



Via Liguria 1 – 20900 Monza  
 Telefono e fax 039 837656  
[geotecnoindagini@pec.it](mailto:geotecnoindagini@pec.it)

**Dott. Geol. Riccardo Cortiana**  
[r.cortiana@geotecnoindagini.it](mailto:r.cortiana@geotecnoindagini.it)

**Dott. Geol. Filippo Valentini**  
[f.valentini@geotecnoindagini.it](mailto:f.valentini@geotecnoindagini.it)

**ANTONINA R.E.**



*RELAZIONE GEOLOGICA R1  
 RELAZIONE GEOTECNICA R2  
 RELAZIONE GEOLOGICA R3*

*ai sensi del p.to 6.2.1 del D.M. 17.01.18  
 ai sensi del p.to 6.2.2 del D.M. 17.01.18  
 ai sensi della DGR IX/2616/2011*

**PER LA REALIZZAZIONE DI DUE NUOVI EDIFICI RESIDENZIALI  
 IN VIA VERRI 10 NEL COMUNE DI PADERNO DUGNANO (MI)**

Monza, settembre 2020

A cura di: Dott. Geol. R. Cortiana  
 Dott. Geol. F. Valentini

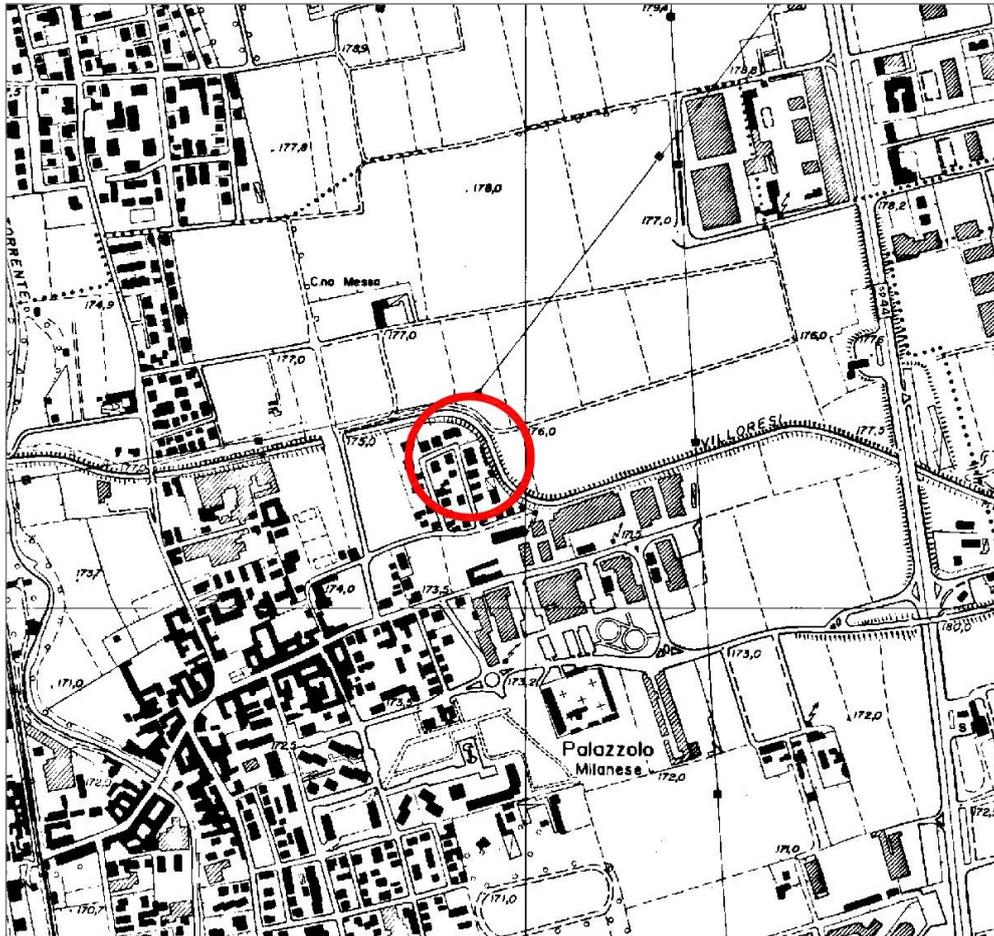


**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO .....</b>	<b>10</b>
4.1	RIFERIMENTI NORMATIVI CLASSIFICAZIONE SISMICA .....	10
4.1.1	OPCM 28 aprile 2006 .....	10
4.1.2	Normativa regionale D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 .....	11
4.2	RIFERIMENTI NORMATIVI PROGETTAZIONE .....	11
4.2.1	D.M. 17 Gennaio 2018 .....	11
<b>5</b>	<b>INDAGINE SISMICA .....</b>	<b>17</b>
5.1	Prova MASW .....	17
5.2	Indagine in sito .....	17
5.3	Elaborazione dei dati .....	18
<b>6</b>	<b>ANALISI RISCHIO SISMICO .....</b>	<b>20</b>
6.1	Analisi di I livello .....	20
<b>7</b>	<b>INDAGINE GEOGNOSTICA .....</b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI.....</b>	<b>24</b>
<b>9</b>	<b>CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE E DEI CEDIMENTI PREVEDIBILI .....</b>	<b>25</b>
9.1	Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU).....	25
9.2	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE) .....	28
<b>10</b>	<b>VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>30</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>31</b>

## 1 PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

La presente relazione, redatta su incarico della società Antonina RE, con sede in via Favaron 68 a Nova M.se (MB), illustra i risultati di una campagna di indagini geognostiche realizzata presso un'area ubicata in via Verri 10 a Paderno Dugnano (MI), in previsione della realizzazione di un nuovo intervento edilizio.



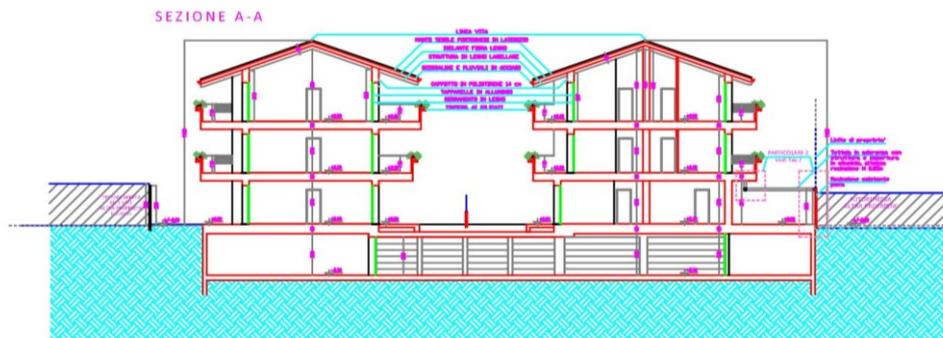
*Corografia area di studio*

Nell'area oggetto di studio è prevista la demolizione del capannone esistente e la successiva realizzazione di due nuovi edifici residenziali a pianta rettangolare dati da tre piani fuori terra e un unico piano interrato. Si riporta in allegato la planimetria degli edifici in progetto che avranno piano interrato comune e per i quali si prevede l'utilizzo di fondazioni dirette continue impostate alla profondità di almeno 3.60 m dal piano campagna esistente.



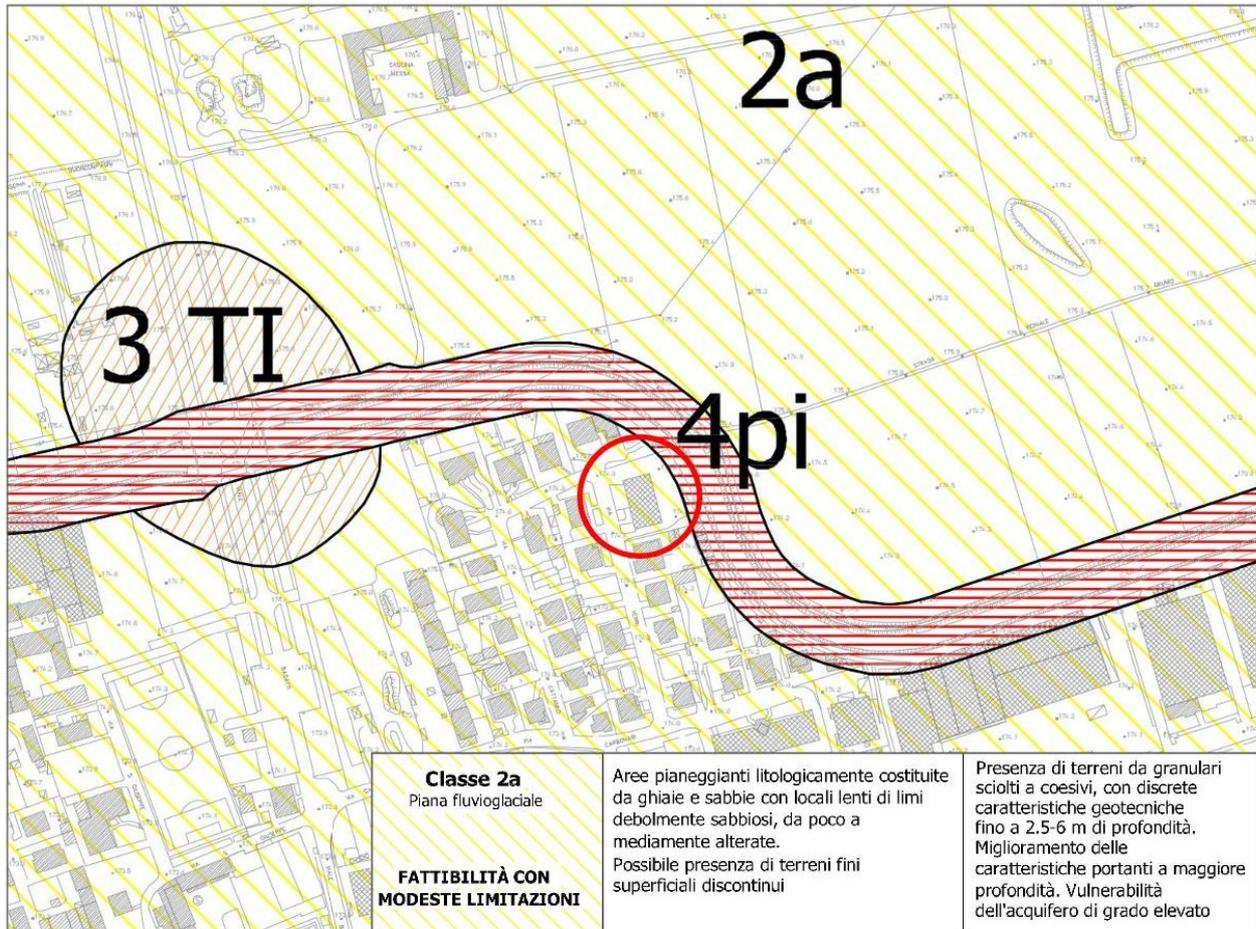
Planimetria intervento in progetto – piano terra

E' previsto l'utilizzo di fondazioni dirette continue del tipo a trave rovescia impostate ad una profondità di almeno 3.60 m da p.c.



Sezione intervento in progetto

Secondo la carta della fattibilità geologica, allegata alla componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T vigente del comune di Paderno Dugnano, l'area in esame appartiene alla **classe di fattibilità 2**, ovvero *fattibilità con modeste limitazioni*.



Estratto Carta della fattibilità

**Classe 2 – Fattibilità con modeste limitazioni.** Include tutte le aree che presentano deboli limitazioni alla variazione di destinazione d'uso che necessitano di approfondimenti di tipo geologico-tecnico; gli interventi permessi in queste aree necessitano di approfondimenti finalizzati alla realizzazione di opere di sistemazione o bonifica o al miglioramento delle esistenti. Gli approfondimenti dovranno inoltre escludere la possibilità che variazioni alla destinazione d'uso incidano negativamente sulle aree limitrofe.

In particolare, l'area ricade nella sottoclasse 2a la quale presenta le caratteristiche sotto riportate:

**Classe 2a – Piana fluvioglaciale**

*Principali caratteristiche: aree pianeggianti, litologicamente costituite da ghiaie e sabbie, con locali lenti di limi debolmente sabbiosi, da poco a mediamente alterate. Possibile presenza di terreni fini superficiali discontinui.*

*Problematiche generali: presenza di terreni da granulari sciolti a coesivi, con discrete caratteristiche geotecniche fino a 2.5-6 m di profondità. Miglioramento delle caratteristiche portanti a maggiore profondità. Vulnerabilità dell'acquifero di grado elevato.*

*Parere sull'edificabilità: favorevole con modeste limitazioni legate alle caratteristiche portanti del terreno e alla salvaguardia dell'acquifero libero.*

*Tipo di intervento ammissibile: sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo, ristrutturazione (così come definiti dall'art. 27 della l.r. 11 marzo 2005 n. 12 "Legge per il governo del territorio"), nel rispetto delle normative vigenti.*

*Indagini di approfondimento preventive necessarie: si rende necessaria la verifica idrogeologica e litotecnica dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche per la*

*determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie (IGT); in particolare dovrà essere valutata la stabilità dei versanti di scavo (SV) nel caso di opere di tipo 3, 4, 5, 6 al fine di prevedere le opportune opere di protezione degli scavi durante i lavori di cantiere. Le indagini geognostiche dovranno essere commisurate al tipo di intervento da realizzare ed alle problematiche progettuali proprie di ciascuna opera (secondo quanto indicato nell'art. 2 delle Norme geologiche di Piano). La modifica di destinazione d'uso di aree esistenti inserite in zona "produttiva" necessita la verifica dello stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento Locale d'Igiene (ISS); qualora venga rilevato uno stato di contaminazione dei terreni, dovranno avviarsi le procedure previste dal D.Lgs 152/06 "Norme in materia ambientale" (Piano di Caratterizzazione Ambientale/PCA con analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di Bonifica/POB). Interventi da prevedere in fase progettuale: quale norma generale per ogni tipo di opera gli interventi da prevedere, già in fase progettuale, saranno rivolti alla regimazione idraulica e alla predisposizione di accorgimenti/sistemi per la regimazione e lo smaltimento delle acque meteoriche e di quelle di primo sottosuolo, con individuazione del recapito finale, nel rispetto della normativa vigente e sulla base delle condizioni idrogeologiche del sito (RE-CO). Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, dovranno essere previsti interventi di bonifica (BO) qualora venga accertato uno stato di contaminazione del suolo ai sensi del D.Lgs 152/06 e s.m.i..*

*Norme sismiche da adottare per la progettazione: la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", definendo la pericolosità sismica di base in accordo alle metodologie dell'allegato A del decreto. Nel caso di edifici strategici e rilevanti (di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) ricadenti in aree PSL, la definizione delle azioni sismiche di progetto dovrà avvenire a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello – metodologie di cui all'allegato 5 della d.g.r. n. IX/2616/2011.*

Scopo della presente relazione è verificare la fattibilità, per quanto attiene le problematiche geologico-tecniche ed idrogeologiche, del nuovo intervento in progetto: si tratta in sostanza di verificare, con maggiore puntualità rispetto alle indicazioni generali dettate dalla perizia geologica a supporto del P.G.T. vigente, ed in ottemperanza delle prescrizioni dettate dalla perizia stessa, la fattibilità dell'intervento in oggetto.

Nel mese di settembre 2020 così come previsto dai punti 6.2.1<sup>1</sup> e 6.2.2<sup>2</sup> delle nuove Norme Tecniche Costruzioni 2018 (D.M. 17/01/2018) è stato condotto nell'area in esame un accurato studio geologico e

---

#### <sup>1</sup> 6.2.1. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

*Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento. In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che è parte integrante del progetto. Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.*

#### <sup>2</sup> 6.2.2. INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

*Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, devono riguardare il volume significativo e, in presenza di azioni sismiche, devono essere conformi a quanto prescritto ai §§ 3.2.2 e 7.11.2. Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Della definizione del piano delle indagini, della caratterizzazione e della modellazione geotecnica è responsabile il progettista. Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici. Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una*

geotecnico, consistito nell'esecuzione di 5 prove penetrometriche di tipo dinamico e di una indagine sismica MASW al fine di ottenere l'identificazione della categoria di sottosuolo dell'area in esame (punto 3.2.2 NTC 2018).

Sulla base dei risultati delle suddette prove sono state eseguite le valutazioni di capacità portante e cedimenti prevedibili, una volta identificati i principali parametri geotecnici dei terreni, secondo le nuove Norme Tecniche Costruzioni (D.M. 17/01/2018).

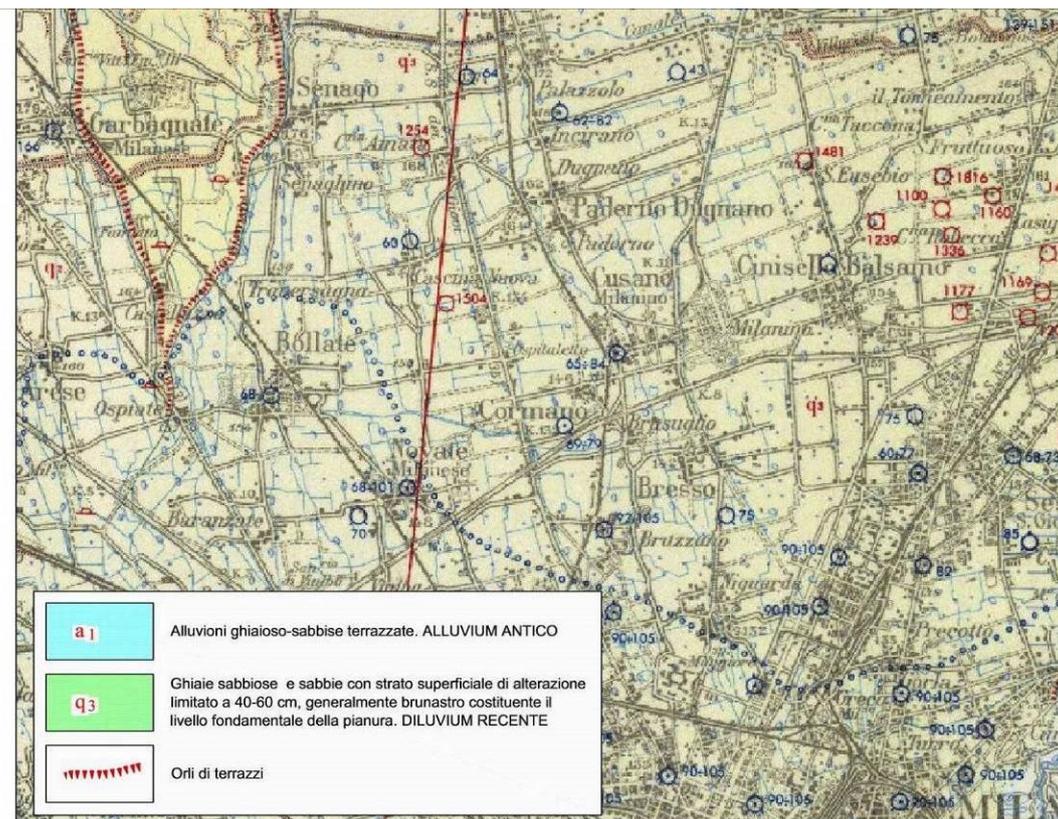
---

*stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito. Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità. Deve inoltre essere specificato se la resistenza caratteristica si riferisce alle discontinuità o all'ammasso roccioso. Per la verifica delle condizioni di sicurezza e delle prestazioni di cui al successivo § 6.2.4, la scelta dei valori caratteristici delle quote piezometriche e delle pressioni interstiziali deve tenere conto della loro variabilità spaziale e temporale. Le prove di laboratorio, sulle terre e sulle rocce, devono essere eseguite e certificate dai laboratori di prova di cui all'art. 59 del DPR 6 giugno 2001, n. 380. I laboratori su indicati fanno parte dell'elenco depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.*

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO

L'area lombarda ha subito le più importanti trasformazioni in un'epoca geologicamente recente, dal Miocene Superiore in poi, quando hanno avuto inizio intense fasi erosive culminate con la genesi di profondi canyons scavati allo sbocco nella Pianura Padana dai corpi glaciali che percorrevano le vallate alpine. Ciò è avvenuto in concomitanza con l'alternanza di episodi di trasgressione e regressione marina che si sono succeduti in questo periodo; tale fase è durata fino a tutto il Pleistocene Inferiore. Con il Pleistocene Superiore si è avuta la sedimentazione di depositi di origine glaciale e fluvio-glaciale apportati dai corpi glaciali provenienti dalla catena alpina; si è così formata una spessa coltre di sedimenti di origine glaciale (nelle aree pedemontane) e fluvio-glaciale ed alluvionale (nelle aree di pianura). In seguito si è assistito ad un susseguirsi di cicli di erosione e di deposito corrispondenti ad un'alternanza di fasi glaciali (Mindel, Riss e Würm) e interglaciali che si sono succedute fino ai giorni nostri; questo ha dato origine ad una tipica morfologia a cordoni morenici (visibili nella zona dell'alta pianura lombarda) e a terrazzi (visibile nella media e bassa pianura lombarda).

Nella zona oggetto di studio, ubicata nella media pianura lombarda, tali forme non sono visibili e la morfologia che si osserva è data da una superficie pianeggiante che costituisce il cosiddetto Livello Fondamentale della Pianura. Nell'area in esame i depositi fluvio-glaciali e alluvionali formano una coltre dello spessore di alcune centinaia di metri e sono costituiti da ghiaie e sabbie con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose; frequenti sono i ciottoli di dimensioni centimetriche, generalmente con un grado elevato di arrotondamento.

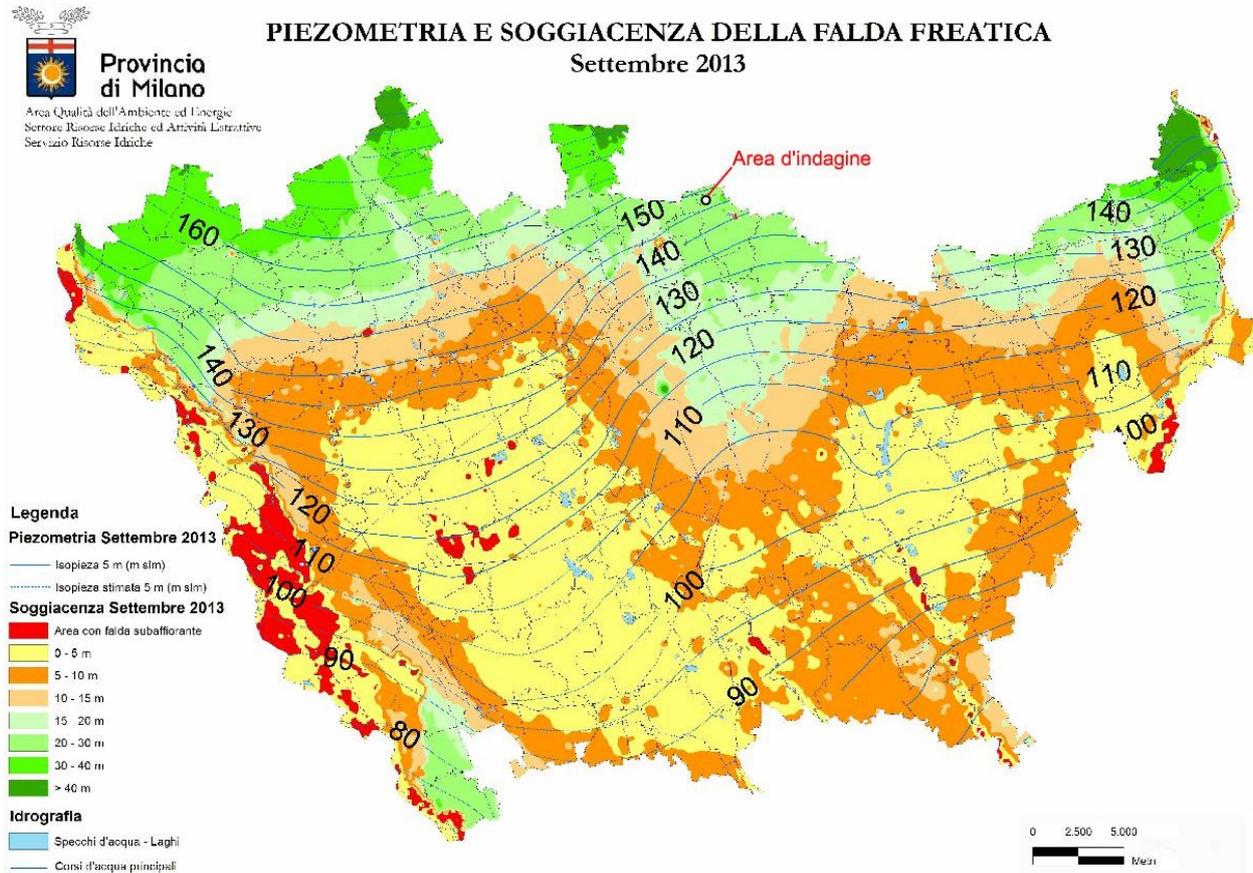


Estratto Carta Geologica d'Italia (Foglio 45 – Milano)

Il territorio del comune di Paderno Dugnano, come si osserva dalla Carta Geologica d'Italia (Foglio 45 Milano) in scala 1:100.000 e dalla Carta Geologica della Lombardia in scala 1:250.000, è caratterizzato dalla presenza di depositi fluvio-glaciali appartenenti alle alluvioni fluvio-glaciali del periodo Würm (DILUVIUM RECENTE) generalmente caratterizzato da ghiaie e sabbie con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose; frequenti sono i ciottoli di dimensioni centimetriche, generalmente con un grado elevato di arrotondamento.

### 3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Secondo i dati reperiti presso il SIF (Sistema Informativo Falda) della Provincia di Milano la soggiacenza media della falda nell'area indagata si attesta a profondità comprese tra 20 e 30 m dal p.c..



Nella zona considerata quindi non si avranno problemi di interferenza tra la falda freatica e gli interventi di progetto.

## 4 INQUADRAMENTO SISMICO

Le azioni sismiche attese in un certo sito si prevedono, su base probabilistica, tramite la pericolosità sismica che è funzione delle caratteristiche di sismicità regionali e del potenziale sismogenetico delle sorgenti sismiche; la valutazione della pericolosità sismica porta poi alla valutazione del rischio sismico di un sito in termini di danni attesi a cose e persone come prodotto degli effetti di un evento sismico.

La pericolosità sismica valutata all'interno di un sito deve essere stimata come l'accelerazione orizzontale massima al suolo in un dato periodo di tempo, definendo i requisiti progettuali antisismici per le nuove costruzioni nel sito stesso.

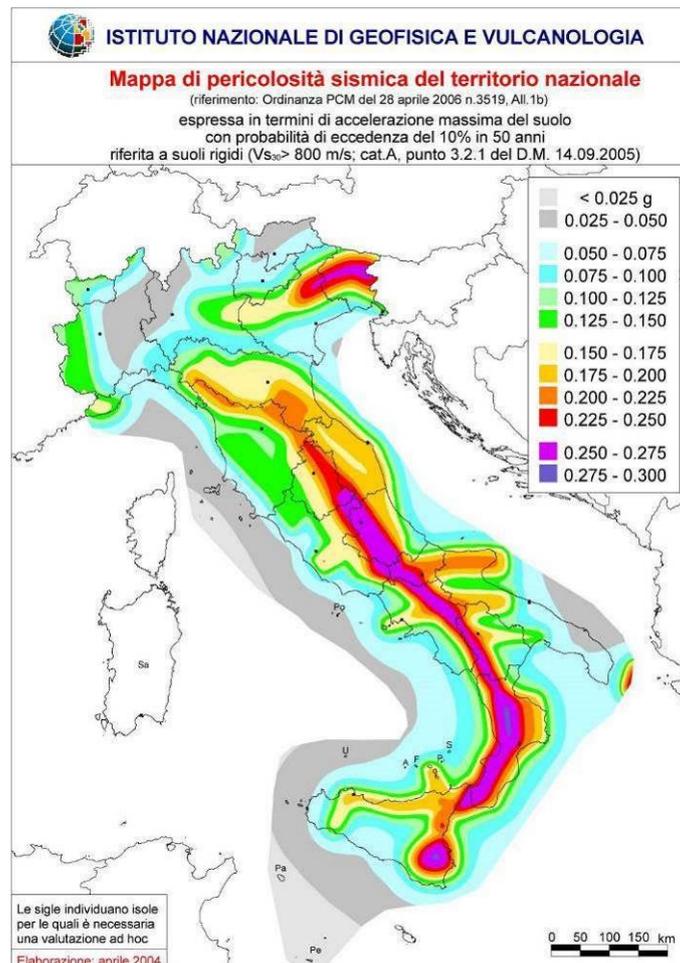
### 4.1 RIFERIMENTI NORMATIVI CLASSIFICAZIONE SISMICA

#### 4.1.1 OPCM 28 aprile 2006

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28/04/06 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'11/05/06 Serie Generale Anno 147° – n. 108 (*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*) adotta come riferimento ufficiale una nuova mappa di pericolosità sismica e definisce i criteri generali per la classificazione delle zone sismiche. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

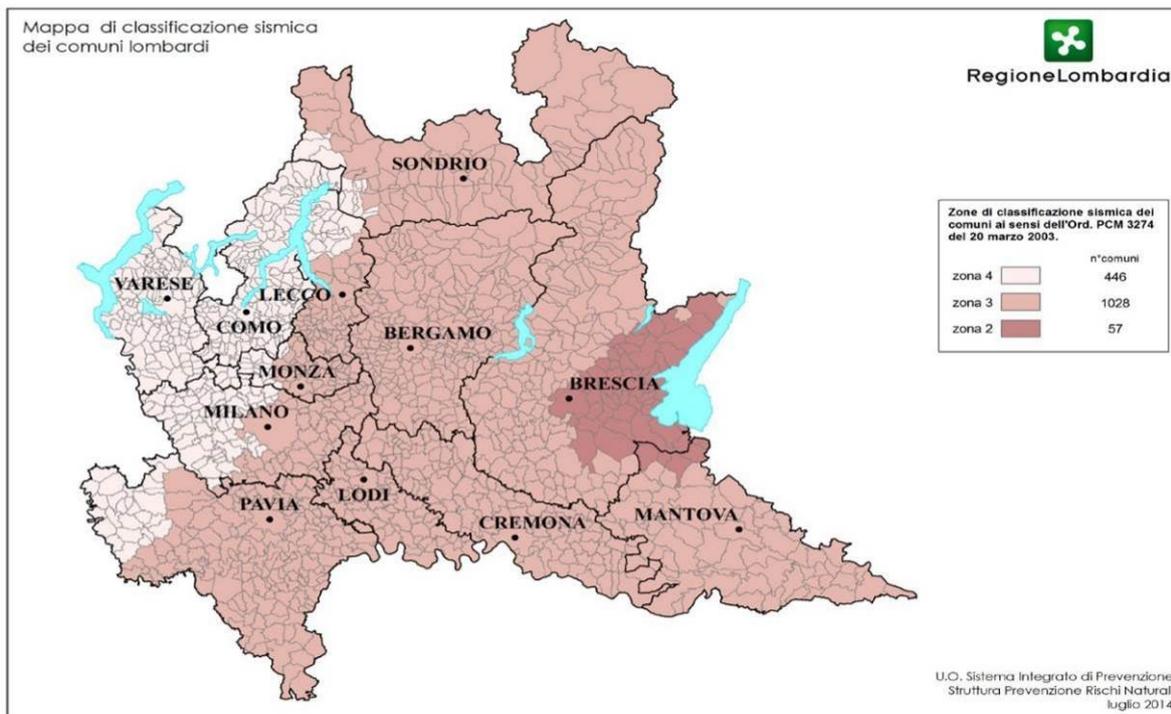
- ❖ Allegato 1A – *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*
- ❖ Allegato 1B – *Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.*

La mappa, riportata nell'Allegato 1B (vedasi figura di seguito riportata), rappresenta graficamente la pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s).



#### 4.1.2 Normativa regionale D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129

La Regione Lombardia con D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 *Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia* (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) e pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione in data 16 luglio 2014 ha provveduto alla nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia così come previsto dall'ordinanza **O.P.C.M. 3519/06** "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".



Secondo la classificazione vigente il comune di Paderno Dugnano si trova in **zona 4** caratterizzata da una  $A_g$  pari a 0,049194.

## 4.2 RIFERIMENTI NORMATIVI PROGETTAZIONE

### 4.2.1 D.M. 17 Gennaio 2018

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S$  e  $(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento  $V_R$ , come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*_C$  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*c$ , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A (pericolosità sismica) e B (tabella dei parametri che definiscono l'azione sismica) al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

Secondo l'allegato A l'azione sismica sulle costruzioni viene valutata a partire da una pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido (categoria di sottosuolo A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1).

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta con sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; i risultati dello studio di pericolosità devono essere forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata in funzione delle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo e morfologiche della superficie; tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

### Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

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

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

### Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

### D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003

La Regione Lombardia con D.G.R. n. 14964 del 7/11/03 prende atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata ordinanza 3274/03 ed impone l'obbligo della progettazione antisismica per i comuni che ricadono in zona 2, zona 3 ed in zona 4 esclusivamente per gli edifici strategici e rilevanti, così come individuati dal D.D.U.O. n. 19904 del 21/11/03.

### D.G.R. n IX/2616 del 30 novembre 2011

Per l'analisi della pericolosità sismica dell'area in esame si è fatto riferimento all'Allegato 5 (Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio)

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Tale allegato illustra la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale che prevede tre livelli di approfondimento, di seguito sintetizzati:

1° livello, riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale – PSL).

2° livello, caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima di risposta sismica nei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa)

3° livello, definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini e analisi più approfondite.

*Il primo livello è obbligatorio per tutti i comuni.*

*riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale – PSL).*

*Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti*

*Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti (a scala 1:10.000 e 1:2.000) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.). Perciò, salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito degli studi di 1° livello non sono necessarie nuove indagini geotecniche.*

*Lo studio consiste nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1:10.000 – 1:2.000 rappresentata dalla:*

- *carta geologica con le relative sezioni, in cui viene rappresentato il modello geologico e tettonico dell'area, le formazioni, le discontinuità e i lineamenti tettonici in essa presenti;*
- *carta geomorfologica, in cui vengono distinte le varie forme e i processi (dinamica dei versanti, dinamica fluviale, etc.) in atto, quiescenti o relitti presenti nell'area in esame;*

- carta della pericolosità sismica locale (PSL), derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle situazioni tipo Z1, Z2, Z4 e gli elementi lineari delle situazioni tipo Z3, Z5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (Tabella 1). In particolare per lo scenario Z3a si evidenzierà il ciglio della scarpata, per lo scenario Z3b la linea di cresta sommitale e per lo scenario Z5 il limite di contatto tra i litotipi individuati. Gli scenari Z1 e Z2 nell'analisi di 1° livello sono evidenziati sulla base del fenomeno prioritario che li caratterizza, quali fenomeni di instabilità e liquefazione e/o cedimenti: si sottolinea che le prescrizioni da assegnare a questi scenari in fase di pianificazione riguardano, oltre al fenomeno prioritario, anche i fenomeni di possibile amplificazione sismica che dovranno essere valutati in fase di progettazione sulla base degli interventi adottati per risolvere le problematiche prioritarie.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

TABELLA 1 – SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

In riferimento alle diverse situazioni tipo, riportate nella suddetta tabella, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale – PSL) si effettua l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e conseguentemente dei successivi livelli di approfondimento necessari.

All'interno delle aree classificate come scenario Z1 o Z2 non è necessario realizzare l'analisi di 2° livello ma si passa immediatamente all'analisi di 3° livello.

All'interno delle aree classificate come scenario Z3 o Z4, si potrà realizzare (nei casi sotto riportati) l'analisi di 2° livello e, conseguentemente ai suoi risultati, si potrà realizzare (dove necessario) l'analisi di 3° livello in fase progettuale.

Lungo le aree classificate come scenario Z5 non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzione a cavallo dei due litotipi; in fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.

Il secondo livello è obbligatorio in fase pianificatoria:

consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa).

L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;

- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

*Il secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1° livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.*

*Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato, negli scenari PSL Z3 e Z4, nel caso di costruzione di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.*

*Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2 della Tabella 1 dell'Allegato 5) non è prevista l'applicazione degli studi di 2° livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3° livello, come specificato al punto successivo.*

*Non è necessaria la valutazione quantitativa al 3° livello di approfondimento dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo. Nell'impossibilità di ottenere tale condizione, si dovranno prevedere opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.*

*Il terzo livello è obbligatorio in fase progettuale:*

*Consiste nella definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Al fine di poter effettuare le analisi di 3° livello la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati, rese disponibili sul Geoportale della Regione Lombardia, il cui utilizzo è dettagliato nell'allegato 5.*

*Tale livello si applica in fase progettuale nei seguenti casi:*

- *quando, a seguito dell'applicazione del 2° livello, si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale all'interno degli scenari PSL caratterizzati da effetti di amplificazioni morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5);*
- *in presenza di aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1e Z2), nelle zone sismiche 2 e 3 per tutte le tipologie di edifici, mentre in zona sismica 4 nel caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.*

## 5 INDAGINE SISMICA

### 5.1 Prova MASW

L'indagine sismica è stata realizzata per determinare le proprietà fisiche del sottosuolo e le caratteristiche dinamiche del litotipo da indagare, attraverso la determinazione di un modello di distribuzione di velocità di propagazione delle onde Sh nel sottosuolo. Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh (onde Sh), che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase. Nel metodo di indagine MASW le onde superficiali generate in un punto della superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Attraverso questo metodo si ottiene un grafico (curva di dispersione) che descrive l'andamento delle velocità di fase in funzione delle frequenze nel range compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi si ottengono informazioni sulla parte superficiale del suolo, sui primi 30-50 m di profondità, in funzione della rigidità del suolo.

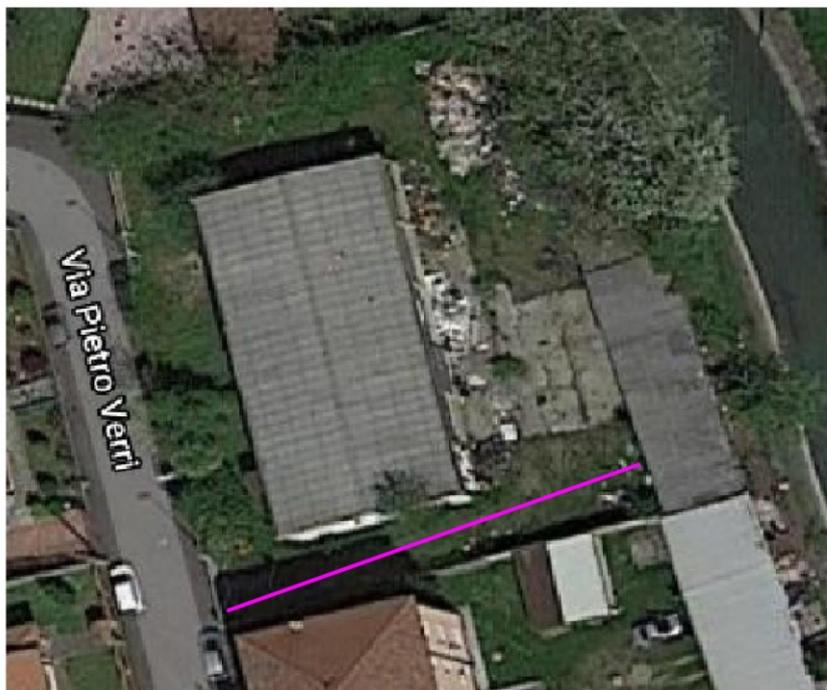
Il metodo MASW consiste in tre fasi:

1. calcolo della curva di dispersione apparente sperimentale
2. calcolo della curva di dispersione apparente numerica
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs.

Mediante l'analisi delle onde di Rayleigh viene determinato il parametro  $V_{s30}$ , che rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S nei primi 30 m di profondità.

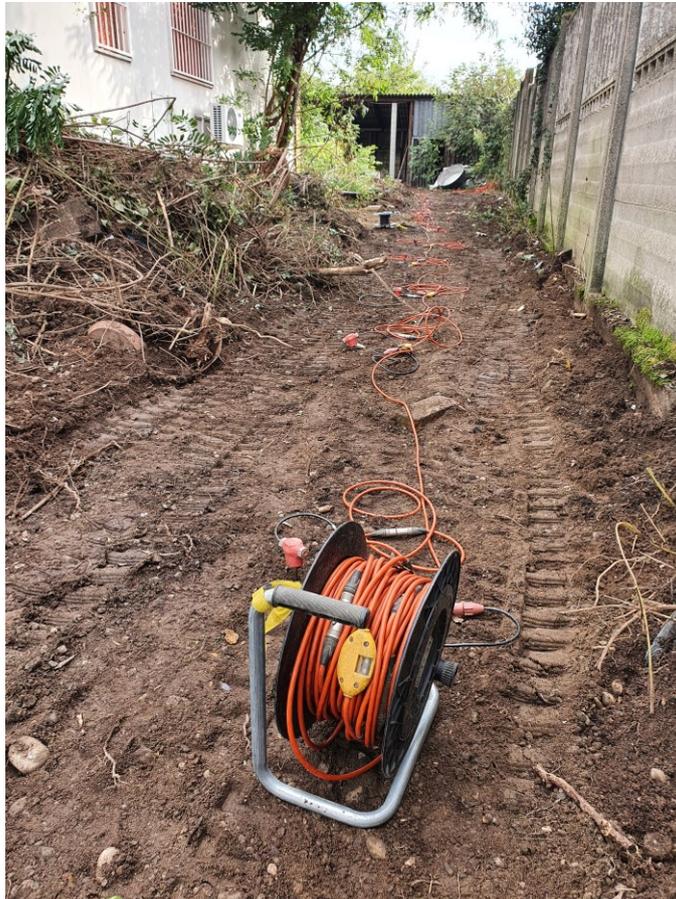
### 5.2 Indagine in sito

L'analisi delle onde superficiali nell'area di studio è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 18 geofoni con spaziatura pari a 2.0 m.



Ubicazione stendimento sismico

Sono stati utilizzati 18 geofoni da 4.5 Hz e un sismografo a 24 bit (EEG BR24) in modo da ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, mentre come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza di 6 kg battente su un piattello metallico. La sorgente è stata posta ad una distanza di 6 m dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an MASW Survey”, Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).



### 5.3 Elaborazione dei dati

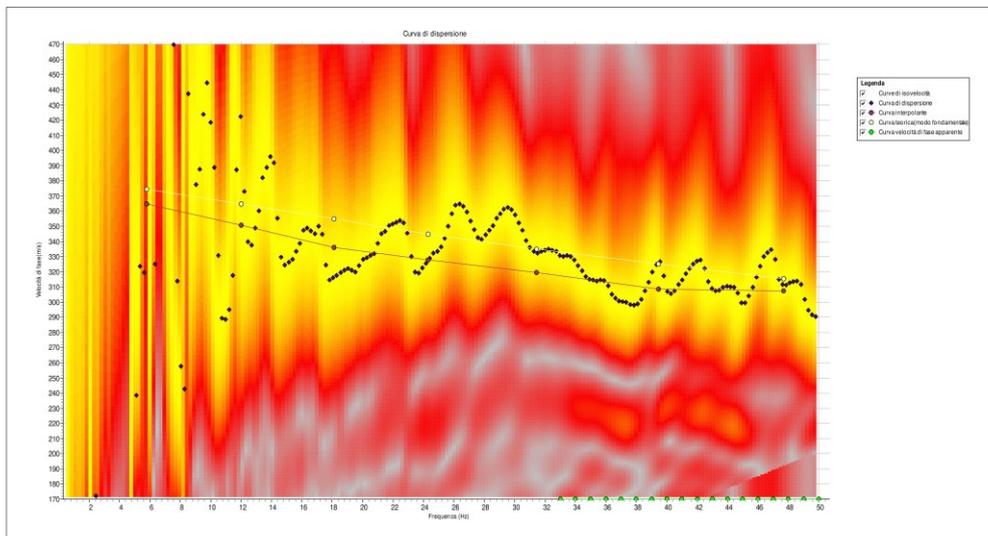
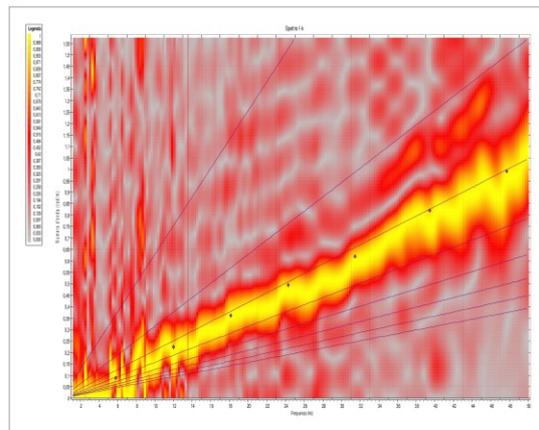
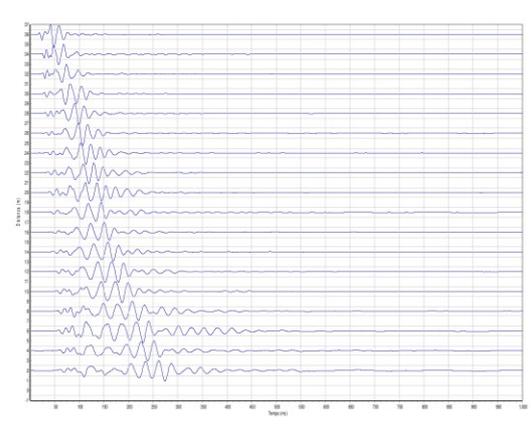
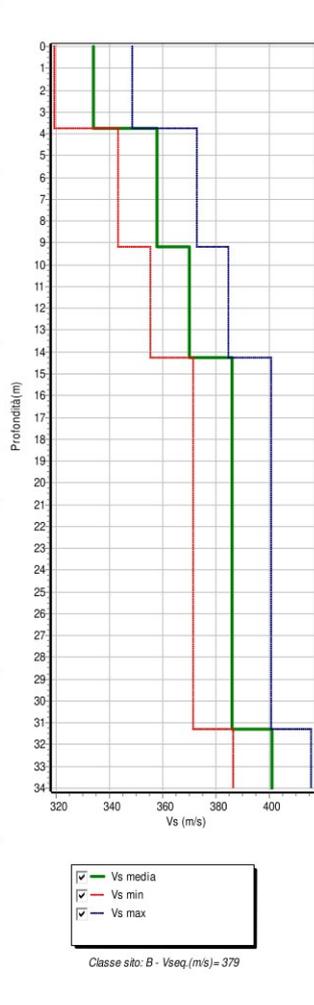
La procedura di elaborazione adottata per la classificazione dei profili del suolo di fondazione ha utilizzato la tecnica sopra descritta utilizzando un software specifico. La prima fase consiste nell'elaborazione di tutte le registrazioni acquisite tramite l'analisi spettrale dei singoli sismogrammi allo scopo di ottenere lo spettro del segnale di velocità sismica in funzione della frequenza. Successivamente si seleziona lo spettro dal quale viene estrapolata la curva di attenuazione del segnale (curva di dispersione) dalla quale tramite una procedura di inversione si risale al modello stratigrafico in termini di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) da cui il valore relativo ai primi 30 m di sottosuolo ( $V_{s,eq}$ ). Per l'elaborazione del profilo sismico vedasi anche grafici allegati.

Il valore del parametro  $V_{s,30}$ , necessario ai fini della caratterizzazione sismica del sito, è quindi risultato:

$$V_{s,eq} = 379 \text{ m/s}$$

Il valore di  $V_{s,eq}$  così ricavato consente di classificare l'area in esame nella **categoria di sottosuolo B**, mentre la morfologia sub-pianeggiante, facendo riferimento alla tabella riportata nei paragrafi precedenti, l'inserisce nella **categoria topografica T1**.

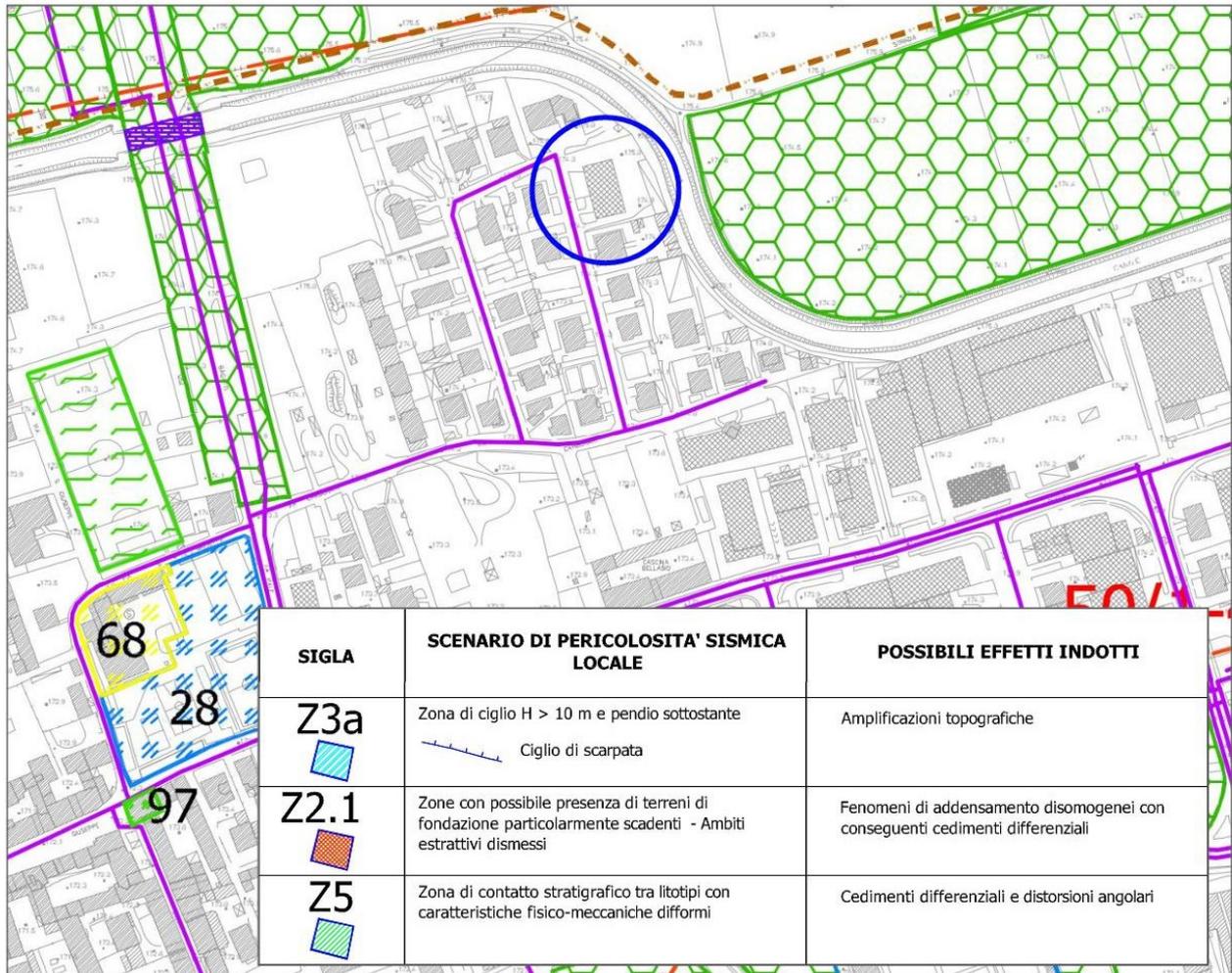
N.	H(m)	Vs(m/s)
1	3,74	334,0
2	9,18	358,0
3	14,28	370,0
4	31,28	386,0
5	34,0	401,0



Elaborazione profilo sismico Masw

## 6 ANALISI RISCHIO SISMICO

### 6.1 Analisi di I livello



Carta della Pericolosità Sismica Locale allegata al PGT vigente

Secondo la Carta di PSL allegata al PGT vigente del comune di Paderno Dugnano, nell'area in esame non è presente alcun scenario di pericolosità sismica locale.

L'area in esame ricade in zona sismica 4 pertanto non è obbligatorio realizzare l'analisi di secondo livello.

## 7 INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica di campagna è stata condotta mediante l'esecuzione di 5 prove penetrometriche dinamiche continue S.C.P.T. la cui ubicazione, in parte ostacolata dalla presenza dell'edificio da demolire, è di seguito riportata.



L'indagine è stata eseguita con penetrometro superpesante tipo Meardi AGI avente le seguenti caratteristiche:

peso del maglio	73	kg
altezza di caduta	75	cm
angolo al vertice della punta conica	60	°
diametro del cono	50.8	mm
peso delle aste	4.6	kg/ml



*Penetrometro utilizzato*

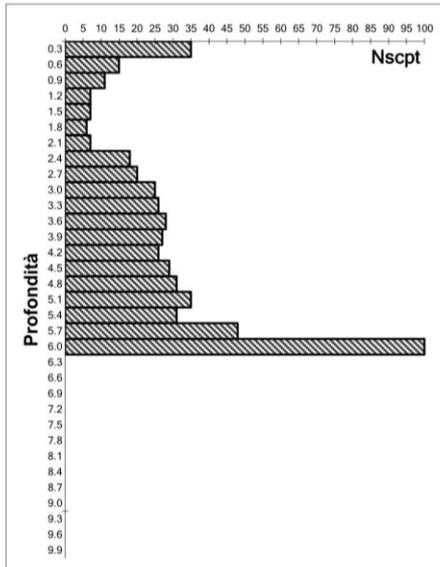
Il terreno è stato indagato a partire dalla quota del piano campagna esistente fino alla profondità di 4.2/6.3 m da p.c., per la presenza di orizzonti particolarmente resistenti alla penetrazione dinamica.

Nel corso delle prove non è stata rilevata presenza di acqua di falda a conferma dei dati idrogeologici in nostro possesso.

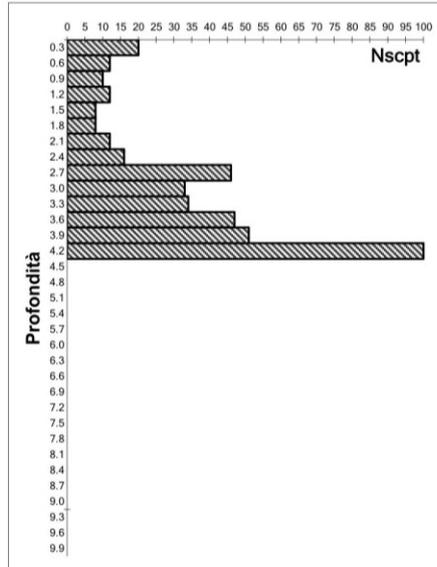
Di seguito si riporta il tabulato e il grafico della prova eseguita.

Profondità (m)	S.C.P.T. 1	S.C.P.T. 2	S.C.P.T. 3	S.C.P.T. 4	S.C.P.T. 5	Profondità (m)
0.3	35	20	31	16	28	0.3
0.6	15	12	11	10	12	0.6
0.9	11	10	10	8	9	0.9
1.2	7	12	6	8	8	1.2
1.5	7	8	5	8	8	1.5
1.8	6	8	8	9	10	1.8
2.1	7	12	20	14	18	2.1
2.4	18	16	23	20	21	2.4
2.7	20	46	19	30	28	2.7
3.0	25	33	14	26	33	3.0
3.3	26	34	23	16	29	3.3
3.6	28	47	41	22	41	3.6
3.9	27	51	50	31	100	3.9
4.2	26	100	100	33		4.2
4.5	29			29		4.5
4.8	31			28		4.8
5.1	35			31		5.1
5.4	31			33		5.4
5.7	48			27		5.7
6.0	100			44		6.0
6.3				100		6.3
6.6						6.6
6.9						6.9
7.2						7.2
7.5						7.5

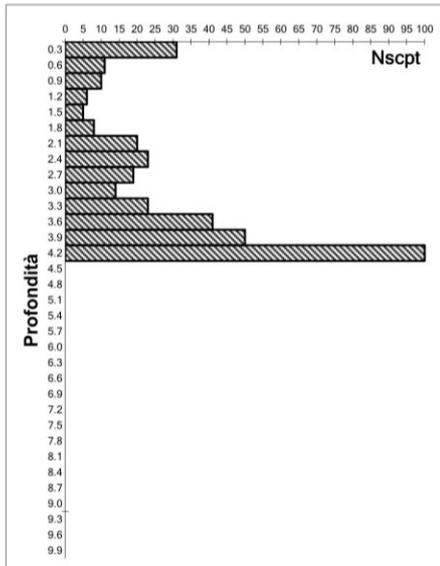
S.C.P.T. 1



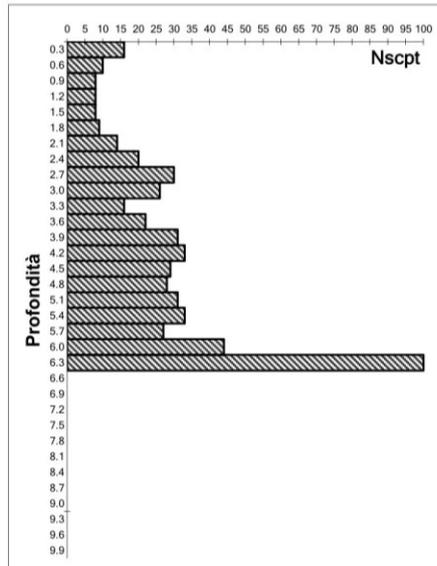
S.C.P.T. 2



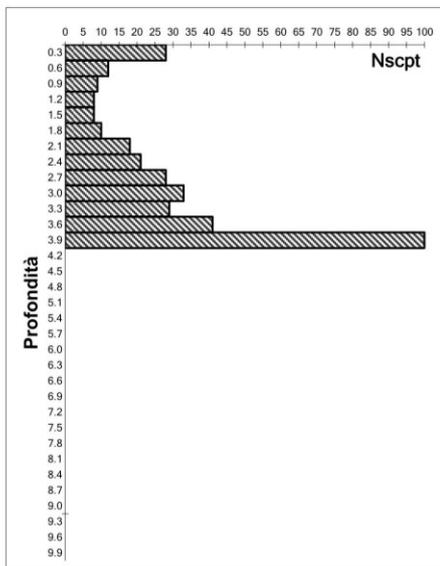
S.C.P.T. 3



S.C.P.T. 4



S.C.P.T. 5



## 8 PARAMETRI GEOTECNICI

Sulla base del grado di addensamento rilevato nel corso delle indagini, possono essere riconosciute le seguenti litozone:

- LITOZONA A: grado di addensamento medio-basso con caratteristiche geotecniche da scarse a quasi discrete ( $N_{spt} < 10$ )
- LITOZONA B: grado di addensamento medio-alto con caratteristiche geotecniche da discrete a buone ( $N_{spt} > 10$ )

La seguente tabella indica la successione delle litozone precedentemente individuate nelle prove eseguite, le profondità indicate si riferiscono alla quota di piano campagna.

SCPT 1 – 5

Litozona	Profondità (m)	$N_{SCPT}$	$N_{SPT}$	$\gamma$ ( $T/m^3$ )	$\Phi$ ( $^\circ$ )	E ( $Kg/cm^2$ )	$K's$ ( $kN/m^3$ )
B	0.0 – 0.6/0.9	12 – 16	21 – 28	1.85 – 1.90	33 – 35	345 – 400	$41.5 – 53.5 \times 10^3$
A	0.6/0.9 – 1.8/2.1	7 – 9	12 – 15	1.75 – 1.80	30 – 31	225 – 300	$19.5 – 27.0 \times 10^3$
B	1.8/2.1 – 4.2/6.3	> 20	> 33	> 1.90	> 36	> 445	$> 71.5 \times 10^3$

dove:

- $N_{SPT}$  = numero di colpi SPT  
 $\gamma$  = peso di volume del terreno ( $T/m^3$ )  
 $\Phi$  = angolo di attrito del terreno ( $^\circ$ )  
E = modulo di deformazione (o di Young) in  $kg/cm^2$   
 $K's$  = stima del modulo di reazione del sottofondo (o di Winkler) in  $kN/m^3$

Le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di sedimenti caratterizzati da un grado di addensamento generalmente basso fino alla profondità di 1.8/2.1 m da p.c.. Inferiormente si osserva un miglioramento delle caratteristiche geotecniche con presenza di sedimenti prevalentemente ghiaioso-sabbiosi ben addensati fino alle massime profondità investigate. I dati ottenuti sono confermati da una serie di indagini geognostiche, compresi anche sondaggi a carotaggio continuo, eseguite dagli scriventi in aree limitrofe a quella in esame che evidenziano la presenza di sedimenti prevalentemente ghiaiosi fino ad almeno 12-15 m di profondità.

