONE A<br>PLINTO<br>MT | $Q_{ult}$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $R_d$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $E_d$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $F_s = \frac{Q_{ult}}{E_d}$ | Costante di<br>sottofondo<br>(Winkler)<br>(Kg/cm <sup>3</sup> ) | VERIFICA<br>$\frac{R_d}{E_d} \geq 1$ | CEDIMENT<br>TOTALI<br>IN MM |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| B = 2,40<br>H = 1,20         | 5,62                            | 2,44                        | 1,87                        | 3,01                        | 2,25                                                            | VERIFICATA                           | 16,9 < 25                   |

Sarà cura dello strutturista verificare la congruenza delle azioni effettivamente agenti sulle fondazioni del fabbricato e qualora necessario, saranno ripetute nuove verifiche sulla base delle azioni di progetto. Si raccomanda di adottare un valore di tensione media di esercizio  $E_d$  non superiore a 2,44 kg/cm<sup>2</sup> alla quota -5,00 m dal p.c., qualora necessario si rimane a disposizione per la verifica di altre configurazioni fondazionali.

## Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)

Allo stato attuale non sono noti i carichi dell'opera in progetto e quindi risulta impossibile sviluppare la verifica degli Stati Limite d'Esercizio, per la quale occorre conoscere i carichi che verranno a prodursi sugli strati di fondazione per ricavare l'entità dei cedimenti attesi e procedere alla verifica e confronto con i cedimenti ammissibili d'esercizio per l'opera in esame. Occorrerà, una volta noti i carichi, che il Progettista strutturale dell'opera ricavi la combinazione delle azioni di progetto tenendo conto delle condizioni di carico più severe, considerando distintamente l'incidenza dei carichi permanenti e variabili, ai quali attribuirà i rispetti coefficienti di riduzione previsti dal D.M. 17/01/18.

## ANALISI DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Con il termine *liquefazione* viene definita «la circostanza, causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, caratterizzata da deformazioni permanenti significative o dall'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno». In particolare, con il termine *liquefazione* si definisce il fenomeno per cui un terreno incoerente saturo, sottoposto ad una sollecitazione sismica, assume un comportamento meccanico simile a quello dei liquidi, con l'annullamento quasi totale della sua resistenza al taglio  $\tau$  in seguito ad un aumento istantaneo della pressione interstiziale dell'acqua presente nei vuoti intergranulari. A parità di altre condizioni, esso si verifica con maggiore probabilità in materiali incoerenti sabbiosi e/o sabbioso – limosi con elevato grado di saturazione e basso grado di addensamento, ossia bassa densità relativa  $D_r$  (%) ed elevato indice dei vuoti. La vigente normativa, stabilisce che in fase di progettazione di nuove opere deve essere valutata la stabilità del sito di costruzione nei confronti della liquefazione, che determina potenziali effetti di instabilità nei confronti delle strutture di fondazione e delle strutture in elevazione.

Per condurre a liquefazione un terreno suscettibile al fenomeno è necessaria non solo l'occorrenza di un forte sisma, sia in termini di magnitudo che durata, ma anche di particolari condizioni litostratigrafiche, idrogeologiche e geomeccaniche dei terreni di fondazione. La sicurezza nei confronti della liquefazione può essere valutata con procedure di analisi avanzata (specifiche analisi di risposta sismica locale e prove dinamiche di laboratorio) oppure mediante metodi semplificati, in funzione dell'importanza dell'opera e della sismicità dell'area di intervento.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze indicate nel par. 7.11.3.4.2 delle NTC18, tra le quali:

- ✓ Eventi sismici attesi di magnitudo  $M < 5$ ;
- ✓ Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero)  $< 0,1g$ ;
- ✓ Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- ✓ Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata ( $N1$ )  $60 > 30$  oppure  $q_{ciN} > 180$  dove ( $N1$ ) 60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{ciN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- ✓ Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Per l'area in esame il valore dell'accelerazione massima orizzontale risulta  $a_{max} = 0,095379$  ( $V_r = 50$  anni e  $C_u = 1,0$ , condizione SLV e categoria sottosuolo di tipo B), mentre la magnitudo di riferimento  $M_w$  risulta pari a 6.14 (poiché l'area non rientra in nessuna zona sismogenetica si è considerata la magnitudo della zona più vicina che risulta essere la 907 denominata "Bergamasco").