Durante l'esecuzione dell'indagine non è stata riscontrata presenza di acqua di falda, a conferma dei dati idrogeologici in nostro possesso.

## 9 CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE E DEI CEDIMENTI PREVEDIBILI

Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale di progetto, di cui al § 2.4. Si definisce stato limite una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze elencate nelle presenti norme.

In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone oppure comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- sicurezza antincendio: capacità di garantire le prestazioni strutturali previste in caso d'incendio, per un periodo richiesto;
- durabilità: capacità della costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione;
- robustezza: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità di possibili cause innescanti eccezionali quali esplosioni e urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile.

Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.

Le opere strutturali devono essere verificate, salvo diversa indicazione riportata nelle specifiche parti delle presenti norme:

- a) per gli stati limite ultimi che possono presentarsi;
- b) per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese;
- c) quando necessario, nei confronti degli effetti derivanti dalle azioni termiche connesse con lo sviluppo di un incendio.

Le verifiche delle opere strutturali devono essere contenute nei documenti di progetto, con riferimento alle prescritte caratteristiche meccaniche dei materiali e alla caratterizzazione geotecnica del terreno, dedotta – ove specificato dalle presenti norme – in base a specifiche indagini. Laddove necessario, la struttura deve essere verificata nelle fasi intermedie, tenuto conto del processo costruttivo previsto; le verifiche per queste situazioni transitorie sono generalmente condotte nei confronti dei soli stati limite ultimi.

Per le opere per le quali nel corso dei lavori si manifestino situazioni significativamente difformi da quelle di progetto occorre effettuare le relative necessarie verifiche.

### 9.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)

Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1, deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d \quad [6.2.1]$$

essendo  $E_d$  il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2°] o [6.2.2b]

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.2a]$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.2b]$$

e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico definito dalla relazione [6.2.3].

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.3]$$

Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2°] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F F_k$ , dei parametri geotecnici di progetto  $X_k/\gamma_M$  e dei parametri geometrici di progetto  $a_d$ . Il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema. L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato direttamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con  $\gamma_E = \gamma_F$ .

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1, la verifica della condizione [6.2.1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

Per le verifiche nei confronti di stati limite ultimi non espressamente trattati nei successivi paragrafi, da 6.3 a 6.11, si utilizza l'Approccio 1 con le due combinazioni (A1+M1+R1) e (A2+M2+R2). I fattori parziali per il gruppo R1 sono sempre unitari; quelli del gruppo R2 possono essere maggiori o uguali all'unità e, in assenza di indicazioni specifiche per lo stato limite ultimo considerato, devono essere scelti dal progettista in relazione alle incertezze connesse con i procedimenti adottati.

La verifica di stabilità globale in questo caso viene effettuata secondo l'Approccio 2 e sarà quindi effettuata solamente nei confronti dello SLU di tipo geotecnico (GEO) e tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabella 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici, accertando che la condizione  $E_d \leq R_d$  sia soddisfatta.

**Approccio 2: A1+M1+R3**

dove:

**A** rappresenta le azioni

**M** rappresenta la resistenza dei materiali (terreno)

**R** rappresenta la resistenza globale del terreno.

Azioni (A)

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I. Ad essi deve essere fatto riferimento con le precisazioni riportate nel § 2.6.1. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

Nella valutazione della combinazione delle azioni i coefficienti di combinazione  $\psi_{ij}$  devono essere assunti come specificato nel Capitolo 2.

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

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (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	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> 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  $\gamma_{G1}$ .

**Resistenze (M)**

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- a) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- b) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- c) sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

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	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Valori caratteristici dei parametri geotecnici

La scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici avviene in due fasi. La prima fase comporta l'identificazione dei parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali. Identificati i parametri geotecnici appropriati, la seconda fase del processo decisionale riguarda la valutazione dei valori caratteristici degli stessi parametri.

Nella progettazione geotecnica, in coerenza con gli Eurocodici, la scelta dei valori caratteristici dei parametri deriva da una stima cautelativa del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato.

Nel caso in esame i valori caratteristici vengono ricavati, utilizzando la seguente formula:

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

dove:

$x_k$  è il valore caratteristico desiderato

$\bar{x}$  (**con barra**), il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;

$t$  è il valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità  $u = 95\%$

$s$  è la deviazione standard del campione

$n$  è il numero di dati

Tipo di fondazione	Quota imposta fondazioni da p.c. (m)	Larghezza fondazione (m)	$\phi_m$ (°)	$\phi_k$ (°)	$\gamma_m$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_k$ (T/m <sup>3</sup> )
Trave rovescia	3.6	1.60	35	34.5	1.90	1.85

dove

$\phi_m$  e  $\gamma_m$  rappresentano i valori medi

$\phi_k$  e  $\gamma_k$  i valori caratteristici.

Valori di progetto dei parametri geotecnici

Nel calcolo della capacità portante saranno utilizzati i parametri geotecnici di progetto ottenuti dividendo i valori caratteristici per i coefficienti parziali riportati nella colonna M1 (vedasi Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni).

Tipo di fondazione	Quota imposta fondazioni da p.c. (m)	Larghezza fondazione (m)	$\phi_d$ (°)	$\phi_k$ (°)	$\gamma_d$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_k$ (T/m <sup>3</sup> )
Trave rovescia	3.50	1.60	34.5	34.5	1.85	1.85

dove  $\phi_d$  e  $\gamma_d$  rappresentano i valori di progetto.

### Calcolo della capacità portante

Per il calcolo della capacità portante è stata utilizzata la formula di Meyerhof che, nel caso di carico verticale su un terreno prevalentemente incoerente con angolo di attrito  $\phi > 10^\circ$ , presenta la seguente espressione:

$$q_{ult} = q N_q S_q d_q + c N_c S_c d_c + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

dove:

$S_c S_q S_\gamma$  sono fattori di forma

$d_c d_q d_\gamma$  sono fattori di profondità

$N_c N_q N_\gamma$  sono fattori di portata

Nel caso in esame il valore della coesione  $c$  è uguale a zero, in quanto si tratta di un terreno a comportamento prevalentemente frizionale, per cui l'espressione della capacità portante si riduce a:

Introducendo i valori dei parametri geotecnici di progetto nella formula di Meyerhof e tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nella tabella di seguito riportata

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

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

si ottiene un valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico ( $R_d$ ) pari a:

Tipo di fondazione	Quota imposta fondazioni da p.c. (m)	Larghezza fondazione (m)	$R_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Trave rovescia	3.6	1.60	3.80

Nel prossimo paragrafo si procederà alla verifica delle pressioni di contatto agenti sui terreni di fondazione in termini di cedimenti ammissibili. Tale trattazione viene sviluppata in relazione alla geometria della fondazione e alle caratteristiche geotecniche del terreno in esame, al fine di ottenere il valore di pressione che le nuove opere potranno esercitare sul terreno fondale senza determinare cedimenti superiori ai valori ammissibili per l'opera stessa.

Tale trattazione consentirà di ricavare il valore di pressione allo stato limite d'esercizio.

### **9.2 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)**

Per effetto delle azioni trasmesse in fondazione, i terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa. Le componenti verticali degli spostamenti (cedimenti) assumono in genere valori diversi sul piano di posa di un manufatto. Si definisce cedimento differenziale la differenza dei cedimenti tra punti di una stessa fondazione, di fondazioni distinte con sovrastrutture comuni e di fondazioni distinte con sovrastrutture staticamente indipendenti. In base alla evoluzione nel tempo si distinguono i cedimenti immediati e i cedimenti differiti. Questi ultimi sono caratteristici dei terreni a grana fine, poco permeabili, e dei terreni organici. I cedimenti e gli spostamenti delle fondazioni e del terreno circostante possono essere valutati con metodi empirici o analitici. Nel caso di terreni a grana media o grossa, i parametri anzidetti possono essere valutati sulla base dei risultati di indagini geotecniche in sito.

Le verifiche relative alle deformazioni (cedimenti) e agli spostamenti si effettuano adoperando i valori caratteristici dei parametri. Pertanto, si assegnano valori unitari ai coefficienti delle azioni (A) e dei parametri di resistenza (M).

La combinazione delle azioni (SLE, Stato Limite d'Esercizio) da considerare è la Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$N_d = G_1 + G_2 + P + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \Psi_{23}Q_{k3} + \dots$$

dove:

**Gi-esimo** = azioni permanenti

**P** = precompressione

**Q** = azioni variabili

**Ψ** = coefficienti di combinazione che dipendono dalla natura dell'azione e della categoria dell'edificio.

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. 14/01/008.

In questa fase si è proceduto alla determinazione della pressione massima esercitabile dalle opere di fondazione in progetto sui terreni affinché i cedimenti totali (a 50 anni dalla costruzione) risultino inferiori a 30 mm, (valore di riferimento per strutture in c.a. come quelle in progetto) e affinché i cedimenti differenziali risultino inferiori a 10 mm.

#### Calcolo dei cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti dei terreni di fondazione si è fatto riferimento alla relazione di Burland e Burbidge.

$$S = f_s f_h f_t [ \sigma_{vo} B^{0.7} I_c/3 + (q' - \sigma_{vo}) B^{0.7} I_c ]$$

dove:

**f<sub>s</sub> f<sub>h</sub> f<sub>t</sub>** sono fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e della componente viscosa dei cedimenti.

**B** è la larghezza delle fondazioni

**I<sub>c</sub>** è l'indice di compressibilità (tiene conto dei valori NSPT ricavati nel corso delle prove)

**q'** è la pressione efficace lorda (kPa)

**σ<sub>vo</sub>** è la tensione verticale efficace agente alla quota d'imposta delle fondazioni (kPa)

Utilizzando il valore della pressione limite ricavato con il fattore di sicurezza **γ<sub>R</sub> = 2.3** previsto dalla normativa, per le fondazioni ipotizzate si otterrebbero cedimenti immediati e totali elevati e non compatibili con le strutture in progetto.

Si consiglia pertanto di adottare un valore di pressione di esercizio **P<sub>E</sub>** non superiore a **2.20 kg/cm<sup>2</sup>** ottengono cedimenti immediati (tra 10 e 13 mm) e totali (inferiori a 25 mm) compatibili con le strutture in progetto.

## 10 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Secondo il D.M. 17/01/2018 (articolo 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione") è possibile non effettuare la verifica alla liquefazione quando si manifesta almeno una delle seguenti condizioni:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  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  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. 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  $U_c > 3,5$ .

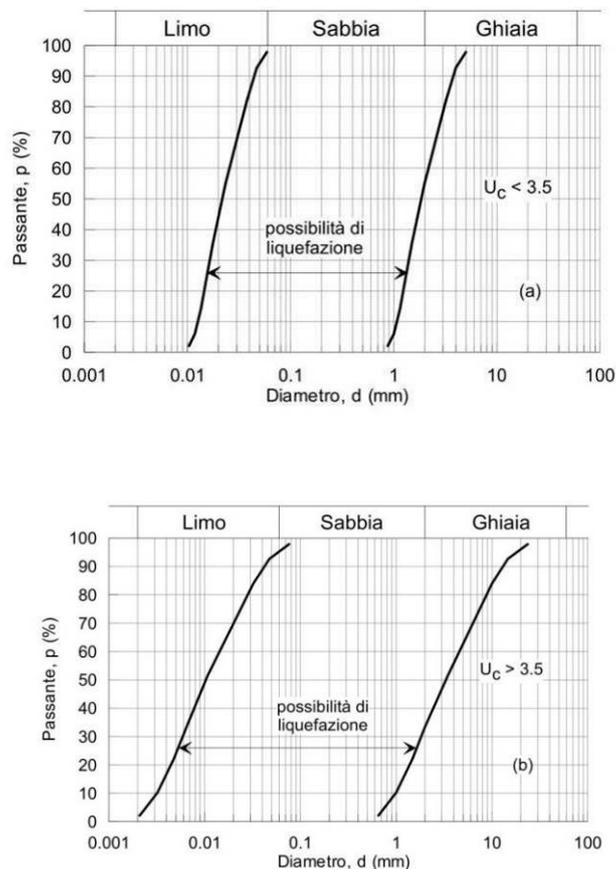


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nell'area in esame la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m rispetto al piano campagna; il manifestarsi di tale condizione esclude, per l'area oggetto di studio, la verifica alla liquefazione.

## 11 CONCLUSIONI

L'area in esame sita in via Verri nel comune di Paderno Dugnano (MI) è caratterizzata dalla presenza, in affioramento, di sedimenti appartenenti al DILUVIUM RECENTE (fluvioglaciale Würm): si tratta di depositi alluvionali derivanti dagli scaricatori glaciali, connessi con l'ultima fase glaciale quaternaria, quindi con clasti poligenici, arrotondati, eteromorfi.

Nell'area oggetto di studio è prevista la demolizione del capannone esistente e la successiva realizzazione di due nuovi edifici residenziali a pianta rettangolare dati da tre piani fuoriterra e un unico piano interrato. Si riporta in allegato la planimetria degli edifici in progetto che avranno piano interrato comune e per i quali si prevede l'utilizzo di fondazioni dirette continue impostate alla profondità di almeno 3.60 m dal piano campagna esistente.

Nel mese di settembre 2020 è stata condotta un'analisi dell'area con esecuzione di 5 prove penetrometriche di tipo dinamico (S.C.P.T.) e di un'indagine sismica MASW.

Dal punto di vista geotecnico le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di sedimenti caratterizzati da un grado di addensamento generalmente basso fino alla profondità di 1.8/2.1 m da p.c.. Inferiormente si osserva un miglioramento delle caratteristiche geotecniche.

I calcoli hanno dimostrato che sarà possibile utilizzare fondazioni dirette continue del tipo a trave rovescia impostate ad una profondità di almeno 3.60 m da p.c. utilizzando il valore di pressione di esercizio riportato nel capitolo 9.

Il profilo sismico di tipo MASW effettuato nell'area in esame ha permesso di stimare una  $V_{s30}$  pari a 379 m/s, il sottosuolo dell'area ricade pertanto all'interno della categoria B. Sulla base delle caratteristiche topografiche del territorio, l'area rientra mediamente nella categoria **T1** (*Superficie pianeggiante, con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ).

Secondo i dati reperiti presso il SIF (Sistema Informativo Falda) della Provincia di Milano la soggiacenza media della falda nell'area indagata si attesta a una profondità comprese tra 20 e 30 m dal p.c.

**Il tecnico incaricato**  
Dott. Geol. Riccardo Cortiana



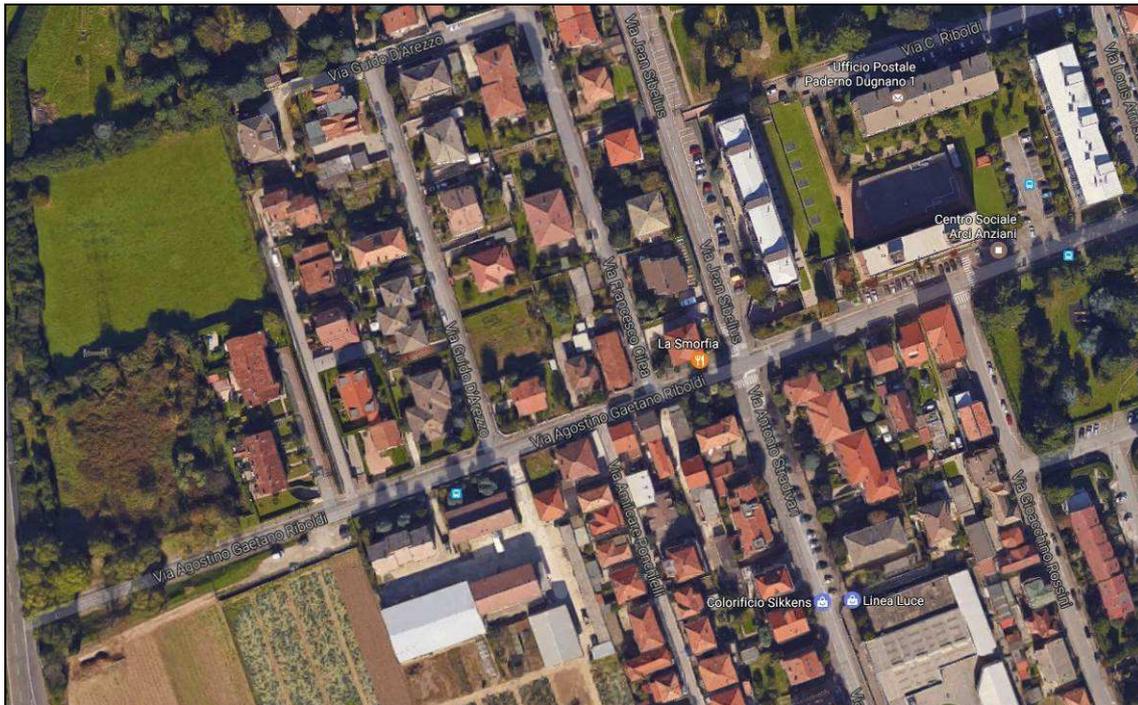


Via Liguria 1 – 20900 Monza  
Telefono e fax 039 837656  
[geotecnoindagini@pec.it](mailto:geotecnoindagini@pec.it)

**Dott. Geol. Riccardo Cortiana**  
[r.cortiana@geotecnoindagini.it](mailto:r.cortiana@geotecnoindagini.it)

**Dott. Geol. Filippo Valentini**  
[f.valentini@geotecnoindagini.it](mailto:f.valentini@geotecnoindagini.it)

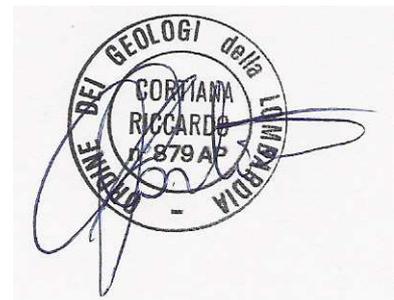
## **POLO SERVICE SRL**



### **RELAZIONE GEOLOGICA–GEOTECNICA PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO EDIFICIO RESIDENZIALE IN VIA GUIDO D'AREZZO NEL COMUNE DI PADERNO DUGNANO (MI)**

Monza, febbraio 2017

A cura di: Dott. Geol. R. Cortiana  
Dott. Geol. F. Valentini



## INDICE

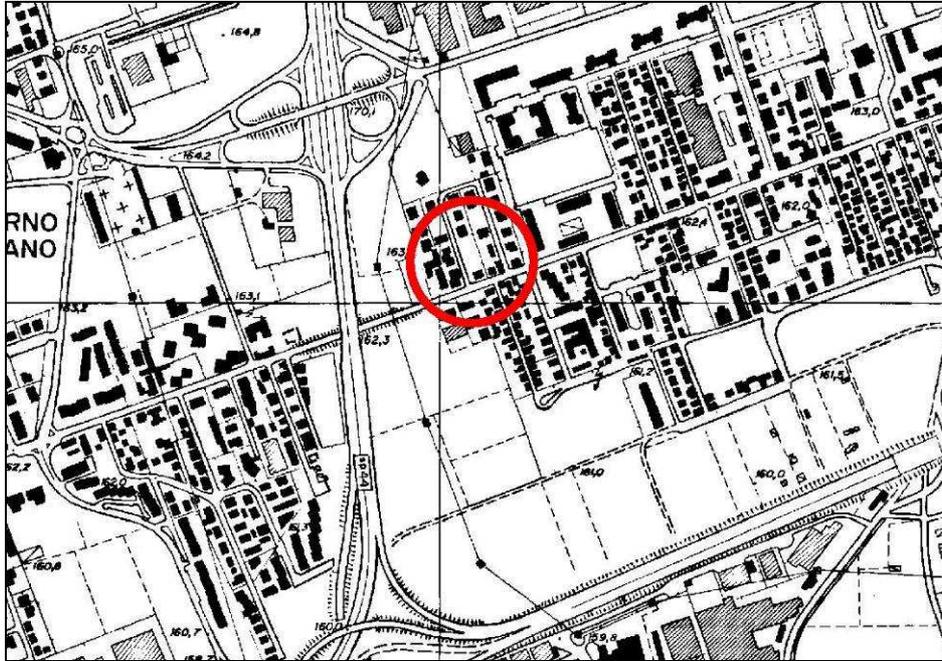
<b>1</b>	<b>PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>CLASSIFICAZIONE SISMICA.....</b>	<b>9</b>
4.1	Classificazione nazionale .....	9
4.2	Classificazione regionale.....	11
4.3	Progettazione antisismica .....	12
<b>5</b>	<b>INDAGINE SISMICA .....</b>	<b>17</b>
5.1	Prova MASW .....	17
5.2	Indagine in sito .....	17
5.3	Elaborazione dei dati.....	18
<b>6</b>	<b>ANALISI RISCHIO SISMICO.....</b>	<b>19</b>
5.1	Analisi di I livello .....	19
<b>7</b>	<b>INDAGINE GEOGNOSTICA.....</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI.....</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI SOTTOFONDO E DEI CEDIMENTI PREVEDIBILI .....</b>	<b>22</b>
9.1	Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU).....	22
9.2	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE) .....	25
<b>10</b>	<b>VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>27</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>28</b>

## ALLEGATI

- UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE
- GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE
- PROVA SISMICA MASW

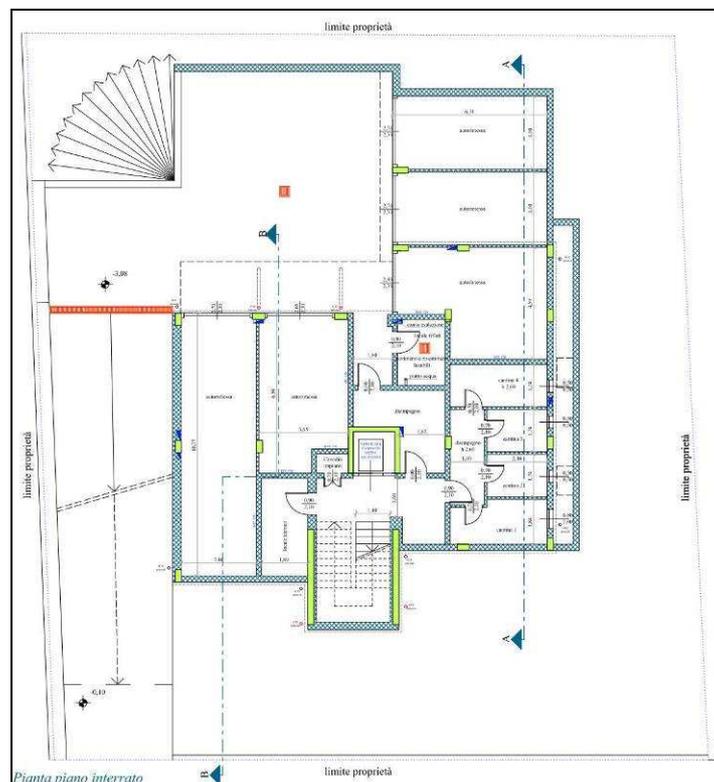
## 1 PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

La presente relazione, redatta su incarico della società Polo Service Srl con sede in Via Larga,8 a Milano (Cod. Fisc. 09200090158 e P.IVA 00947110961) illustra i risultati di una campagna di indagini geognostiche realizzata presso un'area situata in via Guido d'Arezzo nel comune di Paderno Dugnano (MI) in previsione della realizzazione di un nuovo intervento edilizio.



Corografia area di studio

Nell'area in esame è prevista la realizzazione di una nuova palazzina residenziale.



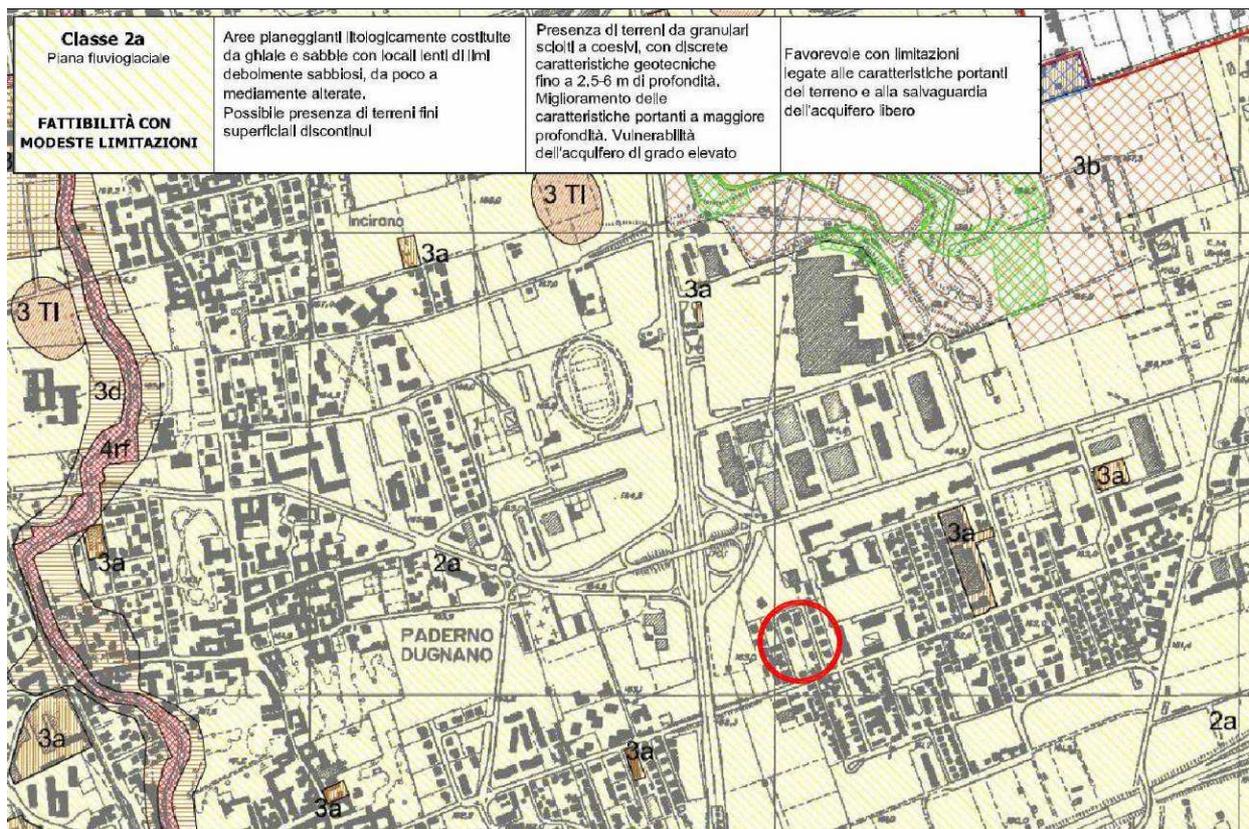
Planimetria intervento in progetto

La nuova struttura sarà data da un piano interrato e due piani fuori terra più sottotetto



Sezione intervento in progetto

Secondo la carta della fattibilità geologica, allegata alla componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T vigente del comune di Paderno Dugnano l'area in esame appartiene alla **classe di fattibilità 2** ovvero *fattibilità con modeste limitazioni*.



Estratto della carta di fattibilità allegata al PGT

**Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni.** Include tutte le aree che presentano deboli limitazioni alla variazione di destinazione d'uso che necessitano di approfondimenti di tipo geologico-tecnico; gli interventi permessi in queste aree necessitano di approfondimenti finalizzati alla realizzazione di opere di sistemazione o bonifica o al miglioramento delle esistenti. Gli approfondimenti dovranno inoltre escludere la possibilità che variazioni alla destinazione d'uso incidano negativamente sulle aree limitrofe.

In particolare, l'area ricade nella sottoclasse 2a la quale presenta le caratteristiche sotto riportate:

### **Classe 2a – Piana fluvioglaciale**

*Principali caratteristiche: aree pianeggianti, litologicamente costituite da ghiaie e sabbie, con locali lenti di limi debolmente sabbiosi, da poco a mediamente alterate. Possibile presenza di terreni fini superficiali discontinui.*

*Problematiche generali: presenza di terreni da granulari sciolti a coesivi, con discrete caratteristiche geotecniche fino a 2.5-6 m di profondità. Miglioramento delle caratteristiche portanti a maggiore profondità. Vulnerabilità dell'acquifero di grado elevato.*

*Parere sull'edificabilità: favorevole con modeste limitazioni legate alle caratteristiche portanti del terreno e alla salvaguardia dell'acquifero libero.*

*Tipo di intervento ammissibile: sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo, ristrutturazione (così come definiti dall'art. 27 della l.r. 11 marzo 2005 n. 12 "Legge per il governo del territorio"), nel rispetto delle normative vigenti.*

*Indagini di approfondimento preventive necessarie: si rende necessaria la verifica idrogeologica e litotecnica dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche per la determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie (IGT); in particolare dovrà essere valutata la stabilità dei versanti di*

*scavo (SV) nel caso di opere di tipo 3, 4, 5, 6 al fine di prevedere le opportune opere di protezione degli scavi durante i lavori di cantiere. Le indagini geognostiche dovranno essere commisurate al tipo di intervento da realizzare ed alle problematiche progettuali proprie di ciascuna opera (secondo quanto indicato nell'art. 2 delle Norme geologiche di Piano). La modifica di destinazione d'uso di aree esistenti inserite in zona "produttiva" necessita la verifica dello stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento Locale d'Igiene (ISS); qualora venga rilevato uno stato di contaminazione dei terreni,*

*dovranno avviarsi le procedure previste dal D.Lgs 152/06 "Norme in materia ambientale" (Piano di Caratterizzazione Ambientale/PCA con analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di Bonifica/POB).*

*Interventi da prevedere in fase progettuale: quale norma generale per ogni tipo di opera gli interventi da prevedere, già in fase progettuale, saranno rivolti alla regimazione idraulica e alla predisposizione di accorgimenti/sistemi per la regimazione e lo smaltimento delle acque meteoriche e di quelle di primo sottosuolo, con individuazione del recapito finale, nel rispetto della normativa vigente e sulla base delle condizioni idrogeologiche del sito (RE-CO). Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, dovranno essere previsti interventi di bonifica (BO) qualora venga accertato uno stato di contaminazione del suolo ai sensi del D.Lgs 152/06 e s.m.i..*

*Norme sismiche da adottare per la progettazione: la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", definendo la pericolosità sismica di base in accordo alle metodologie dell'allegato A del decreto. Nel caso di edifici strategici e rilevanti (di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) ricadenti in aree PSL, la definizione delle azioni sismiche di progetto dovrà avvenire a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello - metodologie di cui all'allegato 5 della d.g.r. n. IX/2616/2011.*

Scopo della presente relazione è verificare la fattibilità, per quanto attiene le problematiche geologico-tecniche ed idrogeologiche, del nuovo intervento in progetto: si tratta in sostanza di verificare, con maggiore puntualità rispetto alle indicazioni generali dettate dalla perizia geologica a supporto del P.G.T. vigente, ed in ottemperanza delle prescrizioni dettate dalla perizia stessa, la fattibilità dell'intervento in oggetto.

Nel mese di febbraio 2017 è stata condotta un'analisi accurata dell'area con esecuzione di 3 prove penetrometriche di tipo dinamico (S.C.P.T.).

La seguente relazione è stata redatta, ai sensi delle nuove NTC (D.M. 14/01/2008) e della Circ. 617/09, sulla base dei risultati delle suddette indagini.

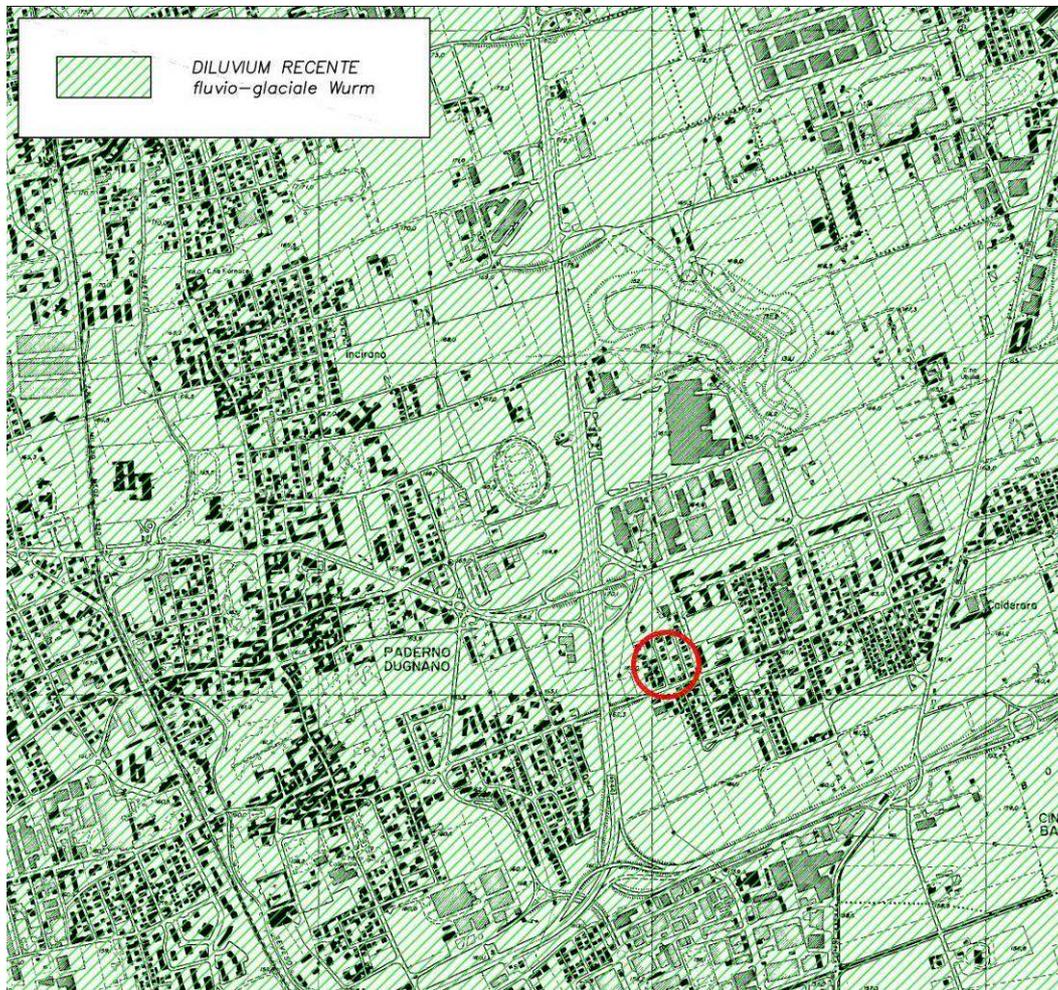
## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO

L'area lombarda ha subito le più importanti trasformazioni in un'epoca geologicamente recente, dal Miocene Superiore in poi, quando hanno avuto inizio intense fasi erosive culminate con la genesi di profondi canyons scavati allo sbocco nella Pianura Padana dai corpi glaciali che percorrevano le vallate alpine. Ciò è avvenuto in concomitanza con l'alternanza di episodi di trasgressione e regressione marina che si sono succeduti in questo periodo; tale fase è durata fino a tutto il Pleistocene Inferiore.

Con il Pleistocene Superiore si è avuta la sedimentazione di depositi di origine glaciale e fluvioglaciale apportati dai corpi glaciali provenienti dalla catena alpina; si è così formata una spessa coltre di sedimenti di origine glaciale (nelle aree pedemontane) e fluvioglaciale ed alluvionale (nelle aree di pianura).

In seguito si è assistito ad un susseguirsi di cicli di erosione e di deposito corrispondenti ad un'alternanza di fasi glaciali (Mindel, Riss e Würm) e interglaciali che si sono succedute fino ai giorni nostri; questo ha dato origine ad una tipica morfologia a cordoni morenici (visibili nella zona dell'alta pianura lombarda) e a terrazzi (visibile nella media e bassa pianura lombarda).

Nell'area in esame i depositi fluvioglaciali e alluvionali formano una coltre dello spessore di alcune centinaia di metri e sono costituiti da ghiaie e sabbie con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose; frequenti sono i ciottoli di dimensioni centimetriche, generalmente con un grado elevato di arrotondamento.



Stralcio della Carta Geolitologica della Brianza

L'area in esame, come si osserva dalla Carta Geologica d'Italia (Foglio 45 Milano) in scala 1:100.000, dalla Carta Geologica della Lombardia in scala 1:250.000 e da pubblicazioni specifiche (in allegato si riporta uno stralcio della Carta Geolitologica della Brianza tra il T. Seveso e il T. Molgora), è caratterizzato dalla presenza di depositi fluvioglaciali appartenenti al cosiddetto DILUVIUM RECENTE (Fluvioglaciale).

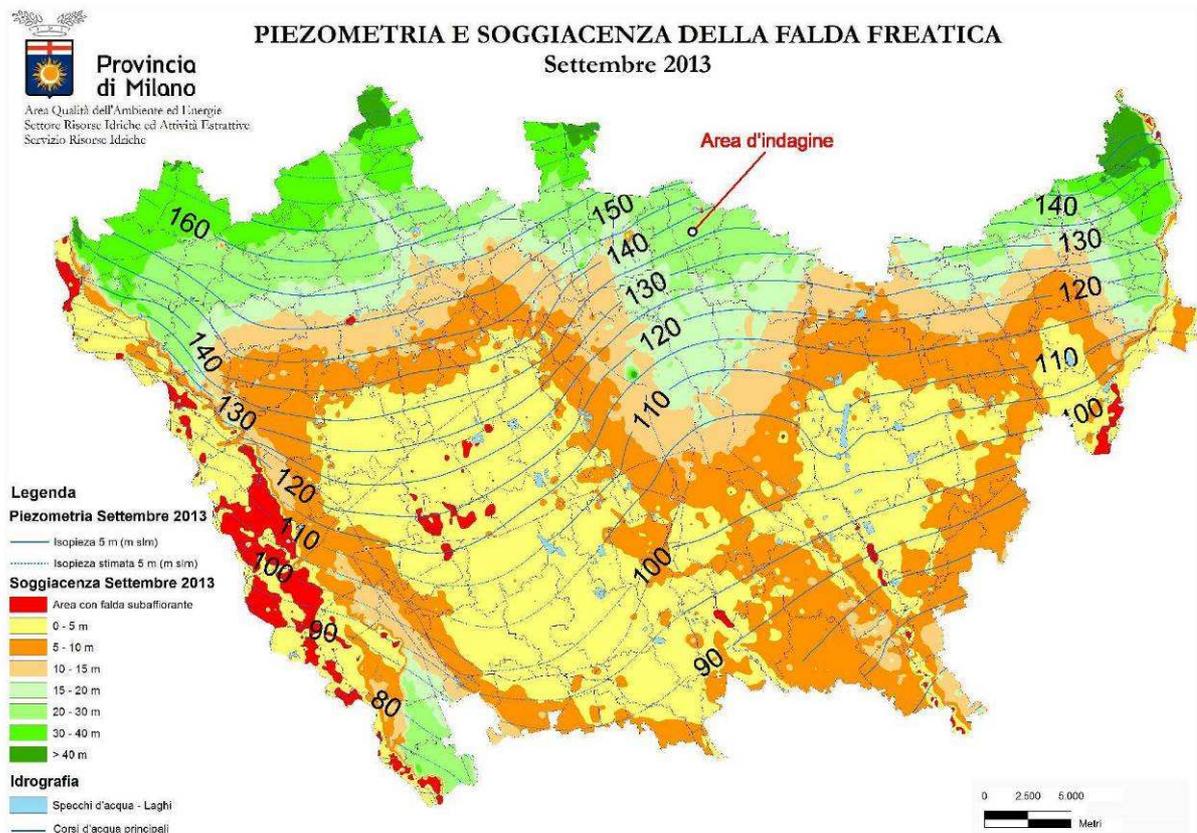
***DILUVIUM RECENTE***

L'unità fluvioglaciale Wurm è litologicamente costituita da sedimenti ghiaiososabbiosi, talvolta con lenti limose o argilloso-limose, che generalmente mostrano caratteristiche d'addensamento discrete. Sono presenti, alle volte, intercalazioni di livelli conglomeratici che raggiungono spessori anche considerevoli e che sono però caratterizzati da una notevole variabilità sia laterale che orizzontale.

### 3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dai dati reperiti presso il SIF (Sistema Informativo Falda) della Provincia di Milano si evince che la quota della superficie freatica nell'area di studio è posta ad una profondità dell'ordine di 20-30 m rispetto alla quota di piano campagna (vedasi carta della soggiacenza sotto riportata); nella zona considerata quindi non si hanno problemi legati alla presenza di acqua di falda freatica.

In quest'area del territorio comunale di Paderno Dugnano le linee isopiezometriche (linee di eguale quota della superficie freatica sul livello del mare) relative alla falda freatica assumono generalmente una direzione OSO-ENE ed hanno una quota media dell'ordine di 138.0 m s.l.m. (si veda carta della piezometria sotto riportata); direzione di flusso della falda freatica con andamento circa NNE-SSO e gradiente idraulico pari a circa 6‰.



*Estratto della Carta della soggiacenza e della piezometria della falda freatica*

## 4 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Le azioni sismiche attese in un certo sito si prevedono, su base probabilistica, tramite la pericolosità sismica che è funzione delle caratteristiche di sismicità regionali e del potenziale sismogenetico delle sorgenti sismiche; la valutazione della pericolosità sismica porta poi alla valutazione del rischio sismico di un sito in termini di danni attesi a cose e persone come prodotto degli effetti di un evento sismico.

La pericolosità sismica valutata all'interno di un sito deve essere stimata come l'accelerazione orizzontale massima al suolo in un dato periodo di tempo, definendo i requisiti progettuali antisismici per le nuove costruzioni nel sito stesso.

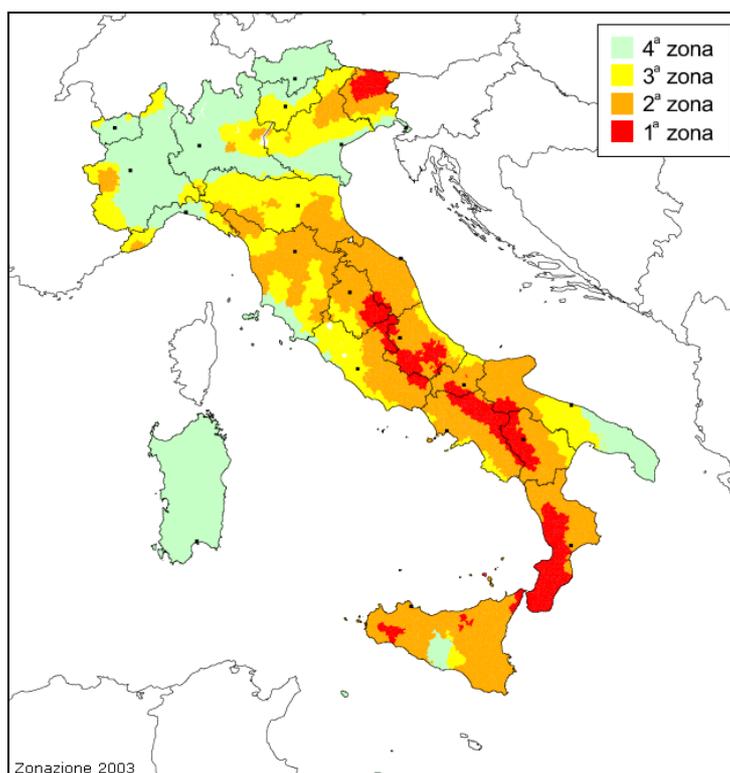
### 4.1 Classificazione nazionale

#### OPCM 20 marzo 2003

Sulla base del documento *Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale* elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito dalla Commissione Naz. Di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi (23 aprile 1997) e successive precisazioni, sono state individuate in tutto il territorio nazionale 4 zone sismiche, secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. La valutazione di  $a_g$  è stata calcolata con metodologie internazionali aggiornate periodicamente con procedure trasparenti e riproducibili.

La zonizzazione sismica dell'intero territorio nazionale è stata effettuata secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/03 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8/05/03 Supplemento Ordinario n. 72: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

- ✓ Allegato 1 - *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*
- ✓ Allegato 2 - *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*
- ✓ Allegato 3 - *Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti*
- ✓ Allegato 4 - *Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazioni e di sostegno dei terreni.*



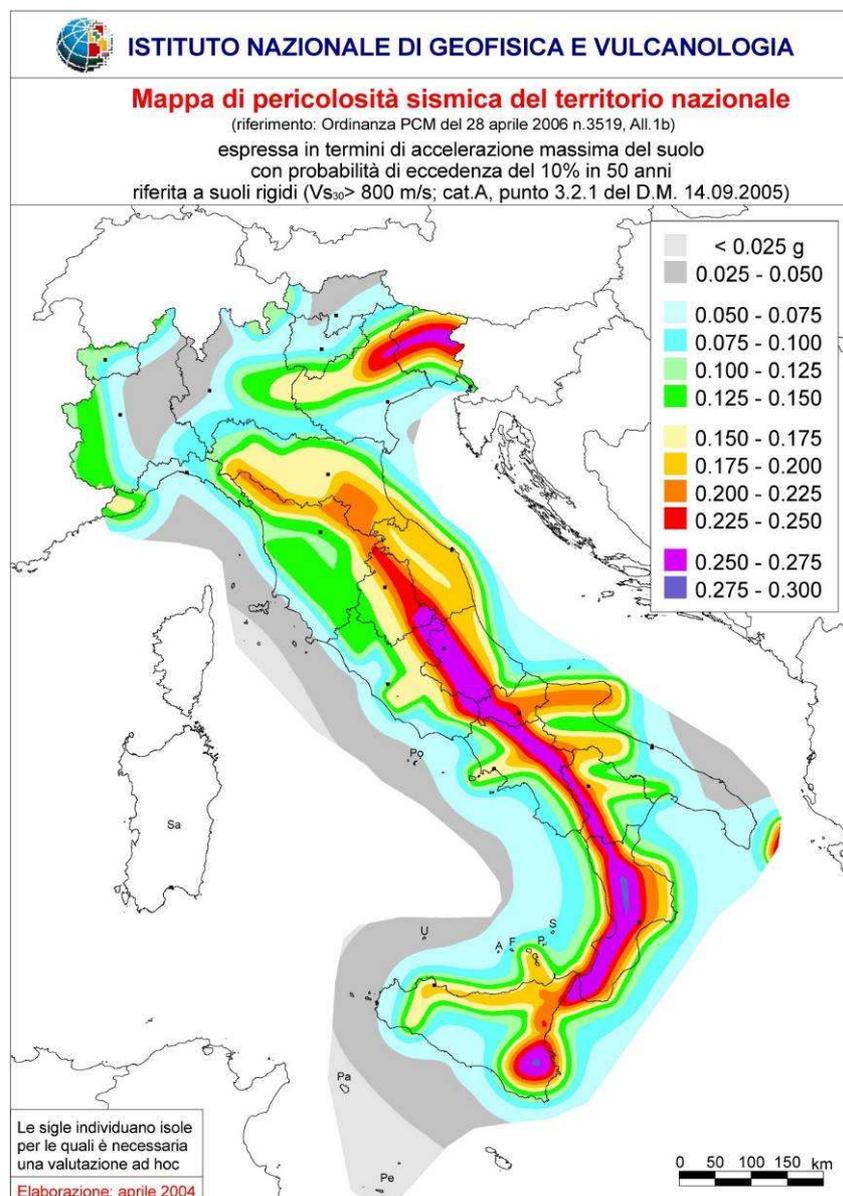
Secondo questa zonizzazione (vedasi figura di seguito riportata) il comune di Paderno Dugnano si trova in **zona 4** (colore verde), cioè nella zona, tra quelle individuate, di minor rischio sismico.

#### OPCM 28 aprile 2006

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28/04/06 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'11/05/06 Serie Generale Anno 147° - n. 108 (*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*) adotta come riferimento ufficiale una nuova mappa di pericolosità sismica e definisce i criteri generali per la classificazione delle zone sismiche. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

- ❖ Allegato 1A - *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*
- ❖ Allegato 1B - *Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.*

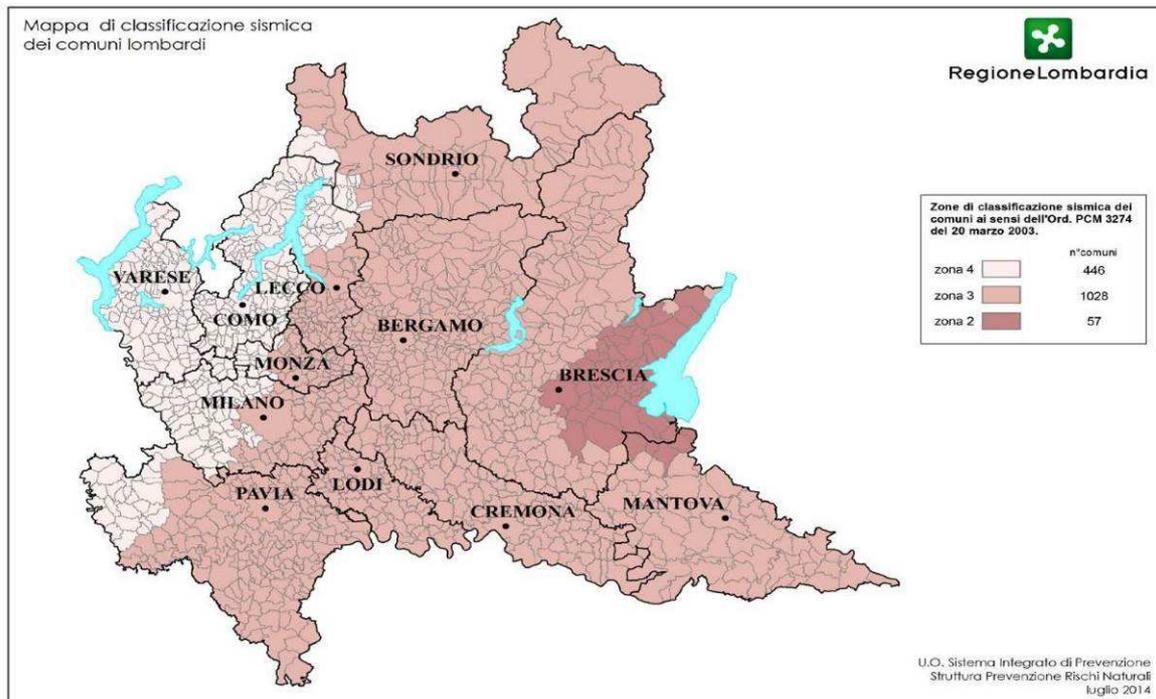
La mappa, riportata nell'Allegato 1B (vedasi figura di seguito riportata), rappresenta graficamente la pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{S30} > 800$  m/s.



## 4.2 Classificazione regionale

### D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129

La Regione Lombardia con D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 *Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia* (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) e pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione in data 16 luglio 2014 ha provveduto alla nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia così come previsto dall'ordinanza **O.P.C.M. 3519/06** "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".



La Regione Lombardia con **D.G.R. 8 ottobre 2015 – n. X/4144** – *Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129* «*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)* - ha ulteriormente deliberato di differire al 10 aprile 2016 il termine dell'entrata in vigore della D.G.R. 21 luglio 2014, n.2129.

Secondo la nuova classificazione il comune di Paderno Dugnano si trova in zona 4 caratterizzata da una  $AgMax$  pari a 0,049194.

### 4.3 Progettazione antisismica

#### D.M. 14 gennaio 2008

Dal 1° luglio 2009 la progettazione antisismica in Italia è regolata dal D.M. 14/01/08 per tutte le zone sismiche e per tutte le tipologie di edifici.

Il D.M. 14 gennaio 2008 (*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*), pubblicato sulla G.U. n. 29 del 04/02/08, in vigore dal 5 marzo 2008, sostituisce il precedente D.M. 14 settembre 2005, fatto salvo il periodo di monitoraggio di 18 mesi di cui al comma 1 dell'art. 20 della L. 28 febbraio 2008, n. 31.

Queste nuove Norme Tecniche per le Costruzioni definiscono i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 (*Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale*); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini di accelerazione del suolo  $a_g$  e di forma dello spettro di risposta. Costituiscono parte integrante del decreto:

- Allegato A - *Pericolosità sismica*
- Allegato B - *Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica.*

Diversamente dalla precedente normativa l'azione sismica non viene più valutata riferendosi ad una zona sismica (territorialmente coincidente con più entità amministrative), ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, ma viene valutata sito per sito e costruzione per costruzione.

Secondo l'allegato A l'azione sismica sulle costruzioni viene valutata a partire da una pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido (categoria di sottosuolo A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1).

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta con sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; i risultati dello studio di pericolosità devono essere forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata in funzione delle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo e morfologiche della superficie; tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

#### Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo indicate nella tabella 3.2.II, di cui al punto 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*, capitolo 3 *Azioni sulle costruzioni* del D.M. 14/01/2008.

Sono state definite cinque classi di terreni (A, B, C, D, E) identificabili in base ai valori della velocità equivalente  $V_{S,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. In mancanza di misure di  $V_s$ , l'identificazione della categoria di sottosuolo può essere effettuata sulla base dei valori di altre grandezze geotecniche, quali il numero dei colpi della prova penetrometrica dinamica ( $N_{SPT}$ ) per depositi di terreni prevalentemente a grana grossa e la resistenza non drenata ( $c_u$ ) per depositi di terreni prevalentemente a grana fine.

In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti le categorie di sottosuolo di riferimento:

- A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{S30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
- B *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà

- meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- C *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- D *Depositi di terreni grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30} < 180$  m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).
- E *Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con  $V_S > 800$  m/s).

La classificazione è effettuata sulla base del parametro  $V_{S,30}$  che rappresenta la velocità delle onde di taglio S riferita a 30 m di profondità e calcolata utilizzando la seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (NTC):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

### Condizioni topografiche

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione, di cui al punto 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante pendii e rilievi con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. L'area di esame presenta configurazioni superficiali semplici, pertanto è possibile adottare la classificazione riportata in tabella 3.2.IV.

Sulla base dei dati topografici disponibili (riportati in cartografia), l'area rientra mediamente nella categoria **T1** ovvero *Superficie pianeggiante, con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* .

### D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003

La Regione Lombardia con D.G.R. n. 14964 del 7/11/03 prende atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata ordinanza 3274/03 ed impone l'obbligo della progettazione antisismica per i comuni che ricadono in zona 2, zona 3 ed in zona 4 esclusivamente per gli edifici strategici e rilevanti, così come individuati dal D.D.U.O. n. 19904 del 21/11/03.

### D.G.R. n IX/2616 del 30 novembre 2011

Per l'analisi della pericolosità sismica dell'area in esame si è fatto riferimento all'Allegato 5 (*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*)

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzabile e esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Tale allegato illustra la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale che prevede tre livelli di approfondimento, di seguito sintetizzati:

- 1° livello, riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).
- 2° livello, caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima di risposta sismica nei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa)
- 3° livello, definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini e analisi più approfondite.

*Il primo livello è obbligatorio per tutti i comuni.*

*riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).*

*Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti*

*Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti (a scala 1:10.000 e 1:2.000) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.). Perciò, salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito degli studi di 1° livello non sono necessarie nuove indagini geotecniche.*

*Lo studio consiste nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1:10.000 – 1:2.000 rappresentata dalla:*

- *carta geologica con le relative sezioni, in cui viene rappresentato il modello geologico e tettonico dell'area, le formazioni, le discontinuità e i lineamenti tettonici in essa presenti;*
- *carta geomorfologica, in cui vengono distinte le varie forme e i processi (dinamica dei versanti, dinamica fluviale, etc.) in atto, quiescenti o relitti presenti nell'area in esame;*

- carta della pericolosità sismica locale (PSL), derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle situazioni tipo Z1, Z2, Z4 e gli elementi lineari delle situazioni tipo Z3, Z5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (Tabella 1). In particolare per lo scenario Z3a si evidenzierà il ciglio della scarpata, per lo scenario Z3b la linea di cresta sommitale e per lo scenario Z5 il limite di contatto tra i litotipi individuati. Gli scenari Z1 e Z2 nell'analisi di 1° livello sono evidenziati sulla base del fenomeno prioritario che li caratterizza, quali fenomeni di instabilità e liquefazione e/o cedimenti: si sottolinea che le prescrizioni da assegnare a questi scenari in fase di pianificazione riguardano, oltre al fenomeno prioritario, anche i fenomeni di possibile amplificazione sismica che dovranno essere valutati in fase di progettazione sulla base degli interventi adottati per risolvere le problematiche prioritarie.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

TABELLA 1 – SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

In riferimento alle diverse situazioni tipo, riportate nella suddetta tabella, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale – PSL) si effettua l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e conseguentemente dei successivi livelli di approfondimento necessari.

All'interno delle aree classificate come scenario Z1 o Z2 non è necessario realizzare l'analisi di 2° livello ma si passa immediatamente all'analisi di 3° livello.

All'interno delle aree classificate come scenario Z3 o Z4, si potrà realizzare (nei casi sotto riportati) l'analisi di 2° livello e, conseguentemente ai suoi risultati, si potrà realizzare (dove necessario) l'analisi di 3° livello in fase progettuale.

Lungo le aree classificate come scenario Z5 non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzione a cavallo dei due litotipi; in fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.

Il secondo livello è obbligatorio in fase pianificatoria:

consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa).

L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;

□ anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

*Il secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1° livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.*

*Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato, negli scenari PSL Z3 e Z4, nel caso di costruzione di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.*

*Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2 della Tabella 1 dell'Allegato 5) non è prevista l'applicazione degli studi di 2° livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3° livello, come specificato al punto successivo.*

*Non è necessaria la valutazione quantitativa al 3° livello di approfondimento dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo. Nell'impossibilità di ottenere tale condizione, si dovranno prevedere opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.*

*Il terzo livello è obbligatorio in fase progettuale:*

*Consiste nella definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Al fine di poter effettuare le analisi di 3° livello la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati, rese disponibili sul Geoportale della Regione Lombardia, il cui utilizzo è dettagliato nell'allegato 5.*

*Tale livello si applica in fase progettuale nei seguenti casi:*

- quando, a seguito dell'applicazione del 2° livello, si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale all'interno degli scenari PSL caratterizzati da effetti di amplificazioni morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5);*
- in presenza di aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2), nelle zone sismiche 2 e 3 per tutte le tipologie di edifici, mentre in zona sismica 4 nel caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.*

## 5 INDAGINE SISMICA

### 5.1 Prova MASW

L'indagine sismica è stata realizzata per determinare le proprietà fisiche del sottosuolo e le caratteristiche dinamiche del litotipo da indagare, attraverso la determinazione di un modello di distribuzione di velocità di propagazione delle onde Sh nel sottosuolo.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh (onde Sh), che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase.

Nel metodo di indagine MASW le onde superficiali generate in un punto della superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Attraverso questo metodo si ottiene un grafico (curva di dispersione) che descrive l'andamento delle velocità di fase in funzione delle frequenze nel range compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi si ottengono informazioni sulla parte superficiale del suolo, sui primi 30-50 m di profondità, in funzione della rigidità del suolo.

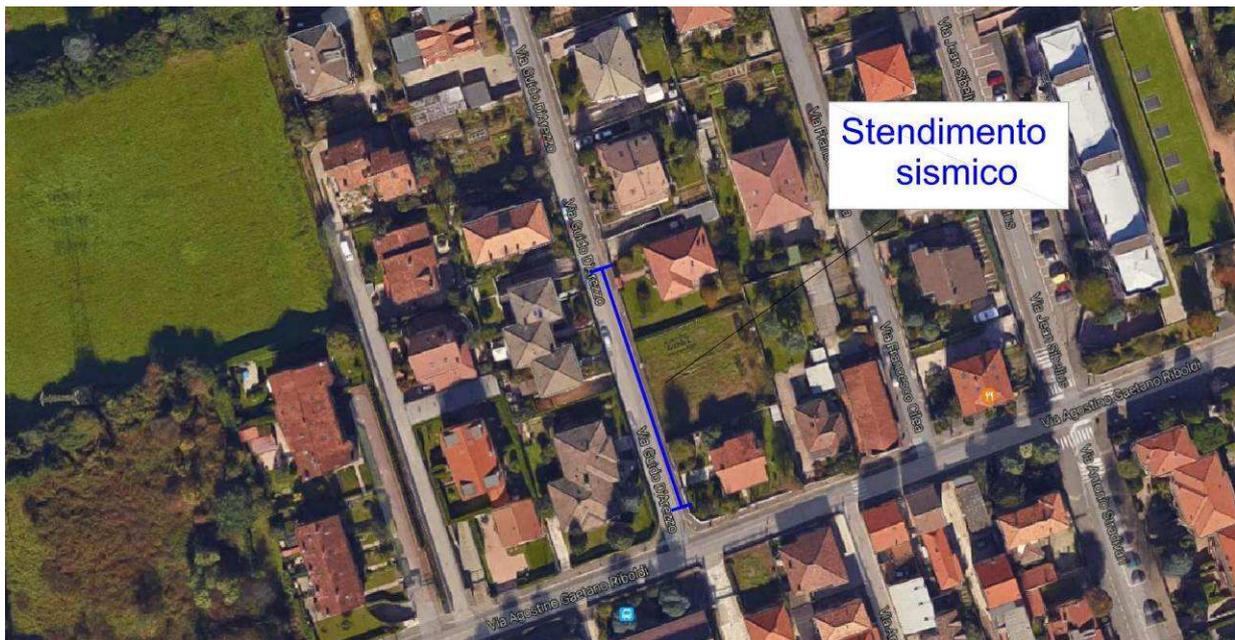
Il metodo MASW consiste in tre fasi:

1. calcolo della curva di dispersione apparente sperimentale
2. calcolo della curva di dispersione apparente numerica
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs.

Mediante l'analisi delle onde di Rayleigh viene determinato il parametro  $V_{s30}$ , che rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S nei primi 30 m di profondità.

### 5.2 Indagine in sito

L'analisi delle onde superficiali nell'area di studio è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 22 geofoni con spaziatura pari a 2.0 m.



Ubicazione stendimento sismico



Vista dello stendimento sismico

Sono stati utilizzati 22 geofoni da 4.5 Hz e un sismografo a 24 bit (EEG BR24) in modo da ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, mentre come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza di 6 kg battente su un piattello metallico. La sorgente è stata posta ad una distanza di 6 m dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an MASW Survey”, Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).

### 5.3 Elaborazione dei dati

La procedura di elaborazione adottata per la classificazione dei profili del suolo di fondazione ha utilizzato la tecnica sopra descritta utilizzando un software specifico.

La prima fase consiste nell'elaborazione di tutte le registrazioni acquisite tramite l'analisi spettrale dei singoli sismogrammi allo scopo di ottenere lo spettro del segnale di velocità sismica in funzione della frequenza. Successivamente si seleziona lo spettro dal quale viene estrapolata la curva di attenuazione del segnale (curva di dispersione) dalla quale tramite una procedura di inversione si risale al modello stratigrafico in termini di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) da cui il valore relativo ai primi 30 m di sottosuolo ( $V_{s,30}$ ).

Per l'elaborazione del profilo sismico vedasi anche grafici allegati.

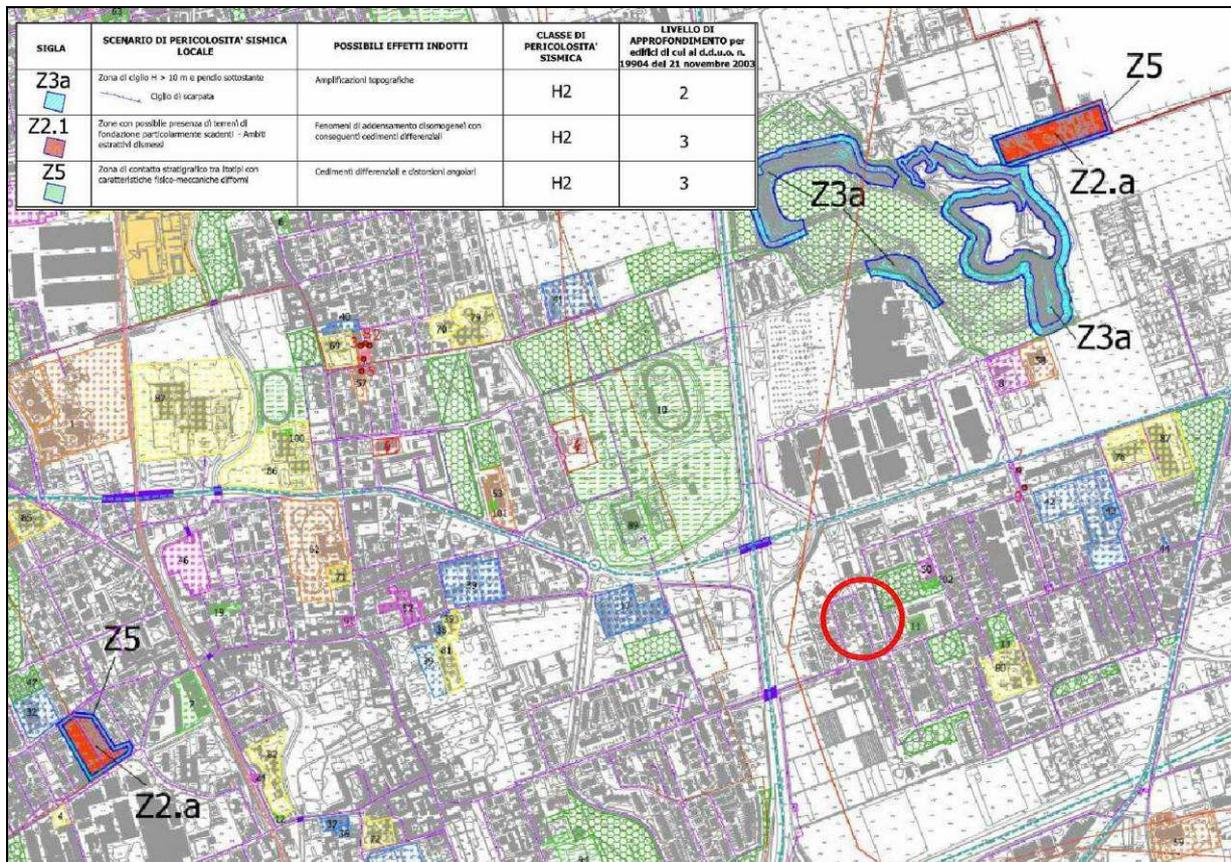
Il valore del parametro  $V_{s,30}$ , necessario ai fini della caratterizzazione sismica del sito, è quindi risultato:

$$V_{s,30} = 390 \text{ m/s}$$

Il valore di  $V_{s,30}$  così ricavato consente di classificare l'area in esame nella *categoria di sottosuolo B*, mentre la morfologia sub-pianeggiante, facendo riferimento alla tabella riportata nei paragrafi precedenti, l'inserisce nella *categoria topografica T1*.

## 6 ANALISI RISCHIO SISMICO

### 5.1 Analisi di I livello



*Estratto della carta di pericolosità sismica locale allegata al PGT*

Secondo la Carta di PSL allegata al PGT vigente del comune di Paderno Dugnano, nell'area in esame non è presente alcun scenario di pericolosità sismica locale.

L'area in esame ricade in zona sismica 4 pertanto non è obbligatorio realizzare l'analisi di secondo livello.

## 7 INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica di campagna è stata condotta mediante l'esecuzione di 3 prove penetrometriche dinamiche continue S.C.P.T.

Le indagini sono state eseguite con penetrometro superpesante tipo Meardi AGI avente le seguenti caratteristiche:

peso del maglio	73	kg
altezza di caduta	75	cm
angolo al vertice della punta conica	60	°
diametro del cono	50.8	mm
peso delle aste	4.6	kg/ml



*Penetrometro utilizzato tipo Meardi A.G.I.*

L'ubicazione delle prove eseguite è riportata nella planimetria schematica allegata. La distribuzione dei punti di prova garantisce una corretta ricostruzione stratigrafica dell'area in esame.

Le verticali d'indagine sono state interrotte alle quote indicate nella tabella sottostante per la presenza di livelli particolarmente resistenti alla penetrazione dinamica.

Prova	Profondità (m)
1	6.0
2	4.5
3	4.8

Nel corso delle prove non è stata rilevata presenza di acqua di falda a conferma dei dati idrogeologici in nostro possesso.

## 8 PARAMETRI GEOTECNICI

Sulla base del grado di addensamento rilevato nel corso delle indagini, possono essere riconosciute le seguenti litozone:

- LITAZONA A: grado di addensamento medio-basso con caratteristiche geotecniche da scarse a modeste ( $N_{scpt} < 10$ )
- LITAZONA B: grado di addensamento medio-alto con caratteristiche geotecniche da buone a ottime ( $N_{scpt} > 10$ )

Il terreno è stato suddiviso in litozone in base ai parametri geotecnici medi degli orizzonti attraversati dalle verticali penetrometriche.

**S.C.P.T. 1 – 2 – 3**

Litozona	Profondità (m)	$N_{SCPT}$	$N_{SPT}$	$\gamma$ ( $T/m^3$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	E ( $kg/cm^2$ )	K's ( $kN/m^3$ )
A	0.0 – 1.2/2.1	2 – 4	4 – 7	1.65 – 1.70	25.5 – 27	30 – 115	$5.4 – 10.5 \times 10^3$
B	1.2/2.1 – 5.4/5.7	> 15	> 26	> 1.85	> 34.5	> 385	$> 49.5 \times 10^3$

dove:

$N_{SCPT}$  = numero di colpi necessario per ottenere un avanzamento di 30 cm in una prova SCPT

$N_{SPT}$  = numero di colpi SPT correlato

$\gamma$  = peso di volume del terreno ( $T/m^3$ )

$\Phi$  = angolo di attrito del terreno ( $^{\circ}$ )

E = modulo di deformazione (o di Young) in  $kg/cm^2$

K's = stima del modulo di reazione del sottofondo (o di Winkler) in  $kN/m^3$

Le verticali penetrometriche hanno evidenziato la presenza di sedimenti caratterizzati da un grado di addensamento basso fino alla profondità di 1.2/2.1 m da p.c.. Inferiormente si osserva un aumento dello stato di addensamento dei terreni attraversati e la presenza, fino alla massima profondità indagata, di sedimenti dalle buone caratteristiche geotecniche (litozona B).

## 9 CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI SOTTOFONDO E DEI CEDIMENTI PREVEDIBILI

Secondo le NTC (D.M. 14/01/2008) la sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. In particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- **sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU):** capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera. Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso.
- **sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE):** capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.
- **robustezza nei confronti di azioni eccezionali:** capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Le opere strutturali devono essere verificate:

- per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;
- per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

Le verifiche di sicurezza delle opere devono essere contenute nei documenti di progetto, con riferimento alle prescritte caratteristiche meccaniche dei materiali e alla caratterizzazione geotecnica del terreno, dedotta in base a specifiche indagini.

### 9.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)

Le verifiche di sicurezza per gli stati limite ultimi (SLU) richiedono il rispetto della seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove

$E_d$  è il valore di progetto dell'azione (o dell'effetto delle azioni)

$R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (ovvero la sua capacità portante)

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

ovvero:

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right],$$

con  $\gamma_E = \gamma_F$  e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right].$$

Effetto delle azioni ( $E_d$ ) e resistenza ( $R_d$ ) sono espressi in funzione di:

- azioni di progetto  $\gamma_F F_k$
- parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$
- geometria di progetto  $a_d$ .

L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come  $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ . Nella formulazione della resistenza  $R_d$ , compare esplicitamente un coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione (Combinazione 1) è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione (Combinazione 2) è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

La verifica di stabilità globale in questo caso viene effettuata secondo l'Approccio 2 e sarà quindi effettuata solamente nei confronti dello SLU di tipo geotecnico (GEO) e tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabella 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici, accertando che la condizione  $E_d \leq R_d$  sia soddisfatta.

### Approccio 2: A1+M1+R3

dove:

**A** rappresenta le azioni

**M** rappresenta la resistenza dei materiali (terreno)

**R** rappresenta la resistenza globale del terreno.

#### Azioni (A)

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I (Cap. 6 D.M. 14/01/2008). Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

#### Resistenze (M)

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008);
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008);
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r$	1,0	1,0

Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni

Valori caratteristici dei parametri geotecnici

La scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici avviene in due fasi. La prima fase comporta l'identificazione dei parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali. Identificati i parametri geotecnici appropriati, la seconda fase del processo decisionale riguarda la valutazione dei valori caratteristici degli stessi parametri.

Nella progettazione geotecnica, in coerenza con gli Eurocodici, la scelta dei valori caratteristici dei parametri deriva da una stima cautelativa del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato.

Nel caso in esame i valori caratteristici vengono ricavati utilizzando la seguente formula:

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

dove:

$x_k$  è il valore caratteristico desiderato

$\bar{x}$  (**con barra**), il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;

$t$  è il valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità u = 95%

$s$  è la deviazione standard del campione

$n$  è il numero di dati

Quota imposta fondazioni (m) da p.c. attuale	Tipo di fondazione	Larghezza fondazione (m)	$\Phi_m$ (°)	$\Phi_k$ (°)	$\gamma_m$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_k$ (T/m <sup>3</sup> )
3.5	Trave rovescia	0.7	36	34	1.90	1.85
3.5	Trave rovescia	1.2	36	34	1.90	1.85

dove

$\Phi_m$  e  $\gamma_m$  rappresentano i valori medi

$\Phi_k$  e  $\gamma_k$  i valori caratteristici.

Valori di progetto dei parametri geotecnici

Nel calcolo della capacità portante saranno utilizzati i parametri geotecnici di progetto ottenuti dividendo i valori caratteristici per i coefficienti parziali riportati nella colonna M1 (vedasi *Tabella 6.2.II* - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni).

Quota imposta fondazioni (m) da p.c. attuale	Tipo di fondazione	Larghezza fondazione (m)	$\Phi_k$ (°)	$\Phi_d$ (°)	$\gamma_k$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (T/m <sup>3</sup> )
3.5	Trave rovescia	1.2	34	34	1.85	1.85
3.5	Trave rovescia	0.7	34	34	1.85	1.85

dove

$\Phi_d$  e  $\gamma_d$  rappresentano i valori di progetto.

Calcolo della capacità portante

Per il calcolo della capacità portante è stata utilizzata la formula di Meyerhof che, nel caso di carico verticale su un terreno prevalentemente incoerente con angolo di attrito  $\Phi > 10^\circ$ , presenta la seguente espressione:

$$q_{ult} = q N_q S_q d_q + c N_c S_c d_c + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

dove:

$S_c S_q S_\gamma$  sono fattori di forma

$d_c d_q d_\gamma$  sono fattori di profondità

$N_c N_q N_\gamma$  sono fattori di portata

Nel caso in esame il valore della coesione  $c$  è uguale a zero, in quanto si tratta di un terreno a comportamento prevalentemente frizionale, per cui l'espressione della capacità portante si riduce a:

$$q_{ult} = q N_q S_q d_q + 0.5 \gamma B N_y S_y d_y$$

Nei calcoli effettuati si è valutata la capacità portante per fondazioni dirette continue impostate ad una profondità di circa 3.5 m da p.c..

Introducendo i valori dei parametri geotecnici di progetto nella formula di Meyerhof e tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nella tabella 6.4.1 si ottengono i seguenti valori di progetto della resistenza del sistema geotecnico  $R_d$ :

Tipo di fondazione	Larghezza fondazione (m)	$R_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Trave rovescia	0.7	2.60
Trave rovescia	1.2	3.10

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Tabella 6.4.1 - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

Nel prossimo paragrafo si procederà alla verifica delle pressioni di contatto agenti sui terreni di fondazione in termini di cedimenti ammissibili. Tale trattazione viene sviluppata in relazione alla geometria della fondazione e alle caratteristiche geotecniche del terreno in esame, al fine di ottenere il valore di pressione che le nuove opere potranno esercitare sul terreno fondale senza determinare cedimenti superiori ai valori ammissibili per l'opera stessa.

Tale trattazione consentirà di ricavare il valore di pressione allo stato limite d'esercizio.

## 9.2 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)

Per effetto delle azioni trasmesse in fondazione, i terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa. Le componenti verticali degli spostamenti (cedimenti) assumono in genere valori diversi sul piano di posa di un manufatto. Si definisce cedimento differenziale la differenza dei cedimenti tra punti di una stessa fondazione, di fondazioni distinte con sovrastrutture comuni e di fondazioni distinte con sovrastrutture staticamente indipendenti. In base alla evoluzione nel tempo si distinguono i cedimenti immediati e i cedimenti differiti. Questi ultimi sono caratteristici dei terreni a grana fine, poco permeabili, e dei terreni organici. I cedimenti e gli spostamenti delle fondazioni e del terreno circostante possono essere valutati con metodi empirici o analitici. Nel caso di terreni a grana media o grossa, i parametri anzidetti possono essere valutati sulla base dei risultati di indagini geotecniche in sito.

Le verifiche relative alle deformazioni (cedimenti) e agli spostamenti si effettuano adoperando i valori caratteristici dei parametri. Pertanto, si assegnano valori unitari ai coefficienti delle azioni (A) e dei parametri di resistenza (M).

La combinazione delle azioni (SLE, Stato Limite d'Esercizio) da considerare è la Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$N_d = G_1 + G_2 + P + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \Psi_{23}Q_{k3} + \dots$$

dove:

**G<sub>i-esimo</sub>** = azioni permanenti

**P** = precompressione

**Q** = azioni variabili

$\Psi$  = coefficienti di combinazione che dipendono dalla natura dell'azione e della categoria dell'edificio.

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. 14/01/008.

In questa fase si è proceduto alla determinazione della pressione massima esercitabile dalle opere di fondazione in progetto sui terreni affinché i cedimenti totali (a 50 anni dalla costruzione) risultino inferiori a 30 mm, (valore di riferimento per strutture in c.a. come quelle in progetto) e affinché i cedimenti differenziali risultino inferiori a 10 mm.

#### Calcolo dei cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti dei terreni di fondazione si è fatto riferimento alla relazione di Burland e Burbidge.

$$S = f_s f_h f_t [ \sigma_{vo} B^{0.7} I_c/3 + (q' - \sigma_{vo}) B^{0.7} I_c ]$$

dove:

$f_s f_h f_t$  sono fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e della componente viscosa dei cedimenti.

$B$  è la larghezza delle fondazioni

$I_c$  è l'indice di compressibilità (tiene conto dei valori NSPT ricavati nel corso delle prove)

$q'$  è la pressione efficace lo Rda (kPa)

$\sigma_{vo}$  è la tensione verticale efficace agente alla quota d'imposta delle fondazioni (kPa)

Utilizzando il valore della pressione limite ricavato con il fattore di sicurezza  $\gamma_R = 2.3$  previsto dalla normativa, per le fondazioni ipotizzate si otterrebbero cedimenti immediati e totali elevati e non compatibili con le strutture in progetto.

Si consiglia pertanto di adottare i seguenti valori di pressione di esercizio  $P_E$ :

Tipo di fondazione	Larghezza fondazione (m)	$P_E$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Trave rovescia	0.7	2.40
Trave rovescia	1.2	2.40

con i quali si ottengono cedimenti immediati e totali compatibili con le strutture in progetto. I cedimenti differenziali sono di fatto trascurabili (< 5 mm) per la sostanziale omogeneità del terreno di fondazione.

## 10 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione delle sabbie è il comportamento dei suoli sabbiosi che, a causa di un aumento della pressione interstiziale, passano improvvisamente da uno stato solido ad un fluido, o con la consistenza di un liquido pesante.

La liquefazione avviene più frequentemente in depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. Durante la fase di carico, le sollecitazioni indotte nel terreno, quali possono essere quelle derivanti da un evento sismico, possono causare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la tensione soprastante. Viene così annullata la resistenza al taglio del terreno secondo il principio delle pressioni efficaci di Terzaghi, e si assiste così a un fenomeno di fluidificazione del suolo.

Secondo il D.M. 14/01/2008 (articolo 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione") è possibile non effettuare la verifica alla liquefazione quando si manifesta almeno una delle seguenti condizioni:

1. eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  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  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. 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  $U_c > 3,5$ .

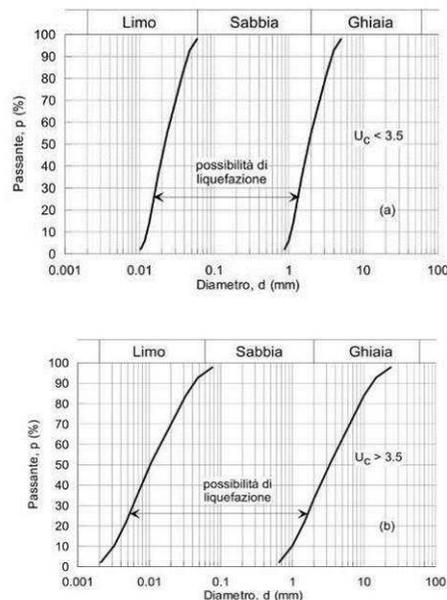


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nell'area in esame le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) risultano minori di  $0,1g$ ; il manifestarsi di tale condizione esclude, per l'area oggetto di studio, la verifica alla liquefazione.

## 11 CONCLUSIONI

L'area in esame sita in via Guido d'Arezzo nel comune di Paderno Dugnano (MI) è caratterizzata dalla presenza, in affioramento, di un terreno di fondazione appartenente dal punto di vista geologico alle alluvioni fluvio-glaciali del periodo Würm (DILUVIUM RECENTE), caratterizzate da ghiaie e sabbie con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose; frequenti sono i ciottoli di dimensioni centimetriche, generalmente con un grado elevato di arrotondamento.

Nell'area in esame è prevista la realizzazione di una nuova palazzina residenziale data da un piano interrato e due piani fuori terra più sottotetto.

Nel mese di febbraio 2017 è stata condotta un'analisi accurata dell'area con esecuzione di 3 prove penetrometriche di tipo dinamico (S.C.P.T.).

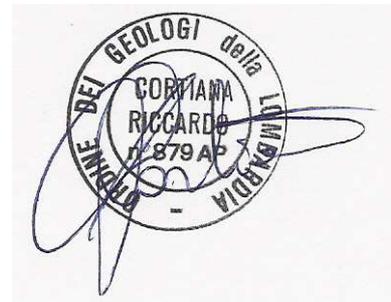
Dal punto di vista geotecnico le indagini hanno evidenziato la presenza, alla quota d'imposta delle fondazioni, circa 3.5 m da p.c., di sedimenti caratterizzati da un grado di addensamento alto e parametri geotecnici buoni.

I calcoli hanno dimostrato che sarà possibile utilizzare fondazioni dirette continue utilizzando il valore della pressione di esercizio riportato precedentemente.

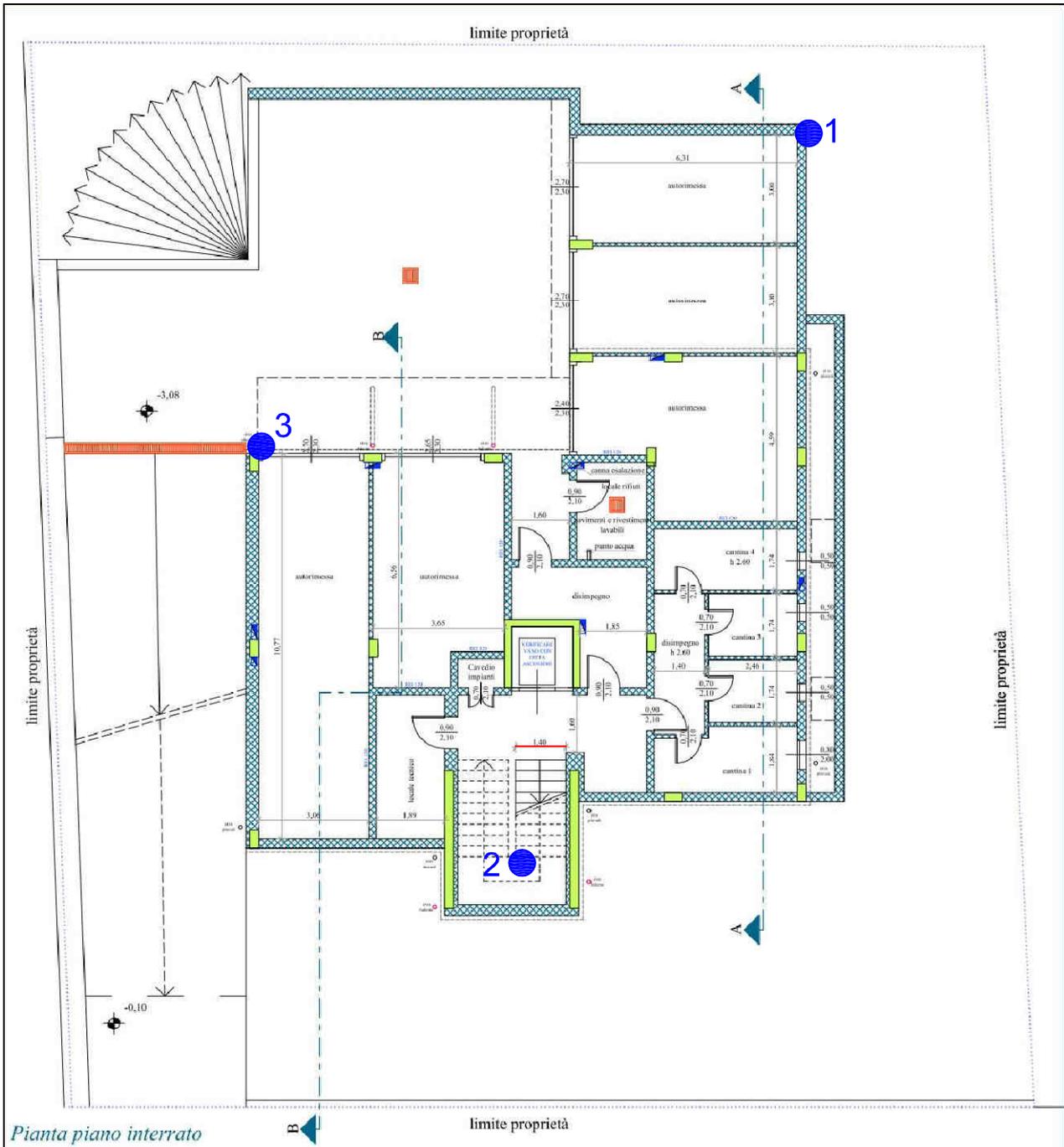
Secondo i dati reperiti presso il SIF (Sistema Informativo Falda) della Provincia di Milano la soggiacenza media della falda nell'area indagata si attesta ad una profondità compresa tra 20 e 30 m dal p.c.

### Il tecnico incaricato

*Dott. Geol. Riccardo Cortiana*



# UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE



● S.C.P.T. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

COMMITTENTE: Polo Service srl

CANTIERE: Paderno D.no (MI) - via Guido d'Arezzo

DATA: Feb. '17

## PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

COMMITTENTE: **POLO SERVICE srl**

CANTIERE: Paderno D.no (MI) - via Guido d'Arezzo

QUOTA DI RIFERIMENTO: piano campagna DATA febbraio-17

Profondità (m)	S.C.P.T. 1	S.C.P.T. 2	S.C.P.T. 3	Profondità (m)
0.3	3	1	2	0.3
0.6	2	4	4	0.6
0.9	2	3	3	0.9
1.2	2	2	7	1.2
1.5	7	2	12	1.5
1.8	17	4	13	1.8
2.1	31	6	22	2.1
2.4	34	11	30	2.4
2.7	27	14	21	2.7
3.0	16	17	33	3.0
3.3	18	17	30	3.3
3.6	13	11	35	3.6
3.9	14	27	31	3.9
4.2	21	44	34	4.2
4.5	10	100	45	4.5
4.8	14		100	4.8
5.1	19			5.1
5.4	48			5.4
5.7	100			5.7
6.0				6.0
6.3				6.3
6.6				6.6
6.9				6.9
7.2				7.2
7.5				7.5
7.8				7.8
8.1				8.1
8.4				8.4
8.7				8.7
9.0				9.0
9.3				9.3
9.6				9.6
9.9				9.9

# PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

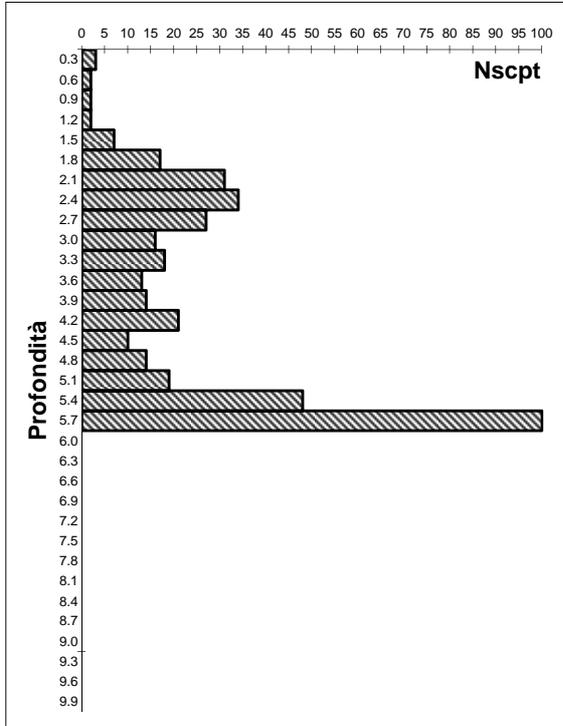
(Penetrometro super pesante tipo Meardi - A.G.I.)

**LOCALITA':** Paderno D.no (MI) - via Guido d'Arezzo

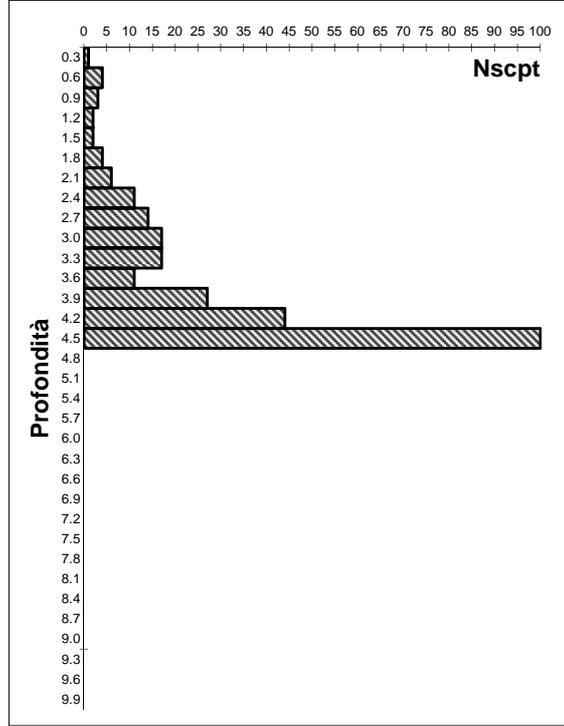
**COMMITTENTE:** POLO SERVICE srl

**DATA:** feb-17

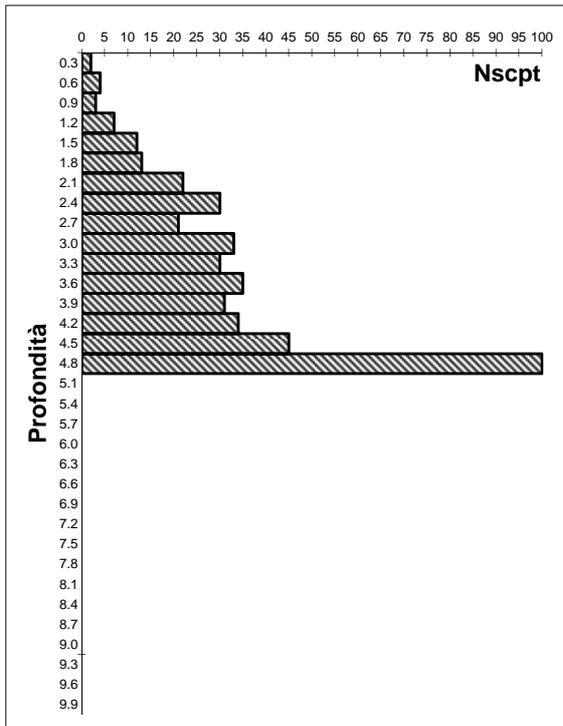
**S.C.P.T. 1**



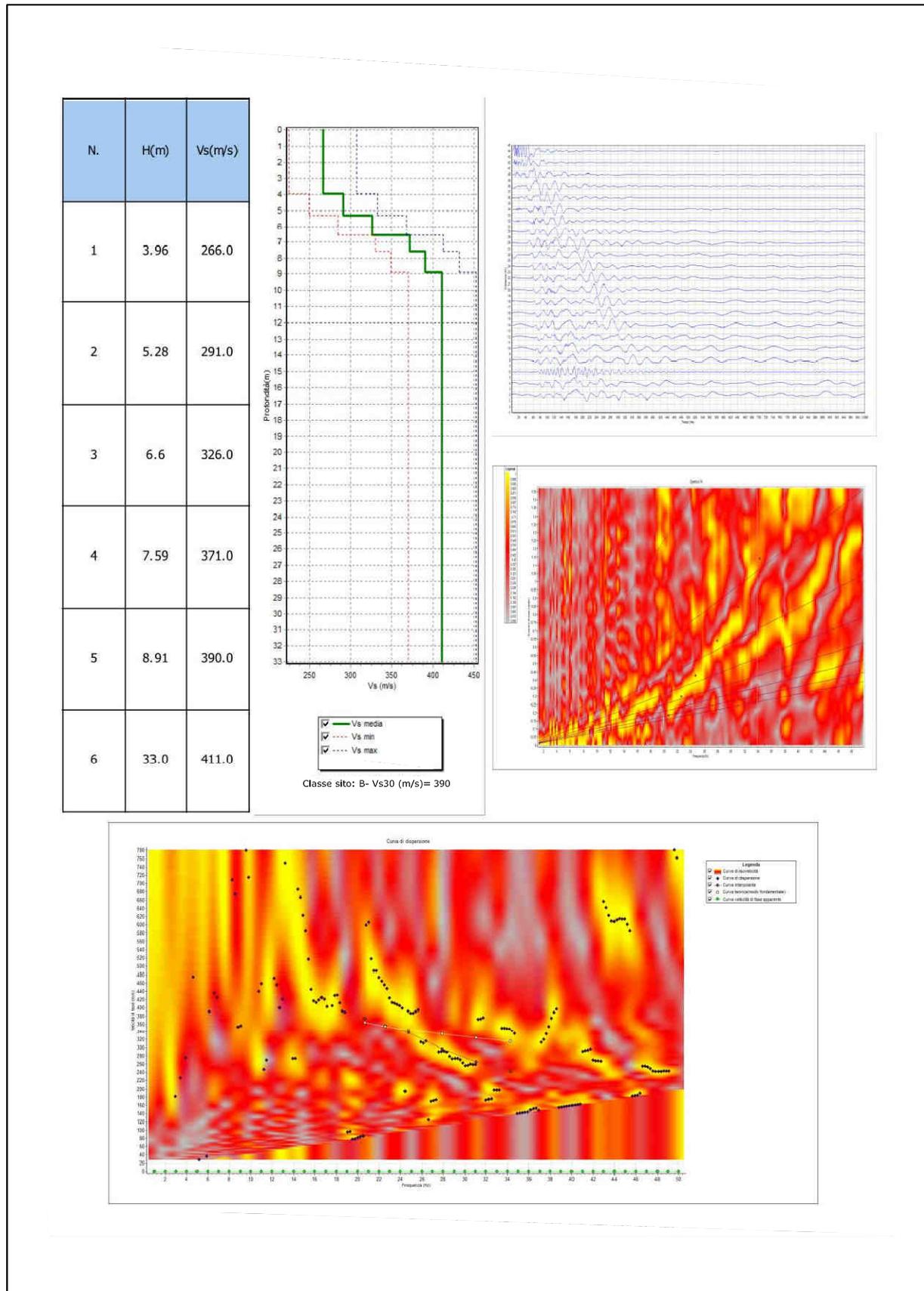
**S.C.P.T. 2**



**S.C.P.T. 3**



# INDAGINE SISMICA MASW



COMMITTENTE: Polo Service srl

CANTIERE: Paderno Dugnano (MI) - via Guido d'Arezzo

DATA: Feb. '17

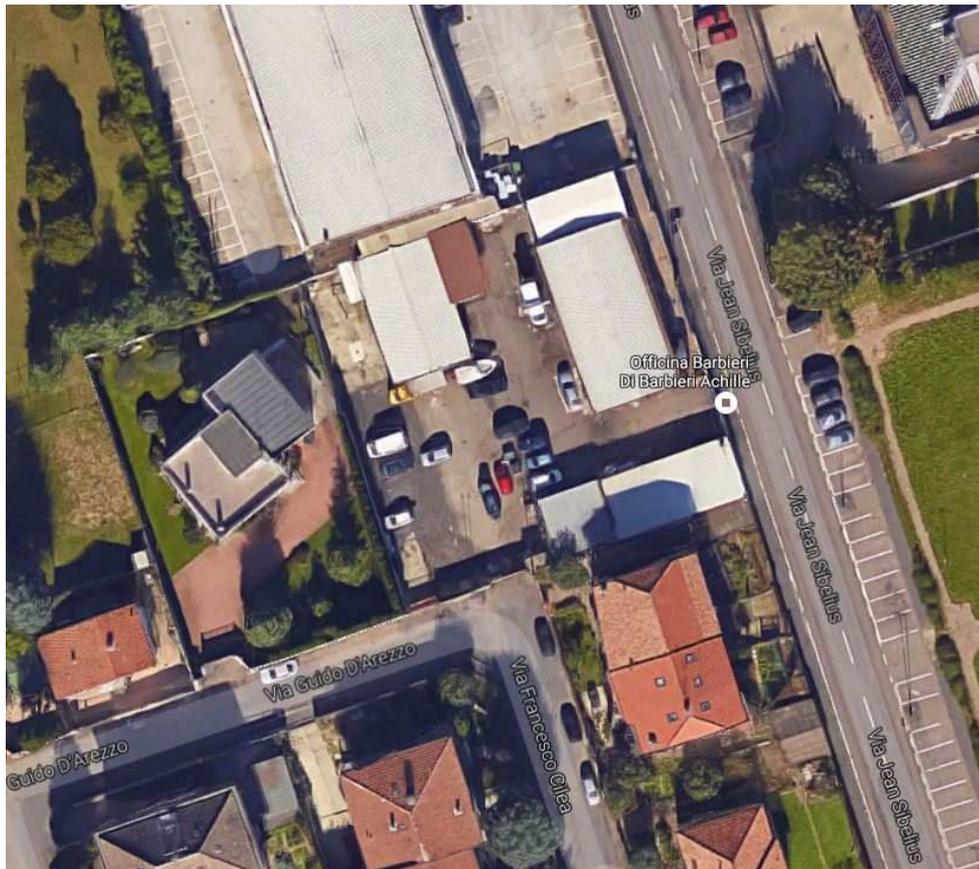


Via Liguria 1 – 20900 Monza  
Telefono e fax 039 837656  
[geotecnnoindagini@pec.it](mailto:geotecnnoindagini@pec.it)

**Dott. Geol. Riccardo Cortiana**  
[r.cortiana@geotecnnoindagini.it](mailto:r.cortiana@geotecnnoindagini.it)

**Dott. Geol. Filippo Valentini**  
[f.valentini@geotecnnoindagini.it](mailto:f.valentini@geotecnnoindagini.it)

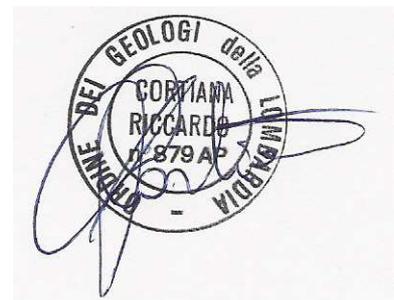
## **GRILLO IMMOBILIARE Srl**



### **RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO EDIFICIO RESIDENZIALE IN VIA GUIDO D'AREZZO NEL COMUNE DI PADERNO DUGNANO (MI)**

Monza, dicembre 2016

A cura di: Dott. Geol. R. Cortiana  
Dott. Geol. F. Valentini



## INDICE

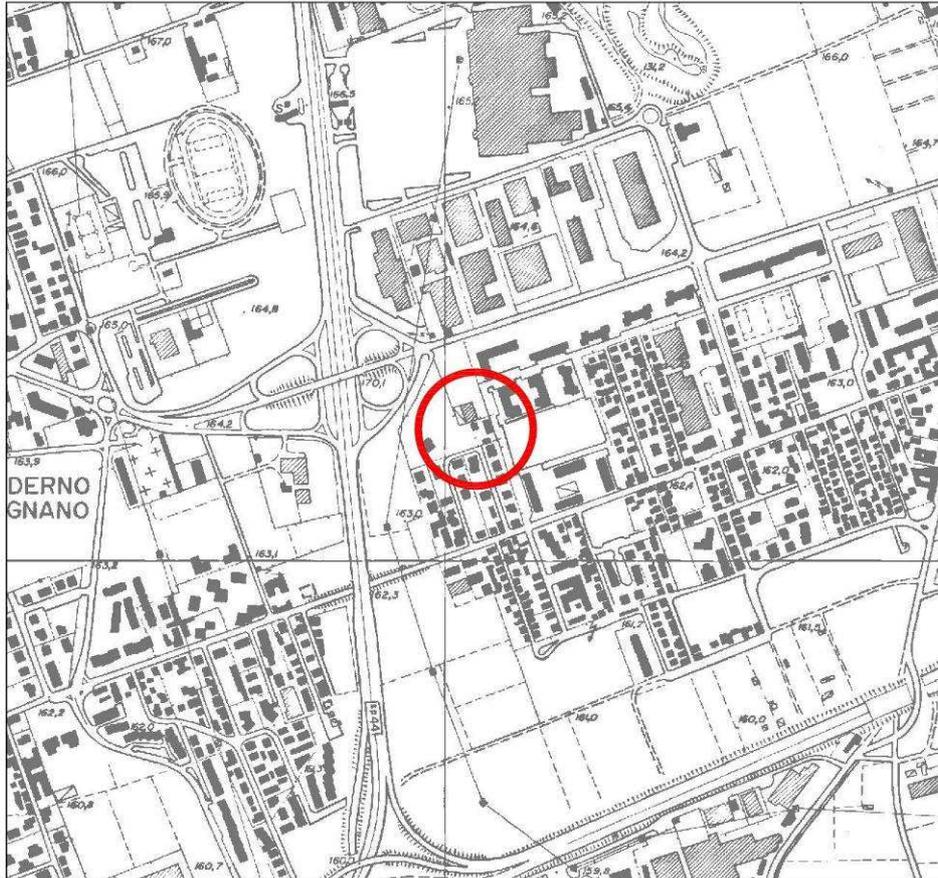
1	PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO.....	6
3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	7
4	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	8
4.1	Classificazione nazionale.....	8
4.2	Classificazione regionale.....	10
4.3	Progettazione antisismica.....	11
5	ANALISI RISCHIO SISMICO.....	16
6	INDAGINE GEOGNOSTICA.....	17
7	PARAMETRI GEOTECNICI.....	18
8	CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI SOTTOFONDO E DEI CEDIMENTI PREVEDIBILI.....	19
9	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE.....	24
10	CONCLUSIONI.....	25

## ALLEGATI

- UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE
- GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE
- PROVA SISMICA MASW

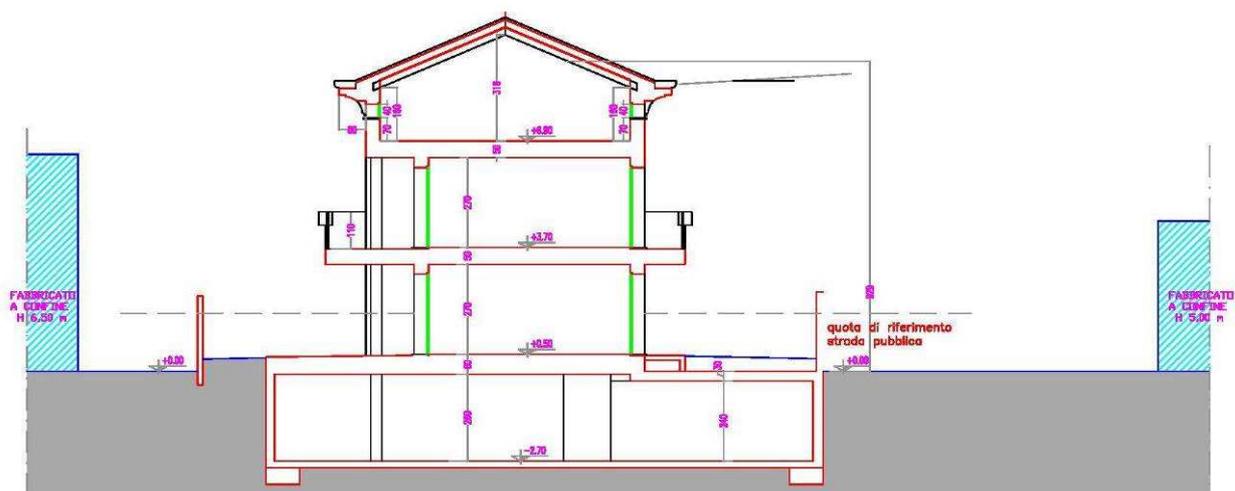
## 1 PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

La presente relazione, redatta su incarico della società *Grillo Immobiliare Srl* con sede in via dei Mille 60 nel Comune di Limbiate (MB), illustra i risultati di una campagna di indagini geognostiche realizzata presso un'area situata in via Guido d'Arezzo nel comune di Paderno Dugnano (MI) in previsione della realizzazione di un nuovo intervento edilizio.



*Corografia area di studio*

Nell'area in esame è prevista la demolizione della struttura esistente e la successiva realizzazione di una nuova palazzina residenziale, di pianta rettangolare (dimensione circa 9x25 m), data da un piano interrato e due piani fuori terra più sottotetto.



*Sezione intervento in progetto*



Planimetria intervento in progetto

Secondo la carta della fattibilità geologica, allegata alla componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T vigente del comune di Paderno Dugnano l'area in esame appartiene alla **classe di fattibilità 2** ovvero **fattibilità con modeste limitazioni**.



Estratto della carta di fattibilità allegata al PGT

**Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni.** Include tutte le aree che presentano deboli limitazioni alla variazione di destinazione d'uso che necessitano di approfondimenti di tipo geologico-tecnico; gli interventi permessi in queste aree necessitano di approfondimenti finalizzati alla realizzazione di opere di sistemazione

o bonifica o al miglioramento delle esistenti. Gli approfondimenti dovranno inoltre escludere la possibilità che variazioni alla destinazione d'uso incidano negativamente sulle aree limitrofe.

In particolare, l'area ricade nella sottoclasse 2a la quale presenta le caratteristiche sotto riportate:

### **Classe 2a – Piana fluvio-glaciale**

*Principali caratteristiche: aree pianeggianti, litologicamente costituite da ghiaie e sabbie, con locali lenti di limi debolmente sabbiosi, da poco a mediamente alterate. Possibile presenza di terreni fini superficiali discontinui.*

*Problematiche generali: presenza di terreni da granulari sciolti a coesivi, con discrete caratteristiche geotecniche fino a 2.5-6 m di profondità. Miglioramento delle caratteristiche portanti a maggiore profondità. Vulnerabilità dell'acquifero di grado elevato.*

*Parere sull'edificabilità: favorevole con modeste limitazioni legate alle caratteristiche portanti del terreno e alla salvaguardia dell'acquifero libero.*

*Tipo di intervento ammissibile: sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo, ristrutturazione (così come definiti dall'art. 27 della l.r. 11 marzo 2005 n. 12 "Legge per il governo del territorio"), nel rispetto delle normative vigenti.*

*Indagini di approfondimento preventive necessarie: si rende necessaria la verifica idrogeologica e litotecnica dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche per la determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie (IGT); in particolare dovrà essere valutata la stabilità dei versanti di scavo (SV) nel caso di opere di tipo 3, 4, 5, 6 al fine di prevedere le opportune opere di protezione degli scavi durante i lavori di cantiere. Le indagini geognostiche dovranno essere commisurate al tipo di intervento da realizzare ed alle problematiche progettuali proprie di ciascuna opera (secondo quanto indicato nell'art. 2 delle Norme geologiche di Piano). La modifica di destinazione d'uso di aree esistenti inserite in zona "produttiva" necessita la verifica dello stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento Locale d'Igiene (ISS); qualora venga rilevato uno stato di contaminazione dei terreni, dovranno avviarsi le procedure previste dal D.Lgs 152/06 "Norme in materia ambientale" (Piano di Caratterizzazione Ambientale/PCA con analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di Bonifica/POB). Interventi da prevedere in fase progettuale: quale norma generale per ogni tipo di opera gli interventi da prevedere, già in fase progettuale, saranno rivolti alla regimazione idraulica e alla predisposizione di accorgimenti/sistemi per la regimazione e lo smaltimento delle acque meteoriche e di quelle di primo sottosuolo, con individuazione del recapito finale, nel rispetto della normativa vigente e sulla base delle condizioni idrogeologiche del sito (RE-CO). Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, dovranno essere previsti interventi di bonifica (BO) qualora venga accertato uno stato di contaminazione del suolo ai sensi del D.Lgs 152/06 e s.m.i..*

*Norme sismiche da adottare per la progettazione: la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", definendo la pericolosità sismica di base in accordo alle metodologie dell'allegato A del decreto. Nel caso di edifici strategici e rilevanti (di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) ricadenti in aree PSL, la definizione delle azioni sismiche di progetto dovrà avvenire a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello - metodologie di cui all'allegato 5 della d.g.r. n. IX/2616/2011.*

Scopo della presente relazione è verificare la fattibilità, per quanto attiene le problematiche geologico-tecniche ed idrogeologiche, del nuovo intervento in progetto: si tratta in sostanza di verificare, con maggiore puntualità rispetto alle indicazioni generali dettate dalla perizia geologica a supporto del P.G.T. vigente, ed in ottemperanza delle prescrizioni dettate dalla perizia stessa, la fattibilità dell'intervento in oggetto.

Nel mese di dicembre 2016 è stata condotta un'analisi accurata dell'area con esecuzione di 3 prove penetrometriche di tipo dinamico (S.C.P.T.).

La seguente relazione è stata redatta, ai sensi delle nuove NTC (D.M. 14/01/2008) e della Circ. 617/09, sulla base dei risultati delle suddette indagini.

## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO

L'area lombarda ha subito le più importanti trasformazioni in un'epoca geologicamente recente, dal Miocene Superiore in poi, quando hanno avuto inizio intense fasi erosive culminate con la genesi di profondi canyons scavati allo sbocco nella Pianura Padana dai corpi glaciali che percorrevano le vallate alpine. Ciò è avvenuto in concomitanza con l'alternanza di episodi di trasgressione e regressione marina che si sono succeduti in questo periodo; tale fase è durata fino a tutto il Pleistocene Inferiore.

Con il Pleistocene Superiore si è avuta la sedimentazione di depositi di origine glaciale e fluvioglaciale apportati dai corpi glaciali provenienti dalla catena alpina; si è così formata una spessa coltre di sedimenti di origine glaciale (nelle aree pedemontane) e fluvioglaciale ed alluvionale (nelle aree di pianura).

In seguito si è assistito ad un susseguirsi di cicli di erosione e di deposito corrispondenti ad un'alternanza di fasi glaciali (Mindel, Riss e Würm) e interglaciali che si sono succedute fino ai giorni nostri; questo ha dato origine ad una tipica morfologia a cordoni morenici (visibili nella zona dell'alta pianura lombarda) e a terrazzi (visibile nella media e bassa pianura lombarda).

Nell'area in esame i depositi fluvioglaciali e alluvionali formano una coltre dello spessore di alcune centinaia di metri e sono costituiti da ghiaie e sabbie con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose; frequenti sono i ciottoli di dimensioni centimetriche, generalmente con un grado elevato di arrotondamento.



Stralcio della Carta Geologica della Brianza

L'area in esame, come si osserva dalla Carta Geologica d'Italia (Foglio 45 Milano) in scala 1:100.000, dalla Carta Geologica della Lombardia in scala 1:250.000 e da pubblicazioni specifiche (in allegato si riporta uno stralcio della Carta Geologica della Brianza tra il T. Seveso e il T. Molgora), è caratterizzato dalla presenza di depositi fluvioglaciali appartenenti al cosiddetto DILUVIUM RECENTE (Fluvioglaciale).

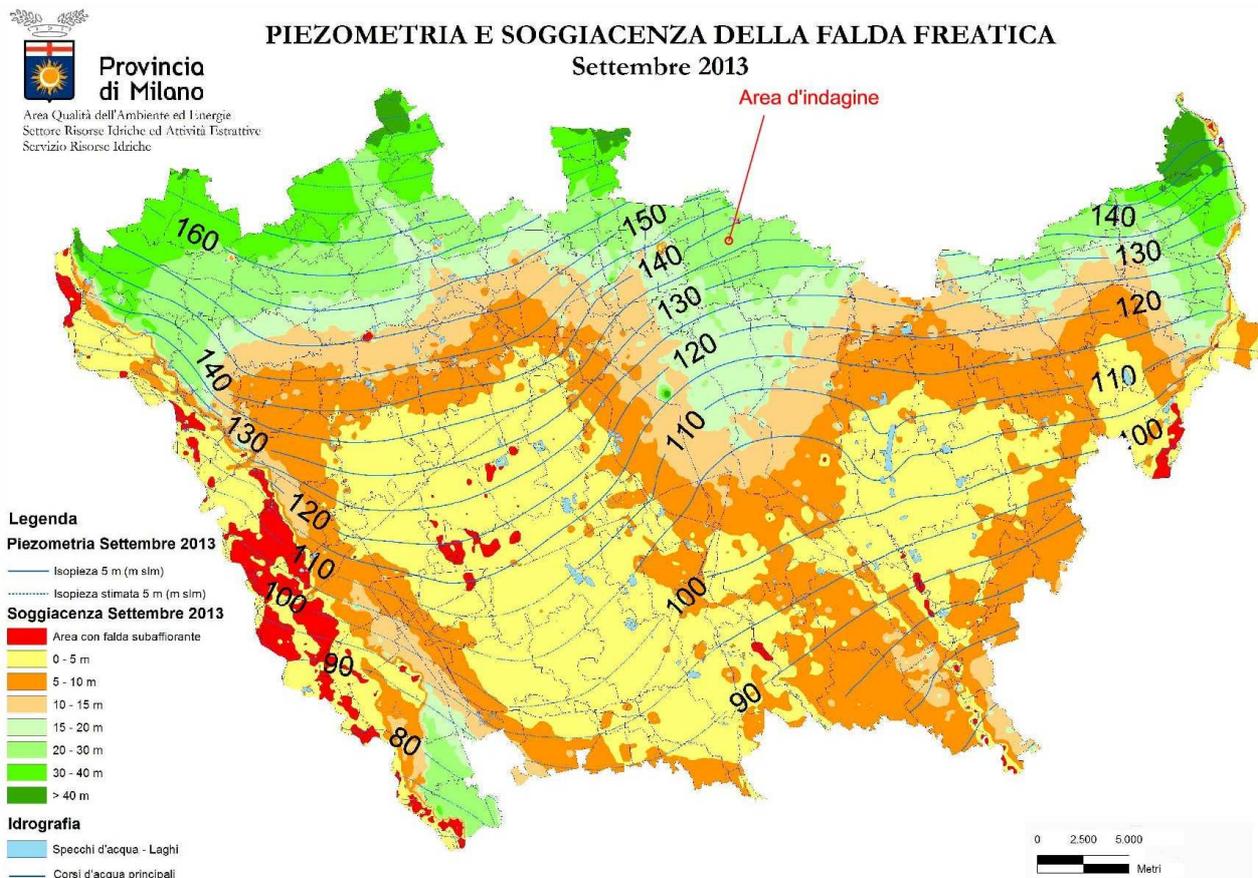
### **DILUVIUM RECENTE**

L'unità fluvioglaciale Wurm è litologicamente costituita da sedimenti ghiaiososabbiosi, talvolta con lenti limose o argilloso-limose, che generalmente mostrano caratteristiche d'addensamento discrete. Sono presenti, alle volte, intercalazioni di livelli conglomeratici che raggiungono spessori anche considerevoli e che sono però caratterizzati da una notevole variabilità sia laterale che orizzontale.

### 3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dai dati reperiti presso il SIF (Sistema Informativo Falda) della Provincia di Milano si evince che la quota della superficie freatica nell'area di studio è posta ad una profondità dell'ordine di 20-30 m rispetto alla quota di piano campagna (vedasi carta della soggiacenza sotto riportata); nella zona considerata quindi non si hanno problemi legati alla presenza di acqua di falda freatica.

In quest'area del territorio comunale di Paderno Dugnano le linee isopiezometriche (linee di eguale quota della superficie freatica sul livello del mare) relative alla falda freatica assumono generalmente una direzione OSO-ENE ed hanno una quota media dell'ordine di 138.0 m s.l.m. (si veda carta della piezometria sotto riportata); direzione di flusso della falda freatica con andamento circa NNE-SSO e gradiente idraulico pari a circa 6‰.



*Estratto della Carta della soggiacenza e della piezometria della falda freatica*

## 4 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Le azioni sismiche attese in un certo sito si prevedono, su base probabilistica, tramite la pericolosità sismica che è funzione delle caratteristiche di sismicità regionali e del potenziale sismogenetico delle sorgenti sismiche; la valutazione della pericolosità sismica porta poi alla valutazione del rischio sismico di un sito in termini di danni attesi a cose e persone come prodotto degli effetti di un evento sismico.

La pericolosità sismica valutata all'interno di un sito deve essere stimata come l'accelerazione orizzontale massima al suolo in un dato periodo di tempo, definendo i requisiti progettuali antisismici per le nuove costruzioni nel sito stesso.

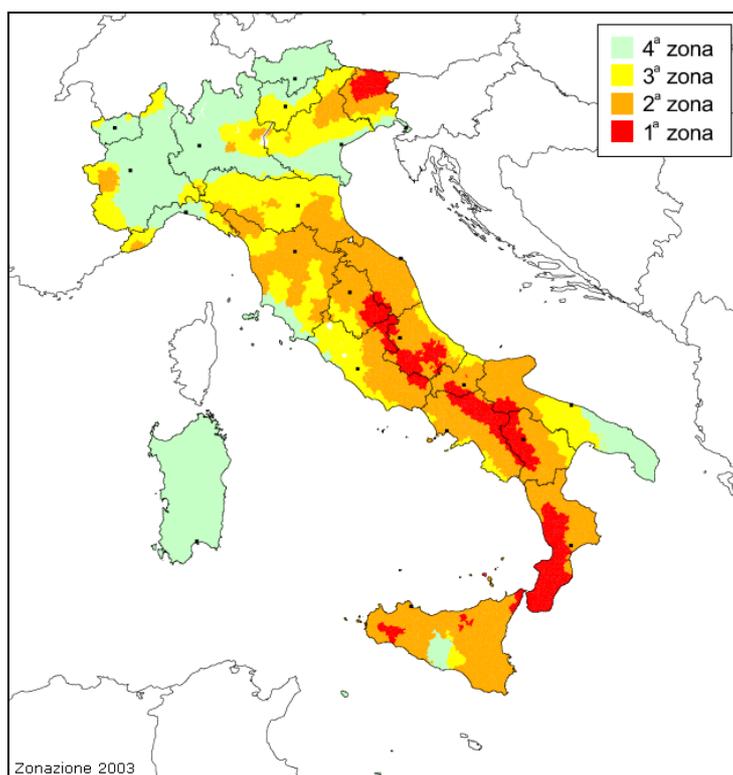
### 4.1 Classificazione nazionale

#### OPCM 20 marzo 2003

Sulla base del documento *Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale* elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito dalla Commissione Naz. Di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi (23 aprile 1997) e successive precisazioni, sono state individuate in tutto il territorio nazionale 4 zone sismiche, secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. La valutazione di  $a_g$  è stata calcolata con metodologie internazionali aggiornate periodicamente con procedure trasparenti e riproducibili.