Per il caso specifico i terreni di sottofondo non rientrano nel fuso granulometrico dei terreni liquefacibili e per tale motivo l'area in esame non è soggetta a fenomeni di liquefazione in condizioni sismiche.

Nell'area oggetto di studio non viene effettuata la verifica alla liquefazione poiché la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 metri dal piano campagna.

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.         |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 26 a 33 |



Postazione DPSH 1



Postazione DPSH 2



Postazione DPSH 3

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | <b>Data di redazione:</b> | <b>Redatto da:</b>                                                 | <b>Committente</b>                                           | <b>Pag.</b>  |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025                | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 27 a 33 |



Postazione DPSH 4



Postazione DPSH 5

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | <i><b>Data di redazione:</b></i> | <i><b>Redatto da:</b></i>                                          | <i><b>Committente</b></i>                                    | <i><b>Pag.</b></i>  |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------|
|                                                         | 17/10/2025                       | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. <b>28 a 33</b> |

## 6. INDAGINE SISMICA

### M.A.S.W.

In data 18 settembre 2025 è stata effettuata un'indagine geosismica M.A.S.W. nell'area di futura edificazione.

#### Configurazione sismografo:

| Strumentazione  | Geofoni Verticali | Cavi                   | Sorgente            | Base                   | Data                       |
|-----------------|-------------------|------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|
| GEA 24 Pasi     | 12                | 24 mt                  | Mazza battente      | Piattello metallico    | 189/09/2025                |
| Profilo         | Tipo di indagine  | Tempo di campionamento | N. campioni         | Tempo di registrazione | N. Stacks                  |
| S1              | MASW              | 125µs                  | 4096                | 2000 ms                | 3                          |
| Lunghezza stesa | Numero geofoni    | Off set sorgente       | Distanza 1° geofono | 12° geofono            | Equidistanza fra i geofoni |
| 13 mt           | 12 (4.5 Hz)       | 1 mt                   | 0 mt                | 12 mt                  | 1 mt                       |

#### Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

#### Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P, S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

#### Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

#### Modellizzazione

È possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica, la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.         |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 29 a 33 |

### Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

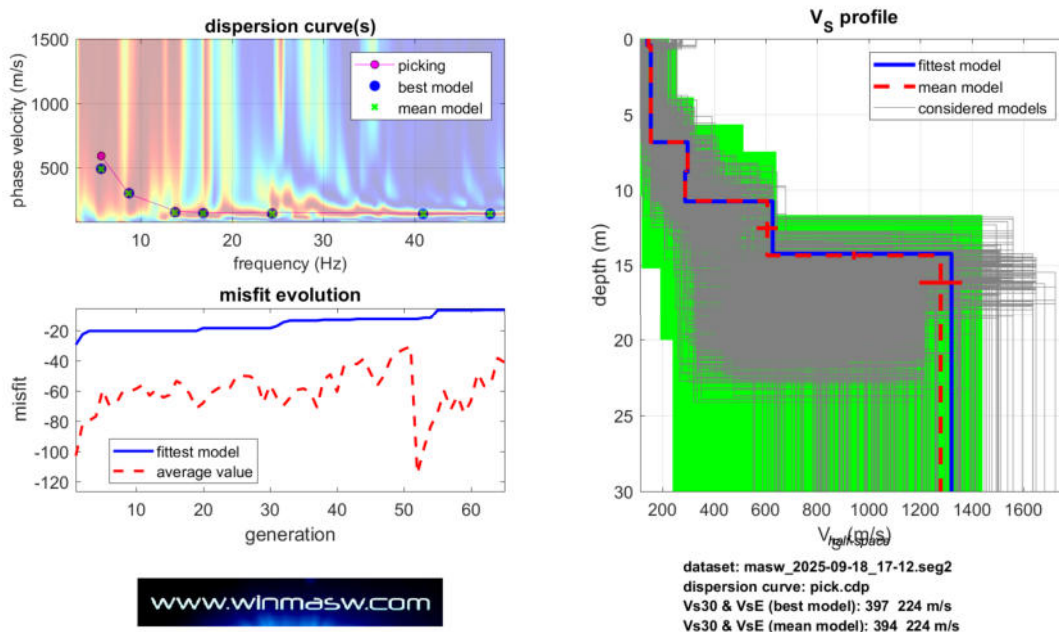
### Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

### Modello sismico e strumentazione

Il modello sismico monodimensionale costituisce l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito (risposta sismica locale - RSL) che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (definizione della categoria di sottosuolo).

Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sito-specifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 17.01.2018; D.G.R. n. 8/7374 e D.G.R. IX/2616/2011). La strumentazione è costituita da un compatto sismografo PASI a 24 canali della serie GEA24 e da un software "WinMasw" utilizzato per l'interpretazione.



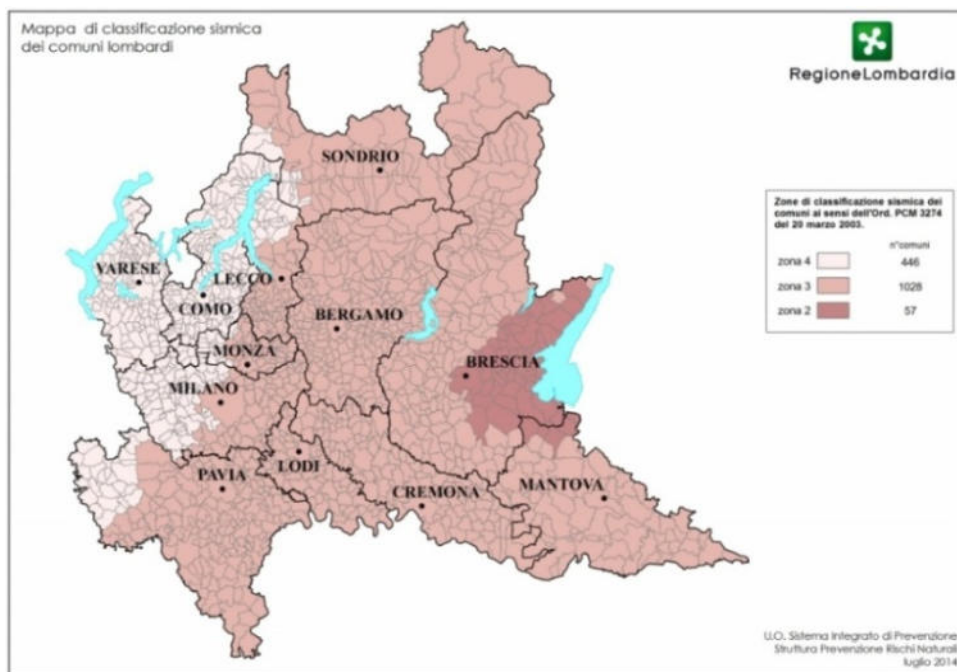
Curva di Dispersione e Profilo Vs

**Tipo di analisi: onde di Rayleigh VS30 (m/s): 224**

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.         |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 30 a 33 |

Questo fa sì che in applicazione della normativa sismica vigente (D.M. 17.01.2018 e successive modifiche - Circolare C.S.LL.PP. 617 del 02/02/2009) il sito rientra nella **categoria C di sottosuolo** così come si evince dalla allegata tabella:

| Categoria | Descrizione del profilo stratigrafico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Parametri  |       |          |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|----------|
|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Vs30 (m/s) | NSPT  | Cu (kPa) |
|           | Classificazione del tipo di suolo secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC 17/01/2018                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |       |          |
| A         | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>                                                                                                                                                                                       | > 800      | -     | -        |
| B         | <i>Rocce tenere e depositi di terreni 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 Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 &gt; 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 &gt; 250 kPa nei terreni a grana fina).</i>           | 360-800    | >50   | >250     |
| C         | <i>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 Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 &lt; NSPT,30 &lt; 50 nei terreni a grana grossa e 70 &lt; cu,30 &lt; 250 kPa nei terreni a grana fina).</i> | 180-360    | 15-50 | 70-250   |
| D         | <i>Depositi 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 Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 &lt; 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 &lt; 70 kPa nei terreni a grana fina).</i>                       | <180       | <15   | <70      |
| E         | <i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs &gt; 800 m/s).</i>                                                                                                                                                                                                                                                                   | -          | -     | -        |



Classificazione sismica della Lombardia

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | Data di redazione: | Redatto da:                                                        | Committente                                                  | Pag.         |
|---------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------|
|                                                         | 17/10/2025         | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. 31 a 33 |



*Postazione indagine sismica di tipo MASW*

| Indagine geologico tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 | <b>Data di redazione:</b> | <b>Redatto da:</b>                                                 | <b>Committente</b>                                           | <b>Pag.</b>                |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------|
|                                                         | 17/10/2025                | Dott. Geol. Antonio Roberto Orlando<br>Dott. Geol. Salvatore Vella | SPECIALTRASFO S.P.A.<br>Via Rugabella, 1 20122 – MILANO (MI) | Pag. <b>32</b> a <b>33</b> |

## 7. CONCLUSIONI

Nel seguente rapporto sono stati illustrati i risultati delle indagini e degli studi di carattere geologico, geotecnico, idrogeologico e sismico condotte su un terreno sito nel territorio comunale di Trezzo sull'Adda (MI), presso la Via Achille Grandi dove è prevista la realizzazione di un nuovo capannone industriale.