La zonizzazione sismica dell'intero territorio nazionale è stata effettuata secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/03 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8/05/03 Supplemento Ordinario n. 72: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

- ✓ Allegato 1 - *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*
- ✓ Allegato 2 - *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*
- ✓ Allegato 3 - *Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti*
- ✓ Allegato 4 - *Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazioni e di sostegno dei terreni.*



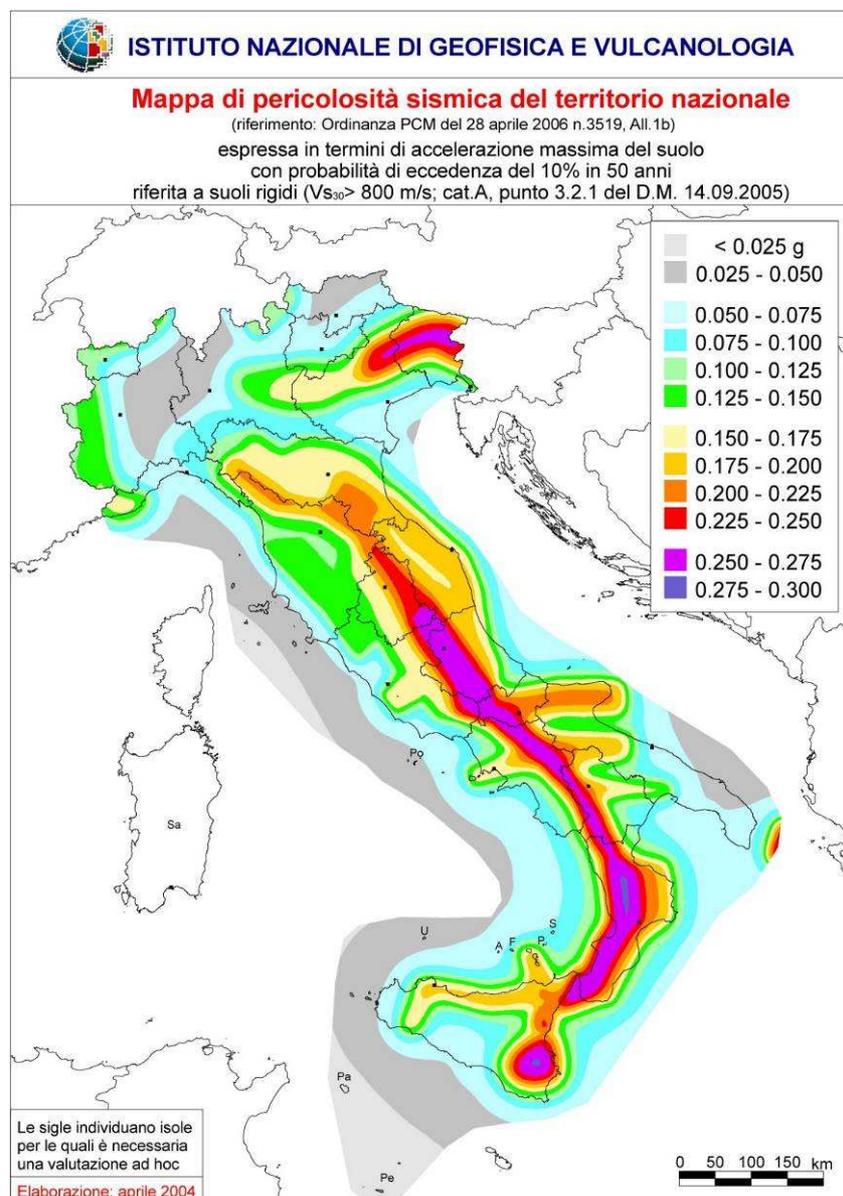
Secondo questa zonizzazione (vedasi figura di seguito riportata) il comune di Paderno Dugnano si trova in **zona 4** (colore verde), cioè nella zona, tra quelle individuate, di minor rischio sismico.

#### OPCM 28 aprile 2006

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28/04/06 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'11/05/06 Serie Generale Anno 147° - n. 108 (*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*) adotta come riferimento ufficiale una nuova mappa di pericolosità sismica e definisce i criteri generali per la classificazione delle zone sismiche. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

- ❖ Allegato 1A - *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*
- ❖ Allegato 1B - *Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.*

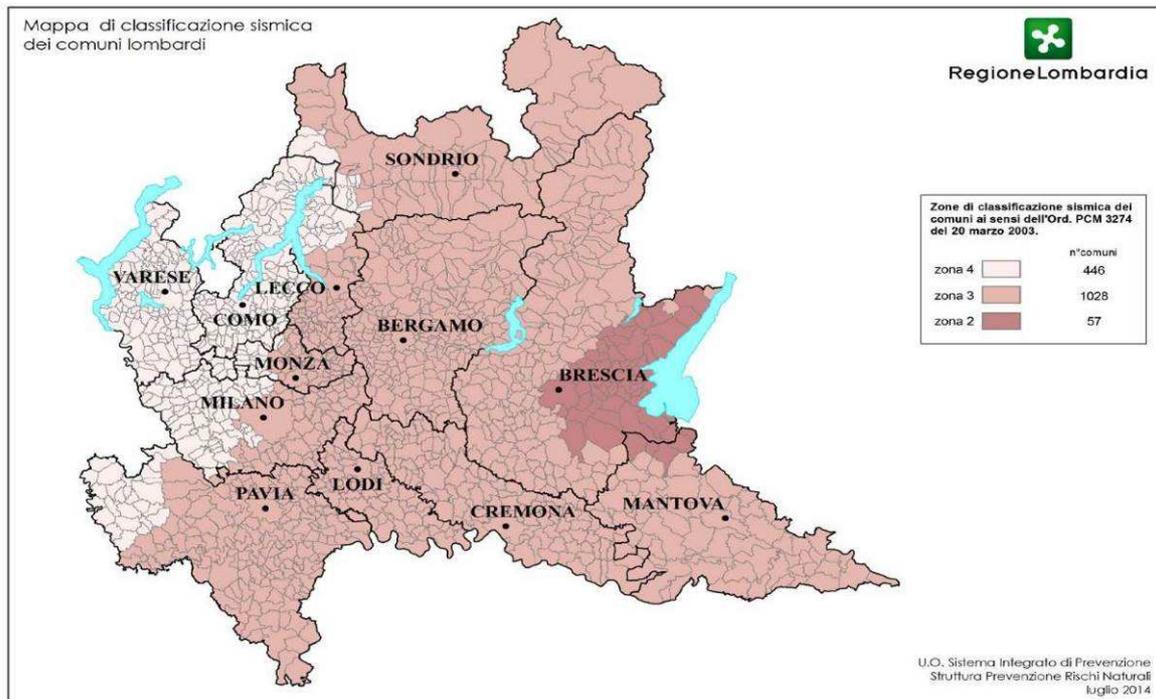
La mappa, riportata nell'Allegato 1B (vedasi figura di seguito riportata), rappresenta graficamente la pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{S30} > 800$  m/s.



## 4.2 Classificazione regionale

### D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129

La Regione Lombardia con D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 *Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia* (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) e pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione in data 16 luglio 2014 ha provveduto alla nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia così come previsto dall'ordinanza **O.P.C.M. 3519/06** "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".



La Regione Lombardia con **D.G.R. 8 ottobre 2015 – n. X/4144** – *Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129* «*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)* - ha ulteriormente deliberato di differire al 10 aprile 2016 il termine dell'entrata in vigore della D.G.R. 21 luglio 2014, n.2129.

Secondo la nuova classificazione il comune di Paderno Dugnano si trova in zona 4 caratterizzata da una  $AgMax$  pari a 0,049194.

### 4.3 Progettazione antisismica

#### D.M. 14 gennaio 2008

Dal 1° luglio 2009 la progettazione antisismica in Italia è regolata dal D.M. 14/01/08 per tutte le zone sismiche e per tutte le tipologie di edifici.

Il D.M. 14 gennaio 2008 (*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*), pubblicato sulla G.U. n. 29 del 04/02/08, in vigore dal 5 marzo 2008, sostituisce il precedente D.M. 14 settembre 2005, fatto salvo il periodo di monitoraggio di 18 mesi di cui al comma 1 dell'art. 20 della L. 28 febbraio 2008, n. 31.

Queste nuove Norme Tecniche per le Costruzioni definiscono i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 (*Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale*); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini di accelerazione del suolo  $a_g$  e di forma dello spettro di risposta. Costituiscono parte integrante del decreto:

- Allegato A - *Pericolosità sismica*
- Allegato B - *Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica.*

Diversamente dalla precedente normativa l'azione sismica non viene più valutata riferendosi ad una zona sismica (territorialmente coincidente con più entità amministrative), ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, ma viene valutata sito per sito e costruzione per costruzione.

Secondo l'allegato A l'azione sismica sulle costruzioni viene valutata a partire da una pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido (categoria di sottosuolo A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1).

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta con sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; i risultati dello studio di pericolosità devono essere forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata in funzione delle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo e morfologiche della superficie; tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

#### Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo indicate nella tabella 3.2.II, di cui al punto 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*, capitolo 3 *Azioni sulle costruzioni* del D.M. 14/01/2008.

Sono state definite cinque classi di terreni (A, B, C, D, E) identificabili in base ai valori della velocità equivalente  $V_{S,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. In mancanza di misure di  $V_s$ , l'identificazione della categoria di sottosuolo può essere effettuata sulla base dei valori di altre grandezze geotecniche, quali il numero dei colpi della prova penetrometrica dinamica ( $N_{SPT}$ ) per depositi di terreni prevalentemente a grana grossa e la resistenza non drenata ( $c_u$ ) per depositi di terreni prevalentemente a grana fine.

In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti le categorie di sottosuolo di riferimento:

- A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{S30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
- B *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà

meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).

- C** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- D** *Depositi di terreni grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30} < 180$  m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).
- E** *Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_S > 800$  m/s).*

La classificazione è effettuata sulla base del parametro  $V_{S,30}$  che rappresenta la velocità delle onde di taglio S riferita a 30 m di profondità e calcolata utilizzando la seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (NTC):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

In base ai risultati emersi nel corso di una serie di indagini sismiche e indagini geotecniche da noi eseguite nelle vicinanze dell'area in esame, si può stimare che il sottosuolo della stessa ricade all'interno della **categoria C**.

### Condizioni topografiche

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione, di cui al punto 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante pendii e rilievi con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. L'area di esame presenta configurazioni superficiali semplici, pertanto è possibile adottare la classificazione riportata in tabella 3.2.IV.

Sulla base dei dati topografici disponibili (riportati in cartografia), l'area rientra mediamente nella categoria **T1** ovvero *Superficie pianeggiante, con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* .

### D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003

La Regione Lombardia con D.G.R. n. 14964 del 7/11/03 prende atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata ordinanza 3274/03 ed impone l'obbligo della progettazione antisismica per i comuni che ricadono in zona 2, zona 3 ed in zona 4 esclusivamente per gli edifici strategici e rilevanti, così come individuati dal D.D.U.O. n. 19904 del 21/11/03.

### D.G.R. n IX/2616 del 30 novembre 2011

Per l'analisi della pericolosità sismica dell'area in esame si è fatto riferimento all'Allegato 5 (*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*)

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Tale allegato illustra la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale che prevede tre livelli di approfondimento, di seguito sintetizzati:

- 1° livello, riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).
- 2° livello, caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima di risposta sismica nei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa)
- 3° livello, definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini e analisi più approfondite.

*Il primo livello è obbligatorio per tutti i comuni.*

*riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).*

*Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti*

*Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti (a scala 1:10.000 e 1:2.000) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.). Perciò, salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito degli studi di 1° livello non sono necessarie nuove indagini geotecniche.*

*Lo studio consiste nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1:10.000 – 1:2.000 rappresentata dalla:*

- carta geologica con le relative sezioni, in cui viene rappresentato il modello geologico e tettonico dell'area, le formazioni, le discontinuità e i lineamenti tettonici in essa presenti;
- carta geomorfologica, in cui vengono distinte le varie forme e i processi (dinamica dei versanti, dinamica fluviale, etc.) in atto, quiescenti o relitti presenti nell'area in esame;
- carta della pericolosità sismica locale (PSL), derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle situazioni tipo Z1, Z2, Z4 e gli elementi lineari delle situazioni tipo Z3, Z5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (Tabella 1). In particolare per lo scenario Z3a si evidenzierà il ciglio della scarpata, per lo scenario Z3b la linea di cresta sommitale e per lo scenario Z5 il limite di contatto tra i litotipi individuati. Gli scenari Z1 e Z2 nell'analisi di 1° livello sono evidenziati sulla base del fenomeno prioritario che li caratterizza, quali fenomeni di instabilità e liquefazione e/o cedimenti: si sottolinea che le prescrizioni da assegnare a questi scenari in fase di pianificazione riguardano, oltre al fenomeno prioritario, anche i fenomeni di possibile amplificazione sismica che dovranno essere valutati in fase di progettazione sulla base degli interventi adottati per risolvere le problematiche prioritarie.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

TABELLA 1 – SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

In riferimento alle diverse situazioni tipo, riportate nella suddetta tabella, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale – PSL) si effettua l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e conseguentemente dei successivi livelli di approfondimento necessari.

All'interno delle aree classificate come scenario Z1 o Z2 non è necessario realizzare l'analisi di 2° livello ma si passa immediatamente all'analisi di 3° livello.

All'interno delle aree classificate come scenario Z3 o Z4, si potrà realizzare (nei casi sotto riportati) l'analisi di 2° livello e, conseguentemente ai suoi risultati, si potrà realizzare (dove necessario) l'analisi di 3° livello in fase progettuale.

Lungo le aree classificate come scenario Z5 non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzione a cavallo dei due litotipi; in fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.

Il secondo livello è obbligatorio in fase pianificatoria:

consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa).

L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini ed agli

approfondimenti di 3<sup>a</sup> livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Il secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1<sup>o</sup> livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato, negli scenari PSL Z3 e Z4, nel caso di costruzione di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2 della Tabella 1 dell'Allegato 5) non è prevista l'applicazione degli studi di 2<sup>o</sup> livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3<sup>o</sup> livello, come specificato al punto successivo.

Non è necessaria la valutazione quantitativa al 3<sup>o</sup> livello di approfondimento dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo. Nell'impossibilità di ottenere tale condizione, si dovranno prevedere opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

Il terzo livello è obbligatorio in fase progettuale:

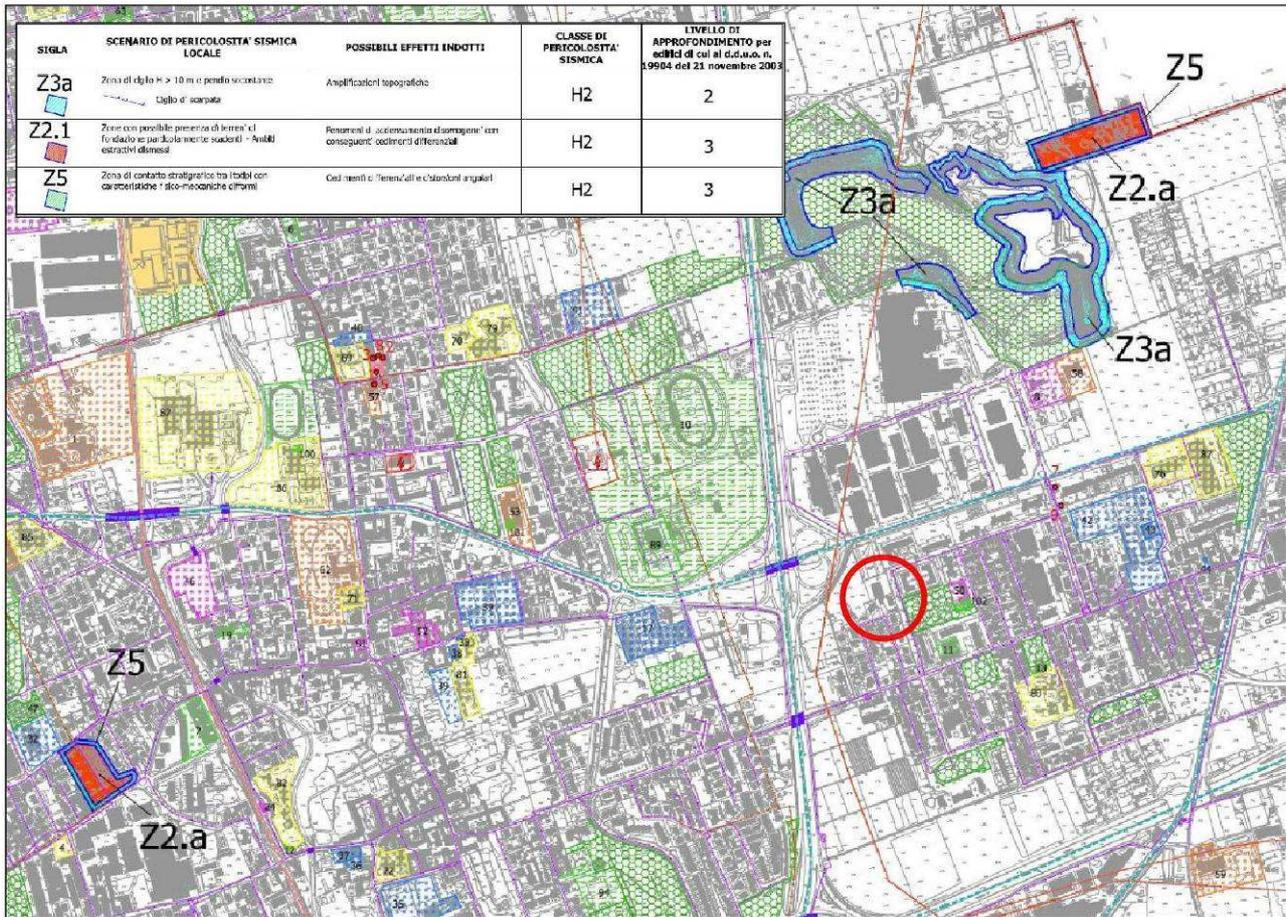
Consiste nella definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Al fine di poter effettuare le analisi di 3<sup>o</sup> livello la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati, rese disponibili sul Geoportale della Regione Lombardia, il cui utilizzo è dettagliato nell'allegato 5.

Tale livello si applica in fase progettuale nei seguenti casi:

- quando, a seguito dell'applicazione del 2<sup>o</sup> livello, si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale all'interno degli scenari PSL caratterizzati da effetti di amplificazioni morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5);
- in presenza di aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2), nelle zone sismiche 2 e 3 per tutte le tipologie di edifici, mentre in zona sismica 4 nel caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

## 5 ANALISI RISCHIO SISMICO

### 5.1 Analisi di I livello



Estratto della carta di pericolosità sismica locale allegata al PGT

Secondo la Carta di PSL allegata al PGT vigente del comune di Paderno Dugnano, nell'area in esame non è presente alcun scenario di pericolosità sismica locale.

L'area in esame ricade in zona sismica 4 pertanto non è obbligatorio realizzare l'analisi di secondo livello.

## 6 INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica di campagna è stata condotta mediante l'esecuzione di 3 prove penetrometriche dinamiche continue S.C.P.T.

Le indagini sono state eseguite con penetrometro superpesante tipo Meardi AGI avente le seguenti caratteristiche:

peso del maglio	73	kg
altezza di caduta	75	cm
angolo al vertice della punta conica	60	°
diametro del cono	50.8	mm
peso delle aste	4.6	kg/ml



*Penetrometro utilizzato tipo Meardi A.G.I.*

L'ubicazione delle prove eseguite è riportata nella planimetria schematica allegata. La distribuzione dei punti di prova garantisce una corretta ricostruzione stratigrafica dell'area in esame.

Le verticali d'indagine sono state interrotte alle quote indicate nella tabella sottostante per la presenza di livelli particolarmente resistenti alla penetrazione dinamica.

Prova	Profondità (m)
1	5.7
2	5.4
3	5.4

Nel corso delle prove non è stata rilevata presenza di acqua di falda a conferma dei dati idrogeologici in nostro possesso.

## 7 PARAMETRI GEOTECNICI

Sulla base del grado di addensamento rilevato nel corso delle indagini, possono essere riconosciute le seguenti litozone:

- LITAZONA A: grado di addensamento medio-basso con caratteristiche geotecniche da scarse a modeste ( $N_{scpt} < 10$ )
- LITAZONA B: grado di addensamento medio-alto con caratteristiche geotecniche da buone a ottime ( $N_{scpt} > 10$ )

Il terreno è stato suddiviso in litozone in base ai parametri geotecnici medi degli orizzonti attraversati dalle verticali penetrometriche.

**S.C.P.T. 1 – 2 – 3**

Litozona	Profondità (m)	$N_{SCPT}$	$N_{SPT}$	$\gamma$ ( $T/m^3$ )	$\phi$ ( $^{\circ}$ )	E ( $kg/cm^2$ )	K's ( $kN/m^3$ )
A	0.0 – 1.8/2.1	3 – 4	5 – 7	1.70	26.5 – 27	75 – 115	$8.5 – 10.5 \times 10^3$
B	1.8/2.1 – 5.4/5.7	> 15	> 26	> 1.85	> 34.5	> 385	> $49.5 \times 10^3$

dove:

$N_{SCPT}$  = numero di colpi necessario per ottenere un avanzamento di 30 cm in una prova SCPT

$N_{SPT}$  = numero di colpi SPT correlato

$\gamma$  = peso di volume del terreno ( $T/m^3$ )

$\Phi$  = angolo di attrito del terreno ( $^{\circ}$ )

E = modulo di deformazione (o di Young) in  $kg/cm^2$

K's = stima del modulo di reazione del sottofondo (o di Winkler) in  $kN/m^3$

Le verticali penetrometriche hanno evidenziato la presenza di sedimenti caratterizzati da un grado di addensamento basso fino alla profondità di 1.8/2.1 m da p.c.. Inferiormente si osserva un aumento dello stato di addensamento dei terreni attraversati e la presenza di sedimenti dalle buone caratteristiche geotecniche (litozona B) fino alla massima profondità indagata.

## 8 CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI SOTTOFONDO E DEI CEDIMENTI PREVEDIBILI

Secondo le NTC (D.M. 14/01/2008) la sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. In particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- **sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU):** capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera. Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso.
- **sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE):** capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.
- **robustezza nei confronti di azioni eccezionali:** capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Le opere strutturali devono essere verificate:

- per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;
- per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

Le verifiche di sicurezza delle opere devono essere contenute nei documenti di progetto, con riferimento alle prescritte caratteristiche meccaniche dei materiali e alla caratterizzazione geotecnica del terreno, dedotta in base a specifiche indagini.

### 8.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)

Le verifiche di sicurezza per gli stati limite ultimi (SLU) richiedono il rispetto della seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove

$E_d$  è il valore di progetto dell'azione (o dell'effetto delle azioni)

$R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (ovvero la sua capacità portante)

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

ovvero:

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right],$$

con  $\gamma_E = \gamma_F$  e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right].$$

Effetto delle azioni ( $E_d$ ) e resistenza ( $R_d$ ) sono espressi in funzione di:

- azioni di progetto  $\gamma_F F_k$
- parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$
- geometria di progetto  $a_d$ .

L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come  $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ . Nella formulazione della resistenza  $R_d$ , compare esplicitamente un coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione (Combinazione 1) è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione (Combinazione 2) è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

La verifica di stabilità globale in questo caso viene effettuata secondo l'Approccio 2 e sarà quindi effettuata solamente nei confronti dello SLU di tipo geotecnico (GEO) e tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabella 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici, accertando che la condizione  $E_d \leq R_d$  sia soddisfatta.

### Approccio 2: A1+M1+R3

dove:

**A** rappresenta le azioni

**M** rappresenta la resistenza dei materiali (terreno)

**R** rappresenta la resistenza globale del terreno.

#### Azioni (A)

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I (Cap. 6 D.M. 14/01/2008). Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

#### Resistenze (M)

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008);
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008);
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r$	1,0	1,0

Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni

Valori caratteristici dei parametri geotecnici

La scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici avviene in due fasi. La prima fase comporta l'identificazione dei parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali. Identificati i parametri geotecnici appropriati, la seconda fase del processo decisionale riguarda la valutazione dei valori caratteristici degli stessi parametri.

Nella progettazione geotecnica, in coerenza con gli Eurocodici, la scelta dei valori caratteristici dei parametri deriva da una stima cautelativa del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato.

Nel caso in esame i valori caratteristici vengono ricavati utilizzando la seguente formula:

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

dove:

$x_k$  è il valore caratteristico desiderato

$\bar{x}$  (**con barra**), il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;

$t$  è il valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità u = 95%

$s$  è la deviazione standard del campione

$n$  è il numero di dati

Quota imposta fondazioni (m) da p.c. attuale	Tipo di fondazione	Larghezza fondazione (m)	$\Phi_m$ (°)	$\Phi_k$ (°)	$\gamma_m$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_k$ (T/m <sup>3</sup> )
3.5	Trave rovescia	1.6	37	35	1.95	1.90

dove

$\Phi_m$  e  $\gamma_m$  rappresentano i valori medi

$\Phi_k$  e  $\gamma_k$  i valori caratteristici.

Valori di progetto dei parametri geotecnici

Nel calcolo della capacità portante saranno utilizzati i parametri geotecnici di progetto ottenuti dividendo i valori caratteristici per i coefficienti parziali riportati nella colonna M1 (vedasi *Tabella 6.2.II* - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni).

Quota imposta fondazioni (m) da p.c. attuale	Tipo di fondazione	Larghezza fondazione (m)	$\Phi_k$ (°)	$\Phi_d$ (°)	$\gamma_k$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (T/m <sup>3</sup> )
3.5	Trave rovescia	1.6	35	35	1.90	1.90

dove

$\Phi_d$  e  $\gamma_d$  rappresentano i valori di progetto.

Calcolo della capacità portante

Per il calcolo della capacità portante è stata utilizzata la formula di Meyerhof che, nel caso di carico verticale su un terreno prevalentemente incoerente con angolo di attrito  $\Phi > 10^\circ$ , presenta la seguente espressione:

$$q_{ult} = q N_q S_q d_q + c N_c S_c d_c + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

dove:

$S_c S_q S_\gamma$  sono fattori di forma

$d_c d_q d_\gamma$  sono fattori di profondità

$N_c N_q N_\gamma$  sono fattori di portata

Nel caso in esame il valore della coesione  $c$  è uguale a zero, in quanto si tratta di un terreno a comportamento prevalentemente frizionale, per cui l'espressione della capacità portante si riduce a:

$$q_{ult} = q N_q S_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

Nei calcoli effettuati si è valutata la capacità portante per fondazioni dirette continue impostate ad una profondità di circa 3.5 m da p.c..

Introducendo i valori dei parametri geotecnici di progetto nella formula di Meyerhof e tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nella tabella 6.4.1 si ottiene un valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico  $R_d$  pari a 4.40 kg/cm<sup>2</sup>.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Tabella 6.4.1 - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

Nel prossimo paragrafo si procederà alla verifica delle pressioni di contatto agenti sui terreni di fondazione in termini di cedimenti ammissibili. Tale trattazione viene sviluppata in relazione alla geometria della fondazione e alle caratteristiche geotecniche del terreno in esame, al fine di ottenere il valore di pressione che le nuove opere potranno esercitare sul terreno fondale senza determinare cedimenti superiori ai valori ammissibili per l'opera stessa.

Tale trattazione consentirà di ricavare il valore di pressione allo stato limite d'esercizio.

## 8.2 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)

Per effetto delle azioni trasmesse in fondazione, i terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa. Le componenti verticali degli spostamenti (cedimenti) assumono in genere valori diversi sul piano di posa di un manufatto. Si definisce cedimento differenziale la differenza dei cedimenti tra punti di una stessa fondazione, di fondazioni distinte con sovrastrutture comuni e di fondazioni distinte con sovrastrutture staticamente indipendenti. In base alla evoluzione nel tempo si distinguono i cedimenti immediati e i cedimenti differiti. Questi ultimi sono caratteristici dei terreni a grana fine, poco permeabili, e dei terreni organici. I cedimenti e gli spostamenti delle fondazioni e del terreno circostante possono essere valutati con metodi empirici o analitici. Nel caso di terreni a grana media o grossa, i parametri anzidetti possono essere valutati sulla base dei risultati di indagini geotecniche in sito.

Le verifiche relative alle deformazioni (cedimenti) e agli spostamenti si effettuano adoperando i valori caratteristici dei parametri. Pertanto, si assegnano valori unitari ai coefficienti delle azioni (A) e dei parametri di resistenza (M).

La combinazione delle azioni (SLE, Stato Limite d'Esercizio) da considerare è la Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$N_d = G_1 + G_2 + P + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \Psi_{23}Q_{k3} + \dots$$

dove:

**G<sub>i-esimo</sub>** = azioni permanenti

**P** = precompressione

**Q** = azioni variabili

**Ψ** = coefficienti di combinazione che dipendono dalla natura dell'azione e della categoria dell'edificio.

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 severo, considerando distintamente l'incidenza dei carichi permanenti e variabili, ai quali attribuirà i rispetti coefficienti di riduzione previsti dal D.M. 14/01/008.

In questa fase si è proceduto alla determinazione della pressione massima esercitabile dalle opere di fondazione in progetto sui terreni affinché i cedimenti totali (a 50 anni dalla costruzione) risultino inferiori a 30 mm, (valore di riferimento per strutture in c.a. come quelle in progetto) e affinché i cedimenti differenziali risultino inferiori a 10 mm.

#### Calcolo dei cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti dei terreni di fondazione si è fatto riferimento alla relazione di Burland e Burbidge.

$$S = f_s f_h f_t [ \sigma_{vo} B^{0.7} I_c/3 + (q' - \sigma_{vo}) B^{0.7} I_c ]$$

dove:

$f_s$   $f_h$   $f_t$  sono fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e della componente viscosa dei cedimenti.

$B$  è la larghezza delle fondazioni

$I_c$  è l'indice di compressibilità (tiene conto dei valori NSPT ricavati nel corso delle prove)

$q'$  è la pressione efficace lo Rda (kPa)

$\sigma_{vo}$  è la tensione verticale efficace agente alla quota d'imposta delle fondazioni (kPa)

Utilizzando il valore della pressione limite ricavato con il fattore di sicurezza  $\gamma_R = 2.3$  previsto dalla normativa, per le fondazioni ipotizzate si otterrebbero cedimenti immediati e totali elevati e non compatibili con le strutture in progetto.

Si consiglia pertanto di adottare il seguente valore della pressione di esercizio  $P_E$  pari a **2.40 kg/cm<sup>2</sup>** con i quali si ottengono cedimenti immediati e totali compatibili con le strutture in progetto.

## 9 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione delle sabbie è il comportamento dei suoli sabbiosi che, a causa di un aumento della pressione interstiziale, passano improvvisamente da uno stato solido ad un fluido, o con la consistenza di un liquido pesante.

La liquefazione avviene più frequentemente in depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. Durante la fase di carico, le sollecitazioni indotte nel terreno, quali possono essere quelle derivanti da un evento sismico, possono causare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la tensione soprastante. Viene così annullata la resistenza al taglio del terreno secondo il principio delle pressioni efficaci di Terzaghi, e si assiste così a un fenomeno di fluidificazione del suolo.

Secondo il D.M. 14/01/2008 (articolo 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione") è possibile non effettuare la verifica alla liquefazione quando si manifesta almeno una delle seguenti condizioni:

1. eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  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  $q_{c1N}$  è il valore della esistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. 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  $U_c > 3,5$ .

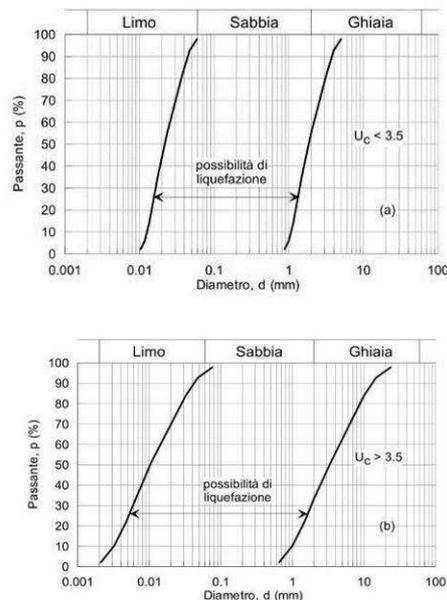


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nell'area in esame le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) risultano minori di  $0,1g$ ; il manifestarsi di tale condizione esclude, per l'area oggetto di studio, la verifica alla liquefazione.

## 10 CONCLUSIONI

L'area in esame sita in via Guido d'Arezzo nel comune di Paderno Dugnano (MI) è caratterizzata dalla presenza, in affioramento, di un terreno di fondazione appartenente dal punto di vista geologico alle alluvioni fluvio-glaciali del periodo Würm (DILUVIUM RECENTE), caratterizzate da ghiaie e sabbie con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose; frequenti sono i ciottoli di dimensioni centimetriche, generalmente con un grado elevato di arrotondamento.

Nell'area in esame è prevista la demolizione della struttura esistente e la successiva realizzazione di una nuova palazzina residenziale, di pianta rettangolare (dimensione circa 9x25 m), data da un piano interrato e due piani fuori terra più sottotetto.

Nel mese di dicembre 2016 è stata condotta un'analisi accurata dell'area con esecuzione di 3 prove penetrometriche di tipo dinamico (S.C.P.T.).

Dal punto di vista geotecnico le indagini hanno evidenziato la presenza, alla quota d'imposta delle fondazioni, circa 3.5 m da p.c., di sedimenti caratterizzati da un grado di addensamento alto e parametri geotecnici buoni.

I calcoli hanno dimostrato che sarà possibile utilizzare fondazioni dirette continue utilizzando il valore della pressione di esercizio riportato precedentemente.

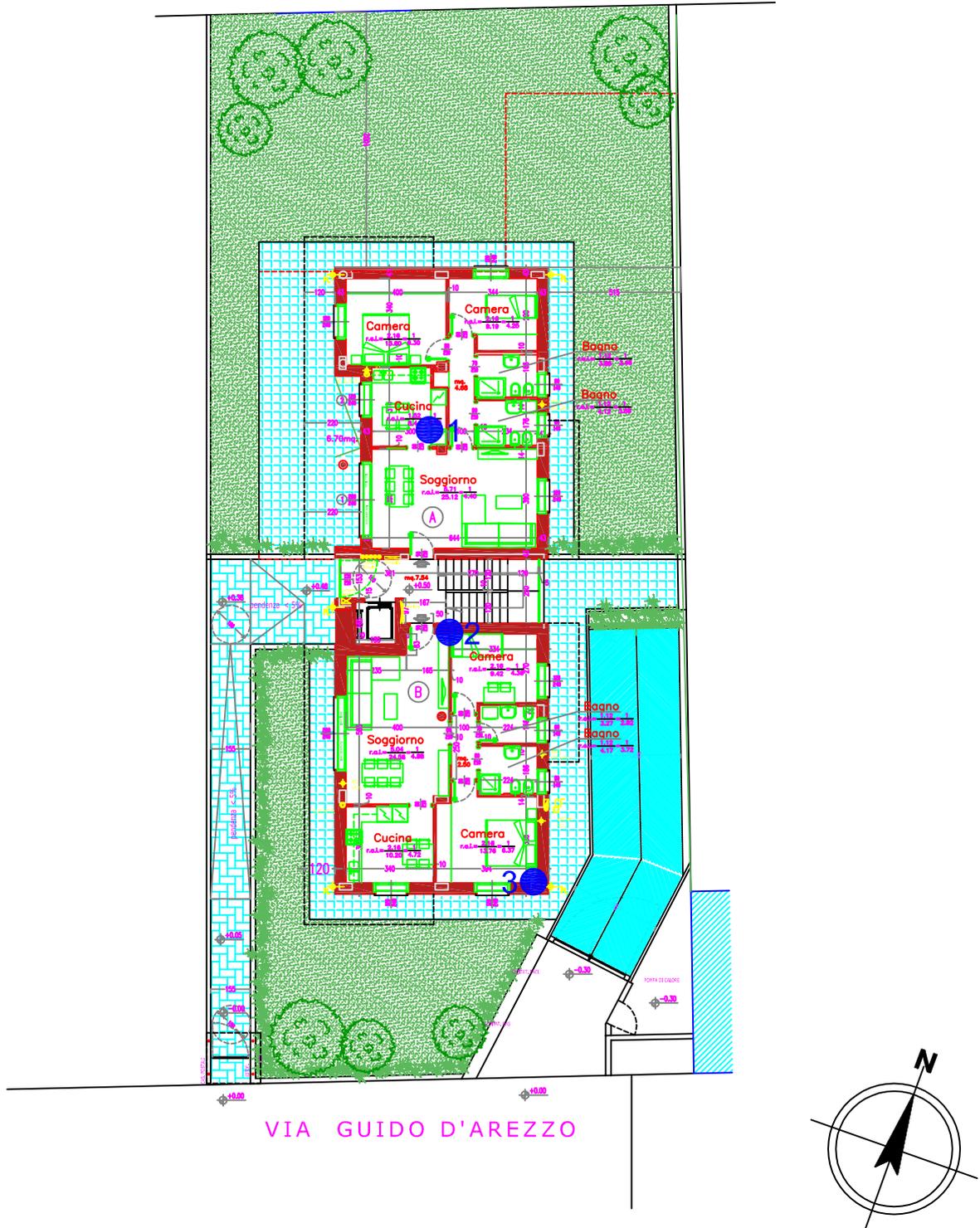
Secondo i dati reperiti presso il SIF (Sistema Informativo Falda) della Provincia di Milano la soggiacenza media della falda nell'area indagata si attesta ad una profondità compresa tra 20 e 30 m dal p.c.

### Il tecnico incaricato

*Dott. Geol. Riccardo Cortiana*



# UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE



● S.C.P.T. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

COMMITTENTE: Grillo Immobiliare Srl	
CANTIERE: Paderno Dugnano (MI) - via Guido d'Arezzo	DATA: Dic. '16

## PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

COMMITTENTE: **Grillo Immobiliare srl**

CANTIERE: **Paderno Dugnano (MI) - via Guido d'Arezzo**

QUOTA DI RIFERIMENTO: **piano campagna** DATA **dicembre-16**

Profondità (m)	S.C.P.T. 1	S.C.P.T. 2	S.C.P.T. 3	S.C.P.T. 4	Profondità (m)
0.3	23	17	12		0.3
0.6	2	6	3		0.6
0.9	3	4	4		0.9
1.2	4	3	3		1.2
1.5	3	3	3		1.5
1.8	4	3	8		1.8
2.1	14	7	10		2.1
2.4	27	17	25		2.4
2.7	34	24	29		2.7
3.0	37	24	14		3.0
3.3	29	11	15		3.3
3.6	25	18	26		3.6
3.9	22	23	26		3.9
4.2	17	33	18		4.2
4.5	12	25	21		4.5
4.8	22	26	32		4.8
5.1	27	39	48		5.1
5.4	41	100	100		5.4
5.7	100				5.7
6.0					6.0
6.3					6.3
6.6					6.6
6.9					6.9
7.2					7.2
7.5					7.5
7.8					7.8
8.1					8.1
8.4					8.4
8.7					8.7
9.0					9.0
9.3					9.3
9.6					9.6
9.9					9.9

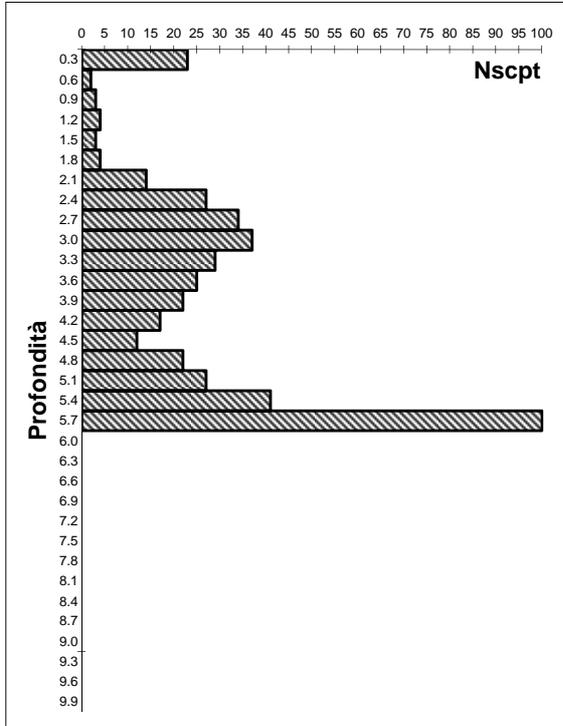
# PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

(Penetrometro super pesante tipo Meardi - A.G.I.)

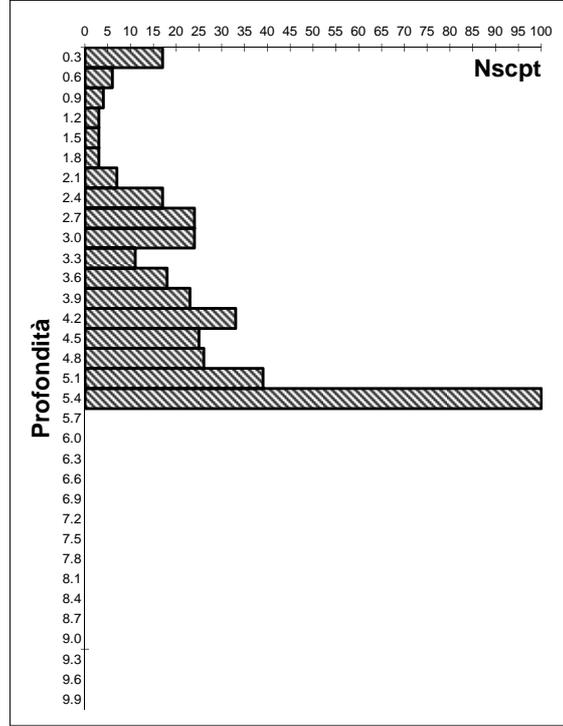
**COMMITTENTE:** Grillo Immobiliare srl

**LOCALITA':** Paderno Dugnano (MI) - via Guido d' **DATA:** dic-16

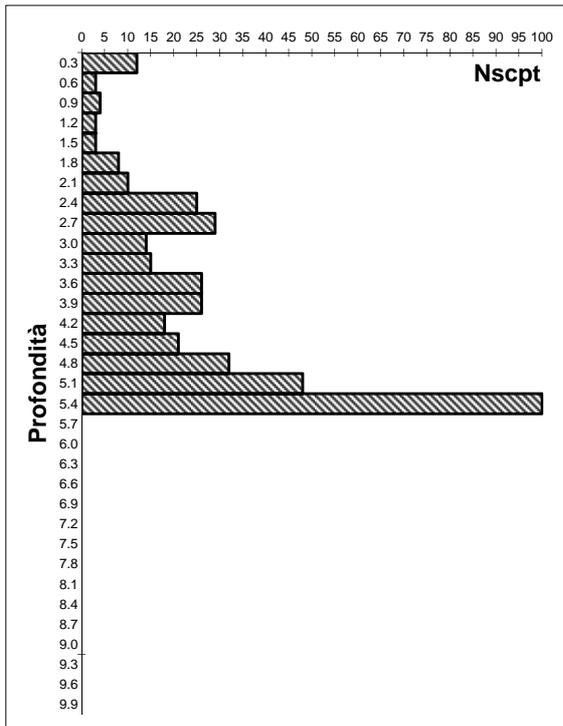
**S.C.P.T. 1**



**S.C.P.T. 2**



**S.C.P.T. 3**





**CARREFOUR PROPERTY ITALIA S.r.l.**  
Via Caldera, 21 - 20153 Milano (MI)

**INTERVENTO DI AMPLIAMENTO DEL CARREFOUR  
DI VIA GIOVANNI AMENDOLA  
PADERNO DUGNANO (MI)**

**RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA (R1 + R3)  
RELAZIONE GEOTECNICA (R2) - CARATTERIZZAZIONE  
AI SENSI DELLE N.T.C. D.M. 17/01/2018  
e D.G.R. X/5001/2016**

Milano, aprile 2021

**STUDIO IDROGEOTECNICO Srl**  
**Società di ingegneria**

Bastioni di Porta Volta 7 - 20121 Milano

tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40

e-mail: [stid@fastwebnet.it](mailto:stid@fastwebnet.it)

PEC: [stidsrl@pec.it](mailto:stidsrl@pec.it)

[www.studioidrogeotecnico.com](http://www.studioidrogeotecnico.com)

CF e P.Iva e Registro Imprese di Milano 09422240961

Capitale sociale € 30.000 interamente versato





**CARREFOUR PROPERTY ITALIA S.r.l.**  
Via Caldera, 21 - 20153 Milano (MI)

**INTERVENTO DI AMPLIAMENTO DEL CARREFOUR  
DI VIA GIOVANNI AMENDOLA  
PADERNO DUGNANO (MI)**

**RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA (R1 + R3)  
RELAZIONE GEOTECNICA (R2) - CARATTERIZZAZIONE  
AI SENSI DELLE N.T.C. D.M. 17/01/2018  
e D.G.R. X/5001/2016**

**SOMMARIO**

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>RELAZIONE GEOLOGICA (R1+R3) .....</b>	<b>6</b>
3.1	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PGT .....	6
3.1.1	<i>Vincoli idrogeologici.....</i>	<i>6</i>
3.1.2	<i>Pericolosità sismica locale.....</i>	<i>7</i>
3.1.3	<i>Sintesi degli elementi conoscitivi .....</i>	<i>9</i>
3.1.4	<i>Fattibilità .....</i>	<i>10</i>
3.1.5	<i>Direttiva Alluvioni.....</i>	<i>12</i>
3.2	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	13

CF e P.Iva e Registro Imprese di Milano 09422240961 - Capitale sociale € 30.000 i.v.

3.2.1	<i>Lineamenti geomorfologici, idrografici e geologici.....</i>	<i>13</i>
3.2.2	<i>Unità idrogeologiche.....</i>	<i>14</i>
3.2.3	<i>Piezometria.....</i>	<i>19</i>
3.3	ASPETTI SISMICI SITO SPECIFICI.....	22
3.3.1	<i>Approfondimento sismico di primo livello .....</i>	<i>22</i>
3.3.1.1	Pericolosità sismica locale.....	22
3.3.1.2	Parametri sismici.....	23
3.3.1.3	Verifica della suscettibilità alla liquefazione .....	27
3.3.2	<i>Approfondimento sismico di secondo livello.....</i>	<i>28</i>
3.3.2.1	Stima degli effetti litologici e del fattore di amplificazione .....	30
3.3.2.2	Individuazione della scheda litologica di valutazione.....	30
3.3.2.3	Calcolo del periodo proprio di sito .....	32
3.3.2.4	Calcolo del fattore di amplificazione e confronto con i valori di soglia comunale	32
<b>4</b>	<b>RELAZIONE GEOTECNICA (R2) - CARATTERIZZAZIONE.....</b>	<b>34</b>
4.1	INDAGINE GEOGNOSTICA .....	34
4.1.1	<i>Sondaggi a carotaggio continuo .....</i>	<i>34</i>
4.1.2	<i>Metodologia delle prove penetrometriche dinamiche SPT.....</i>	<i>35</i>
4.2	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – TECNICA DEI TERRENI .....	36
4.3	MISURAZIONE DEL LIVELLO DI FALDA FREATICA .....	39

## **ALLEGATI**

All. 1 - Ubicazione delle indagini - scala 1:1.000

All. 2 - Descrizioni stratigrafiche, documentazione fotografica e prove SPT in foro

All. 3 - Prova di prospezione sismica MASW

All. 4 – Certificati di analisi di laboratorio

MODULO 9 D.d.u.o. 28 novembre 2018 n. 17589

MODULO 10 D.d.u.o. 28 novembre 2018 n. 17589

## 1 PREMESSA

**Carrefour Property Italia S.r.l.** ha affidato allo Studio Idrogeotecnico S.r.l. l'incarico per l'esecuzione di un'indagine geognostica a supporto dell'intervento edilizio di ampliamento del Carrefour in Via Giovanni Amendola, in comune di Paderno Dugnano.

L'intervento sarà costituito da una struttura a telaio in c.a. prefabbricato, con piano primo realizzato con travi in c.a. e solai alveolari, piano copertura realizzato con travi in c.a. e lamiera grecata per grandi luci; i tamponamenti perimetrali saranno in pannelli prefabbricati a taglio termico.

L'indagine, svolta in ottemperanza a quanto previsto dalla normativa del D.M. 17/01/2018, è stata finalizzata alla definizione delle caratteristiche stratigrafiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione allo scopo di ottenere la corretta scelta, impostazione e dimensionamento delle opere fondazionali.

Per la definizione del modello geologico e geotecnico sito specifico si è fatto riferimento alle seguenti indagini condotte nell'area:

- n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, uno spinto alla profondità di 15.0 m da piano campagna (S1) e l'altro fino alla profondità di 20.0 m da p.c. (S2);
- n° 11 prove SPT (*Standard Penetration Test*) nei fori di sondaggio;
- n° 1 indagine di prospezione sismica MASW;
- prelievo di campioni rimaneggiati di terreno per la successiva analisi e prove geotecniche di laboratorio.

In coerenza con quanto previsto ai sensi della D.G.R. X/5001 del 30 marzo 2016 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1e 13, comma 1, della L.R. 33/2015") il presente documento si compone di:

- relazione geologica (R3+R1) ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011 e delle NTC 17/01/2018 (punto 6.2.1) finalizzata alla:

- verifica della fattibilità dell'intervento in riferimento alla componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano del Governo del Territorio vigente;
- caratterizzazione e modellazione geologica/idrogeologica e sismica del sito;
- analisi di risposta sismica semplificata di II livello;

- relazione geotecnica di caratterizzazione (R2) ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011 e delle NTC 17/01/2018 (punto 6.2.2) finalizzata alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del sito;

- modulistica 9, 10 ai sensi del D.d.u.o. 28 novembre n. 17589 - Aggiornamento della modulistica approvata dalla D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1 della l.r. 33/2015)".

## **2 RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI**

### *Normative*

- [1] Circolare 21.01.19 n°7 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.18.
- [2] D.M. Infrastrutture e trasporti 17.01.18 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.
- [3] Circolare 02.02.09 n°617 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.08.
- [4] D.M. Infrastrutture e trasporti 14.01.08 – Norme tecniche per le costruzioni.
- [5] Circolare Regione Lombardia 28.01.20 n° 1 – Profili applicativi in materia di opere o costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche di cui alla l.r. 33/2015 a seguito dell'entrata in vigore della legge 156/2019, della l.r. 21/2019 e della d.g.r. XI/2584/2019
- [6] L.r. 10 dicembre 2019 n° 21 – Seconda legge di semplificazione 2019
- [7] D.g.r. 2 dicembre 2019 - n. XI/2584 - Linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai Comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1 e 13 comma 1, della l.r. 33/2015) – Implementazione ai fini disemplificazione della modulistica prevista dall'allegato b alla d.g.r. n. x/5001/2016
- [8] D.d.u.o. 22.05.19 n° 7237 – Aggiornamento del D.d.u.o. 21.11.13 n° 19904
- [9] D.d.u.o. 28.11.2018 n. 17589 - Aggiornamento della modulistica approvata dalla D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica"
- [10] D.G.R. 30.03.2016 – n° X/5001 – Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica.
- [11] L.R. 12.10.2015 n° 33 – Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche.
- [12] D.G.R. 11.07.2014 – n° X/2129 – Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia.
- [13] D.d.u.o. 21.11.13 n° 19904 – Approvazione elenco delle tipologie degli edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico e di quelli che possono assumere rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso in attuazione della D.G.R. n° 19964 del 7.11.03

[14] D.G.R. 30.11.2011 n° IX/2616 – Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio.

Riferimenti bibliografici

- Skempton A.W. (1986). "Standard Penetration Test Procedures and Effects in Situ Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation" *Géotechnique* 36, n°2.
- Cestelli Guidi C. (1980). "Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni". Settima Edizione, Hoepli. Vol. 2, pp. 144-188.
- Cestari F. (1990). "Prove Geotecniche in Sito". *Geo-Graph*. Pagg. 207-284.
- R. Lancellotta (1993). "Geotecnica". Zanichelli.

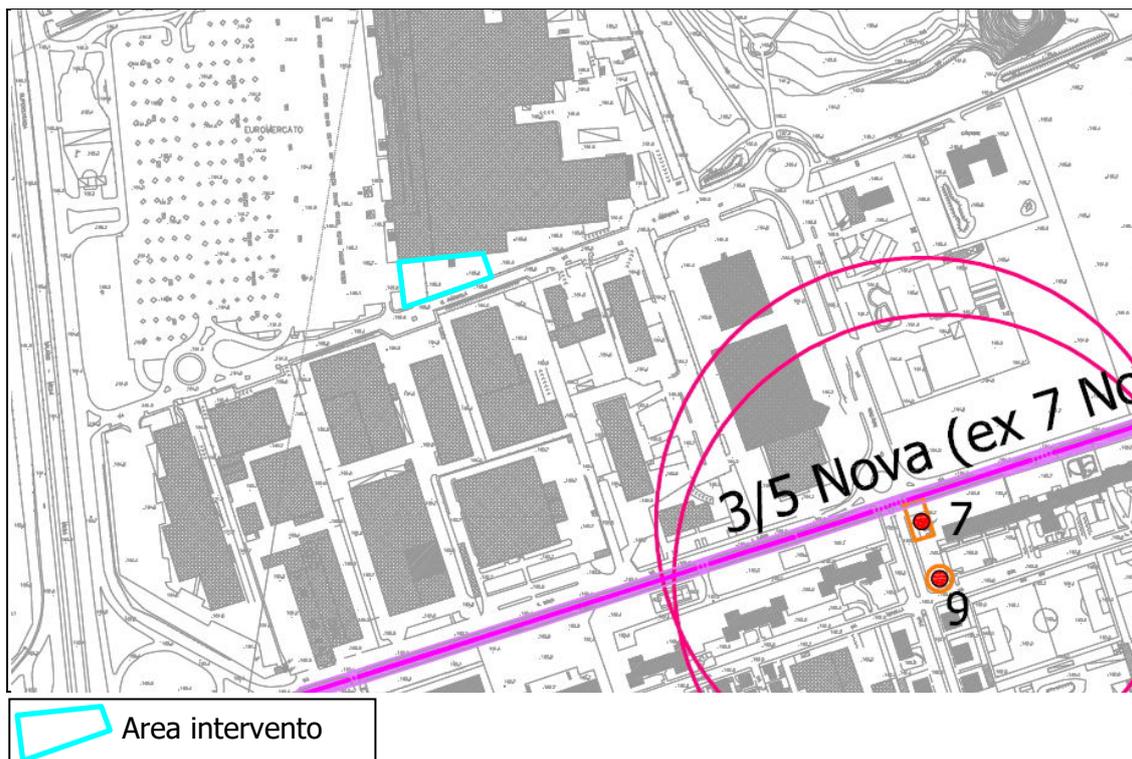
### 3 RELAZIONE GEOLOGICA (R1+R3)

#### 3.1 COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PGT

Nei paragrafi seguenti vengono esaminate le relazioni dell'area di intervento con gli aspetti relativi ai vincoli idrogeologici, alla pericolosità sismica locale, alla sintesi degli elementi conoscitivi e alla fattibilità geologica, desunti dalla componente geologica, idrogeologica e sismica di supporto al PGT del comune di Paderno Dugnano, redatta dallo scrivente nel maggio 2013 ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011.

##### 3.1.1 Vincoli idrogeologici

L'area di indagine, come osservabile dall'immagine seguente desunta dalla carta dei vincoli della componente geologica del PGT vigente, non risulta interferente con l'involuppo delle zone di rispetto delle captazioni ad uso idropotabile dell'Acquedotto di Paderno Dugnano, né con le fasce di rispetto del reticolo idrografico minore.



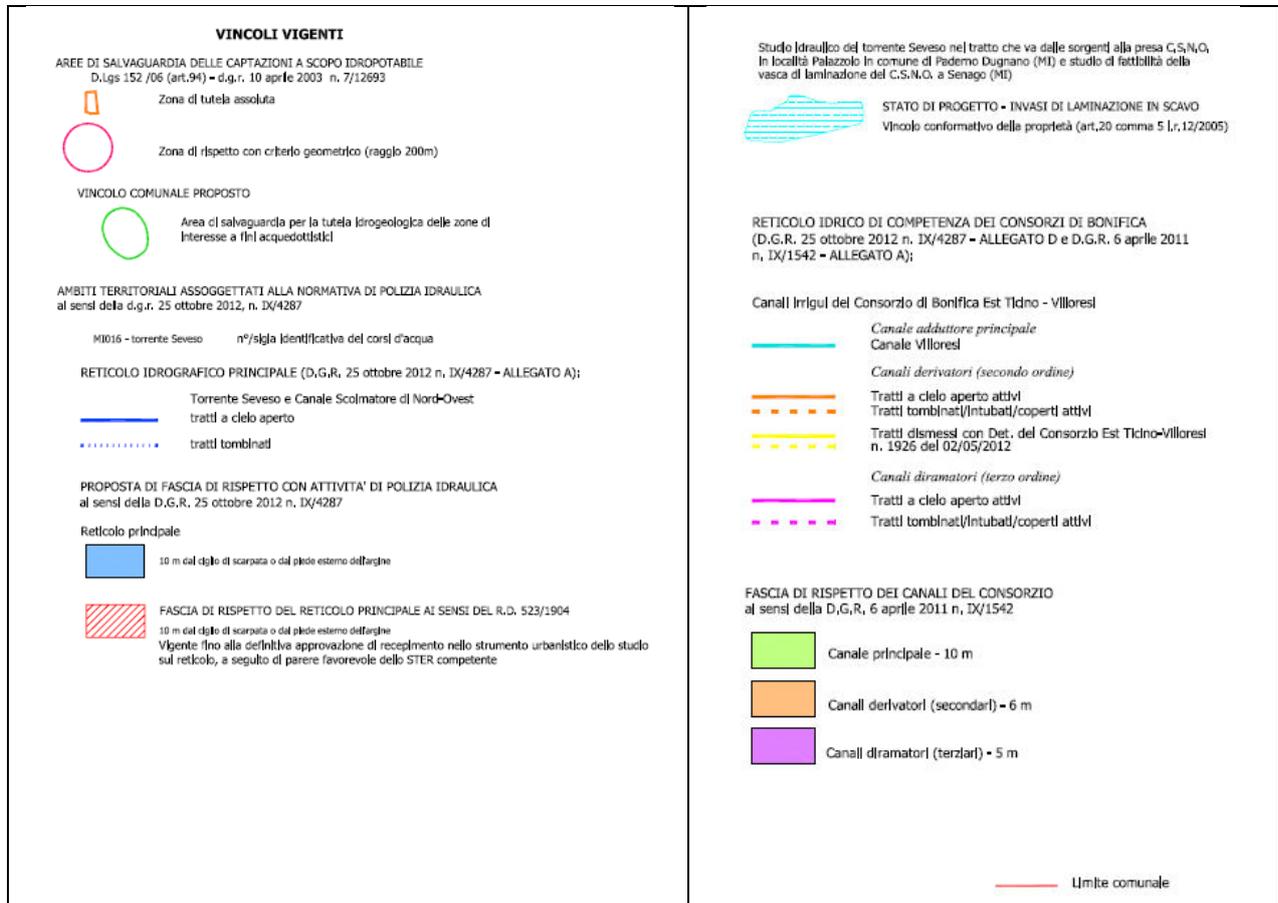


Figura 3.1 - Estratto dalla carta dei vincoli della componente geologica, idrogeologica e sismica del comune di Paderno Dugnano

### 3.1.2 Pericolosità sismica locale

Il Comune di Paderno Dugnano, secondo la previgente classificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", pubblicata sulla G.U. n. 105 dell'8 maggio 2003 Supplemento ordinario n. 72, adottata con d.g. Regione Lombardia n. 14964 del 7 novembre 2003) ricade in zona sismica 4 (quella a minor grado di sismicità ovvero a "bassa sismicità").

Anche secondo la nuova classificazione sismica vigente dei comuni della Regione Lombardia, di cui alla recente D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia", il comune risulta classificato in zona sismica 4 con valore di accelerazione massima  $A_{gmax} = 0.049194$ .

Per quanto attiene agli scenari di pericolosità sismica locale definiti con analisi di I° livello, il citato studio geologico di PGT non individua scenari di pericolosità sismica locale in corrispondenza del sito di intervento, come evidenziato dalla figura seguente.



 Area intervento

SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	POSSIBILI EFFETTI INDOTTI	CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA	LIVELLO DI APPROFONDIMENTO per edifici di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003
Z3a 	Zona di ciglio H > 10 m e pendio sottostante  Ciglio di scarpata	Amplificazioni topografiche	H2	2
Z2.1 	Zone con possibile presenza di terreni di fondazione particolarmente scadenti - Ambiti estrattivi dismessi	Fenomeni di addensamento disomogenei con conseguenti cedimenti differenziali	H2	3
Z5 	Zona di contatto stratigrafico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche difformi	Cedimenti differenziali e distorsioni angolari	H2	3

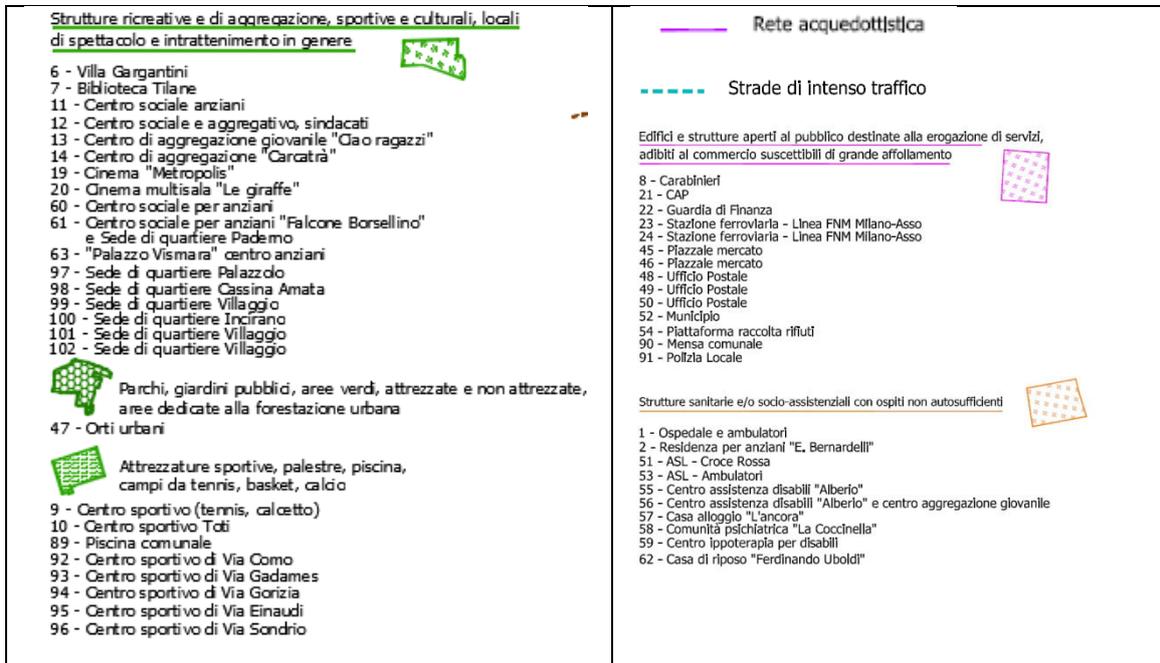


Figura 3.2 - Estratto dalla carta della pericolosità sismica locale della componente geologica, idrogeologica e sismica del comune di Paderno Dugnano

### 3.1.3 Sintesi degli elementi conoscitivi

L'area di indagine, come desunto dalla tavola di sintesi della componente geologica, non è caratterizzata da alcuna criticità.

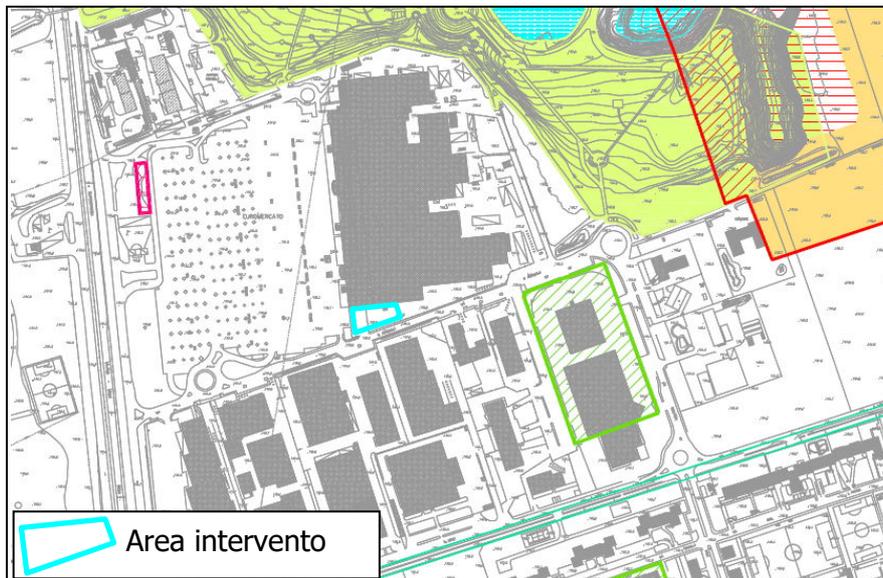


Figura 3.3 - Estratto dalla carta della sintesi degli elementi conoscitivi della componente geologica, idrogeologica e sismica del comune di Paderno Dugnano

### **3.1.4 Fattibilità**

L'area, come visibile in Figura 3.4, rientra nella classe geologica 2a (modeste limitazioni)–piana fluvio-glaciale.

La classe di fattibilità, in cui rientra l'area oggetto di studio, viene così descritta:

#### **Classe 2a– Piana fluvio-glaciale**

Principali caratteristiche: aree pianeggianti litologicamente costituite da ghiaie e sabbie con locali lenti di limi debolmente sabbiosi, da poco a mediamente alterate. Possibile presenza di terreni fini superficiali discontinui.

Problematiche generali: Presenza di terreni da granulari sciolti a coesivi, con discrete caratteristiche geotecniche fino a 2.5-6.0 m di profondità. Miglioramento delle caratteristiche portanti a maggiore profondità. Vulnerabilità dell'acquifero di grado elevato.

Parere sull'edificabilità: Favorevole con limitazioni legate alle caratteristiche portanti del terreno e alla salvaguardia dell'acquifero libero.

Tipo di intervento ammissibile: sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo, ristrutturazione (così come definiti dall'art. 27 della l.r. 11 marzo 2005 n. 12 "Legge per il governo del territorio"), nel rispetto delle normative vigenti.

Indagini di approfondimento preventive necessarie: si rende necessaria la verifica idrogeologica e litotecnica dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche per la determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie (IGT); in particolare dovrà essere valutata la stabilità dei versanti di scavo (SV) nel caso di opere di tipo Edilizia plurifamiliare di grande estensione, edilizia pubblica, Edilizia produttiva di significativa estensione areale (> 500 mq sc), Cambio di destinazione d'uso di ambiti produttivi, Opere infrastrutturali (opere d'arte in genere quali strade, ponti, parcheggi nel rispetto ed a fronte di indagini preventive in riferimento alla normativa nazionale), posa di reti tecnologiche o lavori di escavazione e sbancamento al fine di prevedere le opportune opere di protezione degli scavi durante i lavori di cantiere. Le indagini geognostiche dovranno essere commisurate al tipo di intervento da realizzare ed alle problematiche progettuali proprie di ciascuna opera (secondo quanto indicato nell'art. 2 delle Norme geologiche di Piano).

La modifica di destinazione d'uso di aree esistenti inserite in zona "produttiva" necessita la verifica dello stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento Locale d'Igiene (ISS); qualora venga rilevato uno stato di contaminazione dei terreni, dovranno avviarsi le procedure previste dal D.Lgs 152/06 "Norme in materia ambientale" (Piano di Caratterizzazione Ambientale/PCA con analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di Bonifica/POB).

Interventi da prevedere in fase progettuale: quale norma generale per ogni tipo di opera gli interventi da prevedere, già in fase progettuale, saranno rivolti alla regimazione idraulica e alla predisposizione di accorgimenti/sistemi per la regimazione e lo smaltimento delle acque meteoriche e di quelle di primo sottosuolo, con individuazione del recapito finale, nel rispetto della normativa vigente e sulla base delle condizioni idrogeologiche del sito (RE-CO).

Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, dovranno essere previsti interventi di bonifica (BO) qualora venga accertato uno stato di contaminazione del suolo ai sensi del D.Lgs. 152/06 e s.m.i..

Norme sismiche da adottare per la progettazione: la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 14 gennaio 2008 "*Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*" e s.m.i., definendo la pericolosità sismica di base in accordo alle metodologie dell'allegato A del decreto. Nel caso di edifici strategici e rilevanti (di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) ricadenti in aree PSL, la definizione delle azioni sismiche di progetto dovrà avvenire a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello - metodologie di cui all'allegato 5 della d.g.r. n. IX/2616/2011.



Figura 3.4 - Estratto della carta di fattibilità della componente geologica, idrogeologica e sismica del comune di Paderno Dugnano

### 3.1.5 Direttiva Alluvioni

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) è stato adottato con deliberazione n.4 nella seduta del 17 dicembre 2015 e approvato con deliberazione n.2 del 3 marzo 2016 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni è lo strumento operativo previsto dal d.lgs. 49/2010, in attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali.

Nella seguente immagine (Figura 3.5), riportante uno stralcio riferito all'area di studio della mappatura "Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - revisione 2020" desunta dal viewer geografico del Geoportale della Regione Lombardia, si evidenzia l'assenza di criticità idraulica.

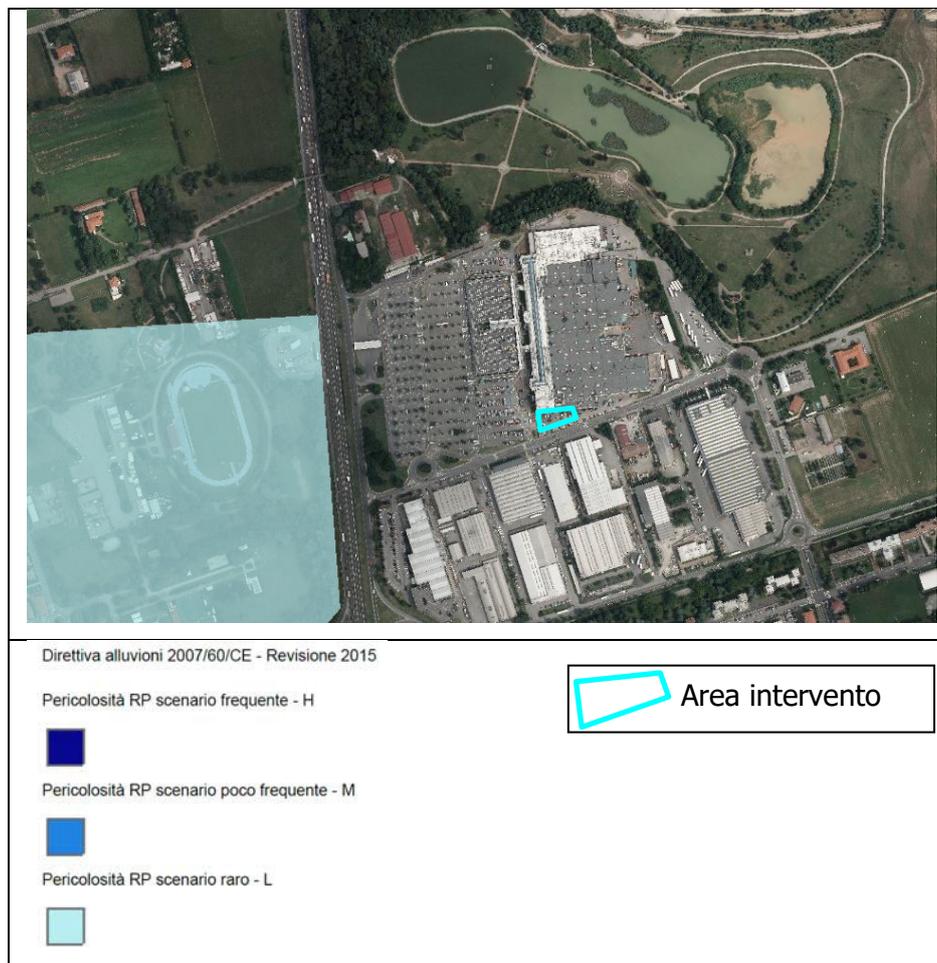


Figura 3.5 - Direttiva Alluvioni - Geoportale Regione Lombardia

## 3.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 3.2.1 Lineamenti geomorfologici, idrografici e geologici

Il sito di progetto, ubicato nel settore orientale del territorio comunale di Paderno Dugnano, si posiziona nel contesto morfologico dell'alta pianura lombarda, in Via Giovanni Amendola ad una quota di 165.8 m s.l.m..

L'assetto morfologico del territorio è costituito da estese piane fluvioglaciali e fluviali di età quaternaria, dove non si rilevano particolari evidenze morfologiche. L'intensa urbanizzazione ha inoltre modificato o cancellato la struttura originaria della pianura, rendendo scarsamente distinguibili caratteri ed elementi morfologici già di per sé poco evidenti (orli di terrazzo e paleoalvei relitti).

Gli elementi morfologici di maggiore interesse sono legati al reticolo idrografico superficiale, qui caratterizzato dal torrente Seveso, che attraversa longitudinalmente il territorio comunale, e dalla rete dei canali artificiali del Consorzio di Bonifica Est Ticino - Villorosi (il cui canale principale è situato nella porzione N del comune). Nel settore NW del comune è inoltre presente il Canale Scolmatore delle Piene di Nord Ovest - Ramo Seveso, opera idraulica (recentemente soggetto ad ampliamento) realizzata con lo scopo di regolare le portate di piena del torrente Seveso e quindi per ridurre gli episodi di esondazione all'interno della città di Milano.

Da un punto di vista geologico, l'unità presente in affioramento è la seguente (fonte dati: Regione Lombardia - Progetto CARG - Foglio 118 Milano):

**BEZ - Supersintema di Besnate - Unità di Guanzate** (Pleistocene medio - Pleistocene superiore)

Si tratta di depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa o sabbioso limosa; localmente sabbie limose con clasti residuali. Il profilo di alterazione è da evoluto a moderatamente evoluto, con suoli di spessore medio di 2 m. Privi di evidente copertura loessica.

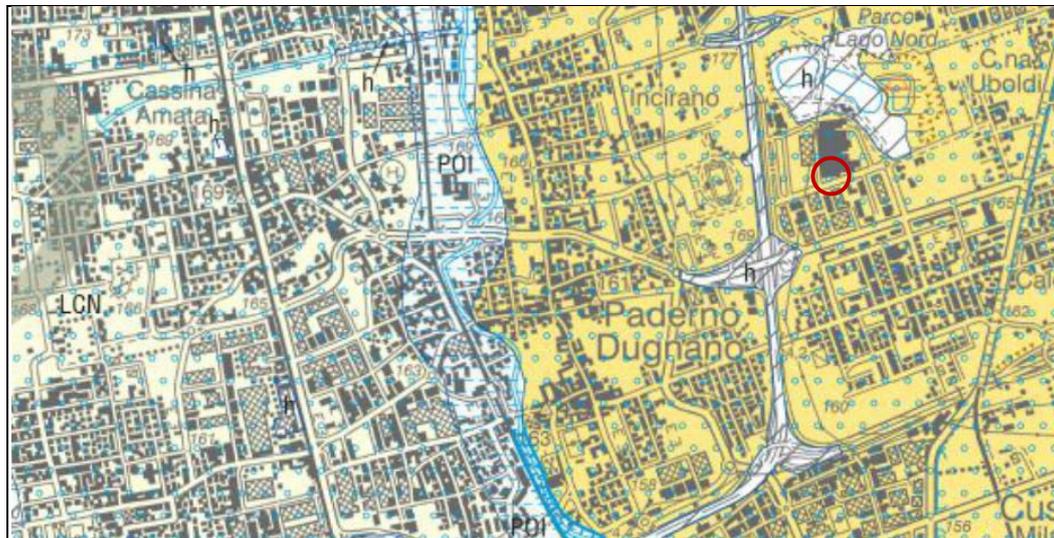


Figura 3.6 - Caratteri geologici

### ***3.2.2 Unità idrogeologiche***

Sulla base delle caratteristiche litologiche dedotte dalle stratigrafie dei pozzi dell'area, si riconoscono nel sottosuolo tre principali unità idrostratigrafiche, distinguibili per omogeneità di costituzione e continuità orizzontale e verticale.

La loro distribuzione è sintetizzata, secondo il seguente schema (cfr. Figura - 3.9):

#### ***0) Unità argillosa***

È costituita da depositi fini in facies marina, litologicamente caratterizzata da argille grigio/azzurre talora fossilifere e limi sabbiosi, con intercalazioni di ghiaie e sabbie nettamente subordinate. Nei livelli permeabili sono presenti falde acquifere profonde di tipo confinato, generalmente riservate all'uso idropotabile e captate dai pozzi più profondi dell'area (Paderno D. n. 50/1÷4). Nel territorio in esame, il limite superiore di tale unità si rinviene a circa 140÷150 m dal p.c..

#### ***1) Unità sabbioso-argillosa***

È costituita da depositi fini in facies transizionale, litologicamente caratterizzati da argille, argille sabbiose e limi, cui si intercalano livelli di ghiaie sabbiose e sabbie. Localmente sono presenti livelli torbosi. Al suo tetto l'unità è delimitata dall'unità ghiaioso-sabbiosa, mentre alla base sono presenti sequenze prevalentemente argillose con rare intercalazioni grossolane. In questa unità sono presenti acquiferi di tipo semiconfinato e confinato nei livelli ghiaiosi intercalati alle successioni meno permeabili. Generalmente le falde idriche contenute in questa unità risultano indipendenti dalle strutture idriche superiori per la presenza di strati continui a bassa permeabilità, che garantiscono una migliore qualità delle acque ed un isolamento delle falde da possibili infiltrazioni di inquinanti provenienti dalla superficie.

Dall'esame delle stratigrafie dei pozzi e dall'interpretazione generale delle sezioni idrogeologiche, il tetto dell'unità 1 individuato dalla comparsa di livelli di argille franche, in corrispondenza di alcuni pozzi pubblici del territorio in esame, è posta alle seguenti profondità:

pozzo 50/1-4 di Paderno Dugnano: 72 m;

pozzo 7 di Paderno Dugnano: 82 m;

pozzo 5 di Cusano Milanino: 90 m.

## 2) Unità ghiaioso-sabbiosa

E' presente con continuità nel territorio considerato ed è costituita da depositi in facies fluviale formati da ghiaie e sabbie con locali intercalazioni di ghiaie cementate e arenarie (rilevabili nelle stratigrafie dei pozzi 6, 50/1-4 e 7 di Paderno). All'interno di tale unità sono presenti orizzonti a bassa permeabilità rappresentati da sabbie limose, limi e argille, generalmente caratterizzati da una limitata estensione laterale e di spessore variabile, via via più frequenti con la profondità. Tali livelli a bassa permeabilità determinano localmente la compartimentazione dell'acquifero superiore. L'unità ghiaioso-sabbiosa è sede dell'acquifero di tipo libero, tradizionalmente utilizzato dai pozzi ad uso potabile e da pozzi privati, più suscettibile ad inquinamenti (elevata vulnerabilità).

Sulla base delle profondità e delle caratteristiche litologiche desunte dallo studio "Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia"<sup>1</sup>, pubblicato nel 2002 dalla Regione Lombardia in collaborazione con Eni-Divisione Agip e del relativo Aggiornamento geologico-stratigrafico (marzo 2005), si è riconosciuta la coincidenza della unità 2 ghiaioso-sabbiosa con l'insieme dei gruppi acquiferi A+B, dell'unità 1 sabbioso-argillosa con il gruppo acquifero C e dell'unità 0 argillosa con il gruppo acquifero D.

39 \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia , Regione Lombardia, Eni Divisione Agip, a cura di Cipriano Carcano e Andrea Piccin. S.EL.CA. (Firenze), 2002

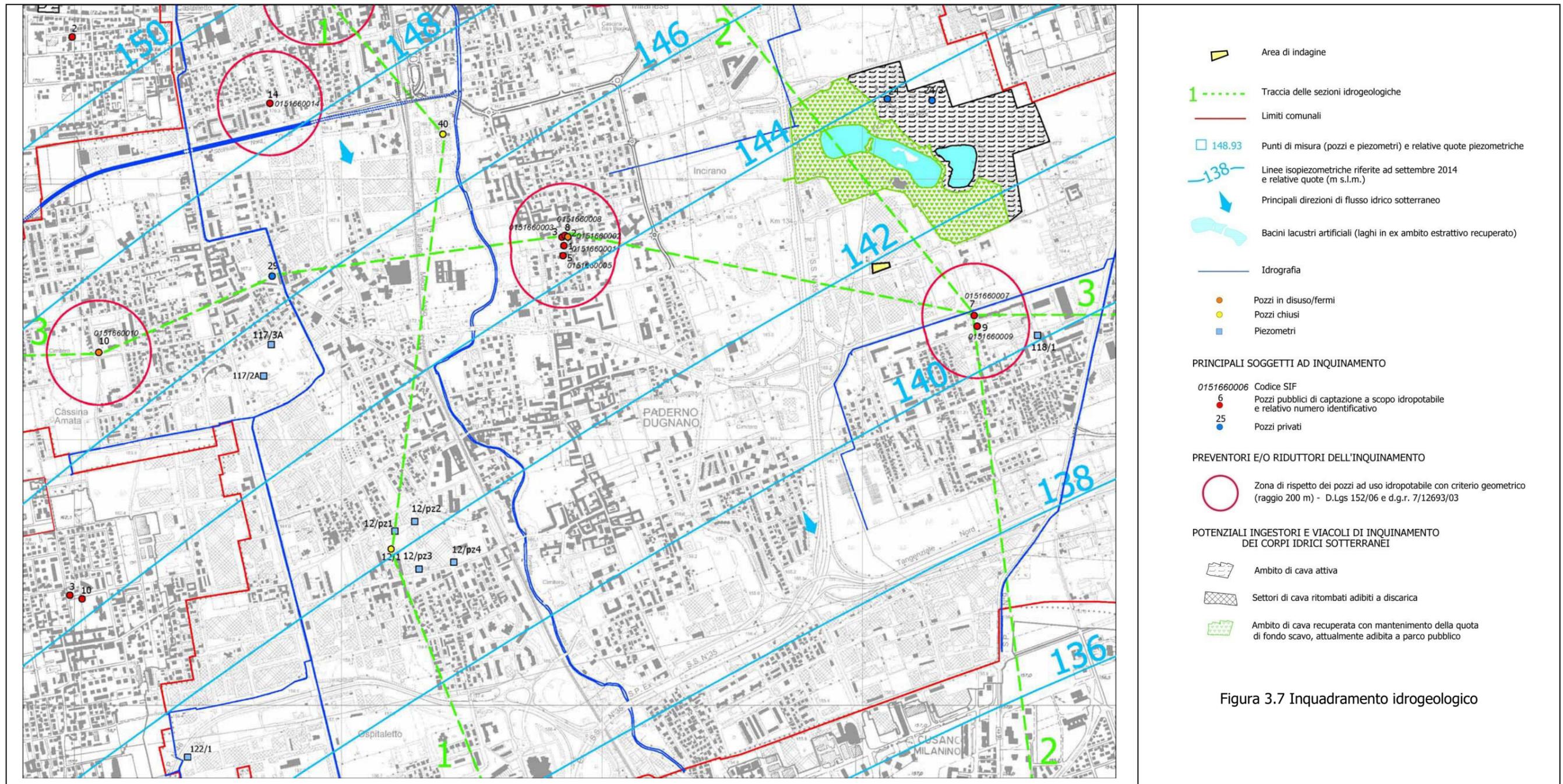


Figura 3.7 Inquadramento idrogeologico

## SEZIONE 2

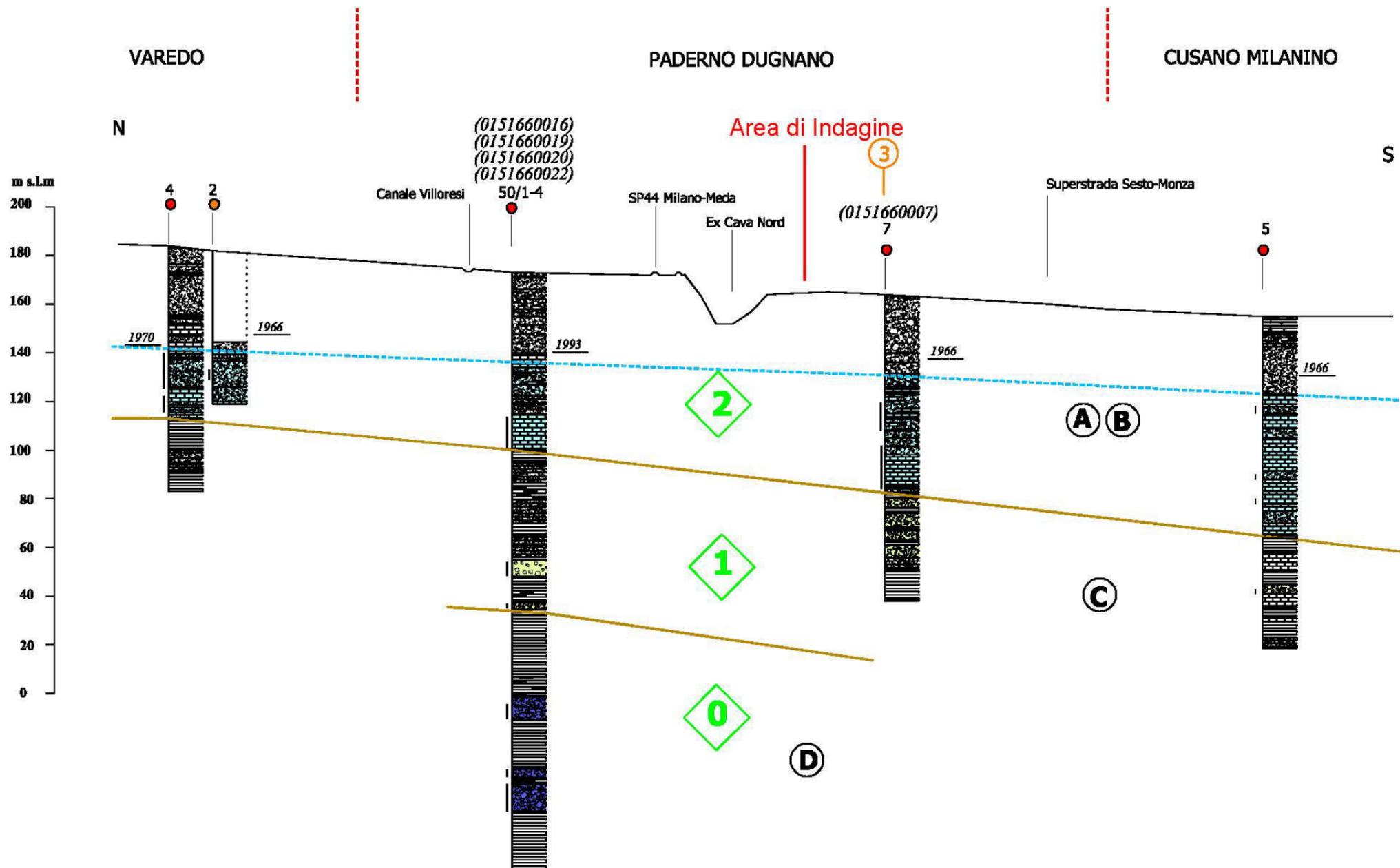


Figura 3.8 Sezione idrogeologica

CF e P.Iva e Registro Imprese di Milano 09422240961 - Capitale sociale € 30.000 i.v.

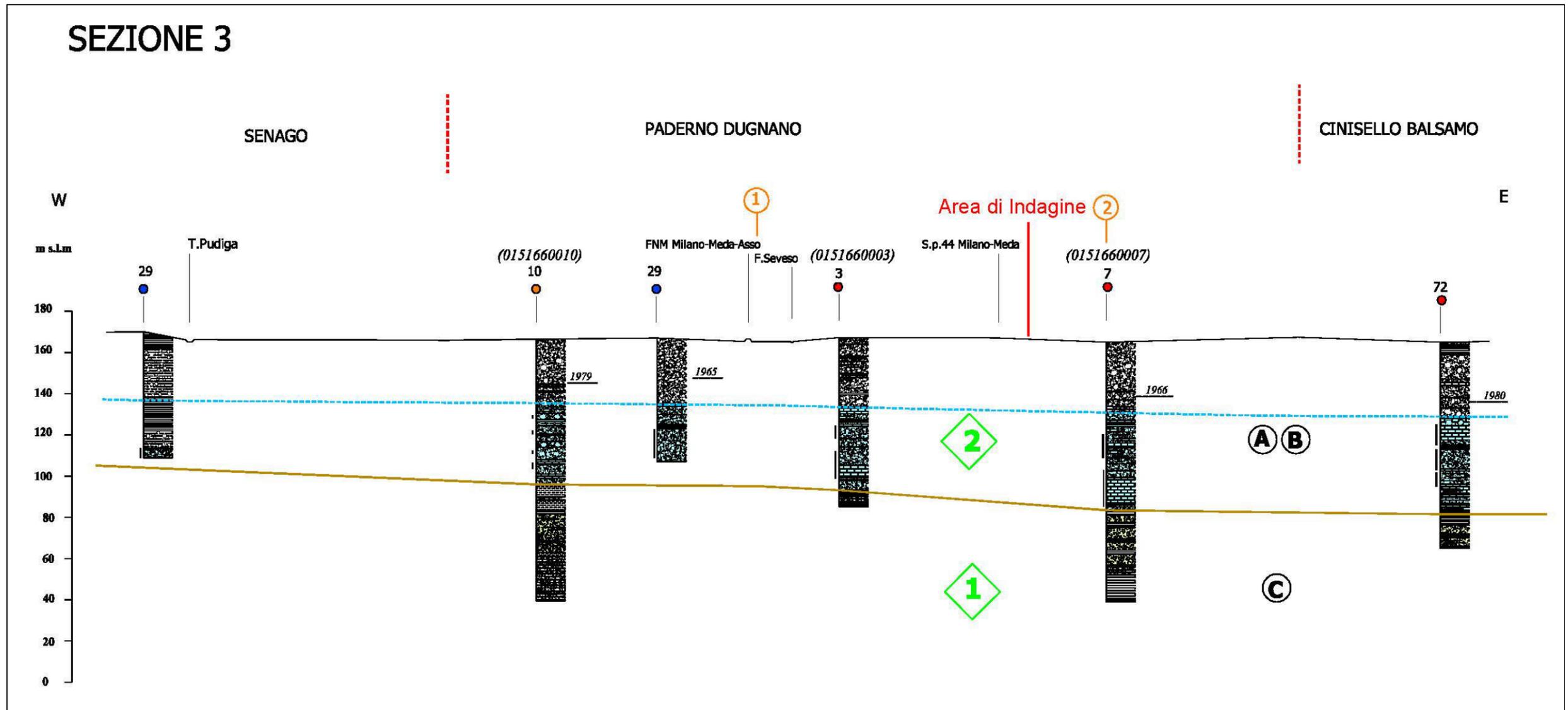


Figura 3.9 Sezione idrogeologica

CLASSIFICAZIONE DEI GRUPPI ACQUIFERI (fonte dati: "Geologia degli Acquiferi Padani" Regione Lombardia, Eni - Divisione Agip)		CLASSIFICAZIONE DELLE UNITÀ IDROGEOLOGICHE	
ACQUIFERO SUPERIORE	<b>A</b> <b>GRUPPO ACQUIFERO A</b> Ghiale e ghiale grossolane a matrice sabbiosa grossolana con subordinati livelli sabbiosi da medi a grossolani; localmente presenti livelli decimetrici di argille e argille limose. Ambiente di deposizione: continentale fluviale braided ad alta energia	<b>2</b>	<b>UNITA' GHIAIOSO-SABBIOSA</b> Ghiale e sabbie con intercalazioni argillose di spessore crescente all'aumentare della profondità e subordinati livelli conglomeratici. Acquifero libero nei livelli più superficiali, semiconfinato e confinato nei livelli più profondi.
	<b>B</b> <b>GRUPPO ACQUIFERO B</b> Sabbie medio grossolane, sabbie ciottolose e ghiale a matrice sabbiosa, con orizzonti cementati e livelli di sedimenti fini argilloso limosi. Ambiente di deposizione: continentale fluviale braided		
ACQUIFERI INTERMEDI PROFONDI	<b>C</b> <b>GRUPPO ACQUIFERO C</b> Alternanza di sabbie da fini a medie e di argille limose verdi e argille palustri bruno-nerastre. Ambiente di deposizione: continentale/transizionale deltizio	<b>1</b>	<b>UNITA' SABBIOSO-ARGILLOSA</b> Argille e limi con intercalazioni sabbiose e sabbioso-ghialose; locale presenza di torbe. Acquifero confinato nei livelli permeabili.
	<b>D</b> <b>GRUPPO ACQUIFERO D</b> Argille siltose e silt con intercalazioni di sabbia fine e finissima nella parte bassa, sabbia grigia fine e media bioturbata nella parte intermedia e ghiala poligenica grigia alternata a sabbia nella parte alta. Ambiente di deposizione: delta-conolde progrediente da N a S	<b>0</b>	<b>UNITA' ARGILLOSA</b> Argille grigio/azzurre, talora fossilifere, con subordinate intercalazioni di ghiale e sabbie. Acquifero confinato nei livelli permeabili.

Figura 3.10 legenda unità idrogeologiche

### 3.2.3 Piezometria

La morfologia della superficie piezometrica dell'acquifero superiore è stata ricostruita tramite campagne di misurazioni dirette effettuate dagli Scriventi sui pozzi e piezometri del territorio al settembre 2014 effettuate nell'ambito dello studio a carattere regionale<sup>2</sup> finalizzato alla revisione dei corpi idrici sotterranei introdotta dal PTUA 2016(cfr. Figura 3.7).

Nell'area di studio, si evidenzia una falda di tipo radiale debolmente convergente, con quote comprese tra 136 e 150 m s.l.m. e un gradiente idraulico medio del 3,5 ‰.

Le principali direzioni del flusso idrico sotterraneo sono mediamente orientate NW-SE.

Nel sito di progetto il livello di falda al settembre 2014, in condizioni di alto piezometrico, si è attestato a circa 23-24 m da p.c..

La dinamica nel tempo delle variazioni della superficie piezometrica è illustrata dal grafico seguente ottenuto dalle misure di livello effettuate a cadenza mensile e/o trimestrale dal CAP di Milano sui pozzi CAP 007 di Calderara, 003 di Incirano e 019 (50/2) di Palazzolo, punti più prossimi al sito di progetto.

<sup>2</sup>Eupolis Lombardia: Attività di progettazione, monitoraggio e studio relative ai corpi idrici sotterranei della Lombardia (Cod. Eupolis Lombardia ter13016/001), Studio Idrogeotecnico Applicato - febbraio 2015

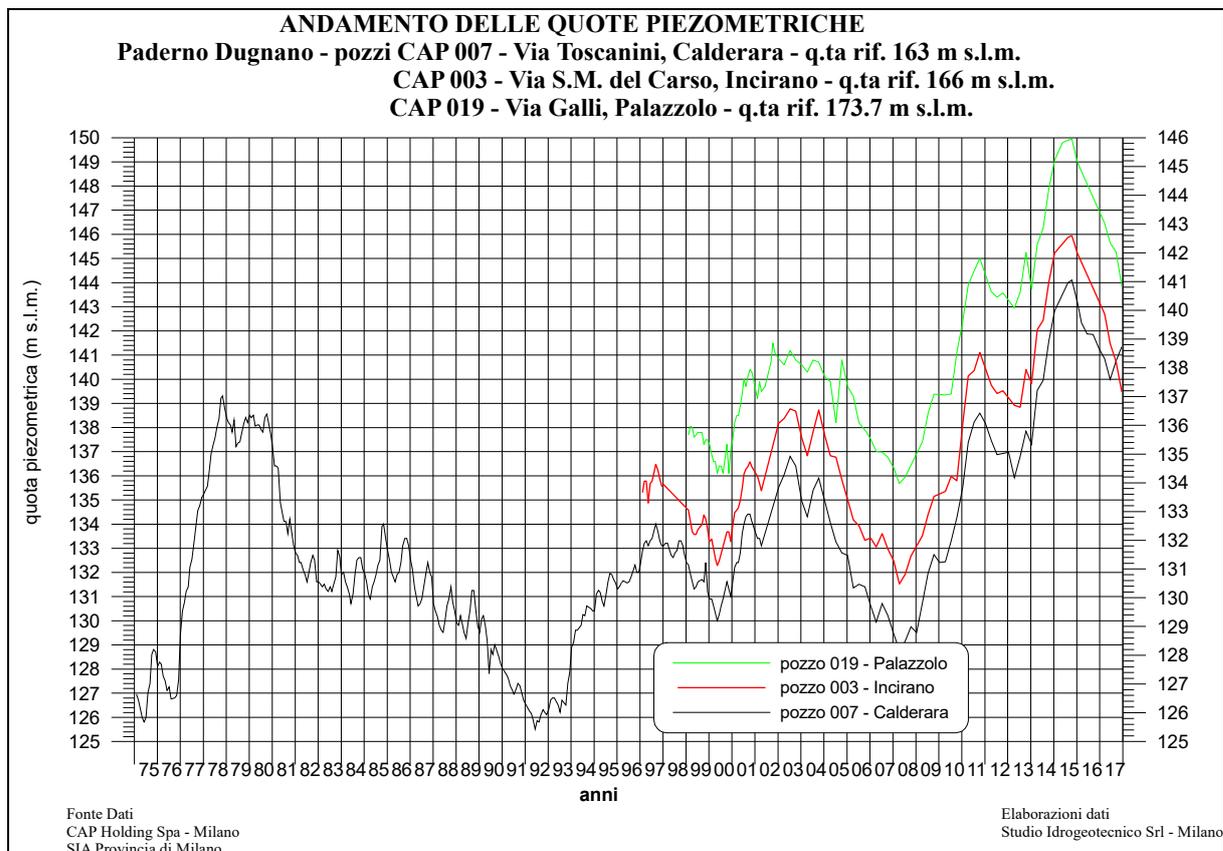


Figura 3.11 Andamento delle quote piezometriche

Come è possibile osservare, la superficie piezometrica subisce considerevoli variazioni nel tempo, con cicli sia a scala annuale che pluriennale.

Durante il periodo investigato (1975÷2017) si registrano tre massimi piezometrici, il primo dei quali relativo agli anni 1978-1980 e che ha interessato l'intera pianura milanese, causato dalle abbondanti precipitazioni del 1976-1977. Il secondo massimo si è verificato nel biennio 2003-2004 e il terzo nel corso del 2015.

Dopo il 1980 si è registrato un progressivo e costante abbassamento del livello piezometrico medio fino al primo semestre del 1992, il quale evidenzia l'instaurarsi di un periodo di magra, il quale ha avuto il suo apice nel 1992/1993, con approfondimento piezometrico rispetto al 1980 pari a circa 13 m.

Dal 1994 fino al 1997 si assiste ad un sensibile recupero delle quote piezometriche, in relazione ad un aumento della ricarica efficace (maggiore piovosità) che ha generalmente interessato l'alta e media pianura lombarda.

L'andamento successivo evidenzia un decremento delle quote piezometriche tra il 1997 e il 2000 (circa 4 m), interrotto dagli innalzamenti piezometrici conseguenti agli eventi alluvionali dell'ottobre 2000 e del novembre 2002, osservabile anche nei grafici relativi ai pozzi 003 di Incirano e 019 di Palazzolo.

Le scarse precipitazioni che hanno caratterizzato il regime pluviometrico dal 2003 hanno determinato un nuovo abbassamento dei livelli di falda registrato nel 2008.

L'aumentodelleprecipitazioniregistrato dal 2008-09, e in particolare nel biennio 2013-15, ha determinato una sensibile risalita dei livelli, fino a raggiungere valori di massimo storico nel corso del 2015 (giugno e settembre).

Le misure successive, in relazione alla diminuzione delle precipitazioni, evidenziano una nuova tendenza alla decrescita dei livelli piezometrici, pur meno marcata, riscontrata sino agli ultimi dati disponibili (novembre 2017).

L'alimentazione della falda superiore è localmente legata, oltre che all'afflusso da monte ed al regime meteorico, anche alla presenza del sistema irriguo del Canale Villoresi e dei suoi canali secondari e terziari, che, con l'alternanza dei periodi irrigui e di asciutta, condizionano il regime oscillatorio della falda superiore.

A scala annuale si evidenziano infatti cicliche oscillazioni stagionali legate ai periodi irrigui, che determinano massimi piezometrici tardo estivi o autunnali (agosto/settembre) e minimi primaverili (marzo/maggio), con escursioni variabili in funzione dell'andamento climatico della stagione irrigua.

A stagioni piovose corrispondono escursioni più limitate, determinate dal minor ricorso all'irrigazione per le necessità colturali; viceversa, irrigazioni più frequenti nelle stagioni maggiormente siccitose provocano maggiori escursioni piezometriche.

### 3.3 ASPETTI SISMICI SITO SPECIFICI

#### 3.3.1 Approfondimento sismico di primo livello

##### 3.3.1.1 Pericolosità sismica locale

In adempimento a quanto previsto dal D.M. 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e in accordo con la D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001 "Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica", viene richiesta l'analisi della sismicità secondo le modalità indicate nell'All. 5 della D.G.R. IX/2616/2011.

La procedura di **1° livello** è un approccio di tipo qualitativo e consente l'individuazione, a partire dalle informazioni già acquisite nella fase di analisi territoriale di base (caratterizzazione geologica e geologico-tecnica), di ambiti areali caratterizzati da specifici scenari di pericolosità sismica locale in cui gli effetti della sollecitazione sismica di base attesa sono prevedibili con sufficiente approssimazione.

Come indicato nel capitolo 3.1.2, secondo la classificazione sismica vigente (Delibera Giunta regionale 11 luglio 2014 - n. X/2129), il comune di Paderno Dugnano risulta inserito in **zona sismica 4**.

Dall'esame della documentazione analitica di base (Carta sismica allegata al P.G.T. comunale) per il sito di intervento non viene individuato alcuno scenario di pericolosità sismica locale PSL.

Si specifica che gli scenari sono definiti nella *Tabella 1* di cui all'Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616, di seguito riportata.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide dell'izio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica sito specifica, la procedura di cui al punto 1.4.4 dell'Allegato B alla D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "Sintesi delle procedure", prevede l'applicazione di tre livelli di approfondimento sismico con grado di dettaglio crescente in funzione della zona sismica di appartenenza, come illustrato nella tabella seguente.

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria	3° livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nelle aree indagate con il 2° livello quando <math>F_a</math> calcolato &gt; valore soglia comunale;</li> <li>- Nelle zone PSL Z1 e Z2.</li> </ul>
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o.n. 19904/03)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nelle aree indagate con il 2° livello quando <math>F_a</math> calcolato &gt; valore soglia comunale;</li> <li>- Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.</li> </ul>

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Nel caso specifico, considerando che per l'ambito in cui ricade l'intervento non viene individuato alcuno scenario PSL e che trattasi di zona sismica 4, è sufficiente eseguire un approfondimento sismico di 1° livello.

Tuttavia, trattandosi di un centro commerciale, eseguiamo anche un approfondimento sismico di 2° livello, a favore di sicurezza.

### 3.3.1.2 Parametri sismici

Per quanto concerne la determinazione dei parametri di scuotimento sismico dell'area di progetto, facendo riferimento al D.M. 17/01/18 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", la sismicità di base del sito è definibile in funzione del valore assunto dall'accelerazione massima attesa su suolo rigido in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento nazionale, le cui coordinate sono le seguenti:

Sito in esame.

latitudine: 45,574346  
longitudine: 9,181459  
Classe: 3  
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 11816	Lat: 45,5566	Lon: 9,1390	Distanza: 3848,477
Sito 2 ID: 11817	Lat: 45,5592	Lon: 9,2101	Distanza: 2798,904
Sito 3 ID: 11595	Lat: 45,6091	Lon: 9,2066	Distanza: 4329,918
Sito 4 ID: 11594	Lat: 45,6066	Lon: 9,1353	Distanza: 5073,121

Per le opere in progetto i parametri sismici di base al bedrock sismico assumono i seguenti valori:

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45.0	0.216	2.541	0.182
S.L.D.	75.0	0.265	2.575	0.201
S.L.V.	712.0	0.52	2.672	0.29
S.L.C.	1462.0	0.628	2.723	0.306

Dove  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito,

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,

$T_c$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Inoltre, le NTC 2018 calcolano i coefficienti sismici  $k_h$  e  $k_v$  in dipendenza di vari fattori:

$$k_h = \beta \times (a_{\max}/g)$$

$$k_v = \pm 0,5 \times k_h$$

$\beta$  = Coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  = Accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = Accelerazione di gravità.

#### **Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.324	0.2	0.0066	0.0033
S.L.D.	0.3975	0.2	0.0081	0.0041
S.L.V.	0.78	0.2	0.0159	0.008
S.L.C.	0.942	0.2	0.0192	0.0096

Per la scelta dei parametri progettuali, vista l'importanza dell'edificio (centro commerciale con affollamento significativo), abbiamo assegnato ai manufatti una **vita nominale Vn** (2.4.1 - NTC2018) **maggiore di 50 anni** e una **classe d'uso "III"** (2.4.2 - NTC2018). Ne consegue che la **vita di riferimento Vr** per le azioni sismiche è pari a  $Vn \times Cu$  (coefficiente d'uso = 1,5 per classe d'uso III) = **75 anni**.

Come condizione topografica al contorno, dovrà essere considerata la categoria T1, propria dei terreni pianeggianti.

L'azione sismica di progetto tiene, inoltre, conto della categoria di sottosuolo di riferimento (3.2.2 - NTC2018); sono previste cinque classi di terreni, identificabili sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e delle proprietà geotecniche rilevate nei primi 30 metri, e definite dalla velocità delle onde S (tab. 3.2.II del D.M. 17.01.2018).

Le NTC2018 raccomandano fortemente la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs; a tale scopo abbiamo eseguito una prova sismica MASW in data 7 aprile 2021 (All. 3).

Il risultato è stato **VsEq. = 346 m/s**. Pertanto, il terreno presenta caratteristiche conformi alla **categoria sismica di sottosuolo C**, secondo la seguente Tabella 3.2.II del D.M. 17.01.2018.

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

Tabella 3.1 - Tabella 3.2.II del NTC 2018

### Esecuzione della prova sismica MASW

Lo scopo dell'indagine è stata quella di ottenere la stratigrafia di velocità delle onde trasversali Vs da cui ricavare il parametro Vseq.

Le caratteristiche della prova sono:

Stendimento geofonico (m)	Energizzazioni (n.)	Geofoni
46	8	24

### Analisi multicanale delle onde superficiali

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

L'intero processo comprende tre passi: l'acquisizione delle onde superficiali (groundroll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente, come è stato nel nostro caso.



Esecuzione della prova sismica MASW.

### 3.3.1.3 Verifica della suscettibilità alla liquefazione

Il fenomeno della liquefazione interessa depositi sabbiosi e sabbioso-limosi saturi che durante e immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio, a seguito della quale le condizioni di stabilità non sono più garantite e la massa di terreno interessata dal fenomeno comincia ad assestarsi fino a che la nuova configurazione del terreno non è compatibile con la diminuita resistenza al taglio.

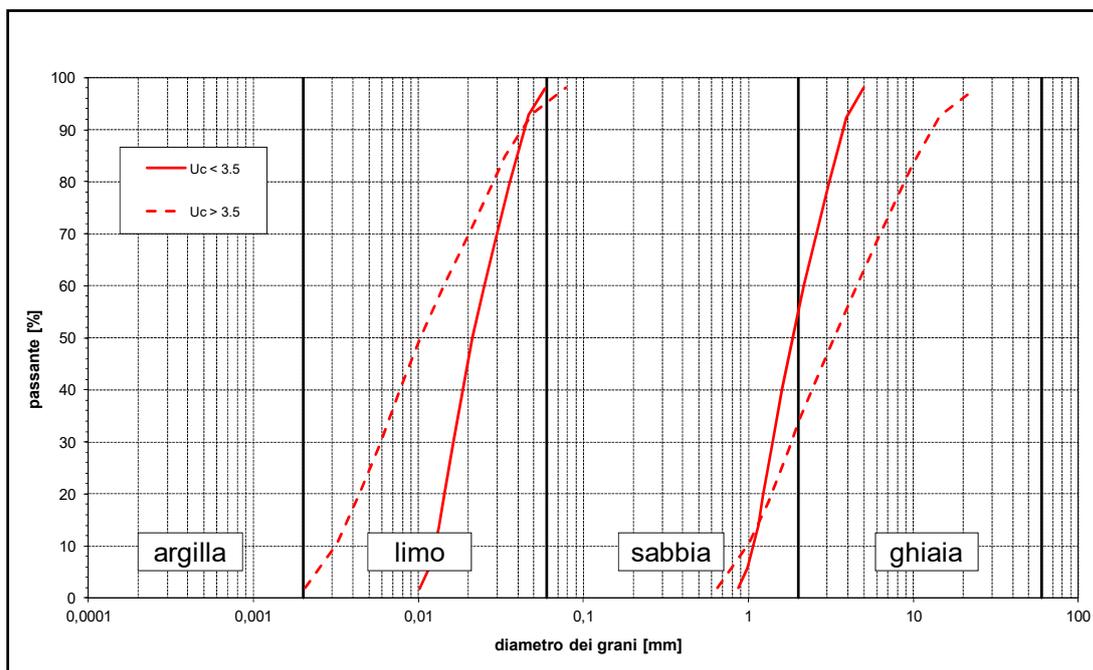
I parametri che governano il fenomeno sono rappresentati in generale da:

- condizioni di drenaggio e grado di saturazione del deposito;
- granulometria del deposito;
- stato di addensamento;
- intensità, forma spettrale e durata delle sollecitazioni cicliche;
- stato tensionale iniziale;
- storia tensionale e deformativa del deposito;
- fenomeni di aging.

In caso di accertata liquefacibilità del terreno di fondazione occorrerà valutare le deformazioni indotte e le conseguenze delle stesse sulla funzionalità delle opere previste in progetto.

Ai sensi del D.M. 17/01/18 i terreni di fondazione sono da non ritenersi suscettibili a fenomeni di liquefazione in occasione dell'evento sismico e la verifica a liquefazione può essere omessa quando si verifichi almeno una delle seguenti condizioni:

- 1) l'accelerazione massima attesa a piano campagna in condizioni di free-field è inferiore a 0.1 g;
- 2) la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m da p.c.;
- 3) sono presenti depositi sabbiosi puliti con resistenza penetrometrica dinamica normalizzata  $(N_1)_{60}$  superiore a 30 o con resistenza penetrometrica statica normalizzata  $q_{c1N} > 180$ ;
- 4) sono presenti terreni con distribuzione granulometrica esterna ai limiti indicati nel grafico seguente



Nel caso in esame, i terreni di fondazione non sono da ritenersi suscettibili a fenomeni di liquefazione in quanto è verificata almeno la condizione 1), ossia  $a_{\max} < 0,1g$ .

L'accelerazione massima in superficie viene desunta dai valori prescritti dalla normativa NTC 2018, ossia  $a_{\max} = a_g \times S$ .

Dove  $S = S_s \times S_T$  (categoria di sottosuolo e categoria topografica).

In particolare, si fa riferimento alle Tabelle 3.2.IV e 3.2.V delle NTC 2018, nelle quali, per la categoria di sottosuolo C e categoria topografica T1, si ottengono i seguenti valori:

- $S_s = 1,5$
- $S_T = 1$

Il risultato ottenuto indica che l'accelerazione massima  $a_{\max}$  per lo stato limite SLV, amplificata del coefficiente 1,5 per la categoria sismica C, è circa 0.0795 g, che è e quindi minore di 0.1 g. Pertanto, manca l'elemento scatenante perché si verifichi il fenomeno della liquefazione.

Il sito può essere considerato stabile ai sensi del DM 17/01/18 e della DGR IX/2616/2011.

### **3.3.2 Approfondimento sismico di secondo livello**

Il secondo livello di approfondimento consente la caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta PSL e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di amplificazione ( $F_a$ ).

L'applicazione di tale livello consente di individuare aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare edifici e infrastrutture dagli effetti attesi di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunale riportato in apposite tabelle fornite dalla Regione Lombardia e calcolate dal Politecnico di Milano).

Il valore di Fa si riferisce agli intervalli di periodo compresi tra 0,1 e 0,5 s e tra 0,5 e 1,5 s, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più rappresentate sul territorio regionale.

Per quel che riguarda gli effetti litologici, la procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- Litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- Stratigrafia del sito;
- Andamento delle Vs (velocità delle onde di taglio) con la profondità;
- Spessore e velocità di ciascuno strato;
- Modello geofisico del terreno.

#### Parametri litologici e stratigrafici – modello geotecnico del terreno

Le caratteristiche litologiche e stratigrafiche dei terreni oggetto di studio, necessarie per l'analisi di rischio di secondo livello, sono state ricostruite mediante i risultati delle indagini geognostiche riportate in allegato.

#### Onde di taglio Vs e modello geofisico del terreno

Sulla base della stratigrafia delle velocità di propagazione delle onde di taglio definita per l'area in esame è possibile definire un valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  secondo la seguente espressione, in accordo al D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni":

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove **H** rappresenta la profondità del substrato sismico, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto addensato caratterizzata da valori di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  non inferiori a 800 m/s e  $h_i$  e  $V_{s,i}$  rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio di ciascuno strato.

Nel caso in cui la profondità del substrato **H** sia superiore a 30 m dal piano di riferimento (piano di posa delle fondazioni superficiali, testa dei pali di fondazione, testa di opere di sostegno di terreni naturali, piano di posa delle fondazioni di muri di sostegno di terrapieni) la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo **H** pari a 30 nella precedente espressione e considerando le velocità di propagazione dei diversi strati di terreno fino a tale profondità.

Nel nostro caso la profondità del substrato sismico è sicuramente superiore a 30 m dal piano di riferimento.

### **3.3.2.1 Stima degli effetti litologici e del fattore di amplificazione**

Tenuto conto di tutti i dati illustrati nei precedenti paragrafi e quindi del modello stratigrafico-geofisico-geotecnico emerso dalle elaborazioni, possono essere applicate le procedure finali dell'All.5 alla D.G.R. IX/2616/2011 per la stima degli effetti litologici e del relativo Fattore di amplificazione (Fa).

### **3.3.2.2 Individuazione della scheda litologica di valutazione**

In accordo alla procedura regionale si è proceduto a confrontare la stratigrafia di propagazione delle onde di taglio con le curve di riferimento attualmente disponibili.

Sulla base del confronto tra le curve sperimentali e le curve di riferimento regionali è stata scelta la scheda di valutazione relativa alla "litologia sabbiosa" e di seguito riportata:

**EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA**

**PARAMETRI INDICATIVI**

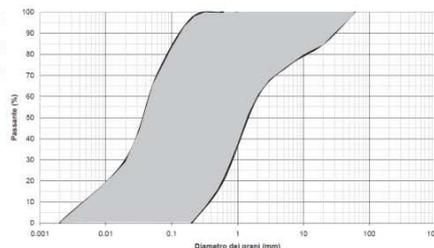
**GRANULOMETRIA:**

Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

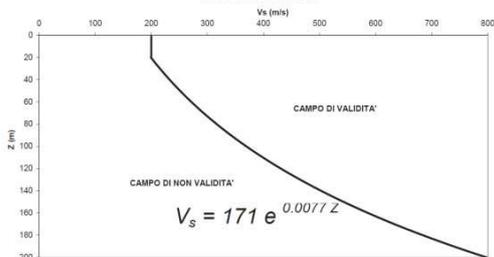
**NOTE:**

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Clasti con  $D_{max} > 20$  cm inferiori al 15%
- Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
- Frazione limosa fino ad un massimo del 70%

**FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO**



**ANDAMENTO DELLE Vs CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA**



Profondità primo strato (m)	Profondità primo strato (m)																					
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200	2	1-2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA	NA						
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

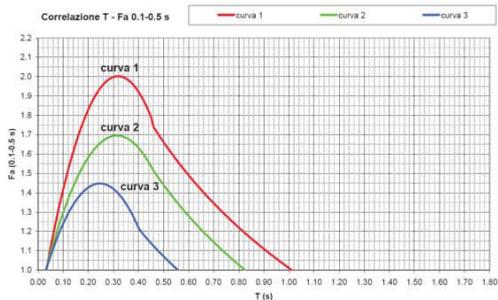
ove la sigla NA indica  $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1

**CONDIZIONE:** strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media  $V_s$  minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s

Vs < 300 m/s 0

Vs > 500 m/s 5 - 12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

### 3.3.2.3 Calcolo del periodo proprio di sito

Per il calcolo del periodo proprio di sito  $T$ , necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, occorre considerare la stratigrafia di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  fino alla profondità a cui si raggiunge un valore

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{si} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

dove  $h_i$  e  $V_{si}$  sono lo spessore e la velocità dello strato  $i$ -esimo del modello (vedi elaborato prova MASW).

Nella seguente tabella, riportiamo i valori di  $T_0$  (periodo proprio del sito), calcolati ad ogni variazione di velocità.

Tabella 3.2 - periodo proprio di oscillazione ad ogni variazione di velocità delle onde S

STRATO CON VELOCITA' ONDE S COSTANTE	VALORE DI VS	PERIODO PROPRIO ( $T_0$ )
da 0 metri a - 2,4 metri	212	0,045283
da - 2,4 metri a - 3,8 metri	221	0,070594
da - 3,8 metri a - 7,4 metri	329	0,109378
da - 7,4 metri a - 15,4 metri	327	0,205396
da - 15,4 metri a - 30,9 metri	432	0,33755
da - 30,9 metri a - 39,9 metri	379	0,432447
da - 39,9 metri a - 48,2 metri	500	0,492327

Si è ottenuto un valore massimo del periodo del sito  $T_0$  pari a 0.492.

### 3.3.2.4 Calcolo del fattore di amplificazione e confronto con i valori di soglia comunale

Per il calcolo del fattore di amplificazione litologico locale è necessario dapprima individuare lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale, definito come il primo strato a partire dalla superficie avente spessore minimo di 4 m.

Tenuto conto della profondità del primo strato equivalente e della velocità  $V_s$  ottenuta come media pesata si è considerata la curva caratteristica n. 2 della scheda sabbiosa di cui sopra:

- strato equivalente di 7,4 metri e  $V_s$  pesata = 270 m/s.

Sulla base dell'individuazione della curva caratteristica, occorre calcolare il Fattore di amplificazione di sito  $F_a$  ai sensi della D.G.R. n. IX/2616 del 30/11/2011; tale norma prevede due fattori di amplificazione, ossia  $F_a$  compreso tra 0.1 s e 0.5 s e  $F_a$  compreso tra 0.5 s e 1.5 s.

Le formule per calcolare i due fattori sono indicate nella scheda litologica "sabbiosa" e in particolare sono:

<i>Tratto logaritmico</i>	
<i>Curva</i>	$0.045 \leq T_0 < 0.80$
<b>2</b>	$F_{a0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T_0$

<i>Curva</i>	$0.08 \leq T_0 < 0.80$
<b>2</b>	$F_{a0.5-1.5} = - 6.11 T_0^3 + 5.79 T_0^2 + 0.44 T_0 + 0.93$

Sulla base dei modelli monodimensionali ricostruiti, si ottengono i seguenti risultati:

<b>Categoria</b> <b>Sottosuolo da <math>V_s</math>.</b>	<b>Scheda</b>	<b>Curva</b>	<b>Periodo</b> <b><math>T_0</math> [s]</b>	<b>Fa calcolato</b> <b>FAC</b>
C	Sabbiosa	2	0.492	<b>(0.5-1.5 s) 1.45</b>
C	Sabbiosa	2	0.492	<b>(0.5-1.5 s) 1.81</b>

Per il comune di Paderno Dugnano i valori di Fa di soglia, per la categoria di suolo C, sono i seguenti:

- periodo 0.1-0.5 s → Fa di soglia comunale FAS = 1.9
- periodo 0.5-1.5 s → Fa di soglia comunale FAS = 2.4

Quindi risulta:

- $F_{a 0.5 \div 1.5 s} = 1.45 < 1.9$  → Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) < Fattore di amplificazione sismica Soglia comunale (FAS);
- $F_{a 0.5 \div 1.5 s} = 1.81 < 2.4$  → Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) < Fattore di amplificazione sismica Soglia comunale (FAS).

Sulla base dell'applicazione del secondo livello di approfondimento sismico sito specifico, di cui alla D.G.R. IX/2616/2011, la categoria di sottosuolo ricavata secondo le procedure contenute nella normativa antisismica **è sufficiente** a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica propri del sito.