Secondo la normativa regionale (L.R. 12/05) il territorio comunale è sottoposto ad azionamento in base alle caratteristiche geologiche, idrogeologiche, morfologiche e geotecniche, le quali permettono di determinare la classe di fattibilità geologica e di cui lo stralcio della relativa carta viene qui di seguito riportata. Nel dettaglio l'area di nostro interesse rientra nell'ambito della classe di **fattibilità geologica 2** (Fattibilità senza modeste limitazioni).

Secondo quanto stabilito con D.G.R. n. 2129 del 11 luglio 2014 il territorio comunale appartiene alla **zona sismica 3** con  $a_{max}$  pari a 0,093984, con **PSL Z4a** - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi. L'area di nostro interesse non è interessata a vincoli geo ambientali.

In applicazione alla normativa sismica vigente (D.M. 17.01.2018 e successive modifiche - Circolare C.S.LL.PP. 617 del 02/02/2009) il sito rientra nella **categoria C di sottosuolo**.

Sulla base delle indagini in situ eseguite e sulle successive interpretazioni ed elaborazioni sono stati condotti i calcoli relativi agli aspetti geotecnici e sismici per fornire agli Enti competenti gli strumenti necessari al rilascio dei relativi pareri e concessioni ed ai progettisti gli elementi per il dimensionamento delle strutture di fondazione. A tal fine si riporta il modello stratigrafico geotecnico:

**MODELLO STRATIGRAFICO GEOTECNICO DPSH 1**

| Profondità dello strato (m) | NSPT  | Densità relativa (%) | Angolo d'attrito (°) | Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> ) | Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> ) | Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Poisson | Classificazione AGI    |
|-----------------------------|-------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------|------------------------|
| 0.00-1,00                   | 28,22 | 100                  | 32,1                 | 216,10                                | 85,43                                   | 1,68                                     | 1.89                                            | Nulla                                      | 0,3     | MODERATAMENTE DDENSATO |
| 1,00-4,40                   | 5,56  | 45,64                | 24,1                 | 100,00                                | 38,88                                   | 1,42                                     | 1.90                                            | Nulla                                      | 0,34    | POCO ADDENSATO         |
| 4,40-6,60                   | 25,83 | 82,53                | 33,1                 | 204,15                                | 80,52                                   | 1,66                                     | 1.85                                            | Nulla                                      | 0,3     | MODERATAMENTE DDENSATO |

Come argomentato nel paragrafo relativo alle analisi del potenziale di liquefazione dei terreni, si escludono problemi per quanto riguarda la liquefazione. Si raccomanda di ottemperare alle indicazioni descritte nella presente relazione, soprattutto quelle relative ai calcoli della resistenza del terreno (capacità portante), secondo la formula citata (Terzaghi) e con le dimensioni geometriche fondazionali previste ed i parametri geotecnici relativi (condizione A1+M1+R3) e di seguito riportate:

| FONDAZIONE A PLINTO MT | $Q_{ult}$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $R_d$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $E_d$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $F_s = \frac{Q_{ult}}{E_d}$ | Costante di sottofondo (Winkler) (Kg/cm <sup>3</sup> ) | VERIFICA<br>$\frac{R_d}{E_d} \geq 1$ | CEDIMENTI TOTALI IN MM |
|------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| B = 2,40<br>H = 1,20   | 5,62                            | 2,44                        | 1,87                        | 3,01                        | 2,25                                                   | VERIFICATA                           | 16,9 < 25              |

Le indicazioni di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico emerse dallo studio delle aree di intervento e dai sopralluoghi in sito non hanno evidenziato la presenza di processi geomorfologici relitti, quiescenti o in atto, che possano, a seguito della realizzazione delle opere di progetto, evolvere verso forme di dissesto idrogeologico o che possano in qualche modo interferire con esse; pertanto, l'intervento di progetto, eseguendo i lavori a regola d'arte, risulta fattibile.

Vaprio d'Adda 17/10/2025