**Pertanto, occorre considerare la categoria sismica di sottosuolo C**, così come ricavato dalla prova sismica MASW.

## **4 RELAZIONE GEOTECNICA (R2) - CARATTERIZZAZIONE**

### **4.1 INDAGINE GEOGNOSTICA**

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione dell'area in oggetto è stata ottenuta mediante le seguenti indagini eseguite nel sito nel mese di aprile 2021:

- n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, uno spinto alla profondità di 15.0 m da piano campagna (S1) e l'altro fino alla profondità di 20.0 m da p.c. (S2);
- n° 11 prove SPT (Standard Penetration Test) in avanzamento all'interno dei fori di sondaggio, di cui n° 5 nel sondaggio S1 e n°6 nel sondaggio S2;
- prelievo di n. 2 campioni rimaneggiati di terreno per la successiva analisi e prove geotecniche di laboratorio;
- installazione di n. 1 piezometro da 3" nel foro di sondaggio S2, cieco da p.c. a -14 metri, fessurato da - 14 a - 20 metri.

#### **4.1.1 Sondaggi a carotaggio continuo**

I sondaggi sono stati eseguiti con una sonda idraulica a partire dal piano strada.

Le perforazioni sono state eseguite a rotazione, a carotaggio continuo, con l'impiego di carotiere semplice con  $\Phi_{int} = 101$  mm.

Dopo ogni manovra di perforazione si è provveduto al sostenimento del foro con l'impiego di tubi di rivestimento con  $\Phi_{est} = 127$  mm.

Caratteristiche tecniche dell'attrezzatura da perforazione:

- Carotiere: - diametro nominale  $\Phi = 101 \div 127$  mm; lunghezza utile  $l = 300$  cm;
- Aste di perforazione con filettatura tronco conica: diametro nominale  $\Phi = 60 \div 76$  mm.

Prelievo campioni: sono stati prelevati due campioni di terreno da sottoporre ad analisi granulometriche (un campione per ogni sondaggio). Le risultanze sono riportate nei certificati allegati alla presente relazione.



Esecuzione dei sondaggi

#### **4.1.2 Metodologia delle prove penetrometriche dinamiche SPT**

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite alcune prove penetrometriche dinamiche SPT in ciascun foro.

In particolare, sono stati rilevati i numeri di colpi necessari all'infissione di 45 cm di asta, suddivisi in tratti da 15 cm.

L'attrezzatura impiegata ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- testa di battuta in acciaio avvitata su aste  $\phi = 51$  mm;
- altezza di caduta del maglio = 75 cm;
- peso del maglio = 63,5 kg.

Le prove sono state eseguite con l'impiego di campionatore Raymond a punta chiusa a causa della presenza prevalente di materiale sabbioso e ghiaioso, avente diametro esterno di 51 mm, diametro interno di 35 mm e lunghezza di 457 mm, dotato di scarpa tagliente.

#### 4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – TECNICA DEI TERRENI

I carotaggi hanno rilevato strati prevalentemente sabbiosi, con ghiaia e limo subordinati, fino ad almeno 3 metri di profondità.

I terreni che si rinvergono oltre tale profondità sono a prevalente componente ghiaioso-sabbiosa, con ciottoli subordinati.

Si rimanda all'Allegato 2 per le stratigrafie di dettaglio.

Inoltre, le prove SPT hanno consentito il rilevamento dello stato di addensamento del terreno. Confrontando le litologie ricavate dai carotaggi e i valori di resistenza alla penetrazione delle SPT, è stato possibile sintetizzare l'andamento geo-meccanico nel seguente modo:

- da piano campagna a circa – 3 metri, si rileva un grado di addensamento del terreno al limite tra scarso e medio (unità geotecnica 1);
- da circa – 3 metri fino alla massima profondità indagata (- 20 metri), si individua un grado di addensamento buono (unità geotecnica 2).

I parametri geotecnici indicati nel seguito sono stati ottenuti indirettamente, mediante correlazioni empiriche, a partire dai risultati delle prove penetrometriche.

I valori adottati come rappresentativi delle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati sono quelli consigliati da diversi Autori (Peck, Hanson e Thornburn, 1953; K. Terzaghi e R.B. Peck, 1976; G. Sanglerat, 1979; J.E. Bowles, 1982) e sono stati definiti in modo moderatamente cautelativo.

I valori di resistenza alla penetrazione dinamica ricavati dalle prove in sito sono stati normalizzati in funzione della profondità, del tipo di attrezzatura utilizzata e delle caratteristiche granulometriche generali dei terreni, secondo la seguente equazione:

$$N'(60) = N_{SPT} \times 1.08 \times Cr \times Cd \times Cn$$

dove: **N'(60)** = valore di resistenza normalizzato

**Cr** = fattore di correzione funzione della profondità

**Cd** = fattore di correzione funzione del diametro del foro

**Cn** = fattore di correzione funzione della granulometria del terreno

**1.08** = valore di correzione funzione delle caratteristiche di restituzione dell'energia sviluppata dall'attrezzatura

La stima del valore della densità relativa ( $D_r$ ) è stata eseguita secondo le equazioni proposte da Skempton (1986):

$$D_r \cong \sqrt{N_{60}/60}$$

La valutazione del valore dell'angolo d'attrito mobilizzabile, in termini di sforzi efficaci, è stata effettuata sulla base delle correlazioni proposte da Shmertmann, 1977.

Sono state quindi riconosciute due unità geotecniche, aventi le seguenti caratteristiche meccaniche:

Da 0 metri a circa – 3 metri

**Unità 1**

$$\mathbf{N_{SPT}} = 12$$

$$\mathbf{\Phi} = 29^\circ$$

$$\mathbf{\gamma} = 17 \text{ kN/m}^3$$

$$\mathbf{Dr} = 30 \%$$

$$\mathbf{c'} \approx 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\mathbf{c_u} = 0 \text{ kN/m}^2$$

Da circa – 3 metri a – 20 metri

**Unità 2**

$$\mathbf{N_{SPT}} = 45$$

$$\mathbf{\Phi} = 35^\circ$$

$$\mathbf{\gamma} = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\mathbf{Dr} = 70 \%$$

$$\mathbf{c'} \approx 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\mathbf{c_u} = 0 \text{ kN/m}^2$$

N.B.

- N<sub>SPT</sub>** = numero colpi/30 cm;  
**Φ** = angolo di attrito del materiale;  
**γ** = peso di volume;  
**Dr** = densità relativa;  
**c'** = stima della coesione efficace;  
**c<sub>u</sub>** = coesione non drenata.

### **Modulo Elastico**

BURLAND & BURBIDGE (1985): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo ed il modulo si ricava in funzione di  $N_{spt}$

$$\text{Per } N_{spt} = 4 \Rightarrow E = (1,6 \div 2,4) \cdot N_{spt}$$

$$\text{Per } N_{spt} = 10 \Rightarrow E = (2,2 \div 3,4) \cdot N_{spt}$$

$$\text{Per } N_{spt} = 30 \Rightarrow E = (3,7 \div 5,6) \cdot N_{spt}$$

$$\text{Per } N_{spt} = 60 \Rightarrow E = (4,6 \div 7,0) \cdot N_{spt}$$

BURLAND & BURBIDGE (1985): questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo ed il modulo si ricava in funzione di  $N_{spt}$

$$\text{Per } N_{spt} = 4 \Rightarrow E = (1,6 \div 2,4) \cdot N_{spt}$$

$$\text{Per } N_{spt} = 10 \Rightarrow E = (2,2 \div 3,4) \cdot N_{spt}$$

$$\text{Per } N_{spt} = 30 \Rightarrow E = (3,7 \div 5,6) \cdot N_{spt}$$

$$\text{Per } N_{spt} = 60 \Rightarrow E = (4,6 \div 7,0) \cdot N_{spt}$$

Valori indicativi del modulo elastico, in Kg/cm<sup>2</sup>

Terreno	Valore massimo di	Valore minimo di
	E	E
Argilla molto molle	153	20.4
Argilla molle	255	51
Argilla media	510	153
Argilla dura	1020	510
Argilla sabbiosa	2550	255
Loess	612	153
Sabbia limosa	204	51
Sabbia sciolta	255	102
Sabbia compatta	816	510
Argillocisto	51000	1530
Limo	204	20.4
Sabbia e ghiaia sciolta	1530	510
Sabbia e ghiaia compatte	2040	1020

Quindi, per le tre unità individuate si ottiene:

$$\text{Unità 1} \rightarrow \text{circa } 42 \text{ Mpa} = 428 \text{ kg/cm}^2;$$

$$\text{Unità 2} \rightarrow \text{circa } 225 \text{ Mpa} = 2294 \text{ kg/cm}^2.$$

### **Campioni rimaneggiati**

Nel sondaggio S1 è stato prelevato un campione di terreno rimaneggiato tra le profondità 2,1 metri e 3,1 metri, mentre nel sondaggio S2 è stato prelevato un campione tra 1,5 metri e 2,5 metri di profondità.

Entrambi i campioni, denominati rispettivamente S1C1 e S2C1, sono stati sottoposti ad analisi granulometriche di laboratorio, secondo la procedura definita dalla normativa ASTM D 2488-17.

In particolare, sono state individuate granulometrie, peso di volume, indice dei vuoti, limiti di Atterberg, classificazione.

In Allegato 4 vengono riportati i certificati analitici di laboratorio.

Sintetizzando, i due campioni sono stati classificati come segue:

- S1C1 → sabbia con limo argilloso con tracce di ghiaia;
- S2C1 → sabbia con limo ghiaioso argilloso.

#### **4.3 MISURAZIONE DEL LIVELLO DI FALDA FREATICA**

In data 06 aprile 2021 è stato installato un tubo piezometrico in PVC all'interno del foro di sondaggio S2.

Il piezometro ha un diametro utile di 3" ed è costituito da un tratto cieco da p.c. a - 14 metri e da un tratto fessurato da - 14 a - 20 metri.

La falda freatica non è stata rilevata poiché il livello massimo di falda si attesta ad una profondità superiore (23-24 metri da p.c. al settembre 2014) rispetto a quella del piezometro appositamente realizzato.

#### **Il Tecnico incaricato**

**Dott. Geol. Efrem Ghezzi**



Professional stamp of Efrem Ghezzi, Geologist Specialist, Albo n. 640 AP, Sezione A. The stamp is circular with the text "ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA" around the perimeter. Below the stamp is a handwritten signature in blue ink.



**CARREFOUR PROPERTY ITALIA S.r.l.**  
Via Caldera, 21 - 20153 Milano (MI)

**INTERVENTO DI AMPLIAMENTO DEL CARREFOUR  
DI VIA GIOVANNI AMENDOLA  
PADERNO DUGNANO (MI)**

**RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA (R1 + R3)  
RELAZIONE GEOTECNICA (R2) - CARATTERIZZAZIONE  
AI SENSI DELLE N.T.C. D.M. 17/01/2018  
e D.G.R. X/5001/2016**

**ALLEGATI**

- All. 1 - Ubicazione delle indagini - scala 1:1.000
- All. 2 - Descrizioni stratigrafiche, documentazione fotografica e prove SPT in foro
- All. 3 - Prova di prospezione sismica MASW
- All. 4 - Certificati di analisi di laboratorio

MODULO 9 D.d.u.o. 28 novembre 2018 n. 17589  
MODULO 10 D.d.u.o. 28 novembre 2018 n. 17589

Milano, aprile 2021

**STUDIO IDROGEOTECNICO Srl**  
**Società di ingegneria**

Bastioni di Porta Volta 7 - 20121 Milano

tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40

e-mail: [stid@fastwebnet.it](mailto:stid@fastwebnet.it)

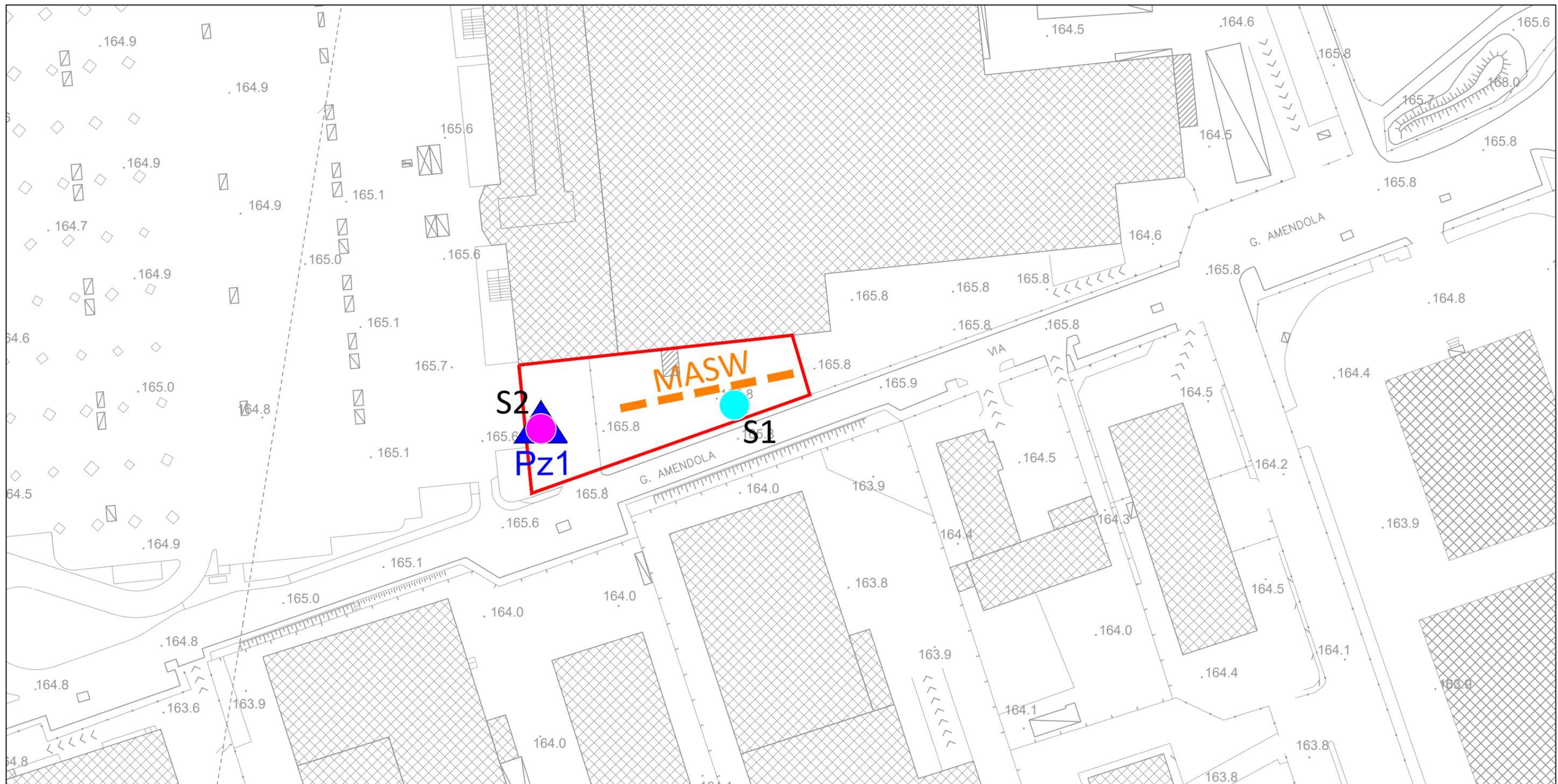
PEC: [stidsrl@pec.it](mailto:stidsrl@pec.it)

[www.studioidrogeotecnico.com](http://www.studioidrogeotecnico.com)

CF e P.Iva e Registro Imprese di Milano 09422240961

Capitale sociale € 30.000 interamente versato





**Legenda**

 Area di indagine

**S2**  Sondaggio geognostico da 20.0 m da p.c.

**S1**  Sondaggio geognostico da 15.0 m da p.c.

 Indagine di prospezione sismica MASW

**Pz1**  Piezometro da 20.0 m da p.c.

**Milan Ingegneria S.p.A.**  
**Via G. Amendola - Paderno Dugnano (MI)**

**UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE**  
**Scala 1:1.000** **All. 1**



STUDIO IDROGEOTECNICO S.r.l.  
 SOCIETÀ DI INGEGNERIA  
 Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano  
 tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40  
 e-mail: stid@fastwebnet.it  
 www.studioidrogeotecnico.com

**Milan Ingegneria S.p.A.**  
**Via G. Amendola - Paderno Dugnano (MI)**  
 All.2 - Descrizione stratigrafica e documentazione fotografica

Codice indagine	Data	Prof. Indagine (m)	Prof. Campioni (n)	Descrizione stratigrafica			
				da m	a m		
S1	06/04/2021	15.00	1 (2.1-3.1 m)	0.00	0.15	Pavimentazione in asfalto	
				0.15	1.00	Sabbia medio-fine, grigia/marrone, con ghiaia da fine a grossolana e ciottoli	
				1.00	1.50	Sabbia fine marrone con ghiaia medio-fine	
				1.50	2.10	Sabbia fine grigia/marrone chiaro, con ghiaia da fine a grossolana e ciottoli	
				2.10	3.10	Limo sabbioso marrone, con rara ghiaia medio-fine	
				3.10	5.00	Ghiaia da fine a grossolana, ghiaietto e ciottoli in matrice sabbiosa grigia medio-fine	
				5.00	6.00	Ghiaia da fine a grossolana, con alcuni ciottoli, in scarsa matrice sabbiosa	
				6.00	7.50	Sabbia fine marrone, a tratti scarsamente limosa, con ghiaia medio-fine	
				7.50	8.60	Sabbia fine marrone chiaro, con ghiaia da fine a media, rari ciottoli	
				8.60	11.00	Sabbia media marrone con ghiaia da fine a grossolana e ciottoli	
				11.00	11.80	Sabbia fine marrone con ghiaia da fine a media	
				11.80	12.00	Sabbia marrone, scarsamente limosa, con ghiaia da fine a media	
				12.00	13.20	Sabbia fine grigio-marrone con ghiaia da fine a grossolana e alcuni ciottoli	
13.20	14.00	Sabbia fine marrone, a tratti scarsamente limosa, con ghiaia medio-fine					
14.00	15.00	Sabbia fine, marrone chiaro, con ghiaia da fine a grossolana e sporadici ciottoli					
							

**Milan Ingegneria S.p.A.**  
**Via G. Amendola - Paderno Dugnano (MI)**  
 All.2 - Descrizione stratigrafica e documentazione fotografica

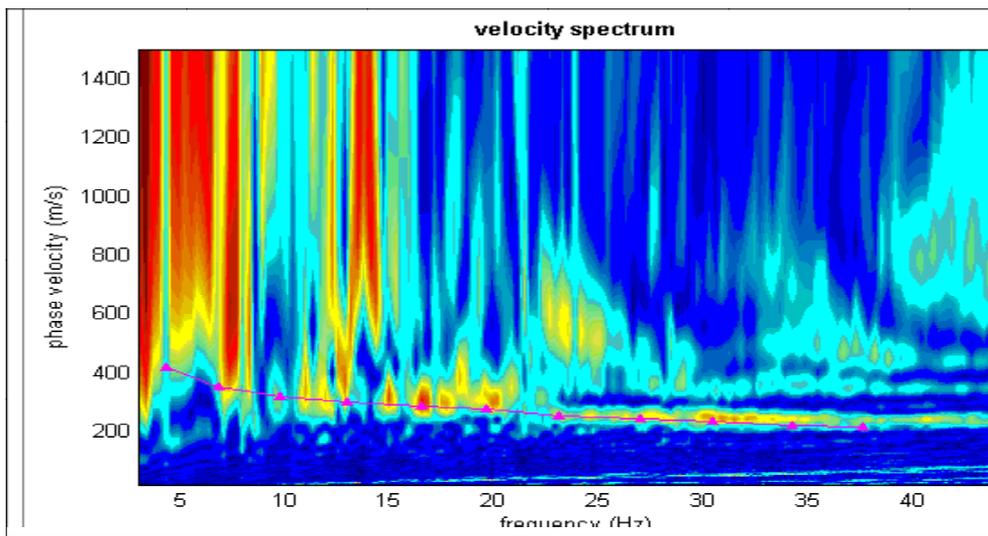
Codice indagine	Data	Prof. Indagine (m)	Prof. Campioni (n)	Descrizione stratigrafica			
				da m	a m		
S2	02/04/2020	20.0	1 (1.5-2.5 m)	0.00	0.15	Pavimentazione in asfalto	
				0.15	0.60	Sabbia medio-fine, marrone-grigio, con ghiaia medio-fine	
				0.60	1.50	Sabbia fine marrone, scarsamente limosa, con ghiaia medio-fine	
				1.50	1.80	Limo sabbioso grigio-marrone	
				1.80	2.60	Limo sabbioso marrone, con rara ghiaia fine	
				2.60	3.00	Sabbia medio-fine, scarsamente limosa, marrone, con ghiaia medio-fine	
				3.00	5.70	Sabbia fine, grigia-marrone, con ghiaia da fine a grossolana e sporadici ciottoli	
				5.70	6.00	Sabbia fine marrone, da scarsamente a debolmente limosa, con ghiaia medio-fine	
				6.00	9.20	Sabbia medio-fine marrone, con ghiaia da fine a grossolana e alcuni ciottoli	
				9.20	9.90	Sabbia medio-fine marrone con ghiaia medio-fine	
9.90	11.00	Sabbia fine, grigia-marrone chiaro, con ghiaia medio-fine e alcuni ciottoli					

**Milan Ingegneria S.p.A.**  
**Via G. Amendola - Paderno Dugnano (MI)**  
 All.2 - Descrizione stratigrafica e documentazione fotografica

Codice indagine	Data	Prof. Indagine (m)	Prof. Campioni (n)	Descrizione stratigrafica			
				da m	a m		
S2	02/04/2020	20.0	1 (1.5-2.5 m)	11.00	16.80	Sabbia medio-fine marrone, con ghiaia da fine a grossolana e ciottoli	 
				16.80	18.00	Sabbia fine marrone con ghiaia da fine a media	
				18.00	20.00	Sabbia medio-fine marrone, con ghiaia da fine a grossolana e alcuni ciottoli	

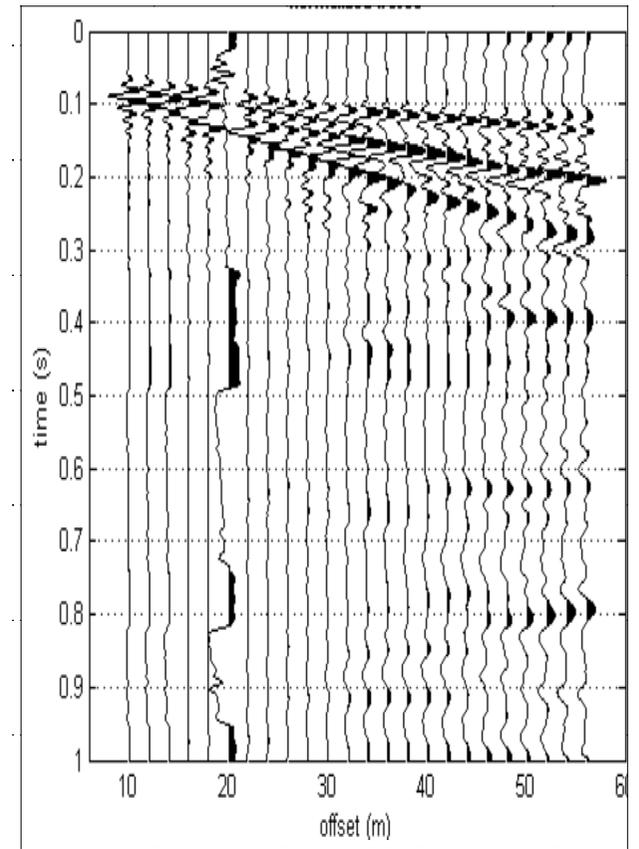
**Milan Ingegneria S.p.A.**  
**Via G. Amendola - Paderno Dugnano (MI)**  
All.2 - Prove SPT in foro

<b>Sito: Via Giovanni Amendola Paderno Dugnano (MI)</b>		
<b>Sondaggio</b>	<b>Profondità (m)</b>	<b>N° Colpi</b>
<b>S1</b>	3.00	5/7/8
	6.00	12/10/13
	9.00	36/38/41
	12.00	33/42/46
	15.00	31/39/48
<b>S2</b>	3.00	4/5/7
	6.00	5/15/20
	9.00	32/38/36
	12.00	33/41/49
	15.00	26/38/41
	18.00	18/36/44

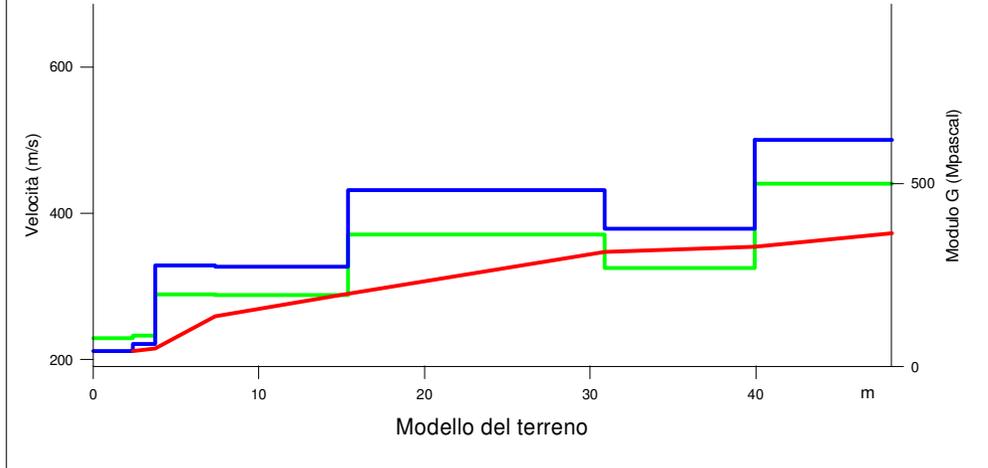
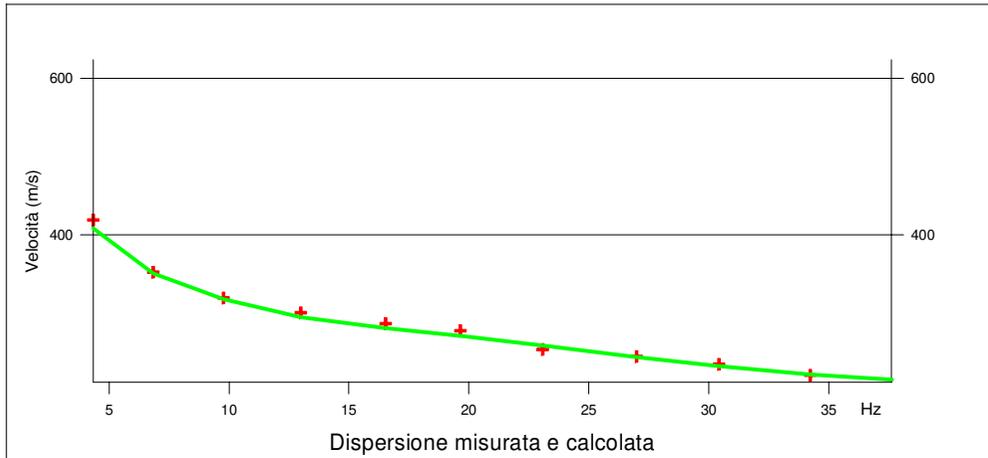


- LEGENDA**
- + Curva di dispersione misurata
  - Curva di dispersione calcolata
  - Velocità sismica delle onde S
  - Modulo di taglio (Mpasca)
  - VsX

Il valore approssimato del peso di volume per il calcolo del parametro G è dato dalla formula  $D=1.5 + V_s/1000$



Sismogramma



**TABELLA DI CALCOLO**

Da Prof.	a Prof.	Vs	Hi/Vi	VsX	G
0	2.4	212	.0113	212	77
2.4	3.8	221	.0062	215	84
3.8	7.4	329	.011	259	198
7.4	15.4	327	.0245	290	195
15.4	30.9	432	.0359	348	361
30.9	39.9	379	.0239	354	270
39.9	48.2	500	.0165	373	500

**VALORE CALCOLATO VSEq = 346 m/s**

ALL. 3

**PROVA SISMICA VS30**

**Paderno Dugnano - Area Carrefour**

**Studio Idrogeotecnico srl - Milano**

**Metodologia MASW**

**VELOCITA' DELLE ONDE S**

**Aprile 2021**

**STUDIO IDROGEOTECNICO**
**CANTIERE: Via G. Amendola (Paderno Dugnano)**
***Certificati di analisi di laboratorio dal n. 210211404/01 al  
210211404/10***
***Verb. Accettazione: 09-07/04/2021***

00	21/04/2021	Emissione Documento	Dr. A. Fontana	Dr. M. Pantaleo	Dr. G. Vitale
Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Revisionato	Approvato

## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 01 del 20/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

Tipo di Prova **Apertura e Descrizione Geotecnica** Data Inizio 08/04/2021  
Normativa **ASTM D 2488-17** Data Fine 08/04/2021  
Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**  
Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021

### IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

Tipo di Campione	Indisturbato	Rimaneggiato	X
------------------	--------------	--------------	---

Caratteristiche della Fustella	Integra	Accidentata
	Metallo	Plastica
	Diametro (cm)	Lunghezza (cm)

Tipo di Materiale	<b>FINE</b>
Sondaggio / Pozzetto	<b>S1</b>
Campione	<b>C1</b>
Profondità (m)	<b>da 2,1 a 3,1</b>

SPERIMENTATORE



DIRETTORE



## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 01 del 20/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

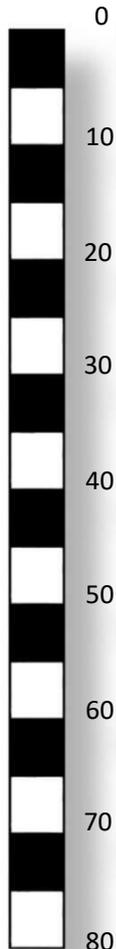
Tipo di Prova **Apertura e Descrizione Geotecnica** Data Inizio 08/04/2021  
Normativa **ASTM D 2488-17** Data Fine 08/04/2021  
Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**  
Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021

### DESCRIZIONE DEL TERRENO

CAMPIONE



cm



Descrizione	Prove	Pocket Penetr. (kPa)	Torvane (kg/cm <sup>2</sup> )
SABBIA con limo argilloso e tracce di ghiaia di colore marrone scuro	GR-AR  Pv Wn Att		
<b>COLORE MUNSELL</b>	<b>7,5 YR 3/4</b>		

SPERIMENTATORE

DIRETTORE

## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 02 del 20/04/2021

costituito da pagine 1 inclusa la presente

Tipo di Prova **Determinazione del Contenuto di Acqua Naturale** Data Inizio 08/04/2021  
Normativa **ASTM D 2216-19** Data Fine 09/04/2021  
Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**  
Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021  
Sondaggio **S1** Campione **C1** Profondità (m) da **2,1** a **3,1**

<b>VALORE MEDIO di UMIDITA' NATURALE</b>	<b>%</b>	<b>16,07</b>
--	----------	--------------

DATI di ORIGINE dei PROVINI	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Massa tara g	760,32	72,41	42,23
Massa lorda umida g	1117,50	145,94	88,57
Massa lorda secca g	1065,90	135,33	82,72
Massa netta umida g	357,18	73,53	46,34
Massa netta secca g	305,58	62,92	40,49
Massa dell'acqua g	51,60	10,61	5,85
Contenuto d'acqua %	16,89	16,86	14,45

SPERIMENTATORE



DIRETTORE



**CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 03 del 20/04/2021**

costituito da pagine 1 inclusa la presente

Tipo di Prova **Determinazione della Massa Volumica Umida e Secca** Data Inizio 08/04/2021

Normativa **ASTM D 7263-09 (Metodo B)** Data Fine 08/04/2021

Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**

Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021

Sondaggio **S1** Campione **C1** Profondità (m) da **2,1** a **3,1**

Descrizione visiva del terreno **FINE Rimaneggiato**

Provino

<b>MASSA VOLUMICA APPARENTE UMIDA MEDIA</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2,104</b>
<b>MASSA VOLUMICA SECCA MEDIA</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>1,813</b>

<b>DATI di ORIGINE dei PROVINI</b>	<b>Provino 1</b>	<b>Provino 2</b>	<b>Provino 3</b>
Massa fustella g	38,15	38,15	38,15
Volume fustella cm <sup>3</sup>	49,47	49,47	49,47
Massa lorda naturale g	142,89	141,46	142,37
Massa netta naturale g	104,74	103,31	104,22
Massa Volumica Umida g/cm <sup>3</sup>	2,12	2,09	2,11
Massa Volumica Secca g/cm <sup>3</sup>	1,81	1,79	1,84

<b>PESO SPECIFICO MEDIO dei GRANI</b>	<b>Assunto</b>	<b>-</b>	<b>2,650</b>
<b>INDICE dei VUOTI MEDIO</b>		<b>-</b>	<b>0,462</b>
<b>POROSITA' MEDIA</b>		<b>%</b>	<b>31,58</b>
<b>GRADO di SATURAZIONE MEDIO</b>		<b>%</b>	<b>92,23</b>

SPERIMENTATORE



DIRETTORE



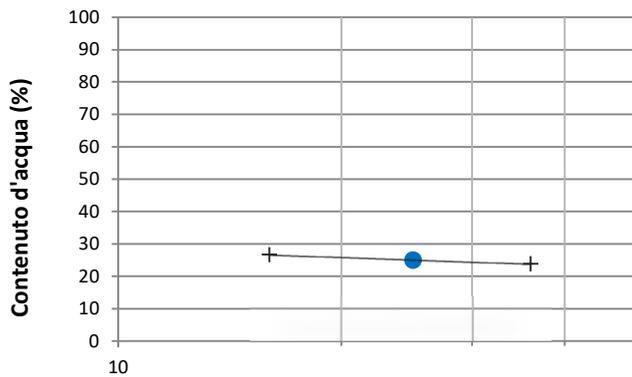
## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 04 del 20/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

Tipo di Prova	<b>Determinazione dei Limiti di Consistenza</b>	Data Inizio	17/04/2021		
Normativa	<b>ASTM D 4318-17 (Metodo A)</b>	Data Fine	18/04/2021		
Committente	<b>STUDIO IDROGEOTECNICO</b>	Cantiere	<b>V. G. Amendola - Paderno Dugnano</b>		
Verbale di Accettazione	09-07/04/2021	del	07/04/2021		
Sondaggio	<b>S1</b>	Campione	<b>C1</b>	Profondità	da <b>2,1</b> a <b>3,1</b>

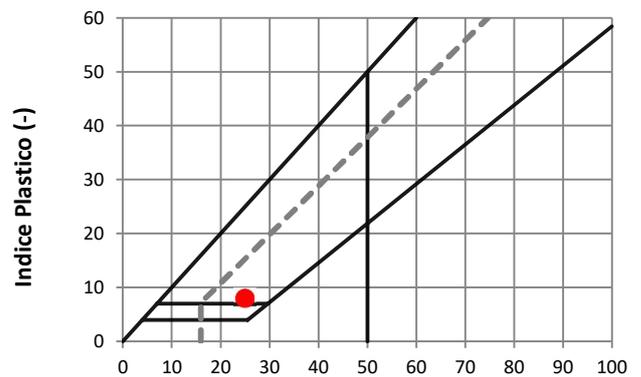
<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>25</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>17</b>
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>8</b>

Limite Liquido



Colpi di cucchiaino (n°)

Carta della Plasticità



Limite Liquido (-)

CLASSIFICAZIONE U.S.C.S. (della sola porzione fine)

CL

SPERIMENTATORE

DIRETTORE

## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 04 del 20/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

Tipo di Prova **Determinazione dei Limiti di Consistenza** Data Inizio 17/04/2021  
Normativa **ASTM D 4318-17 (Metodo A)** Data Fine 18/04/2021  
Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**  
Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021  
Sondaggio **S1** Campione **C1** Profondità da **2,1** a **3,1**

### Limite Liquido

DATI di ORIGINE dei PROVINI		Provino 1	Provino 2	Provino 3
Massa tara	g	9,66	6,89	9,72
Massa lorda umida	g	14,28	12,75	14,99
Massa lorda secca	g	13,39	11,59	13,88
Colpi di cucchiara	n°	36	25	16
Massa netta umida	g	4,62	5,86	5,27
Massa netta secca	g	3,73	4,70	4,16
Contenuto d'acqua	%	23,86	24,68	26,68

### Limite Plastico

DATI di ORIGINE dei PROVINI		Provino 1	Provino 2	
Massa tara	g	14,28	15,72	
Massa lorda umida	g	16,13	17,77	
Massa lorda secca	g	15,86	17,46	
Massa netta umida	g	1,85	2,05	
Massa netta secca	g	1,58	1,74	
Contenuto d'acqua	%	17,09	17,82	

SPERIMENTATORE



DIRETTORE

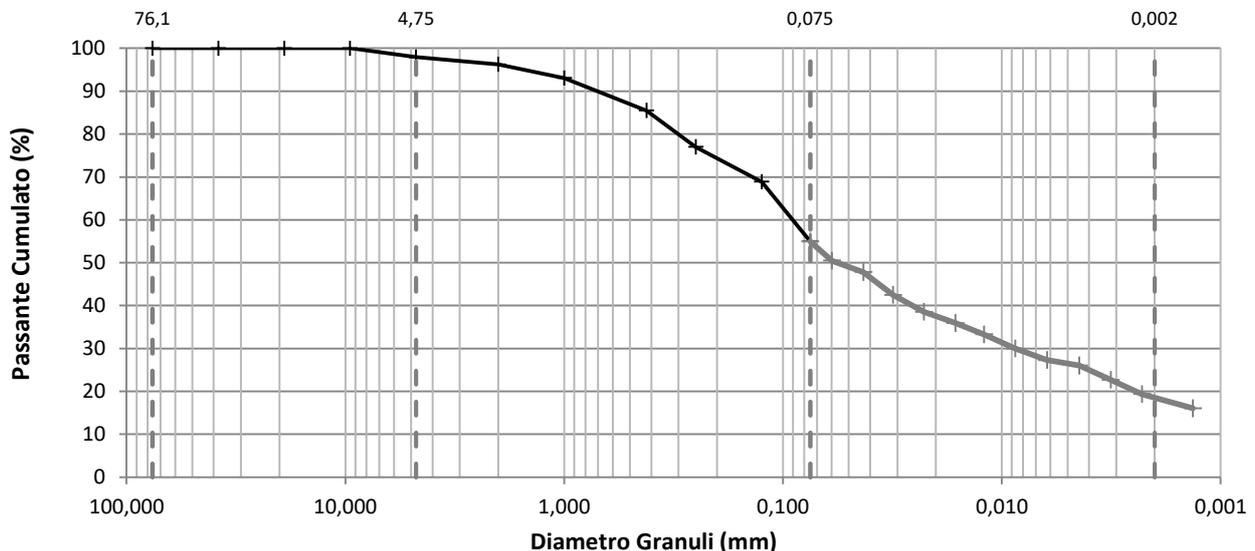


## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 05 del 20/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

Tipo di Prova **Determinazione della Distribuzione Granulometrica** Data Inizio 12/04/2021  
 Normativa **ASTM D 2487 - 11 ; D 422-07 (ritirato); ASTM D 7928-17** Data Fine 17/04/2021  
 Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**  
 Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021  
 Sondaggio **S1** Campione **C1** Profondità da **2,1** a **3,1**

### CURVA GRANULOMETRICA



SPERIMENTATORE

DIRETTORE

INDICI	D <sub>60</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>10</sub>	CU	CC
	0,090	N.Neces.	N.Neces.	N.Neces.	N.Neces.

ASTM	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO e ARGILLA
	2,05	43,02	54,93
<b>CL</b>			

AGI	% CIOTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA
	0,00	3,79	45,67	31,97	18,57
<b>Sabbia con limo argilloso/a con tracce di ghiaia</b>					

AASHTO	A 4
--------	-----

## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 05 del 20/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

Tipo di Prova **Determinazione della Distribuzione Granulometrica** Data Inizio 12/04/2021  
 Normativa **ASTM D 2487 - 11 ; D 422-07 (ritirato); ASTM D 7928-17** Data Fine 17/04/2021  
 Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**  
 Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021  
 Sondaggio **S1** Campione **C1** Profondità da **2,1** a **3,1**

Vaglio ASTM n°	Diametro Granuli (mm)	Passante Cumulato (%)	Classe ASTM
3 inch	76,100	100,00	GHIAIA
1.5 inch	38,100	100,00	
3/4 inch	19,000	100,00	
3/8 inch	9,510	100,00	
4 mesh	4,750	97,95	
10 mesh	2,000	96,21	SABBIA
18 mesh	1,000	93,06	
40 mesh	0,420	85,50	
60 mesh	0,250	77,02	
120 mesh	0,125	68,89	
200 mesh	0,075	54,93	
A R E O M E T R I A	0,060	50,44	LIMO ARGILLA
	0,043	47,80	
	0,031	42,51	
	0,023	38,55	
	0,016	35,90	
	0,012	33,26	
	0,0087	29,95	
	0,0062	27,31	
	0,0044	25,99	
	0,0032	22,68	
0,0023	19,38		
0,0013	16,07		

SPERIMENTATORE



DIRETTORE



## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 06 del 21/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

Tipo di Prova **Apertura e Descrizione Geotecnica** Data Inizio 08/04/2021  
Normativa **ASTM D 2488-17** Data Fine 08/04/2021  
Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**  
Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021

### IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE

Tipo di Campione	Indisturbato	Rimaneggiato	X
------------------	--------------	--------------	---

Caratteristiche della Fustella	Integra	Accidentata
	Metallo	Plastica
	Diametro (cm)	Lunghezza (cm)

Tipo di Materiale	<b>FINE</b>
Sondaggio / Pozzetto	<b>S2</b>
Campione	<b>C1</b>
Profondità (m)	<b>da 1,5 a 2,5</b>

SPERIMENTATORE



DIRETTORE



## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 06 del 21/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

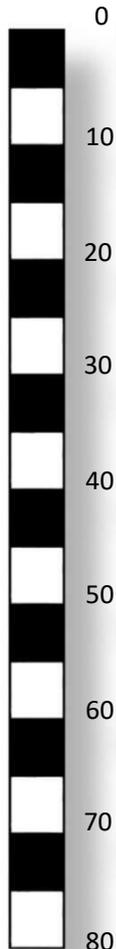
Tipo di Prova **Apertura e Descrizione Geotecnica** Data Inizio 08/04/2021  
Normativa **ASTM D 2488-17** Data Fine 08/04/2021  
Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**  
Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021

### DESCRIZIONE DEL TERRENO

CAMPIONE



cm



Descrizione	Prove	Pocket Penetr. (kPa)	Torvane (kg/cm <sup>2</sup> )
SABBIA con limo ghiaioso ed argilloso di colore marrone scuro	GR-AR Pv Wn Att		
<b>COLORE MUNSELL</b>	<b>7,5YR 3/2</b>		

SPERIMENTATORE

DIRETTORE

## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 07 del 21/04/2021

costituito da pagine 1 inclusa la presente

Tipo di Prova **Determinazione del Contenuto di Acqua Naturale** Data Inizio 08/04/2021  
Normativa **ASTM D 2216-19** Data Fine 09/04/2021  
Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**  
Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021  
Sondaggio **S2** Campione **C1** Profondità (m) da **1,5** a **2,5**

<b>VALORE MEDIO di UMIDITA' NATURALE</b>	<b>%</b>	<b>15,97</b>
--	----------	--------------

DATI di ORIGINE dei PROVINI	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Massa tara g	42,27	39,02	769,79
Massa lorda umida g	118,71	95,54	996,81
Massa lorda secca g	107,77	87,78	966,70
Massa netta umida g	76,44	56,52	227,02
Massa netta secca g	65,50	48,76	196,91
Massa dell'acqua g	10,94	7,76	30,11
Contenuto d'acqua %	16,70	15,91	15,29

SPERIMENTATORE



DIRETTORE



## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 08 del 21/04/2021

costituito da pagine 1 inclusa la presente

Tipo di Prova **Determinazione della Massa Volumica Umida e Secca** Data Inizio 08/04/2021  
Normativa **ASTM D 7263-09 (Metodo B)** Data Fine 08/04/2021  
Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**  
Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021  
Sondaggio **S2** Campione **C1** Profondità (m) da **1,5** a **2,5**  
Descrizione visiva del terreno **FINE Rimaneggiato**  
Provino

<b>MASSA VOLUMICA APPARENTE UMIDA MEDIA</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2,143</b>
<b>MASSA VOLUMICA SECCA MEDIA</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>1,848</b>

DATI di ORIGINE dei PROVINI	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Massa fustella g	38,18	38,18	38,18
Volume fustella cm <sup>3</sup>	49,47	49,47	49,47
Massa lorda naturale g	147,07	141,21	144,25
Massa netta naturale g	108,89	103,03	106,07
Massa Volumica Umida g/cm <sup>3</sup>	2,20	2,08	2,14
Massa Volumica Secca g/cm <sup>3</sup>	1,89	1,80	1,86

<b>PESO SPECIFICO MEDIO dei GRANI</b>	<b>Assunto</b>	<b>-</b>	<b>2,650</b>
<b>INDICE dei VUOTI MEDIO</b>		<b>-</b>	<b>0,434</b>
<b>POROSITA' MEDIA</b>		<b>%</b>	<b>30,28</b>
<b>GRADO di SATURAZIONE MEDIO</b>		<b>%</b>	<b>97,43</b>

SPERIMENTATORE



DIRETTORE



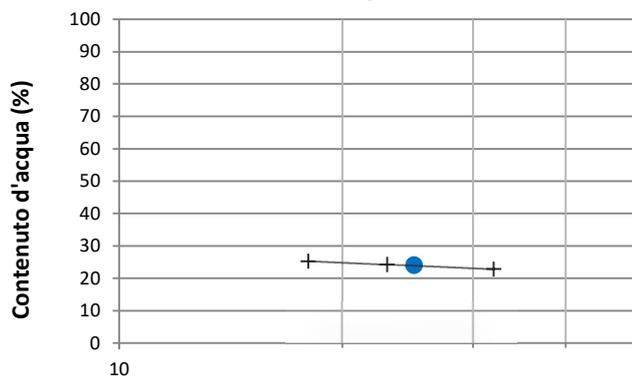
## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 09 del 21/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

Tipo di Prova	<b>Determinazione dei Limiti di Consistenza</b>	Data Inizio	20/04/2021		
Normativa	<b>ASTM D 4318-17 (Metodo A)</b>	Data Fine	21/04/2021		
Committente	<b>STUDIO IDROGEOTECNICO</b>	Cantiere	<b>V. G. Amendola - Paderno Dugnano</b>		
Verbale di Accettazione	09-07/04/2021	del	07/04/2021		
Sondaggio	<b>S2</b>	Campione	<b>C1</b>	Profondità	da <b>1,5</b> a <b>2,5</b>

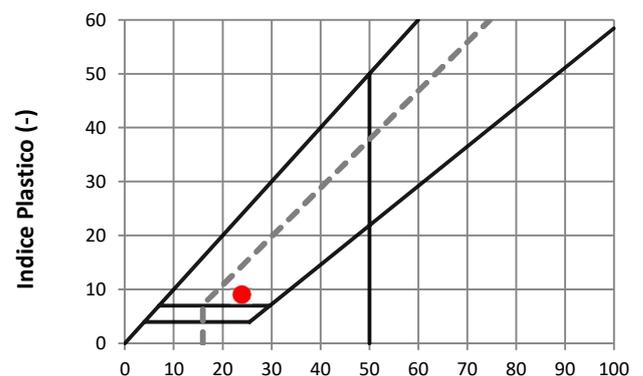
<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>24</b>
<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>15</b>
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>9</b>

Limite Liquido



Colpi di cucchiaino (n°)

Carta della Plasticità



Limite Liquido (-)

CLASSIFICAZIONE U.S.C.S. (della sola porzione fine)

CL

SPERIMENTATORE

DIRETTORE

## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 09 del 21/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

Tipo di Prova **Determinazione dei Limiti di Consistenza** Data Inizio 20/04/201

Normativa **ASTM D 4318-17 (Metodo A)** Data Fine 21/04/2021

Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**

Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021

Sondaggio **S2** Campione **C1** Profondità da **1,5** a **2,5**

### Limite Liquido

DATI di ORIGINE dei PROVINI	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Massa tara g	10,00	6,73	6,94
Massa lorda umida g	16,05	12,32	12,81
Massa lorda secca g	14,83	11,23	11,72
Colpi di cucchiara n°	18	23	32
Massa netta umida g	6,05	5,59	5,87
Massa netta secca g	4,83	4,50	4,78
Contenuto d'acqua %	25,26	24,22	22,80

### Limite Plastico

DATI di ORIGINE dei PROVINI	Provino 1	Provino 2	
Massa tara g	13,62	14,51	
Massa lorda umida g	17,69	17,97	
Massa lorda secca g	17,16	17,51	
Massa netta umida g	4,07	3,46	
Massa netta secca g	3,54	3,00	
Contenuto d'acqua %	14,97	15,33	

SPERIMENTATORE



DIRETTORE

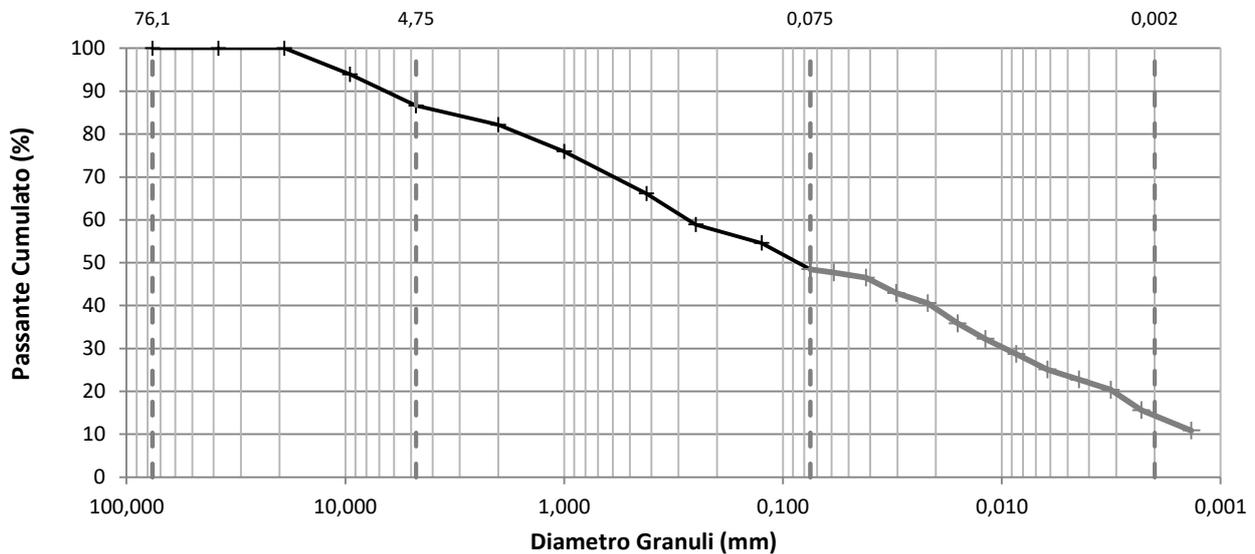


## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 10 del 21/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

Tipo di Prova	<b>Determinazione della Distribuzione Granulometrica</b>	Data Inizio	12/04/2021
Normativa	<b>ASTM D 2487 - 11 ; D 422-07 (ritirato); ASTM D 7928-17</b>	Data Fine	17/04/2021
Committente	<b>STUDIO IDROGEOTECNICO</b>	Cantiere	<b>V. G. Amendola - Paderno Dugnano</b>
Verbale di Accettazione	09-07/04/2021	del	07/04/2021
Sondaggio	<b>S2</b>	Campione	<b>C1</b>
		Profondità	da <b>1,5</b> a <b>2,5</b>

### CURVA GRANULOMETRICA



SPERIMENTATORE

DIRETTORE

INDICI	D <sub>60</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>10</sub>	CU	CC
	0,271	N.Neces.	N.Neces.	N.Neces.	N.Neces.

ASTM	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO e ARGILLA
	13,40	38,12	48,48
<b>SC</b>			

AGI	% CIOTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA
	0,00	17,82	34,43	33,41	14,34
<b>Sabbia con limo ghiaioso/a argilloso/a</b>					

AASHTO	A 4

## CERTIFICATO DI PROVA N° 210211404/ 10 del 21/04/2021

costituito da pagine 2 inclusa la presente

Tipo di Prova **Determinazione della Distribuzione Granulometrica** Data Inizio 12/04/2021  
 Normativa **ASTM D 2487 - 11 ; D 422-07 (ritirato); ASTM D 7928-17** Data Fine 17/04/2021  
 Committente **STUDIO IDROGEOTECNICO** Cantiere **V. G. Amendola - Paderno Dugnano**  
 Verbale di Accettazione 09-07/04/2021 del 07/04/2021  
 Sondaggio **S2** Campione **C1** Profondità da **1,5** a **2,5**

Vaglio ASTM n°	Diametro Granuli (mm)	Passante Cumulato (%)	Classe ASTM
3 inch	76,100	100,00	GHIAIA
1.5 inch	38,100	100,00	
3/4 inch	19,000	100,00	
3/8 inch	9,510	93,91	
4 mesh	4,750	86,60	
10 mesh	2,000	82,18	SABBIA
18 mesh	1,000	75,96	
40 mesh	0,420	66,10	
60 mesh	0,250	58,85	
120 mesh	0,125	54,55	
200 mesh	0,075	48,48	LIMO ARGILLA
	0,059	47,68	
A	0,042	46,50	
R	0,030	42,93	
E	0,022	40,56	
O	0,016	35,81	
M	0,012	32,25	
E	0,0086	28,69	
T	0,0062	25,12	
R	0,0044	22,75	
I	0,0032	20,37	
A	0,0023	15,62	
	0,0014	10,87	

SPERIMENTATORE



DIRETTORE





DICHIARAZIONE/ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO
DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL
PARAGRAFO 6.2.1 NTC 2018 e/o DALLA D.G.R. 2616/2011

Il sottoscritto EFREM GHEZZI

iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione LOMBARDIA incaricato in data da CARREFOUR PROPERTY ITALIA S.r.l. Via Caldera, 21 - 20153 MILANO per conto

di di redigere la relazione geologica relativa al seguente intervento ampliamento del Carrefour

da eseguire in Comune di PADERNO DUGNANO Località

indirizzo VIA GIOVANNI AMENDOLA n° 11 CAP 20037

Comune Catastale PADERNO DUGNANO Foglio n. 28 Mappale o Particella 18

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno i benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

A. che la relazione geologica in oggetto è stata redatta ai sensi di:

- checkbox D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
checkbox checked D.G.R. 2616/2011 e D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
checkbox D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018), recependo quanto contenuto in una relazione geologica già depositata, redatta ai sensi della D.G.R. 2616/2011 per il rilascio del titolo abilitativo relativo all'intervento in questione

B. che, nello studio geologico comunale (PGT vigente) redatto in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R. 12/2005, al sito di intervento sono state attribuite le seguenti caratteristiche geologiche:

1. **SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PSL 1 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.1**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> Z1 Instabilità dei versanti    | <input type="checkbox"/> Z2a Cedimenti                   | <input type="checkbox"/> Z2b Liquefazione |
| <input type="checkbox"/> Z3 Amplificazione topografica  | <input type="checkbox"/> Z4 Amplificazione Stratigrafica |   |
| <input type="checkbox"/> Z5 Comportamenti differenziali | <input checked="" type="checkbox"/> Nessuno scenario     |   |

1.1 **VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.2**

- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale (FAS)\*  
 Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)\*  
 Analisi di secondo livello non effettuata

\* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011

2. **CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR 2616/2011 p.to 3.1**

- 1 senza particolari limitazioni  
 2 con modeste limitazioni  
 3 con consistenti limitazioni  
 4 con gravi limitazioni

2.1 **TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR2616/2011 p.to 3.2**

- a) Instabilità dei versanti dal punto di vista statico  
 b) Vulnerabilità idrogeologica  
 c) Vulnerabilità idraulica  
 d) Scadenti caratteristiche geotecniche  
 nessuna particolare limitazione

**DICHIARA INOLTRE**

**in fase di predisposizione dello studio geologico a supporto della progettazione**

C. di aver seguito tutte le prescrizioni previste dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole del PGT del Comune di .....PADERNO.DUGNANO.....

D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR 2616/2011 conformemente alle linee guida disponibili:

- Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)  
 Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)  
 Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)  
 Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)  
 Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede  
 Nessun particolare approfondimento

E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:

- indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo INDAGINE SISMICA MASW, SONDAGGI GEOGNOSTICI, PROVE SPT, .....  
ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO .....

.....  
.....  
 indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo .....

F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:

- analisi di risposta sismica locale
- procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria di sottosuolo:

A                       B                       C                       D                       E

mediante la seguente tipologia d'indagine .INDAGINE SISMICA.MASW.....  
la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione.

G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:

- analisi di risposta sismica locale
- procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria topografica:

T1                       T2                       T3                       T4

mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala ...1:5.000.....  
la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione.

H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:

- esclusione della verifica (paragrafo 7.11.3.4.2 NTC 2018), opportunamente motivata in relazione;
- verifica di stabilità (paragrafo 7.11.3.4.3 NTC 2018) mediante la seguente metodologia .....

I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:

- senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio
- previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto
- previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:
  - non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente

- sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

**ASSEVERA**

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti del Regolamento UE 2016/679 e del Dlgs 101/2018 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Luogo MILANO, Data .....26.04.2021.....

IL GEOLOGO



*Handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Efrem Ghezzi'.*

<b>MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) – AMPLIFICAZIONE</b>			
Nel caso di scenari PSL di tipo Z3, Z4 e relativi sottotipi (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616), qualora l'analisi sismica di II° livello non fosse stata eseguita nel sito d'indagine, sebbene obbligatoria, o fosse stata eseguita ma il fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) risulti maggiore del valore di soglia comunale (FAS), *previo specifica tolleranza ammessa dalla normativa regionale (Allegato 5 D.G.R. IX/2616); tali approfondimenti saranno da prevedere anche nel caso dello scenario PSL di tipo Z5 (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616)			
	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Modello sismo-stratigrafico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Analisi di II° livello ai sensi dell'Allegato 5 DGR IX/2616 applicata al sito oggetto di intervento, previa verifica dei requisiti di applicabilità, ovvero: 1- Assenza di fenomeni 2D legati alla risonanza di bacino 2- Assenza di inversioni di velocità significative 3- Contrasti di impedenza sismica < 3 4- Valori di $V_{SH} > 250$ m/s		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> $FAC \leq FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al $V_{S30}$ misurato <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S30}$ misurato	<input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$  Nel caso non siano disponibili schede di II° livello valide per la situazione investigata o nel caso si voglia aumentare il grado di accuratezza delle previsioni  2° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Non applicabilità dell'analisi di II° livello  Obbligo del 3° grado di approfondimento  Oppure nel caso <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S30}$ misurato  3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Indagine sismica di tipo MASW e/o rifrazione onde SH	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Verifica ed integrazione del modello geofisico del sottosuolo e analisi numeriche, utilizzando gli accelerogrammi di input regionali e calcolo di FAC <input type="checkbox"/> $FAC \leq FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al $V_{S30}$ misurato <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S30}$ misurato	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> $FAC \leq FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al $V_{S30}$ misurato <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ <b>Fine approfondimento</b> Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S30}$ misurato	Nel caso <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$  e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al $V_{S30}$ misurato  3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Indagine di sismica superficiale combinata con più tecniche, compreso ARRAY2D con velocimetri ad acquisizione sincrona nei casi di substrato rigido posto a profondità maggiori di 20-30 m
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Analisi di risposta sismica locale con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati (almeno due gruppi ciascuno da 7 accelerogrammi per SLV e SLD)
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Spettri di risposta elastici e/o accelerogrammi calcolati al piano di fondazione <b>Fine approfondimento</b>



**DICHIARAZIONE/ASSEVERAZIONE DELL'ESTENSORE DELLA RELAZIONE GEOTECNICA DI  
CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOTECNICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL  
PARAGRAFO 6.2.2 NTC 2018**

Il sottoscritto ..... EFREM GHEZZI .....  
iscritto.....ALL'ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE LOMBARDIA AL N. AP 640..... incaricato in  
data ..... da ..... CARREFOUR PROPERTY ITALIA S.r.l. via Caldera, 21 - 20153 MILANO (MI).....  
per conto di ..... di redigere la relazione  
geotecnica relativa al seguente intervento .....

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

eseguito in Comune di ..PADERNO DUGNANO..... Località .....,  
indirizzo ..... VIA GIOVANNI AMENDOLA ..... n° 33-31. CAP 20037.....  
Comune Catastale ..... PADERNO DUGNANO ..... Foglio n. 28..... Mappale o Particella 18.....

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno i benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

**DICHIARA**

- A. di aver fatto riferimento al modello geologico desunto da specifica relazione a firma del Geologo .....dott. EFREM GHEZZI - STUDIO IDROGEOTECNICO SRL.....
- B. di aver redatto il modello geotecnico del sito considerando un volume significativo di terreno compatibile con le caratteristiche dell'intervento e la natura e caratteristiche del sottosuolo
- C. di aver considerato nei relativi calcoli geotecnici l'effetto delle azioni sismiche attese, tenendo adeguatamente in considerazione:
  - 1. gli effetti di amplificazione stratigrafica, attraverso:
    - analisi di risposta sismica locale
    - procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo (paragrafo 3.2.2 NTC 2018):

A       B       C       D       E

2. gli effetti di amplificazione topografica, attraverso:

analisi di risposta sismica locale

procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica (paragrafo 3.2.2 NTC 2018):

T1

T2

T3

T4

D. di aver adeguatamente tenuto in considerazione i risultati della verifica di sicurezza del terreno di fondazione nei confronti della liquefazione

E. di aver individuato i seguenti parametri geotecnici caratteristici del terreno di fondazione:

peso dell'unità di volume: 17 (Unità 1), 19 (Unità 2).....

angolo di resistenza al taglio: 29 (Unità 1), 35 (Unità 2)....

coesione efficace: 0.....

coesione non drenata: 0.....

F. di avere redatto la presente relazione conformemente a quanto previsto dalle norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17-01-2018

### ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti e delle relative istruzioni applicative.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti del Regolamento UE 2016/679 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Luogo MILANO, data 26.04.2021

L'ESTENSORE DELLA RELAZIONE GEOTECNICA



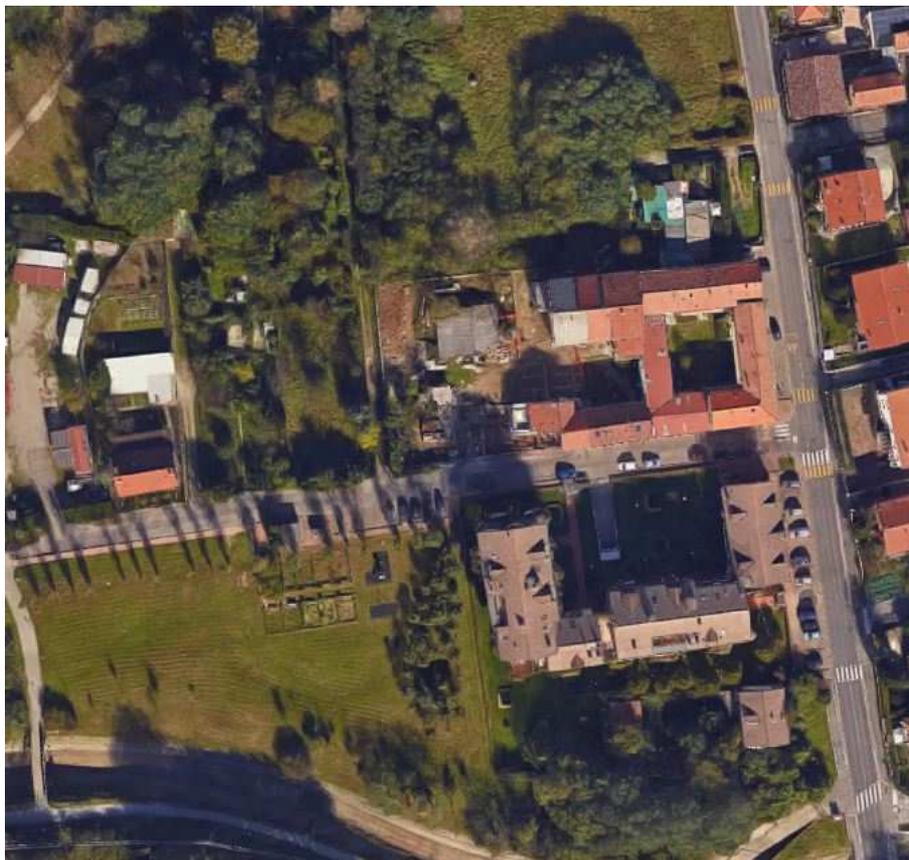


Via Liguria 1 – 20900 Monza  
Telefono e fax 039 837656  
[geotecnoindagini@pec.it](mailto:geotecnoindagini@pec.it)

**Dott. Geol. Riccardo Cortiana**  
[r.cortiana@geotecnoindagini.it](mailto:r.cortiana@geotecnoindagini.it)

**Dott. Geol. Filippo Valentini**  
[f.valentini@geotecnoindagini.it](mailto:f.valentini@geotecnoindagini.it)

## **EDILMAN SRL**



### **RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO EDIFICIO RESIDENZIALE IN VIA BIXIO NEL COMUNE DI PADERNO DUGNANO (MI) AGGIORNAMENTO**

Monza, settembre 2017

A cura di: Dott. Geol. R. Cortiana  
Dott. Geol. F. Valentini



## INDICE

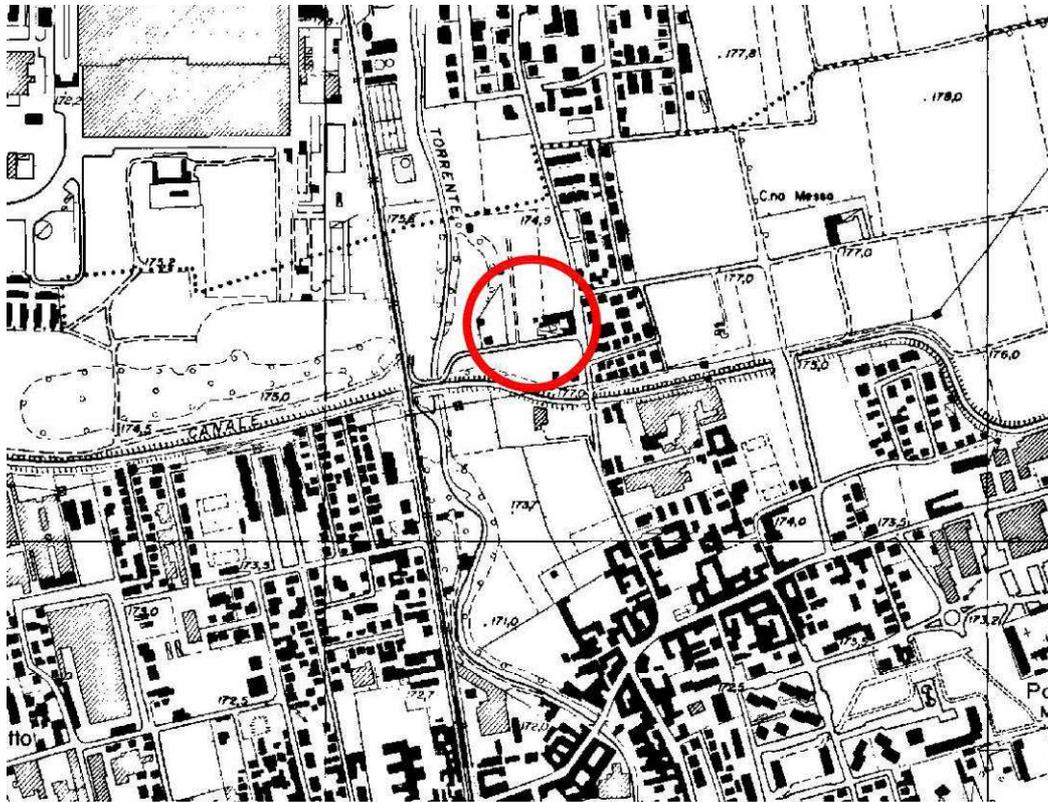
<b>1</b>	<b>PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>CLASSIFICAZIONE SISMICA.....</b>	<b>9</b>
4.1	Classificazione nazionale .....	9
4.2	Classificazione regionale.....	11
4.3	Progettazione antisismica .....	12
<b>5</b>	<b>ANALISI RISCHIO SISMICO .....</b>	<b>17</b>
5.1	Analisi di I livello .....	17
<b>6</b>	<b>INDAGINE GEOGNOSTICA.....</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI.....</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI SOTTOFONDO E DEI CEDIMENTI PREVEDIBILI .....</b>	<b>20</b>
8.1	Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU).....	20
8.2	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE) .....	23
<b>9</b>	<b>ANALISI CARTOGRAFIA TEMATICA.....</b>	<b>25</b>
<b>10</b>	<b>VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>33</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>34</b>

## ALLEGATI

- UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE
- GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE

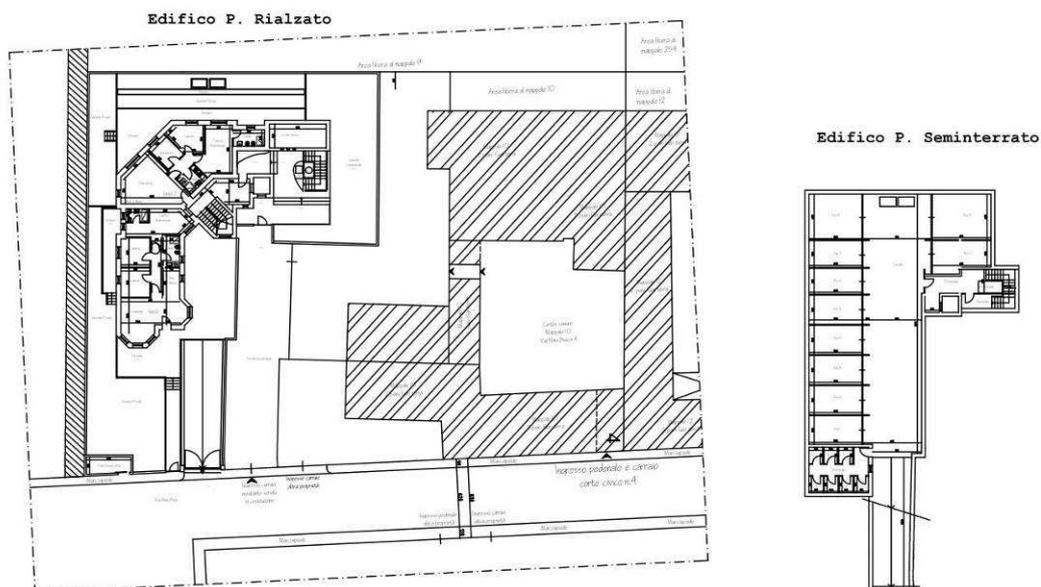
# 1 PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

La presente relazione, redatta su incarico della società Edilman Srl con sede in Viale Matteotti, 26 a Cusano Milanino (Cod. Fisc. 06391360150 e P.IVA 00825630965) illustra i risultati di una campagna di indagini geognostiche realizzata presso un'area situata in via Bixio nel comune di Paderno Dugnano (MI) in previsione della realizzazione di un nuovo intervento edilizio.



Corografia area di studio

Nell'area in esame è prevista la realizzazione di una nuova palazzina residenziale.



Planimetria intervento in progetto

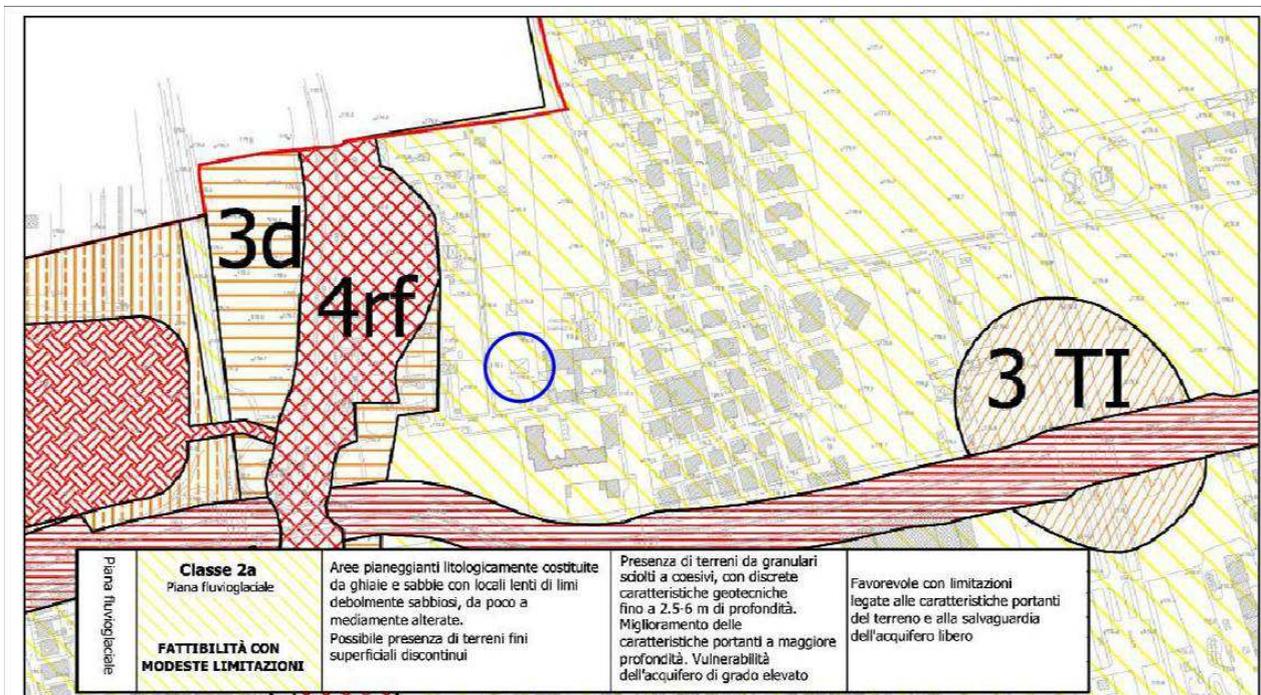
La nuova struttura sarà data da un piano seminterrato, piano rialzato e due piani fuori-terra.



Sezione intervento in progetto

Le fondazioni dirette e continue, del tipo a platea, saranno impostate ad una profondità di circa 3.20/3.40 m da p.c. esistente.

Secondo la carta della fattibilità geologica, allegata alla componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T vigente del comune di Paderno Dugnano l'area in esame appartiene alla **classe di fattibilità 2** ovvero *fattibilità con modeste limitazioni*.



Estratto della carta di fattibilità allegata al PGT

**Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni.** Include tutte le aree che presentano deboli limitazioni alla variazione di destinazione d'uso che necessitano di approfondimenti di tipo geologico-tecnico; gli interventi permessi in queste aree necessitano di approfondimenti finalizzati alla realizzazione di opere di sistemazione o bonifica o al miglioramento delle esistenti. Gli approfondimenti dovranno inoltre escludere la possibilità che variazioni alla destinazione d'uso incidano negativamente sulle aree limitrofe.

In particolare, l'area ricade nella sottoclasse 2a la quale presenta le caratteristiche sotto riportate:

**Classe 2a – Piana fluvio-glaciale**

*Principali caratteristiche: aree pianeggianti, litologicamente costituite da ghiaie e sabbie, con locali lenti di limi debolmente sabbiosi, da poco a mediamente alterate. Possibile presenza di terreni fini superficiali discontinui.*

*Problematiche generali: presenza di terreni da granulari sciolti a coesivi, con discrete caratteristiche geotecniche fino a 2.5-6 m di profondità. Miglioramento delle caratteristiche portanti a maggiore profondità. Vulnerabilità dell'acquifero di grado elevato.*

*Parere sull'edificabilità: favorevole con modeste limitazioni legate alle caratteristiche portanti del terreno e alla salvaguardia dell'acquifero libero.*

*Tipo di intervento ammissibile: sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo, ristrutturazione (così come definiti dall'art. 27 della l.r. 11 marzo 2005 n. 12 "Legge per il governo del territorio"), nel rispetto delle normative vigenti.*

*Indagini di approfondimento preventive necessarie: si rende necessaria la verifica idrogeologica e litotecnica dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche per la determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie (IGT); in particolare dovrà essere valutata la stabilità dei versanti di scavo (SV) nel caso di opere di tipo 3, 4, 5, 6 al fine di prevedere le opportune opere di protezione degli scavi durante i lavori di cantiere. Le indagini geognostiche dovranno essere commisurate al tipo di intervento da realizzare ed alle problematiche progettuali proprie di ciascuna opera (secondo quanto indicato nell'art. 2 delle Norme geologiche di Piano). La modifica di destinazione d'uso di aree esistenti inserite in zona "produttiva" necessita la verifica dello stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento Locale d'Igiene (ISS); qualora venga rilevato uno stato di contaminazione dei terreni,*

*dovranno avviarsi le procedure previste dal D.Lgs 152/06 "Norme in materia ambientale" (Piano di Caratterizzazione Ambientale/PCA con analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di Bonifica/POB).*

*Interventi da prevedere in fase progettuale: quale norma generale per ogni tipo di opera gli interventi da prevedere, già in fase progettuale, saranno rivolti alla regimazione idraulica e alla predisposizione di accorgimenti/sistemi per la regimazione e lo smaltimento delle acque meteoriche e di quelle di primo sottosuolo, con individuazione del recapito finale, nel rispetto della normativa vigente e sulla base delle condizioni idrogeologiche del sito (RE-CO). Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, dovranno essere previsti interventi di bonifica (BO) qualora venga accertato uno stato di contaminazione del suolo ai sensi del D.Lgs 152/06 e s.m.i..*

*Norme sismiche da adottare per la progettazione: la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", definendo la pericolosità sismica di base in accordo alle metodologie dell'allegato A del decreto. Nel caso di edifici strategici e rilevanti (di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) ricadenti in aree PSL, la definizione delle azioni sismiche di progetto dovrà avvenire a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello - metodologie di cui all'allegato 5 della d.g.r. n. IX/2616/2011.*

Scopo della presente relazione è verificare la fattibilità, per quanto attiene le problematiche geologico-tecniche ed idrogeologiche, del nuovo intervento in progetto: si tratta in sostanza di verificare, con maggiore puntualità rispetto alle indicazioni generali dettate dalla perizia geologica a supporto del P.G.T. vigente, ed in ottemperanza delle prescrizioni dettate dalla perizia stessa, la fattibilità dell'intervento in oggetto.

Nel mese di giugno 2017 è stata condotta un'analisi accurata dell'area con esecuzione di 4 prove penetrometriche di tipo dinamico (S.C.P.T.). Sulla base dell'indagine eseguita è stata redatta nel giugno 2017 specifica relazione geologico-technica ai sensi delle nuove NTC (D.M. 14/01/2008) e della Circ. 617/09.

La seguente relazione costituisce un **aggiornamento** di quella redatta a giugno in cui si considera la possibilità di eseguire fondazioni dirette continue del tipo a platea.

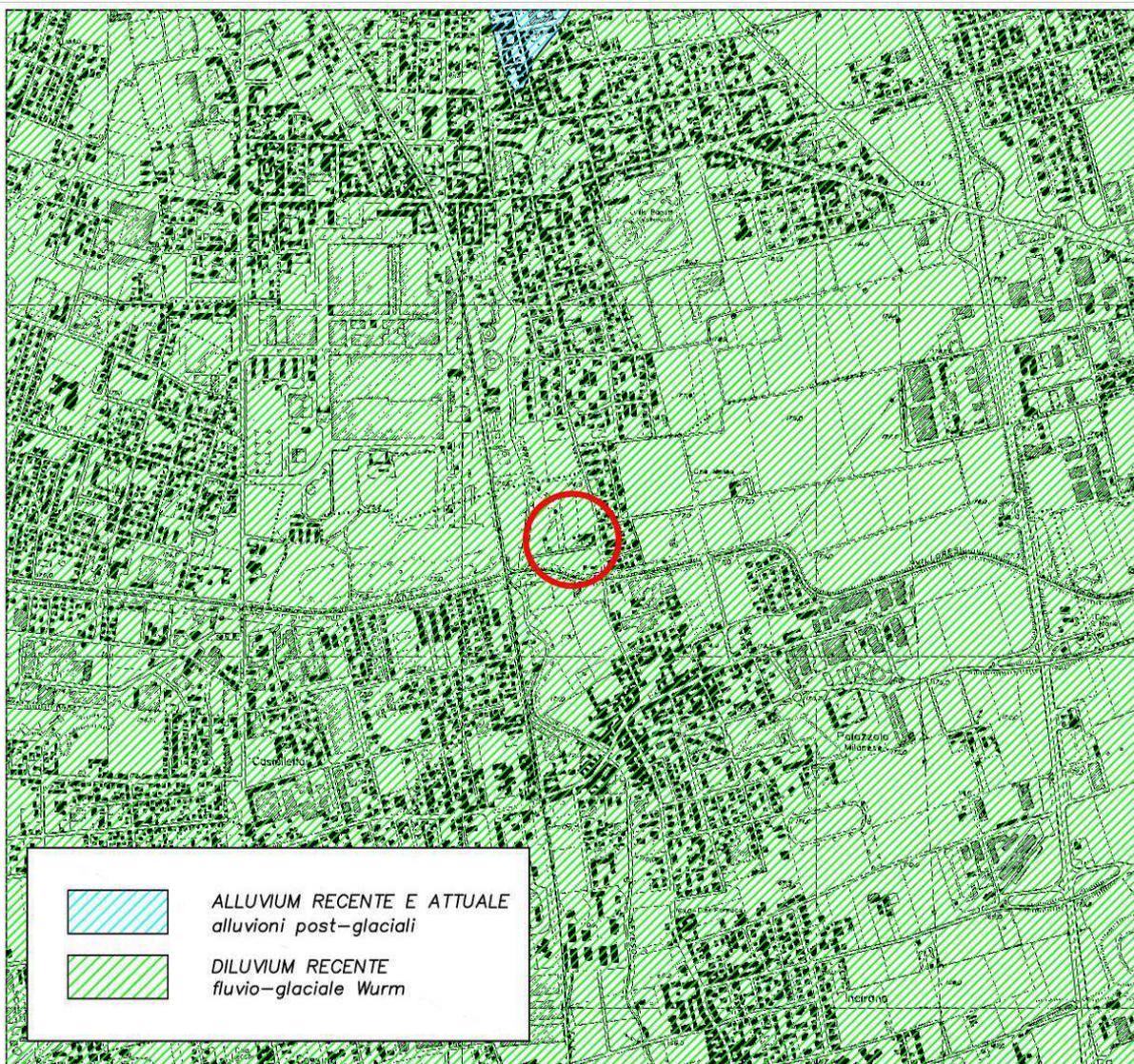
## 2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO

L'area lombarda ha subito le più importanti trasformazioni in un'epoca geologicamente recente, dal Miocene Superiore in poi, quando hanno avuto inizio intense fasi erosive culminate con la genesi di profondi canyons scavati allo sbocco nella Pianura Padana dai corpi glaciali che percorrevano le vallate alpine. Ciò è avvenuto in concomitanza con l'alternanza di episodi di trasgressione e regressione marina che si sono succeduti in questo periodo; tale fase è durata fino a tutto il Pleistocene Inferiore.

Con il Pleistocene Superiore si è avuta la sedimentazione di depositi di origine glaciale e fluvioglaciale apportati dai corpi glaciali provenienti dalla catena alpina; si è così formata una spessa coltre di sedimenti di origine glaciale (nelle aree pedemontane) e fluvioglaciale ed alluvionale (nelle aree di pianura).

In seguito si è assistito ad un susseguirsi di cicli di erosione e di deposito corrispondenti ad un'alternanza di fasi glaciali (Mindel, Riss e Würm) e interglaciali che si sono succedute fino ai giorni nostri; questo ha dato origine ad una tipica morfologia a cordoni morenici (visibili nella zona dell'alta pianura lombarda) e a terrazzi (visibile nella media e bassa pianura lombarda).

Nell'area in esame i depositi fluvioglaciali e alluvionali formano una coltre dello spessore di alcune centinaia di metri e sono costituiti da ghiaie e sabbie con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose; frequenti sono i ciottoli di dimensioni centimetriche, generalmente con un grado elevato di arrotondamento.



Stralcio della Carta Geolitologica della Brianza

L'area in esame, come si osserva dalla Carta Geologica d'Italia (Foglio 45 Milano) in scala 1:100.000, dalla Carta Geologica della Lombardia in scala 1:250.000 e da pubblicazioni specifiche (in allegato si riporta uno stralcio della Carta Geolitologica della Brianza tra il T. Seveso e il T. Molgora), è caratterizzato dalla presenza di depositi fluvioglaciali appartenenti al cosiddetto DILUVIUM RECENTE (Fluvioglaciale).

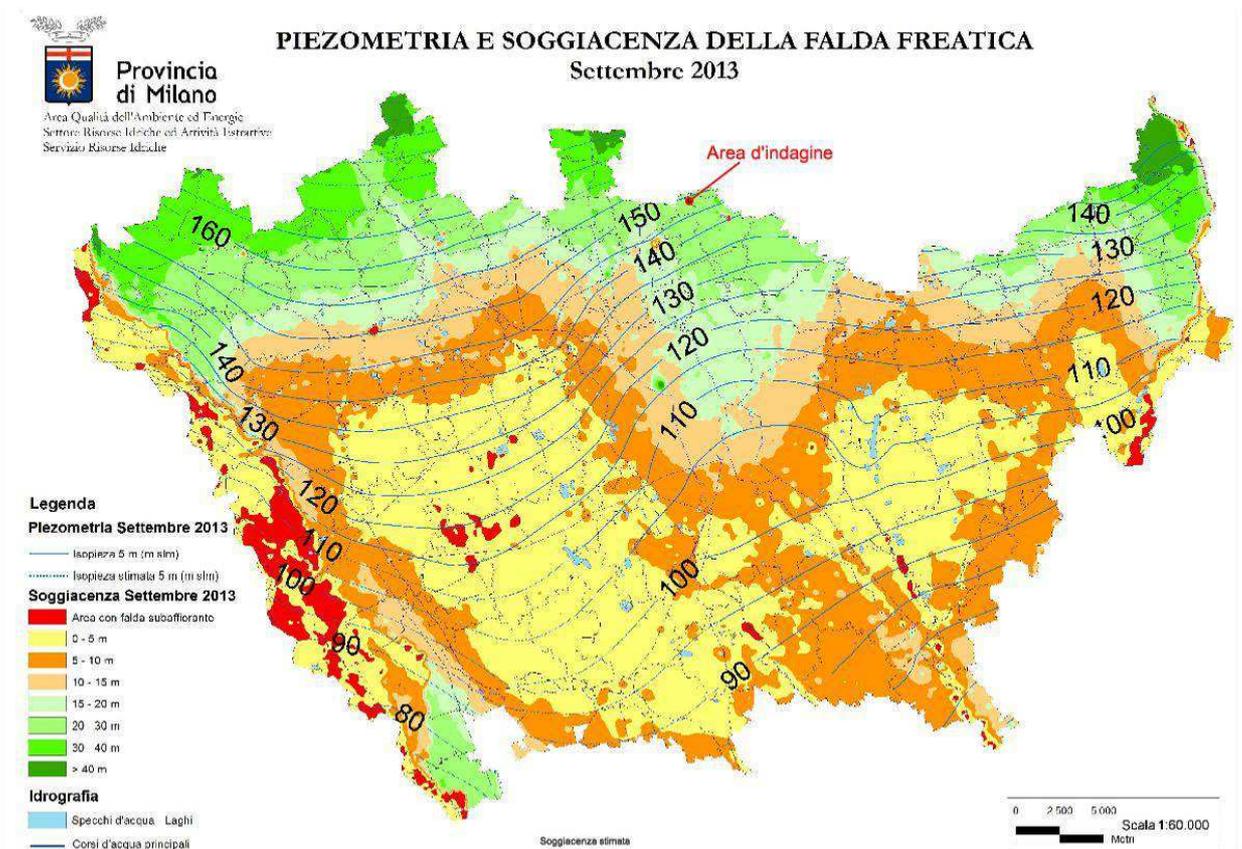
#### ***DILUVIUM RECENTE***

L'unità fluvioglaciale Wurm è litologicamente costituita da sedimenti ghiaiososabbiosi, talvolta con lenti limose o argilloso-limose, che generalmente mostrano caratteristiche d'addensamento discrete. Sono presenti, alle volte, intercalazioni di livelli conglomeratici che raggiungono spessori anche considerevoli e che sono però caratterizzati da una notevole variabilità sia laterale che orizzontale.

### 3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dai dati reperiti presso il SIF (Sistema Informativo Falda) della Provincia di Milano si evince che la quota della superficie freatica nell'area di studio è posta ad una profondità dell'ordine di 20-30 m rispetto alla quota di piano campagna (vedasi carta della soggiacenza sotto riportata); nella zona considerata quindi non si hanno problemi legati alla presenza di acqua di falda freatica.

In quest'area del territorio comunale di Paderno Dugnano le linee isopiezometriche (linee di eguale quota della superficie freatica sul livello del mare) relative alla falda freatica assumono generalmente una direzione OSO-ENE ed hanno una quota media dell'ordine di 148.0 m s.l.m. (si veda carta della piezometria sotto riportata); direzione di flusso della falda freatica con andamento circa NNE-SSO e gradiente idraulico pari a circa 6‰.



*Estratto della Carta della soggiacenza e della piezometria della falda freatica*

## 4 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Le azioni sismiche attese in un certo sito si prevedono, su base probabilistica, tramite la pericolosità sismica che è funzione delle caratteristiche di sismicità regionali e del potenziale sismogenetico delle sorgenti sismiche; la valutazione della pericolosità sismica porta poi alla valutazione del rischio sismico di un sito in termini di danni attesi a cose e persone come prodotto degli effetti di un evento sismico.

La pericolosità sismica valutata all'interno di un sito deve essere stimata come l'accelerazione orizzontale massima al suolo in un dato periodo di tempo, definendo i requisiti progettuali antisismici per le nuove costruzioni nel sito stesso.

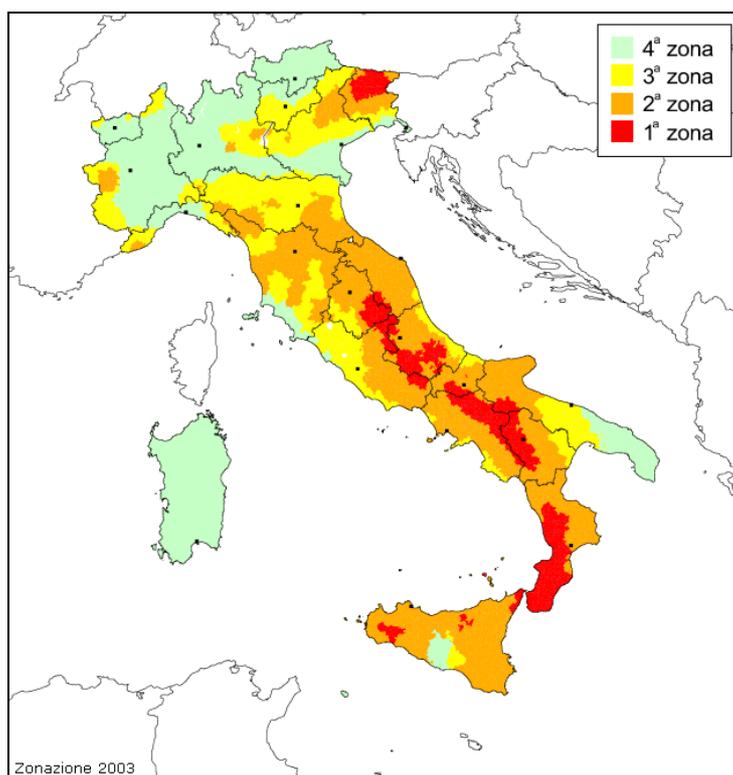
### 4.1 Classificazione nazionale

#### OPCM 20 marzo 2003

Sulla base del documento *Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale* elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito dalla Commissione Naz. Di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi (23 aprile 1997) e successive precisazioni, sono state individuate in tutto il territorio nazionale 4 zone sismiche, secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. La valutazione di  $a_g$  è stata calcolata con metodologie internazionali aggiornate periodicamente con procedure trasparenti e riproducibili.

La zonizzazione sismica dell'intero territorio nazionale è stata effettuata secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/03 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8/05/03 Supplemento Ordinario n. 72: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

- ✓ Allegato 1 - *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*
- ✓ Allegato 2 - *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*
- ✓ Allegato 3 - *Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti*
- ✓ Allegato 4 - *Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazioni e di sostegno dei terreni.*



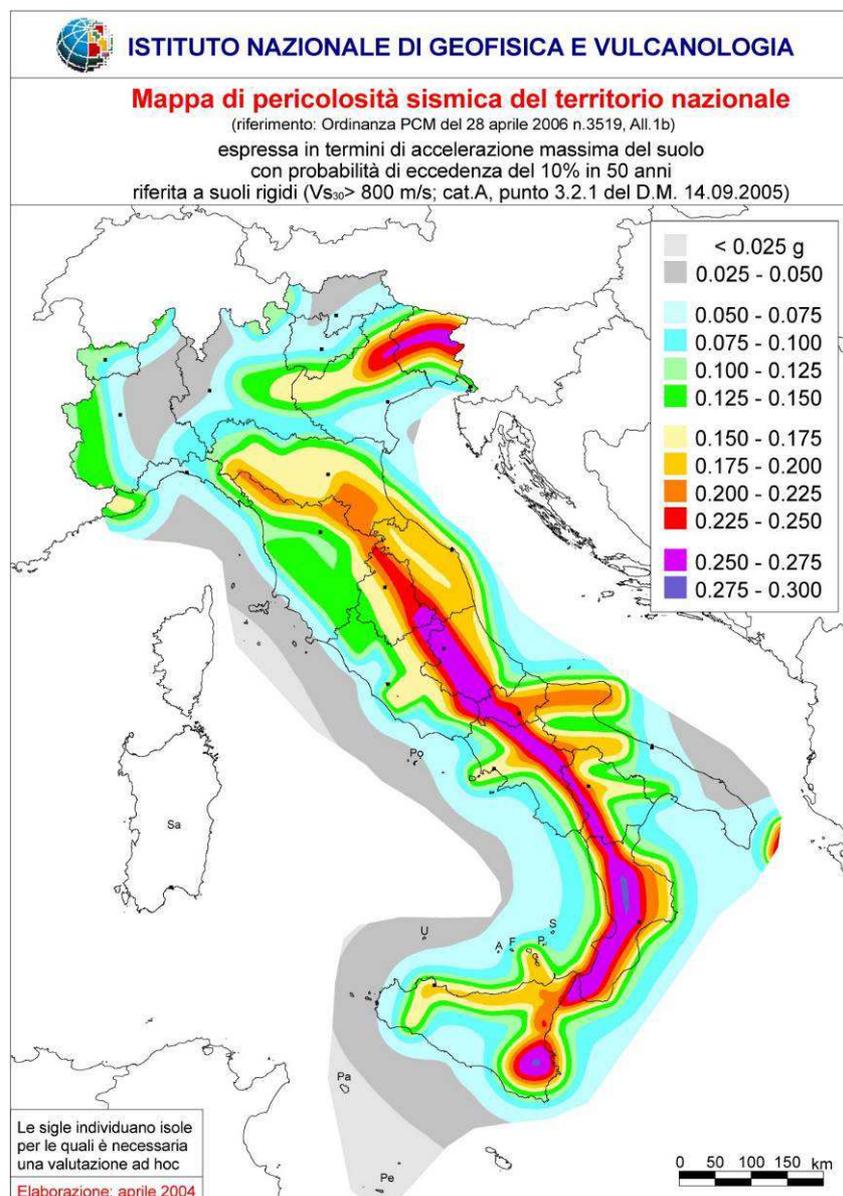
Secondo questa zonizzazione (vedasi figura di seguito riportata) il comune di Paderno Dugnano si trova in **zona 4** (colore verde), cioè nella zona, tra quelle individuate, di minor rischio sismico.

#### OPCM 28 aprile 2006

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28/04/06 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'11/05/06 Serie Generale Anno 147° - n. 108 (*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*) adotta come riferimento ufficiale una nuova mappa di pericolosità sismica e definisce i criteri generali per la classificazione delle zone sismiche. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

- ❖ Allegato 1A - *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*
- ❖ Allegato 1B - *Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.*

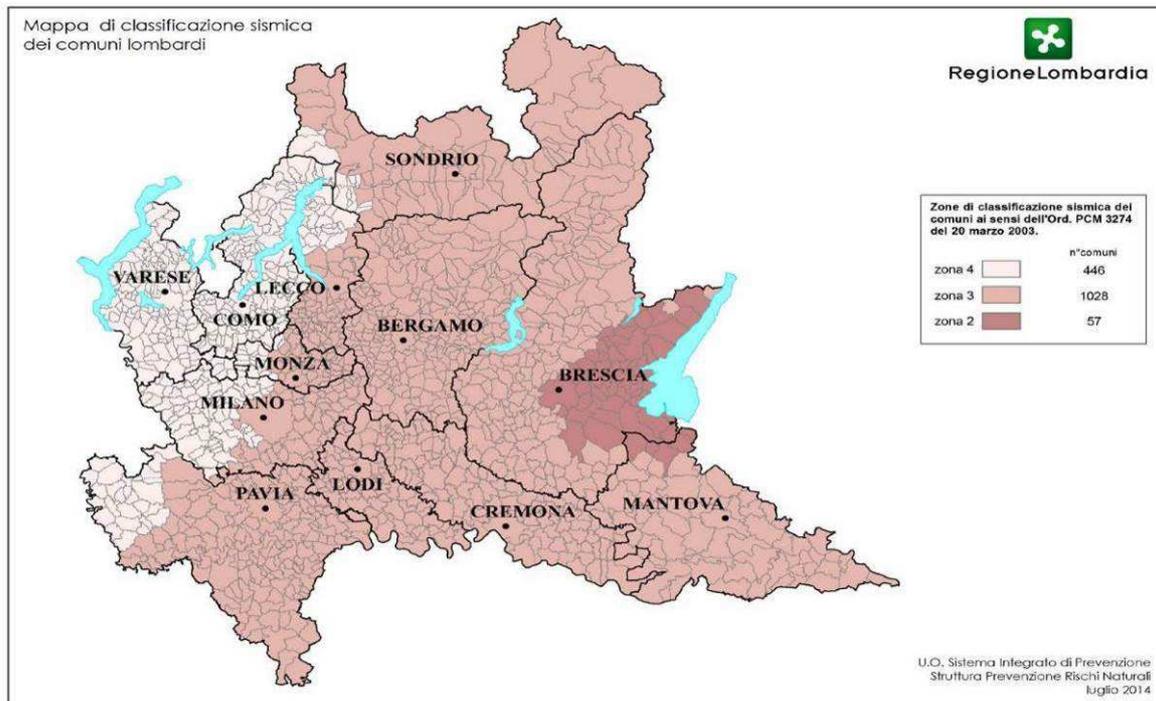
La mappa, riportata nell'Allegato 1B (vedasi figura di seguito riportata), rappresenta graficamente la pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{S30} > 800$  m/s.



## 4.2 Classificazione regionale

### D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129

La Regione Lombardia con D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 *Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia* (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) e pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione in data 16 luglio 2014 ha provveduto alla nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia così come previsto dall'ordinanza **O.P.C.M. 3519/06** "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".



La Regione Lombardia con **D.G.R. 8 ottobre 2015 – n. X/4144** – *Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129* «*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)* - ha ulteriormente deliberato di differire al 10 aprile 2016 il termine dell'entrata in vigore della D.G.R. 21 luglio 2014, n.2129.

Secondo la nuova classificazione il comune di Paderno Dugnano si trova in zona 4 caratterizzata da una  $AgMax$  pari a 0,049194.

### 4.3 Progettazione antisismica

#### D.M. 14 gennaio 2008

Dal 1° luglio 2009 la progettazione antisismica in Italia è regolata dal D.M. 14/01/08 per tutte le zone sismiche e per tutte le tipologie di edifici.

Il D.M. 14 gennaio 2008 (*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*), pubblicato sulla G.U. n. 29 del 04/02/08, in vigore dal 5 marzo 2008, sostituisce il precedente D.M. 14 settembre 2005, fatto salvo il periodo di monitoraggio di 18 mesi di cui al comma 1 dell'art. 20 della L. 28 febbraio 2008, n. 31.

Queste nuove Norme Tecniche per la Costruzioni definiscono i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 (*Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale*); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini di accelerazione del suolo  $a_g$  e di forma dello spettro di risposta. Costituiscono parte integrante del decreto:

- Allegato A - *Pericolosità sismica*
- Allegato B - *Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica.*

Diversamente dalla precedente normativa l'azione sismica non viene più valutata riferendosi ad una zona sismica (territorialmente coincidente con più entità amministrative), ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, ma viene valutata sito per sito e costruzione per costruzione.

Secondo l'allegato A l'azione sismica sulle costruzioni viene valutata a partire da una pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido (categoria di sottosuolo A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1).

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta con sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; i risultati dello studio di pericolosità devono essere forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata in funzione delle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo e morfologiche della superficie; tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

#### Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo indicate nella tabella 3.2.II, di cui al punto 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*, capitolo 3 *Azioni sulle costruzioni* del D.M. 14/01/2008.

Sono state definite cinque classi di terreni (A, B, C, D, E) identificabili in base ai valori della velocità equivalente  $V_{S,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. In mancanza di misure di  $V_s$ , l'identificazione della categoria di sottosuolo può essere effettuata sulla base dei valori di altre grandezze geotecniche, quali il numero dei colpi della prova penetrometrica dinamica ( $N_{SPT}$ ) per depositi di terreni prevalentemente a grana grossa e la resistenza non drenata ( $c_u$ ) per depositi di terreni prevalentemente a grana fine.

In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti le categorie di sottosuolo di riferimento:

- A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{S30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
- B *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà

- meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- C** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- D** *Depositi di terreni grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30} < 180$  m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).
- E** *Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con  $V_S > 800$  m/s).

La classificazione è effettuata sulla base del parametro  $V_{S,30}$  che rappresenta la velocità delle onde di taglio S riferita a 30 m di profondità e calcolata utilizzando la seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (NTC):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

In base ai risultati emersi nel corso di una serie di indagini sismiche e indagini geotecniche da noi eseguite nelle vicinanze dell'area in esame, si può affermare che il sottosuolo della stessa ricade all'interno della categoria **C**.

### Condizioni topografiche

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione, di cui al punto 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante pendii e rilievi con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. L'area di esame presenta configurazioni superficiali semplici, pertanto è possibile adottare la classificazione riportata in tabella 3.2.IV.

Sulla base dei dati topografici disponibili (riportati in cartografia), l'area rientra mediamente nella categoria **T1** ovvero *Superficie pianeggiante, con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* .

### D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003

La Regione Lombardia con D.G.R. n. 14964 del 7/11/03 prende atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata ordinanza 3274/03 ed impone l'obbligo della progettazione antisismica per i comuni che ricadono in zona 2, zona 3 ed in zona 4 esclusivamente per gli edifici strategici e rilevanti, così come individuati dal D.D.U.O. n. 19904 del 21/11/03.

**D.G.R. n IX/2616 del 30 novembre 2011**

Per l'analisi della pericolosità sismica dell'area in esame si è fatto riferimento all'Allegato 5 (*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*)

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Tale allegato illustra la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale che prevede tre livelli di approfondimento, di seguito sintetizzati:

- 1° livello, riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).
- 2° livello, caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima di risposta sismica nei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa)
- 3° livello, definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini e analisi più approfondite.

*Il primo livello è obbligatorio per tutti i comuni.*

*riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).*

*Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti*

*Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti (a scala 1:10.000 e 1:2.000) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.). Perciò, salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito degli studi di 1° livello non sono necessarie nuove indagini geotecniche.*

Lo studio consiste nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1:10.000 – 1:2.000 rappresentata dalla:

- carta geologica con le relative sezioni, in cui viene rappresentato il modello geologico e tettonico dell'area, le formazioni, le discontinuità e i lineamenti tettonici in essa presenti;
- carta geomorfologica, in cui vengono distinte le varie forme e i processi (dinamica dei versanti, dinamica fluviale, etc.) in atto, quiescenti o relitti presenti nell'area in esame;
- carta della pericolosità sismica locale (PSL), derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle situazioni tipo Z1, Z2, Z4 e gli elementi lineari delle situazioni tipo Z3, Z5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (Tabella 1). In particolare per lo scenario Z3a si evidenzierà il ciglio della scarpata, per lo scenario Z3b la linea di cresta sommitale e per lo scenario Z5 il limite di contatto tra i litotipi individuati. Gli scenari Z1 e Z2 nell'analisi di 1° livello sono evidenziati sulla base del fenomeno prioritario che li caratterizza, quali fenomeni di instabilità e liquefazione e/o cedimenti: si sottolinea che le prescrizioni da assegnare a questi scenari in fase di pianificazione riguardano, oltre al fenomeno prioritario, anche i fenomeni di possibile amplificazione sismica che dovranno essere valutati in fase di progettazione sulla base degli interventi adottati per risolvere le problematiche prioritarie.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

TABELLA 1 – SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

In riferimento alle diverse situazioni tipo, riportate nella suddetta tabella, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale – PSL) si effettua l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e conseguentemente dei successivi livelli di approfondimento necessari.

All'interno delle aree classificate come scenario Z1 o Z2 non è necessario realizzare l'analisi di 2° livello ma si passa immediatamente all'analisi di 3° livello.

All'interno delle aree classificate come scenario Z3 o Z4, si potrà realizzare (nei casi sotto riportati) l'analisi di 2° livello e, conseguentemente ai suoi risultati, si potrà realizzare (dove necessario) l'analisi di 3° livello in fase progettuale.

Lungo le aree classificate come scenario Z5 non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzione a cavallo dei due litotipi; in fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.

Il secondo livello è obbligatorio in fase pianificatoria:

consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione ( $F_a$ ).

L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale ( $F_a$  calcolato superiore a  $F_a$  di

soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3<sup>a</sup> livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Il secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1<sup>o</sup> livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato, negli scenari PSL Z3 e Z4, nel caso di costruzione di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2 della Tabella 1 dell'Allegato 5) non è prevista l'applicazione degli studi di 2<sup>o</sup> livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3<sup>o</sup> livello, come specificato al punto successivo.

Non è necessaria la valutazione quantitativa al 3<sup>o</sup> livello di approfondimento dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo. Nell'impossibilità di ottenere tale condizione, si dovranno prevedere opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

Il terzo livello è obbligatorio in fase progettuale:

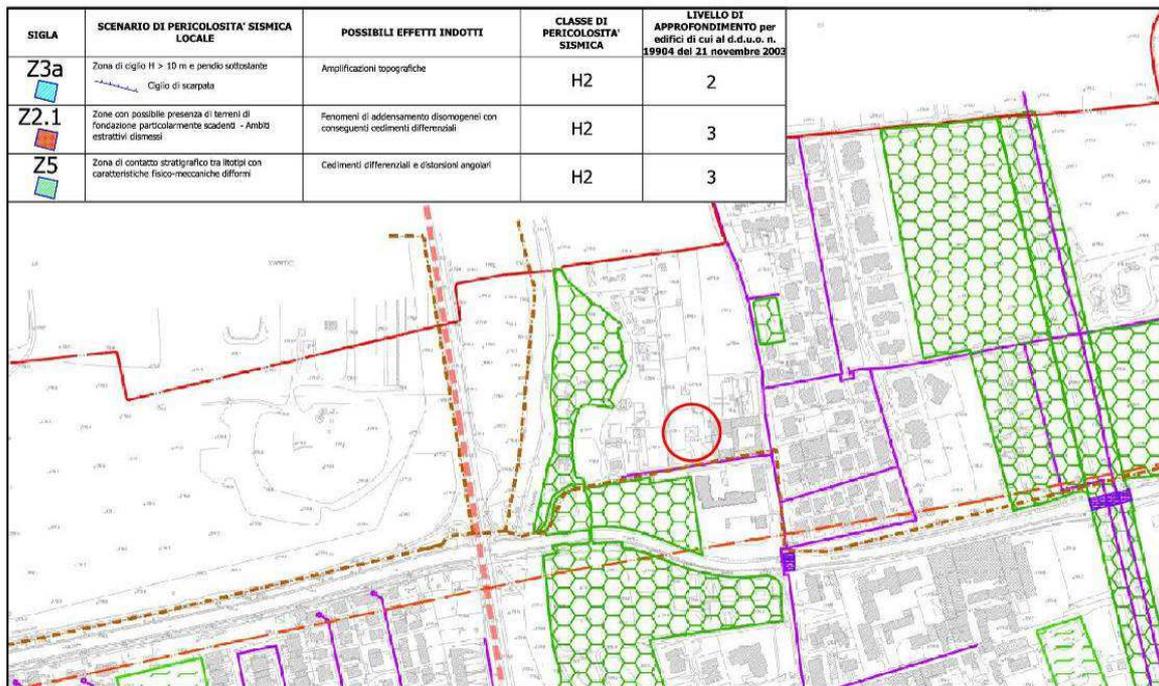
Consiste nella definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Al fine di poter effettuare le analisi di 3<sup>o</sup> livello la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati, rese disponibili sul Geoportale della Regione Lombardia, il cui utilizzo è dettagliato nell'allegato 5.

Tale livello si applica in fase progettuale nei seguenti casi:

- quando, a seguito dell'applicazione del 2<sup>o</sup> livello, si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale all'interno degli scenari PSL caratterizzati da effetti di amplificazioni morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5);
- in presenza di aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2), nelle zone sismiche 2 e 3 per tutte le tipologie di edifici, mentre in zona sismica 4 nel caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

## 5 ANALISI RISCHIO SISMICO

### 5.1 Analisi di I livello



*Estratto della carta di pericolosità sismica locale allegata al PGT*

Secondo la Carta di PSL allegata al PGT vigente del comune di Paderno Dugnano, nell'area in esame non è presente alcun scenario di pericolosità sismica locale.

L'area in esame ricade in zona sismica 4 pertanto non è obbligatorio realizzare l'analisi di secondo livello.

## 6 INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica di campagna è stata condotta mediante l'esecuzione di 4 prove penetrometriche dinamiche continue S.C.P.T.

Le indagini sono state eseguite con penetrometro superpesante tipo Meardi AGI avente le seguenti caratteristiche:

peso del maglio	73	kg
altezza di caduta	75	cm
angolo al vertice della punta conica	60	°
diametro del cono	50.8	mm
peso delle aste	4.6	kg/ml



*Penetrometro utilizzato tipo Meardi A.G.I.*

L'ubicazione delle prove eseguite è riportata nella planimetria schematica allegata. La distribuzione dei punti di prova garantisce una corretta ricostruzione stratigrafica dell'area in esame.

Le verticali d'indagine sono state interrotte alle quote indicate nella tabella sottostante per la presenza di livelli particolarmente resistenti alla penetrazione dinamica.

Prova	Profondità (m)
1	7.2
2	7.5
3	6.3
4	6.9

Nel corso delle prove non è stata rilevata presenza di acqua di falda a conferma dei dati idrogeologici in nostro possesso.

## 7 PARAMETRI GEOTECNICI

Nella seguente tabella vengono riportati i parametri geotecnici degli orizzonti presenti alla quota d'imposta delle fondazioni, circa 3.20/3.40 m da p.c..

SCPT	Profondità (m)	N <sub>SCPT</sub>	N <sub>SPT</sub>	$\gamma$ (T/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	E (kg/cm <sup>2</sup> )	K's (kN/m <sup>3</sup> )
1	3.20/3.40 – 6.0	5 – 6	8 – 10	1.70 – 1.75	28 – 29	155 – 195	13.0 – 16.0 x 10 <sup>3</sup>
2		5 – 6	8 – 10	1.70 – 1.75	28 – 29	155 – 195	13.0 – 16.0 x 10 <sup>3</sup>
3		2	4	1.65	25.5	30	5.4 x 10 <sup>3</sup>
4		4 – 6	7 – 10	1.70 – 1.75	27 – 29	115 – 195	10.5 – 16.0 x 10 <sup>3</sup>

dove:

**N<sub>SCPT</sub>** = numero di colpi necessario per ottenere un avanzamento di 30 cm in una prova SCPT

**N<sub>SPT</sub>** = numero di colpi SPT correlato

**$\gamma$**  = peso di volume del terreno (T/m<sup>3</sup>)

**$\phi$**  = angolo di attrito del terreno (°)

**E** = modulo di deformazione (o di Young) in kg/cm<sup>2</sup>

**K's** = stima del modulo di reazione del sottofondo (o di Winkler) in kN/m<sup>3</sup>

Le verticali penetrometriche eseguite hanno evidenziato la presenza, alla quota d'imposta delle fondazioni, di sedimenti caratterizzati da un grado di addensamento basso e parametri geotecnici mediamente modesti. In corrispondenza della prova 3 è stata riscontrata la presenza di materiale scarsamente addensato fino alla profondità di 4.8 m da p.c.

Si consiglia di eseguire un'accurata opera di rullatura del fondo scavo che oltre a costipare il materiale presente evidenzi l'eventuale presenza di lenti con addensamento particolarmente scadente negli orizzonti immediatamente sottostanti la quota di imposta delle fondazioni (come nel caso della prova 3). Questi livelli, se presenti, andranno sostituiti da mista ben costipata o anche da cemento magro.

## 8 CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI SOTTOFONDO E DEI CEDIMENTI PREVEDIBILI

Secondo le NTC (D.M. 14/01/2008) la sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. In particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- **sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU):** capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera. Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso.
- **sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE):** capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.
- **robustezza nei confronti di azioni eccezionali:** capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Le opere strutturali devono essere verificate:

- per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;
- per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

Le verifiche di sicurezza delle opere devono essere contenute nei documenti di progetto, con riferimento alle prescritte caratteristiche meccaniche dei materiali e alla caratterizzazione geotecnica del terreno, dedotta in base a specifiche indagini.

### 8.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)

Le verifiche di sicurezza per gli stati limite ultimi (SLU) richiedono il rispetto della seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove

$E_d$  è il valore di progetto dell'azione (o dell'effetto delle azioni)

$R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (ovvero la sua capacità portante)

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

ovvero:

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right],$$

con  $\gamma_E = \gamma_F$  e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right].$$

Effetto delle azioni ( $E_d$ ) e resistenza ( $R_d$ ) sono espressi in funzione di:

- azioni di progetto  $\gamma_F F_k$
- parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$
- geometria di progetto  $a_d$ .

L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come  $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ . Nella formulazione della resistenza  $R_d$ , compare esplicitamente un coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione (Combinazione 1) è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione (Combinazione 2) è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

La verifica di stabilità globale in questo caso viene effettuata secondo l'Approccio 2 e sarà quindi effettuata solamente nei confronti dello SLU di tipo geotecnico (GEO) e tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabella 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici, accertando che la condizione  $E_d \leq R_d$  sia soddisfatta.

### Approccio 2: A1+M1+R3

dove:

**A** rappresenta le azioni

**M** rappresenta la resistenza dei materiali (terreno)

**R** rappresenta la resistenza globale del terreno.

#### Azioni (A)

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I (Cap. 6 D.M. 14/01/2008). Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

#### Resistenze (M)

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008);
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008);
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r$	1,0	1,0

Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni

Valori caratteristici dei parametri geotecnici

La scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici avviene in due fasi. La prima fase comporta l'identificazione dei parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali. Identificati i parametri geotecnici appropriati, la seconda fase del processo decisionale riguarda la valutazione dei valori caratteristici degli stessi parametri.

Nella progettazione geotecnica, in coerenza con gli Eurocodici, la scelta dei valori caratteristici dei parametri deriva da una stima cautelativa del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato.

Nel caso in esame i valori caratteristici vengono ricavati utilizzando la seguente formula:

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

dove:

$x_k$  è il valore caratteristico desiderato

$\bar{x}$  (**con barra**), il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;

$t$  è il valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità u = 95%

$s$  è la deviazione standard del campione

$n$  è il numero di dati

Quota imposta fondazioni (m) da p.c. attuale	Tipo di fondazione	Larghezza fondazione (m)	$\Phi_m$ (°)	$\Phi_k$ (°)	$\gamma_m$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_k$ (T/m <sup>3</sup> )
3.2/3.4	Platea	12.0	29	27.5	1.75	1.75

$\Phi_m$  e  $\gamma_m$  rappresentano i valori medi

$\Phi_k$  e  $\gamma_k$  i valori caratteristici.

Valori di progetto dei parametri geotecnici

Nel calcolo della capacità portante saranno utilizzati i parametri geotecnici di progetto ottenuti dividendo i valori caratteristici per i coefficienti parziali riportati nella colonna M1 (vedasi *Tabella 6.2.II* - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni).

Quota imposta fondazioni (m) da p.c. attuale	Tipo di fondazione	Larghezza fondazione (m)	$\Phi_k$ (°)	$\Phi_d$ (°)	$\gamma_k$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (T/m <sup>3</sup> )
3.2/3.4	Platea	12.0	27.5	27.5	1.70	1.70

dove

$\Phi_d$  e  $\gamma_d$  rappresentano i valori di progetto.

Calcolo della capacità portante

Per il calcolo della capacità portante è stata utilizzata la formula di Meyerhof che, nel caso di carico verticale su un terreno prevalentemente incoerente con angolo di attrito  $\Phi > 10^\circ$ , presenta la seguente espressione:

$$q_{ult} = q N_q S_q d_q + c N_c S_c d_c + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

dove:

$S_c S_q S_\gamma$  sono fattori di forma

$d_c d_q d_\gamma$  sono fattori di profondità

$N_c N_q N_\gamma$  sono fattori di portata

Nel caso in esame il valore della coesione  $c$  è uguale a zero, in quanto si tratta di un terreno a comportamento prevalentemente frizionale, per cui l'espressione della capacità portante si riduce a:

$$q_{ult} = q N_q S_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

Nei calcoli effettuati si è valutata la capacità portante per fondazioni dirette continue, del tipo a platea, impostate ad una profondità di circa 3.2/3.4 m da p.c..

Introducendo i valori dei parametri geotecnici di progetto nella formula di Meyerhof e tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nella tabella 6.4.1 si ottengono i seguenti valori di progetto della resistenza del sistema geotecnico  $R_d$  pari a **3.50 kg/cm<sup>2</sup>**

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Tabella 6.4.1 - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

Nel prossimo paragrafo si procederà alla verifica delle pressioni di contatto agenti sui terreni di fondazione in termini di cedimenti ammissibili. Tale trattazione viene sviluppata in relazione alla geometria della fondazione e alle caratteristiche geotecniche del terreno in esame, al fine di ottenere il valore di pressione che le nuove opere potranno esercitare sul terreno fondale senza determinare cedimenti superiori ai valori ammissibili per l'opera stessa.

Tale trattazione consentirà di ricavare il valore di pressione allo stato limite d'esercizio.

## 8.2 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)

Per effetto delle azioni trasmesse in fondazione, i terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa. Le componenti verticali degli spostamenti (cedimenti) assumono in genere valori diversi sul piano di posa di un manufatto. Si definisce cedimento differenziale la differenza dei cedimenti tra punti di una stessa fondazione, di fondazioni distinte con sovrastrutture comuni e di fondazioni distinte con sovrastrutture staticamente indipendenti. In base alla evoluzione nel tempo si distinguono i cedimenti immediati e i cedimenti differiti. Questi ultimi sono caratteristici dei terreni a grana fine, poco permeabili, e dei terreni organici. I cedimenti e gli spostamenti delle fondazioni e del terreno circostante possono essere valutati con metodi empirici o analitici. Nel caso di terreni a grana media o grossa, i parametri anzidetti possono essere valutati sulla base dei risultati di indagini geotecniche in sito.

Le verifiche relative alle deformazioni (cedimenti) e agli spostamenti si effettuano adoperando i valori caratteristici dei parametri. Pertanto, si assegnano valori unitari ai coefficienti delle azioni (A) e dei parametri di resistenza (M).

La combinazione delle azioni (SLE, Stato Limite d'Esercizio) da considerare è la Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$N_d = G_1 + G_2 + P + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \Psi_{23}Q_{k3} + \dots$$

dove:

**G<sub>i-esimo</sub>** = azioni permanenti

**P** = precompressione

**Q** = azioni variabili

**Ψ** = coefficienti di combinazione che dipendono dalla natura dell'azione e della categoria dell'edificio.

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. 14/01/008.

In questa fase si è proceduto alla determinazione della pressione massima esercitabile dalle opere di fondazione in progetto sui terreni affinché i cedimenti totali (a 50 anni dalla costruzione) risultino inferiori a 30 mm, (valore di riferimento per strutture in c.a. come quelle in progetto) e affinché i cedimenti differenziali risultino inferiori a 10 mm.

#### Calcolo dei cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti dei terreni di fondazione si è fatto riferimento alla relazione di Burland e Burbidge.

$$S = f_s f_h f_t [ \sigma_{vo} B^{0.7} I_c/3 + (q' - \sigma_{vo}) B^{0.7} I_c ]$$

dove:

$f_s$   $f_h$   $f_t$  sono fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e della componente viscosa dei cedimenti.

$B$  è la larghezza delle fondazioni

$I_c$  è l'indice di compressibilità (tiene conto dei valori NSPT ricavati nel corso delle prove)

$q'$  è la pressione efficace lo Rda (kPa)

$\sigma_{vo}$  è la tensione verticale efficace agente alla quota d'imposta delle fondazioni (kPa)

Utilizzando il valore della pressione limite ricavato con il fattore di sicurezza  $\gamma_R = 2.3$  previsto dalla normativa, per le fondazioni ipotizzate si otterrebbero cedimenti immediati e totali elevati e non compatibili con le strutture in progetto.

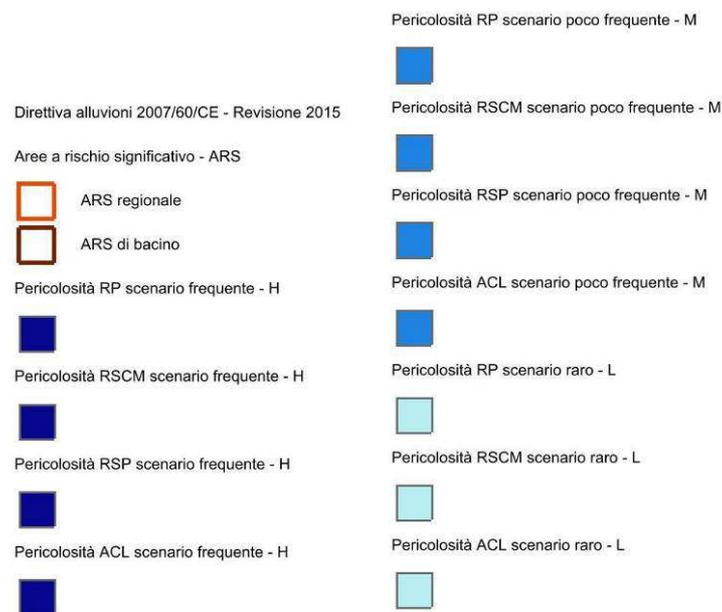
Si consiglia pertanto di adottare i seguenti valori di pressione di esercizio  $P_E$  non superiore a **0.70 kg/cm<sup>2</sup>** con i quali si ottengono cedimenti immediati compresi tra 14 e 17 mm e cedimenti totali massimi di circa 30 mm. I cedimenti differenziali teorici tra zone con addensamento differente potrebbero essere elevati (circa 15-20 mm) ma la presenza di una struttura di fondazione rigida, come può essere garantito dalla platea ipotizzata con muro controterra e setti di irrigidimento trasversali in c.a., si opporrà efficacemente all'insorgere di tali cedimenti.

## 9 ANALISI CARTOGRAFIA TEMATICA

La cartografia ufficiale delle aree allagabili del PGRA potenzialmente interessate da alluvioni frequenti, poco frequenti e rare, alla quale i Comuni devono fare riferimento, è costituita dalle Mappe della pericolosità aggiornate al 2015, pubblicate sul GEOPortale della Lombardia e visualizzabili attraverso il Servizio di Mappa denominato Direttiva alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2015.



estratto Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - disposizioni regionali - DGR n. x/6738/2017



Secondo la Direttiva alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2015 nell'area di studio sono presenti i seguenti scenari di pericolosità idraulica:

*Pericolosità RP scenario raro – L (Classe di rischio R2)*

*Pericolosità RP scenario poco frequente – M (Classe di rischio R4)*

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), predisposto in attuazione del D.lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva 2007/60/CE (cosiddetta "Direttiva Alluvioni"), è stato adottato con deliberazione 17 dicembre 2015 n. 4, approvato con Deliberazione 3 marzo 2016, n. 2 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del fiume Po e successivamente con DPCM 27 ottobre 2016 (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 30 del 6 febbraio 2017).

Il Piano ha come finalità quella di ridurre le conseguenze negative derivanti dalle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali. A tal fine nel Piano vengono individuate le aree potenzialmente esposte a pericolosità per alluvioni, stimato il grado di rischio al quale sono esposti gli elementi che ricadono entro tali aree "allagabili", individuate le "Aree a Rischio Significativo (ARS)" e impostate misure per ridurre il rischio medesimo, suddivise in misure di prevenzione, protezione, preparazione, ritorno alla normalità ed analisi, da attuarsi in maniera integrata.

La delimitazione e la classificazione delle aree allagabili sono contenute nelle mappe di pericolosità, la classificazione del grado di rischio al quale sono soggetti gli elementi esposti è rappresentata nelle mappe di rischio. Entrambe le mappe sono pubblicate sul sito di Regione Lombardia 1 nonché sul sito dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Le mappe, redatte nella prima versione nel 2013 e aggiornate al 2015 a seguito delle osservazioni pervenute nella fase di partecipazione, contengono la delimitazione delle aree allagabili per diversi scenari di pericolosità:

- aree P3 (H nella cartografia), o aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti;
- aree P2 (M nella cartografia), o aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti; **(sud area in esame)**
- aree P1(L nella cartografia), o aree potenzialmente interessate da alluvioni rare; **(nord area in esame)**

Le aree allagabili individuate, per quanto concerne la Regione Lombardia, riguardano i seguenti "ambiti territoriali":

- Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP) **(AREE IN ESAME)**;
- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM);
- Reticolo secondario di pianura naturale e artificiale (RSP);
- Aree costiere lacuali (ACL).

Di seguito si riportano le Disposizioni relative al Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP) così come previsto dal *D.g.r. 19 giugno 2017 - n. X/6738 Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell'autorità di bacino del Fiume Po.*

### 3.1. Disposizioni relative al Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP)

#### 3.1.1. Ambito territoriale di riferimento

L'ambito territoriale di riferimento è quello interessato dalle aree potenzialmente allagabili dai corsi d'acqua riportati nell'Allegato 3 alle presenti disposizioni, per tre piene di riferimento, delle quali, sempre nell'Allegato 3, si riportano i rispettivi tempi di ritorno.

Nell'Allegato 2 3, per ciascun Comune lombardo, è riportata l'indicazione della presenza o meno di porzioni di territorio ricadenti entro le fasce fluviali del PAI vigenti e/o entro le nuove aree allagabili.

#### 3.1.2. Fasce fluviali e aree allagabili – le differenze

Fasce fluviali e aree allagabili non sono sinonimi. Come anticipato in Premessa, le mappe di pericolosità e rischio del PGRA contengono la delimitazione delle aree allagabili su corsi d'acqua del Reticolo principale di pianura e di fondovalle così suddivisi:

- corsi d'acqua non interessati nella pianificazione di bacino vigente dalla delimitazione delle fasce fluviali;
- corsi d'acqua già interessati nella pianificazione di bacino vigente dalla delimitazione delle fasce fluviali.

*Le fasce fluviali nel PAI sono state delimitate seguendo la metodologia sintetizzata di seguito .*

*Per la delimitazione della Fascia A, o Fascia di deflusso della piena, si assume la delimitazione più ampia tra le seguenti:*

- fissato in 100 o 200 anni il tempo di ritorno (TR) della piena di riferimento e determinato il livello idrico corrispondente, si assume come delimitazione convenzionale della fascia A la porzione ove defluisce almeno l'80% di tale portata. All'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0.4 m/s (criterio prevalente nei corsi d'acqua mono o pluricursali);*
- limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata con TR di 100 o 200 anni (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati).*

*Per la delimitazione della Fascia B, o Fascia di esondazione, si assume come portata di riferimento la piena con TR di 100 o 200 anni. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.*

*La delimitazione sulla base dei livelli idrici va integrata con:*

- le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;*
- le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale.*

*Per la delimitazione della Fascia C o Area di inondazione per piena catastrofica, si assume come portata di riferimento la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un tempo di ritorno superiore a 100 o 200 anni, o in assenza di essa, la piena con TR di 500 anni.*

*Per i corsi d'acqua non arginati la delimitazione dell'area soggetta ad inondazione viene eseguita con gli stessi criteri adottati per la fascia B, tenendo conto delle aree con presenza di forme fluviali fossili.*

*Per i corsi d'acqua arginati l'area è delimitata unicamente nei tratti in cui lo rendano possibile gli elementi morfologici disponibili; in tali casi la delimitazione è definita in funzione della più gravosa delle seguenti due ipotesi (se entrambe applicabili) in relazione alle altezze idriche corrispondenti alla piena:*

- altezze idriche corrispondenti alla quota di tracimazione degli argini;*
- altezze idriche ottenute calcolando il profilo idrico senza tenere conto degli argini.*

*La delimitazione delle fasce sottende inoltre l'assunzione di uno specifico "progetto per l'assetto di un corso d'acqua", comprendente l'individuazione delle caratteristiche e la localizzazione delle nuove opere idrauliche per il contenimento dei livelli idrici di piena e per la regimazione dell'alveo. I limiti della fascia B vengono evidenziati nella cartografia del Piano con la dicitura "di progetto" nei casi in cui essi si identifichino con il perimetro di nuove opere idrauliche (ad esempio arginature o aree di laminazione).*

*Un elemento importante da tenere in considerazione è che, "a tergo" dei limiti B di progetto, nel PAI, NON è stata tracciata l'area allagabile dalla piena di riferimento. Il tracciamento di tale limite in Lombardia già dalla d.g.r. VII/7365/2001, è stato demandato alla scala locale, attraverso gli studi di valutazione del rischio da realizzarsi attraverso un metodo semplificato, ammesso solo per i primi nove mesi dalla data di approvazione del PAI (cfr. Allegato 2 alla d.g.r. 20 dicembre 2001, n. VII/7365) o attraverso un metodo approfondito (cfr. Allegato 3 alla d.g.r. 20 dicembre 2001, n. VII/7365).*

*Le aree allagabili delimitate nelle mappe di pericolosità del PGRA:*

- tengono conto dei livelli idrici corrispondenti a tre piene di riferimento (10-20 anni per la piena frequente, 100-200 per la piena poco frequente e la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un TR superiore a 100 o 200 anni, o in assenza di essa, la piena con TR di 500 anni per la piena rara);*
- tengono conto di studi idraulici svolti a livello d'asta 6 o di eventi alluvionali più recenti rispetto agli studi propedeutici al PAI;*
- sono state tracciate utilizzando rilievi topografici ad alta precisione, ottenuti con tecnologia Laser Scanning LiDAR – Light Detection And Ranging, che il MATTM ha reso disponibili a partire dal 2008 7 ;*
- tengono parzialmente conto delle aree sede di possibile riattivazione delle forme fluviali relitte non fossili;*
- non tengono conto delle aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e di quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale;*
- non contengono un assetto di progetto.*

*Le aree allagabili rappresentano quindi la base di partenza per l'istituzione o l'aggiornamento delle fasce fluviali dei corsi d'acqua; sono da considerarsi un primo passo del processo per la delimitazione delle fasce fluviali. L'Autorità di Bacino*

del Fiume Po procederà, in accordo con Regione Lombardia, ad avviare specifiche varianti al PAI a scala di asta fluviale (varianti d'asta) relative alle fasce fluviali, prioritariamente nei sottobacini idrografici ove vi è un maggior rischio, ove si siano verificati recenti eventi alluvionali e ove i quadri conoscitivi siano maggiormente aggiornati e completi.

### 3.1.3. Disposizioni per i corsi d'acqua NON interessati nella pianificazione di bacino vigente dalla delimitazione delle fasce fluviali

#### Normativa

Nelle more del completamento delle specifiche varianti al PAI a scala di asta fluviale:

- nelle aree interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H), si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia A dalle norme di cui al "Titolo II – Norme per le fasce fluviali", delle Norme di Attuazione (N.d.A.) del PAI;
- nelle aree interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2/M), si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia B dalle norme del "Titolo II – Norme per le fasce fluviali", delle N.d.A. del PAI;
- nelle aree interessate da alluvioni rare (aree P1/L), si applicano le disposizioni previste per la fascia C di cui all'art. 31 delle N.d.A. del PAI.

#### Procedure di adeguamento degli strumenti urbanistici comunali

Ai sensi dell'art. 59 delle N.d.A. del PAI (introdotto con il nuovo Titolo V), tutti i Comuni, ove necessario, provvedono ad adeguare i rispettivi strumenti urbanistici conformandoli alla normativa sopraindicata.

In particolare, nelle aree allagabili per la piena frequente (P3/H), poco frequente (P2/M) e rara (P1/L):

- i Comuni applicano da subito la normativa sopraindicata sulle aree allagabili così come presenti nelle mappe di pericolosità del PGRA (accessibili attraverso il GEOPortale della Lombardia secondo le modalità descritte nell'Allegato 1), modificando di conseguenza le previsioni degli strumenti urbanistici comunali che risultassero in contrasto, ed aggiornando conseguentemente i Piani di Emergenza Comunali secondo le indicazioni fornite al paragrafo 7. "Disposizioni integrative rispetto a quanto contenuto nella d.g.r. VIII/4732/2007 relative all'attuazione della variante normativa al PAI nel settore della Pianificazione dell'emergenza alla scala comunale";
- entro le aree che risultano classificate come R4 - rischio molto elevato (ovvero entro le aree che risultano già edificate nell'Ortofoto AGEA 2015 pubblicata sul GEOPortale della Regione Lombardia 8 ) i Comuni sono tenuti a effettuare una valutazione più dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali, d'intesa con l'Autorità regionale o provinciale competente in materia. L'intesa si intende raggiunta se le valutazioni vengono svolte secondo le metodologie riportate nell'Allegato 4 alla d.g.r. IX/2616/2011 9.

La valutazione deve avere le finalità descritte al paragrafo 4. "Disposizioni relative all'edificato esistente esposto al rischio". Tale valutazione deve essere trasmessa a Regione Lombardia che la utilizzerà sia nell'ambito dei previsti riesami e aggiornamenti delle mappe e del PGRA sia ai fini del monitoraggio delle misure di prevenzione del rischio previste nel PGRA;

- entro le aree che risultano classificate come R4 - rischio molto elevato (ovvero entro le aree che risultano già edificate nell'Ortofoto AGEA 2015 pubblicata sul GEOPortale della Regione Lombardia) nelle more del completamento della valutazione dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali di cui sopra e del suo recepimento nello strumento urbanistico comunale, possono essere svolte in via transitoria da parte del Comune, valutazioni preliminari, sulla base degli eventi alluvionali più significativi, ricostruendo le altezze idriche e stimando se possibile le velocità. In caso il Comune effettui tale valutazione preliminare, deve comunicarlo a Regione Lombardia trasmettendone copia, unitamente all'individuazione cartografica degli ambiti entro i quali viene utilizzata. I dati relativi alla valutazione devono essere utilizzati all'interno degli studi di compatibilità idraulica per la progettazione dei singoli interventi edilizi;

- in assenza della valutazione preliminare di cui al punto precedente, fino al recepimento nello strumento urbanistico comunale della valutazione di dettaglio della pericolosità e del rischio di cui al punto 2., è facoltà del Comune applicare, anche all'interno degli edificati esistenti, le norme riguardanti le aree P3/H e P2/M (fasce A e B) o richiedere che gli interventi edilizi siano supportati da uno studio di compatibilità idraulica che utilizzi come dati tecnici di input tutte le informazioni del PGRA. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell'area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero di sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza);

- entro e non oltre i termini stabiliti dall'art. 5 della l.r. 31/2014 per l'adeguamento del Piano di Governo del Territorio (PGT), procedono con il recepimento delle aree allagabili e relative norme (incluse quelle di dettaglio derivanti dalla valutazione del rischio svolta sugli edificati esistenti che si trovano a ricadere entro le aree allagabili P3/H e P2/M) nello strumento urbanistico comunale secondo le modalità già definite per le fasce fluviali nelle N.d.A. del PAI nonché nella d.g.r. IX/2616/2011, parte II, paragrafo 5.1, punti 1 e 2.

Considerato che per il tracciamento delle aree allagabili si sono utilizzati rilievi LIDAR di elevato dettaglio e che le aree allagabili rappresentano uno step del percorso per l'introduzione delle fasce fluviali, gli aggiustamenti morfologici previsti al comma 3 art. 27 delle N.d.A. del PAI e dalla d.g.r. IX/2616/2011 non sono di norma consentiti o devono essere adeguatamente motivati;

6. il tracciamento alla scala locale dei limiti delle aree allagabili, da effettuarsi sulla medesima base topografica del PGT, sarà consegnato a Regione nell'ambito delle procedure di pubblicazione degli strumenti urbanistici comunali attraverso la carta PAI-PGRA descritta nel seguito (Paragrafo 5. "La carta PAI – PGRA" e Allegato 5).

#### *Casi specifici*

*Comuni con corsi d'acqua privi di fasce fluviali nel PAI che hanno recepito nel PGT gli esiti degli Studi di Fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua di cui all'Allegato 1 alla d.g.r. IX/2616/2011.*

*Nel caso in cui i Comuni, ai sensi della d.g.r. IX/2616/2011 (e precedente d.g.r. VIII/7374/2008) avessero già proceduto a integrare la componente geologica del proprio PGT con la delimitazione delle aree allagabili desumendole dagli Studi di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua di cui all'Allegato 1 alla d.g.r. IX/2616/2011, procedono ad una verifica e, ove necessario, aggiornano tali delimitazioni con le nuove perimetrazioni contenute nelle mappe del PGRA, applicando da subito la relativa normativa.*

*Sovrapposizione con precedenti delimitazioni di aree allagabili secondo la classificazione di cui all'art. 9 delle N.d.A. del PAI*

*In caso le aree allagabili delimitate dal PGRA su corsi d'acqua privi di fasce fluviali si sovrappongano a precedenti delimitazioni di aree classificate ai sensi dell'art. 9 delle N.d.A. del PAI proposte dal Comune, vige la norma più restrittiva fino all'adeguamento del Piano di Governo del Territorio. In sede di adeguamento le perimetrazioni ai sensi dell'art. 9, laddove sovrapposte a perimetrazioni operate a livello d'intera asta, devono essere da queste ultime sostituite, fatto salve scelte più cautelative a discrezione dei Comuni.*

*Sovrapposizione con delimitazioni di aree a rischio idrogeologico molto elevato (RME) di tipo idraulico dell'allegato 4.1 all'Elaborato 2 del PAI*

*In caso le aree allagabili delimitate dal PGRA su corsi d'acqua privi di fasce fluviali si sovrappongano a precedenti delimitazioni di aree a rischio idrogeologico molto elevato (RME) di tipo idraulico dell'allegato 4.1 all'Elaborato 2 del PAI, fino all'adozione delle specifiche varianti PAI a scala di asta fluviale (con le relative norme di salvaguardia) che porteranno alla revisione delle fasce fluviali vigenti, si applica la classificazione e di conseguenza la norma più restrittiva.*

#### *Modifiche alle aree*

*Le delimitazioni delle aree allagabili possono essere oggetto di segnalazioni di necessità di modifica per evidenti errori materiali o manifeste incongruenze ovvero per mutata situazione dello stato di fatto per effetto della realizzazione di nuove opere influenti sul corso d'acqua. Tali segnalazioni, adeguatamente motivate e supportate da idonea documentazione, devono essere trasmesse a Regione Lombardia entro il mese di giugno di ciascun anno; le segnalazioni verranno valutate congiuntamente ad ADBPO e all'Autorità idraulica competente ai fini dei previsti riesami e aggiornamenti delle mappe e del PGRA, nonché nell'ambito delle specifiche varianti al PAI a scala di asta fluviale.*

### *3.1.4. Disposizioni per i corsi d'acqua GIÀ interessati nella pianificazione di bacino vigente dalla delimitazione delle fasce fluviali*

*In questi corsi d'acqua, alle perimetrazioni di fascia vigenti si sono sovrapposte nuove perimetrazioni di aree allagabili. Come descritto nel paragrafo 3.1.2. "Fasce fluviali e aree allagabili – le differenze", le aree allagabili NON sostituiscono le fasce fluviali ma rappresentano un aggiornamento e una integrazione, come già detto in premessa, della parte di fascia tracciata principalmente in base ai livelli idrici corrispondenti alle tre piene di riferimento considerate, utilizzando rilievi topografici di dettaglio ed aggiornando i livelli di piena e le portate.*

#### *Normativa*

*Fino all'adozione delle specifiche varianti PAI a scala di asta fluviale (con le relative norme di salvaguardia) che porteranno alla revisione delle fasce fluviali vigenti, entrambe le perimetrazioni restano in vigore. In caso di sovrapposizione deve essere applicata la classificazione e di conseguenza la norma più restrittiva.*

*Come nel caso dei corsi d'acqua privi di fasce fluviali, anche per il caso presente:*

- a) nelle aree interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H), si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia A dalle norme di cui al "Titolo II – Norme per le fasce fluviali", delle N.d.A. del PAI;*
- b) nelle aree interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2/M), si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia B dalle norme del "Titolo II – Norme per le fasce fluviali", delle N.d.A. del PAI;*
- c) nelle aree interessate da alluvioni rare (aree P1/L), si applicano le disposizioni di cui all'art. 31 delle N.d.A. del PAI.*

#### *Procedure di adeguamento degli strumenti urbanistici comunali*

*Ai sensi dell'art. 59 delle N.d.A. del PAI (introdotto con il nuovo Titolo V), tutti i Comuni, ove necessario, provvedono ad adeguare i rispettivi strumenti urbanistici conformandoli alla normativa sopraindicata.*

*In particolare, nelle aree allagabili per la piena frequente (P3/H), poco frequente (P2/M) e rara (P1/L):*

1. i Comuni applicano da subito la normativa sopraindicata sulle aree allagabili così come presenti nelle mappe di pericolosità del PGRA (accessibili attraverso il GEOPortale della Lombardia secondo le modalità descritte nell'Allegato 1), modificando di conseguenza le previsioni degli strumenti urbanistici comunali che risultassero in contrasto, ed aggiornando conseguentemente i Piani di Emergenza Comunali secondo le indicazioni fornite al paragrafo 7. "Disposizioni integrative rispetto a quanto contenuto nella d.g.r. VIII/4732/2007 relative all'attuazione della variante normativa al PAI nel settore della Pianificazione dell'emergenza alla scala comunale";

2. entro le aree che risultano classificate come R4 - rischio molto elevato (ovvero entro le aree che risultano già edificate nell'Ortofoto AGEA 2015 pubblicata sul GEOPortale della Regione Lombardia) i Comuni sono tenuti a verificare e, ove necessario, aggiornare le valutazioni dettagliate delle condizioni di pericolosità e rischio locali già svolte in passato. In particolare:

a. I Comuni con edificati esistenti ricadenti all'interno delle fasce A e B, che hanno già svolto una valutazione più dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali, devono verificarla e, se necessario, aggiornarla sulla base dei nuovi dati (portate, livelli, topografia) utilizzati per la mappatura delle aree allagabili del PGRA, d'intesa con l'Autorità regionale o provinciale competente in materia. L'intesa si intende raggiunta se le valutazioni vengono svolte secondo le metodologie riportate nell'Allegato 4 alla d.g.r. IX/2616/2011;

b. per l'edificato esistente in precedenza non ricadente in fascia A o B ma che si trova ora a ricadere in P3/H e P2/M, il Comune competente è tenuto a valutare in dettaglio le condizioni di pericolosità e rischio locali attraverso una nuova analisi o un'estensione dell'analisi già svolta, d'intesa con l'Autorità regionale o provinciale competente in materia. L'intesa si intende raggiunta se le valutazioni vengono svolte secondo le metodologie riportate nell'Allegato 4 alla d.g.r. IX/2616/2011.

c. le valutazioni di cui ai punti a) e b) devono avere le finalità descritte al paragrafo 4. "Disposizioni relative all'edificato esistente esposto al rischio". Tali valutazioni devono essere trasmesse a Regione Lombardia che le utilizzerà sia nell'ambito dei previsti riesami e aggiornamenti delle mappe e del PGRA sia ai fini del monitoraggio delle misure di prevenzione del rischio previste nel PGRA;

3. entro le aree che risultano classificate come R4 - rischio molto elevato (ovvero entro le aree che risultano già edificate nell'Ortofoto AGEA 2015 pubblicata sul GEOPortale della Regione Lombardia) nelle more del completamento/aggiornamento della valutazione dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali di cui al punto 2. e del suo recepimento nello strumento urbanistico comunale, è facoltà del Comune applicare, anche all'interno degli edificati esistenti, le norme riguardanti le aree P3/H e P2/M (fasce

A e B) o richiedere che gli interventi edilizi siano supportati da uno studio di compatibilità idraulica che, partendo dalla valutazione delle condizioni di pericolosità e rischio già svolta (qualora presente) e recepita nel PGT, ne approfondisca gli esiti utilizzando come dati tecnici di input tutte le informazioni del PGRA. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell'area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero di sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza);

4. entro i territori compresi tra un limite B di progetto e un limite di fascia C delle fasce vigenti:

se si è proceduto in passato a svolgere una valutazione più dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali, questa valutazione deve essere verificata e, ove necessario, aggiornata tenendo conto dell'estensione dell'area allagabile contenuta nelle mappe di pericolosità del PGRA e dei relativi dati associati (portate, livelli, topografia). In particolare:

a. se in passato si è utilizzato solo il metodo semplificato di cui all'Allegato 2 alla d.g.r. VII/7365/2001, che pertanto ha condotto ad un tracciamento dell'area allagabile a tergo del limite di progetto tra la fascia B e la fascia C, tale tracciamento deve essere sostituito con la nuova area allagabile tracciata nelle mappe PGRA, se diversa. Il Comune è tenuto a valutare le condizioni di eventuali edificati che ricadessero all'interno delle nuove aree allagabili con le finalità descritte al paragrafo 4. "Disposizioni relative all'edificato esistente esposto al rischio";

b. se in passato si è utilizzato il metodo approfondito di cui all'Allegato 3 alla d.g.r. VII/7365/2001 (ora Allegato 4 alla d.g.r. IX/2616/2011) occorre verificare e, se necessario, aggiornare tale valutazione considerando i nuovi dati di riferimento utilizzati nel PGRA (portate, livelli, topografia) ed estendendo la valutazione a tutta la nuova area allagabile). Nelle more di tale aggiornamento e del suo recepimento nello strumento urbanistico comunale è facoltà del Comune applicare le norme riguardanti le aree P3/H e P2/M (fasce A e B) o richiedere che gli interventi edilizi siano supportati da uno studio di compatibilità idraulica che, partendo dalla valutazione delle condizioni di pericolosità e rischio già svolta (qualora presente) e recepita nel PGT, ne approfondisca gli esiti utilizzando come dati tecnici di input tutte le informazioni del PGRA. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell'area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero di sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza);

5. entro e non oltre i termini stabiliti dall'art. 5 della l.r. 31/2014 per l'adeguamento del Piano di Governo del Territorio (PGT), i Comuni procedono con il recepimento delle aree allagabili e relative norme (incluse quelle di dettaglio derivanti dalla valutazione del rischio svolta sugli edificati esistenti che si trovano a ricadere entro le aree allagabili P3/H e P2/M) nello strumento urbanistico comunale secondo le modalità già definite per le fasce fluviali nelle N.d.A. del PAI nonché

nella d.g.r. IX/2616/2011, parte II, paragrafo 5.1, punti 1 e 2. Considerato che per il tracciamento delle aree allagabili si sono utilizzati rilievi LIDAR di elevato dettaglio e che le aree allagabili rappresentano uno step del percorso per l'introduzione delle fasce fluviali, gli aggiustamenti morfologici previsti al comma 3 art. 27 delle N.d.A. del PAI e dalla d.g.r. IX/2616/2011 non sono di norma consentiti o devono essere adeguatamente motivati;

Il tracciamento alla scala locale dei limiti delle aree allagabili, da effettuarsi sulla medesima base topografica del PGT, sarà consegnato a Regione nell'ambito delle procedure di pubblicazione degli strumenti urbanistici comunali attraverso la carta PAI-PGRA descritta nel seguito (Paragrafo 5. "La carta PAI – PGRA" e Allegato 5).

#### Casi specifici

Ulteriore sovrapposizione con delimitazioni di aree a rischio idrogeologico molto elevato di tipo idraulico dell'allegato 4.1 all'Elaborato 2 In caso le aree allagabili delimitate dal PGRA si sovrappongano, oltre alle fasce fluviali vigenti, anche a precedenti delimitazioni di aree a rischio idrogeologico molto elevato di tipo idraulico dell'allegato 4.1 all'Elaborato 2 del PAI, fino all'adozione delle specifiche varianti PAI a scala di asta fluviale (con le relative norme di salvaguardia) che porteranno alla revisione delle fasce fluviali vigenti, vige la classificazione e di conseguenza la norma più restrittiva.

#### Modifiche alle aree

Le delimitazioni delle aree allagabili possono essere oggetto di segnalazioni di necessità di modifica per evidenti errori materiali o manifeste incongruenze ovvero per mutata situazione dello stato di fatto per effetto della realizzazione di nuove opere influenti sul corso d'acqua. Tali segnalazioni, adeguatamente motivate e supportate da idonea documentazione devono essere trasmesse a Regione Lombardia entro il mese di giugno di ciascun anno; le segnalazioni verranno valutate congiuntamente ad ADBPO e all'Autorità idraulica competente ai fini dei previsti riesami e aggiornamenti delle mappe e del PGRA nonché nell'ambito delle varianti PAI a scala di asta fluviale.

### DEFINIZIONE DI RISCHIO IDRAULICO

Il rischio idraulico può essere inteso come rischio di inondazione di più o meno vaste aree dovute allo straripamento del corso d'acqua.

Una definizione di rischio è quella adottata dal Dipartimento di Protezione Civile della Regione Lombardia secondo questa definizione "le aree potenzialmente soggette a fenomeni di inondazione che potrebbero arrecare danno alle cose e alle persone costituiscono le aree vulnerabili per inondazione".

L'intensità del rischio viene definita sulla base di indici che a loro volta sono dati a seconda della maggiore o minore intensità del fenomeno.

Secondo la classificazione adottata dall'Autorità di Bacino del F. Po e riportata nell'elaborato 2 - Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici - Inventario dei centri abitati montani esposti a pericolo del Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), il rischio relativo a un singolo fenomeno di esondazione è ottenuto dall'incrocio dei valori della vulnerabilità relativa (hazard) e del danno atteso relativo, i quali, a loro volta, sono ottenute incrociando diversi parametri. Qui, per brevità, si riporta soltanto il risultato finale delle considerazioni più complesse svolte nel documento citato.

Il risultato è rappresentato dalle quattro classi di rischio (non considerando la classe R0 per la quale non esiste rischio):

R1 rischio moderato "per il quale sono possibili danni sociali ed economici marginali";

R2 rischio medio "per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture senza pregiudicare l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio-economiche";

R3 rischio elevato per il quale è possibile che vi siano "problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture" che ne pregiudicano l'agibilità e lo svolgimento delle normali attività socio-economiche e "danni al patrimonio culturale";

R4 rischio molto elevato per il quale "sono possibili la perdita di vite umane" e lesioni gravi alle persone, agli edifici e alle diverse infrastrutture, danni rilevanti al patrimonio culturale e la distruzione di attività socio-economiche.

Di seguito si elencano, a titolo di esempio e senza pretesa di esaustività, alcuni dei possibili accorgimenti che dovranno essere prese in considerazione per la mitigazione del rischio e da indicare quali prescrizioni al fine di garantire la compatibilità degli interventi di trasformazione territoriale:

a) Misure per evitare il danneggiamento dei beni e delle strutture

- realizzare le superfici abitabili, le aree sede dei processi industriali, degli impianti tecnologici e degli eventuali depositi di materiali sopraelevate rispetto al livello della piena di riferimento;
- realizzare le aperture degli edifici situate al di sotto del livello di piena a tenuta stagna;
- disporre gli ingressi in modo che non siano perpendicolari al flusso principale della corrente;
- progettare la viabilità minore interna e la disposizione dei fabbricati così da limitare allineamenti di grande lunghezza nel senso dello scorrimento delle acque che potrebbero indurre la creazione di canali di scorrimento a forte velocità;
- progettare la disposizione dei fabbricati in modo da limitare la presenza di lunghe strutture trasversali alla corrente principale;
- favorire il deflusso/assorbimento delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo.

b) Misure atte a garantire la stabilità delle fondazioni

- opere drenanti per evitare le sottopressioni idrostatiche nei terreni di fondazione; qualora il calcolo idraulico non consenta di differenziare il valore della velocità nelle diverse porzioni della sezione, il grafico viene letto in funzione della velocità media nella sezione. Si intende che le condizioni idrauliche così definite si mantengano invariate su tutto il tronco a cavallo della sezione;
- opere di difesa per evitare i fenomeni di erosione delle fondazioni superficiali;
- fondazioni profonde per limitare i fenomeni di cedimento o di rigonfiamento dei suoli coesivi.

c) Misure per facilitare l'evacuazione di persone e beni in caso di inondazione

- uscite di sicurezza situate sopra il livello della piena di riferimento aventi dimensioni sufficienti per l'evacuazione di persone e beni verso l'esterno o verso i piani superiori;
- vie di evacuazione situate sopra il livello della piena di riferimento.

d) Utilizzo di materiali e tecnologie costruttive che permettano alle strutture di resistere alle pressioni idrodinamiche

e) Utilizzo di materiali per costruzione poco danneggiabili al contatto con l'acqua

## 10 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione delle sabbie è il comportamento dei suoli sabbiosi che, a causa di un aumento della pressione interstiziale, passano improvvisamente da uno stato solido ad un fluido, o con la consistenza di un liquido pesante.

La liquefazione avviene più frequentemente in depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. Durante la fase di carico, le sollecitazioni indotte nel terreno, quali possono essere quelle derivanti da un evento sismico, possono causare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la tensione soprastante. Viene così annullata la resistenza al taglio del terreno secondo il principio delle pressioni efficaci di Terzaghi, e si assiste così a un fenomeno di fluidificazione del suolo.

Secondo il D.M. 14/01/2008 (articolo 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione") è possibile non effettuare la verifica alla liquefazione quando si manifesta almeno una delle seguenti condizioni:

1. eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  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  $q_{c1N}$  è il valore della esistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. 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  $U_c > 3,5$ .

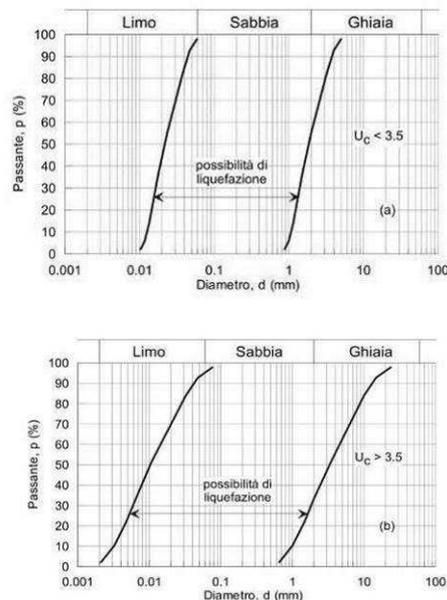


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nell'area in esame le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) risultano minori di  $0,1g$ ; il manifestarsi di tale condizione esclude, per l'area oggetto di studio, la verifica alla liquefazione.

## 10 CONCLUSIONI

L'area in esame sita in via Nino Bixio nel comune di Paderno Dugnano (MI) è caratterizzata dalla presenza, in affioramento, di un terreno di fondazione appartenente dal punto di vista geologico alle alluvioni fluvio-glaciali del periodo Würm (DILUVIUM RECENTE), caratterizzate da ghiaie e sabbie con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose; frequenti sono i ciottoli di dimensioni centimetriche, generalmente con un grado elevato di arrotondamento.

Nell'area in esame è prevista la realizzazione di una nuova palazzina residenziale che sarà data da un piano seminterrato, piano rialzato e due piani fuori-terra.

Nel mese di giugno 2017 è stata condotta un'analisi accurata dell'area con esecuzione di 4 prove penetrometriche di tipo dinamico (S.C.P.T.).

Dal punto di vista geotecnico le verticali penetrometriche eseguite hanno evidenziato la presenza, alla quota d'imposta delle fondazioni, di sedimenti caratterizzati da un grado di addensamento basso e parametri geotecnici mediamente modesti. In corrispondenza della prova 3 è stata riscontrata la presenza di materiale scarsamente addensato fino alla profondità di 4.8 m da p.c.

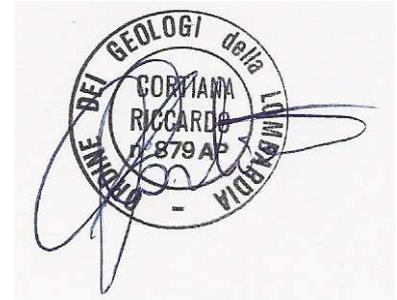
Si consiglia di eseguire un'accurata opera di rullatura del fondo scavo che oltre a costipare il materiale presente evidenzia l'eventuale presenza di lenti con addensamento particolarmente scadente negli orizzonti immediatamente sottostanti la quota di imposta delle fondazioni (come nel caso della prova 3). Questi livelli, se presenti, andranno asportati e sostituiti da mista di cava ben costipata o da cemento magro.

I calcoli hanno dimostrato che sarà possibile utilizzare fondazioni dirette continue utilizzando il valore della pressione di esercizio riportato precedentemente. Valgono le prescrizioni riportate precedentemente.

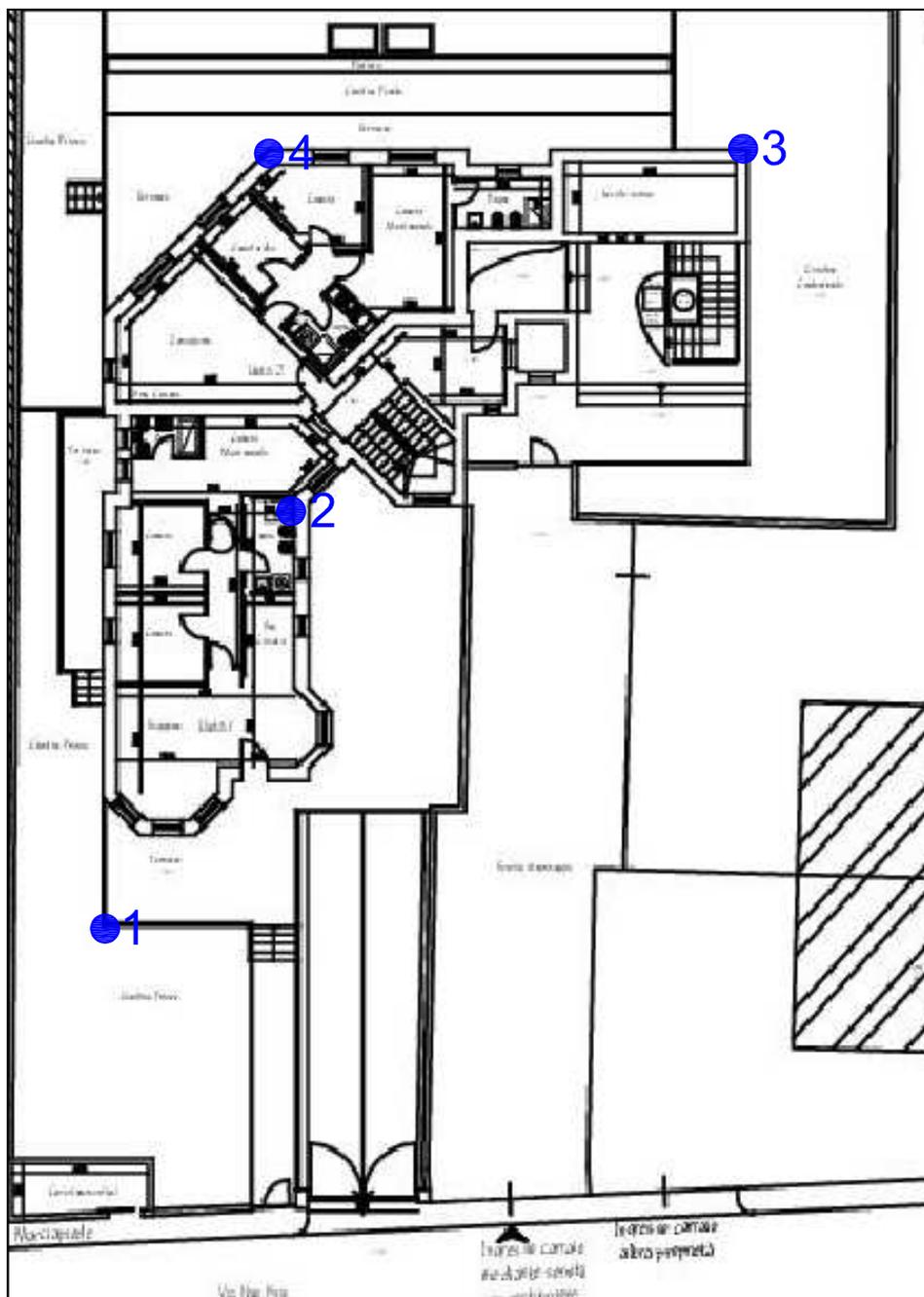
Secondo i dati reperiti presso il SIF (Sistema Informativo Falda) della Provincia di Milano la soggiacenza media della falda nell'area indagata si attesta ad una profondità compresa tra 20 e 30 m dal p.c.

**Il tecnico incaricato**

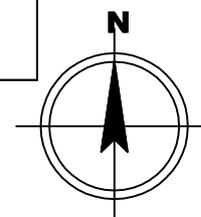
*Dott. Geol. Riccardo Cortiana*



## UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE



● S.C.P.T. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA



COMMITTENTE: Edilman Srl

CANTIERE: Paderno Dugnano (MI) - via Bixio

DATA: Giu. '17

## PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

COMMITTENTE: **Edilman Srl**

CANTIERE: Paderno Dugnano (MI) - via N. Bixio

QUOTA DI RIFERIMENTO: piano campagna DATA giugno-17

Profondità (m)	S.C.P.T. 1	S.C.P.T. 2	S.C.P.T. 3	S.C.P.T. 4	Profondità (m)
0.3	6	17	8	10	0.3
0.6	4	7	4	4	0.6
0.9	4	5	4	5	0.9
1.2	4	3	3	4	1.2
1.5	5	4	4	5	1.5
1.8	4	3	3	8	1.8
2.1	8	4	2	12	2.1
2.4	10	9	5	12	2.4
2.7	8	9	3	8	2.7
3.0	5	9	3	5	3.0
3.3	5	5	2	5	3.3
3.6	5	4	2	5	3.6
3.9	11	5	2	6	3.9
4.2	6	6	2	4	4.2
4.5	5	5	2	6	4.5
4.8	6	6	2	5	4.8
5.1	6	6	5	7	5.1
5.4	7	14	9	8	5.4
5.7	5	11	7	8	5.7
6.0	13	28	19	12	6.0
6.3	25	26	100	16	6.3
6.6	27	19		29	6.6
6.9	25	21		100	6.9
7.2	100	38			7.2
7.5		100			7.5
7.8					7.8
8.1					8.1
8.4					8.4
8.7					8.7
9.0					9.0
9.3					9.3
9.6					9.6
9.9					9.9

# PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

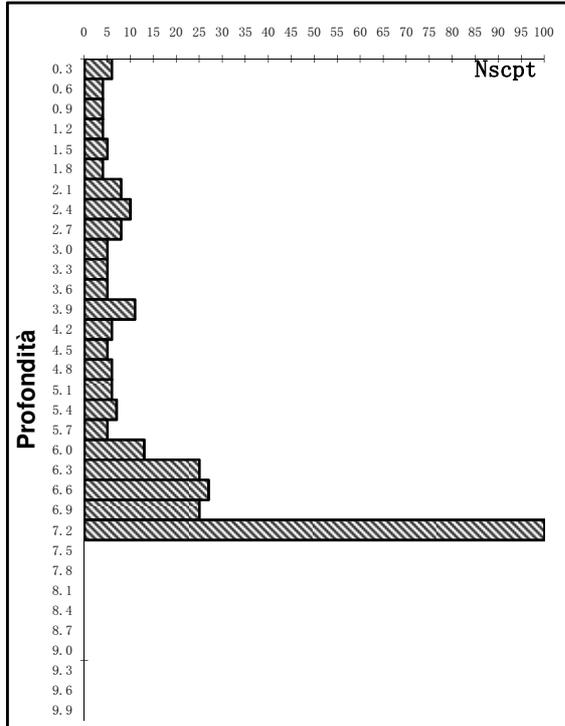
(Penetrometro super pesante tipo Meardi - A.G.I.)

LOCALITA': Paderno Dugnano (MI) - via N. Bixio

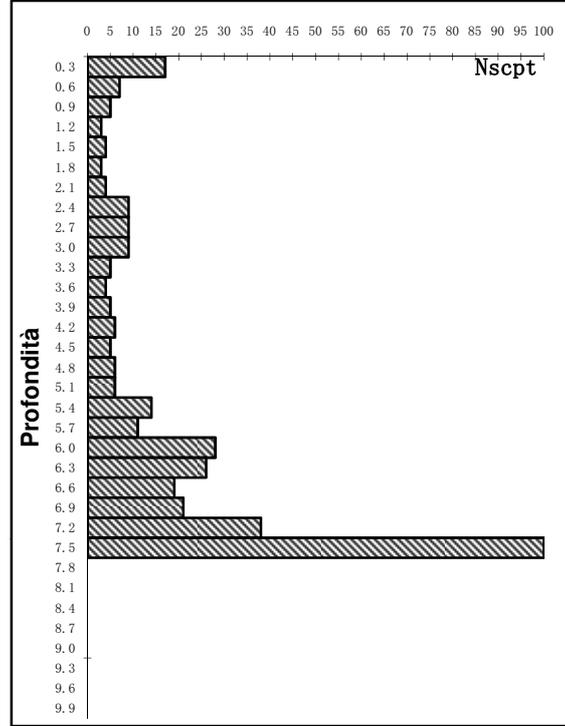
COMMITTENTE: Edilman Srl

DATA: giu-17

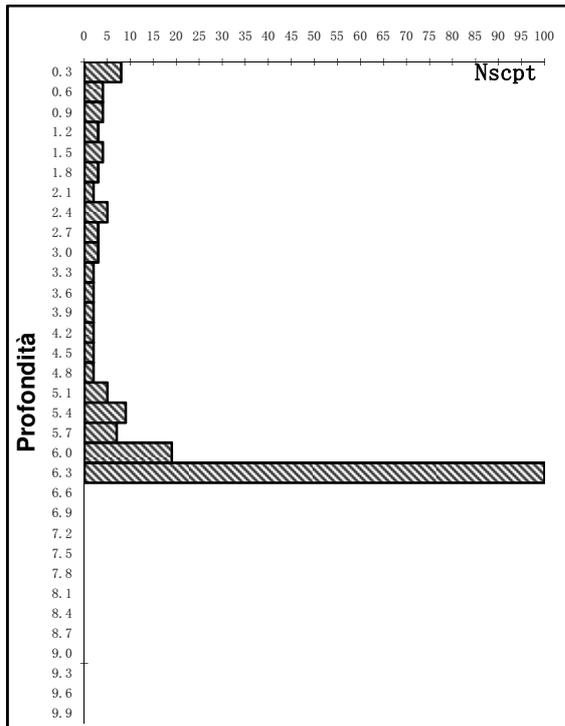
S.C.P.T. 1



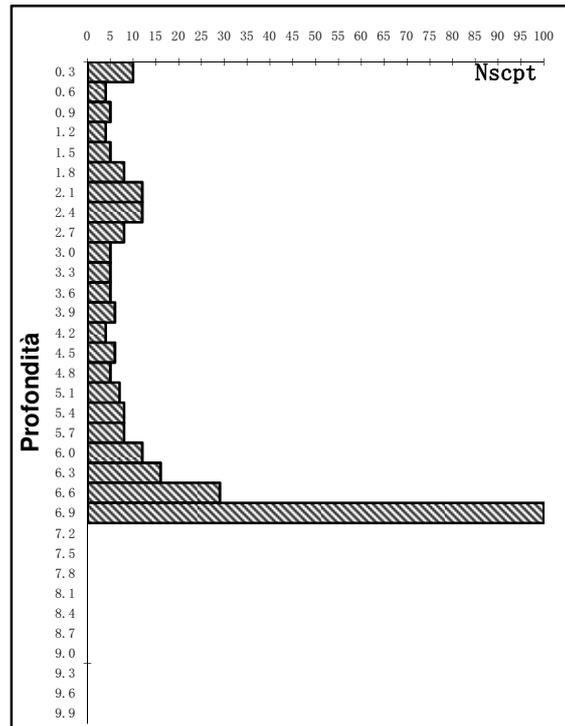
S.C.P.T. 2



S.C.P.T. 3



S.C.P.T. 4



**SIG. MASCHERONI**

**COMUNE DI PADERNO DUGNANO (MI)**

**Via Resegone**

**RELAZIONE GEOLOGICA**



Milano, maggio 2017

## **INDICE**

1. RIFERIMENTI NORMATIVI	3
2. PREMESSA	3
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
MODELLO GEOLOGICO	3
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E LITOLOGICO	3
5. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO	4
6. RISCHI GEOLOGICI E VINCOLI	5
7.1 INDAGINI IN SITO	5
7.1.1 Prove penetrometriche SCPT	5
7.2 DETERMINAZIONE PARAMETRI GEOTECNICI	5
MODELLO GEOFISICO	7
8. SISMICITA'	7
9. PARAMETRI SISMICI	8
9.1 Verifica alla liquefazione	8
10. SCAVO E MOVIMENTO TERRE (TERRE E ROCCE DA SCAVO)	8
MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	9
11. CONCLUSIONI	9

## **ALLEGATI:**

1. Estratto Carta Tecnica Regionale (scala 1: 10.000)
2. Estratto Carta geologica (scala 1: 250.000)
3. Planimetria con ubicazione delle indagini in sito
4. Diagrammi ed elaborati delle prove in sito

## **1. RIFERIMENTI NORMATIVI**

- D.M. 11/03/1988 Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e successive modificazioni e integrazioni seguita dalla D.G.R. 11/7/2014 - n. X/2129 che ha mantenuto il territorio di Paderno Dugnano in Zona 4;

- D.M. 14/09/2005 Testo Unitario sulle Costruzioni, che sancisce l'obbligo di effettuare la progettazione antisismica nelle zone 1-2-3;

- D.M. 14/01/2008 Nuovo Testo Unico sulle Costruzioni, che sancisce l'obbligo di effettuare la progettazione antisismica nelle zone 1-2-3, mentre nella zona 4 l'obbligo vale soltanto per gli edifici strategici o rilevanti.

La presente relazione geologica è stata redatta in conformità con il D.M. 14.01.2008 per edifici in zona 4 non strategici.

## **2. PREMESSA**

Nella presente relazione vengono analizzate le caratteristiche geologiche, i vincoli e la fattibilità geologica relativa ai terreni interessati dal progetto edilizio per la costruzione di una villetta ad uso residenziale in via Resegone nel comune di Paderno Dugnano. I dati e gli elaborati riportati nella presente relazione sono stati ricavati da rilievi e prove riportate in lavori facenti parte della bibliografia geologica e tecnica ufficiale dell'area di Paderno.

## **3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

Il comune di Paderno Dugnano è situato nella fascia settentrionale della provincia di Milano a nord del capoluogo ad una quota altimetrica media di 163 m s.l.m.. Il suo territorio ricade nella sezione n° B5b5 della Carta Tecnica della Regione Lombardia scala 1:10.000 (allegato n. 1).

In dettaglio l'area oggetto dello studio è ubicato nel settore centrale del nucleo abitato di Paderno Dugnano in via Resegone.

## **MODELLO GEOLOGICO**

## **4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E LITOLOGICO**

Il comune di Paderno Dugnano fa parte della porzione centrale del comprensorio dell'alta pianura lombarda. Il territorio comunale si configura morfologicamente come una tipica zona pianeggiante. La quota media dell'area indagata è di 163 m s.l.m..

I terreni presenti appartengono geologicamente ai sedimenti del fluvioglaciale Wurm (Pleistocene superiore) costituenti il cosiddetto “livello fondamentale della pianura” (allegato n. 2).

Litologicamente i sedimenti, per lo più di natura ghiaioso sabbiosa, presentano poche tracce di alterazione essendo costituiti in prevalenza da depositi di natura fluviale recente depositati dal fiume Seveso. In particolare i sedimenti fluviali e fluvioglaciali del Pleistocene superiore del livello fondamentale della pianura del territorio di Paderno sono interessati da una copertura colluviale nulla o ridotta e da un substrato ghiaioso poco alterato, contenente ciottoli e clasti poligenici di natura calcarea ed, in minor misura, metamorfica.

Nel sottosuolo non sono presenti strutture geologiche profonde di particolare rilievo che possano interferire in modo significativo con le forme superficiali.

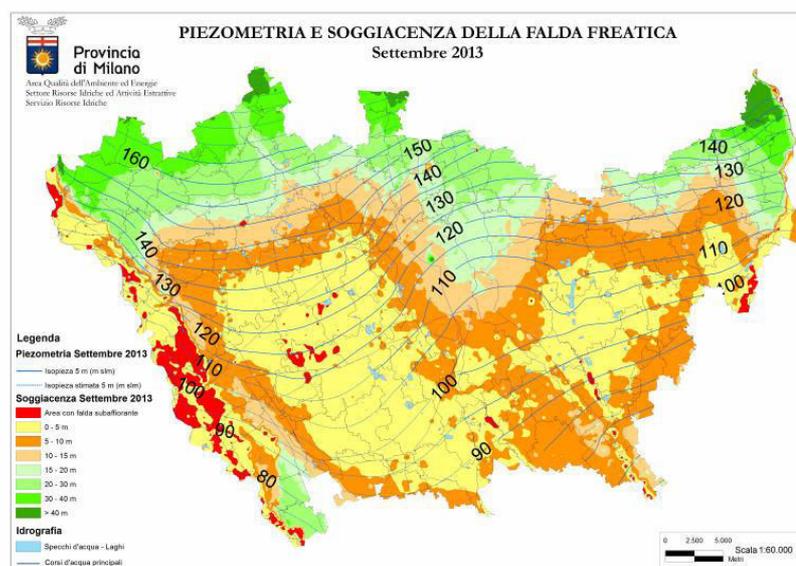
## 5. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'idrografia naturale è rappresentata dal fiume Seveso che scorre nei pressi dell'area esaminata attraversando da nord a sud il territorio comunale ed il centro abitato di Paderno.

L'idrografia artificiale è rappresentata dal canale Villoresi che taglia nella porzione nord l'ambito comunale con direzione ovest - est.

A livello idrogeologico dai dati pubblicati sul sito web della Città Metropolitana di Milano (Carta della piezometria e soggiacenza, settembre 2013 sottoriportata) e da quelli allegati al PGT tavola 2 Caratteri Idrogeologici e vulnerabilità dell'acquifero (Studio Idrogeotecnico, rev. 2013) è indicato un livello piezometrico posto a quote superiori ai 20.0 m dal p.c..

L'andamento del deflusso principale è orientato in senso nordovest– sudest.



## **6. RISCHI GEOLOGICI E VINCOLI**

Consultando la Tavola 6 “Carta dei Vincoli” (Studio Idrogeotecnico, revisione dic. 2012) a corredo del PRG comunale l’area sull’area non insistono vincoli di carattere geologico o idrogeologico.

### **7.1 INDAGINI IN SITO**

Le indagini geognostiche sono consistite nell’esecuzione di due prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT) con penetrometro pesante modello Pagani.

#### **7.1.1 Prove penetrometriche SCPT**

L’attrezzatura utilizzata per eseguire queste prove, che consistono nel registrare due parametri: una resistenza alla punta  $R_p$  (numero di colpi necessario ad infiggere per 30 cm nel terreno una punta conica) ed una resistenza laterale  $R_l$  (numero di colpi necessario ad infiggere per 30 cm nel terreno il rivestimento coassiale alla punta) ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- penetrometro dinamico tipo Pagani
- massa battente di 73 kg;
- altezza di caduta: 75 cm;
- punta conica: diametro 51 mm, conicità 60°;
- aste: diametro 34 mm, lunghezza 1.0 m;
- tubi di rivestimento: diametro 48 mm, lunghezza 1.0.

Le prove, ubicate come indicato nello schema planimetrico allegato (allegato n. 3), sono state spinte sino alla profondità di circa 6.0 m dal piano campagna. Si segnala che le quote riportate sui grafici di resistenza alla penetrazione sono riferite al piano di inizio delle indagini (di norma il piano campagna se non espressamente indicata una quota diversa) e non allo “zero” di progetto.

I diagrammi dei risultati sono riportati nell’allegato n. 4.

### **7.2 DETERMINAZIONE PARAMETRI GEOTECNICI**

L’andamento delle prove ha evidenziato la presenza di una unità geotecnica costituita da sabbie medio fini da scarsamente a moderatamente addensata (unità A) fino ad una profondità di circa 4 m dal piano campagna esistente. A profondità superiori si riscontra la presenza di un livello compatto di natura ghiaioso sabbiosa (unità B).

I principali parametri meccanici medi del terreno, sia in termini di resistenza sia in termini di deformabilità indicati nel seguito, sono stati ottenuti direttamente o, indirettamente, mediante correlazioni empiriche, a partire dai risultati delle prove eseguite nel corso della campagna d’indagini in sito. I valori adottati come rappresentativi medi delle caratteristiche geotecniche dei terreni investigati sono quelli consigliati da diversi autori (Peck, Hansen e Thornburn, 1953; K.Terzaghi e R.B. Peck,

1976; G. Sanglerat, 1979; J.E. Bowles, 1982) e sono stati definiti in modo moderatamente cautelativo in considerazione del processo di analisi seguito.

**Parametri di resistenza:**

I valori di  $D_R$  sono stati stimati dalle prove SPT in accordo a quanto indicato in Skempton (1986), per sabbie medie, attraverso la relazione che lega la densità relativa  $D_R$  al valore  $N_{SPT}$ :

$$D_R = \left[ \frac{N_{SPT}}{27.5 + 27.5 \cdot \sigma'_{vo}} \right]^{0.5}$$

essendo:

$\sigma'_{vo}$  = pressione verticale efficace esistente in sito ( $\text{kg/cm}^2$ )

$N_{SPT}$  = numero di colpi per 30 cm di infissione

$D_R$  = densità relativa (%)

**Parametri di deformabilità:**

Il modulo di Young (E) è ricavato da:

$$E = S_1 * N_{spt} + S_2 \quad (\text{D'Appolonia et al. 1970})$$

dove:

$S_1 = 0.756$  e  $S_2 = 18.75$  per i terreni granulari (D'Appolonia, 1970)

<b>Unità A – Sabbia medio fine</b>	
Classe USCS:	SP
Profondità:	0.00 ÷ 4.00 m
N'sept (medio):	5/7 colpi/ 30 cm
N'spt (medio):	6/8 colpi/ 30 cm
Stato di addensamento:	moderatamente addensato
Angolo di attrito:	28°/30°
Coesione c':	0 kPa
Peso di volume naturale $\gamma$ :	18.0/18.5 kN/m <sup>3</sup>
Densità relativa $D_r$ :	75/80 %
Modulo di Young E:	24/25 MPa
<b>Unità B – Ghiaia con sabbia</b>	
Classe USCS:	SP - GP
Profondità:	>4.00 m
N'sept (medio):	14/16 colpi/ 30 cm
N'spt (medio):	16/18 colpi/ 30 cm
Stato di addensamento:	addensato - compatto
Angolo di attrito:	31°/33°
Coesione c':	0 kPa
Peso di volume naturale $\gamma$ :	18.5/19.0 kN/m <sup>3</sup>
Densità relativa $D_r$ :	80 %
Modulo di Young E:	31/33 MPa

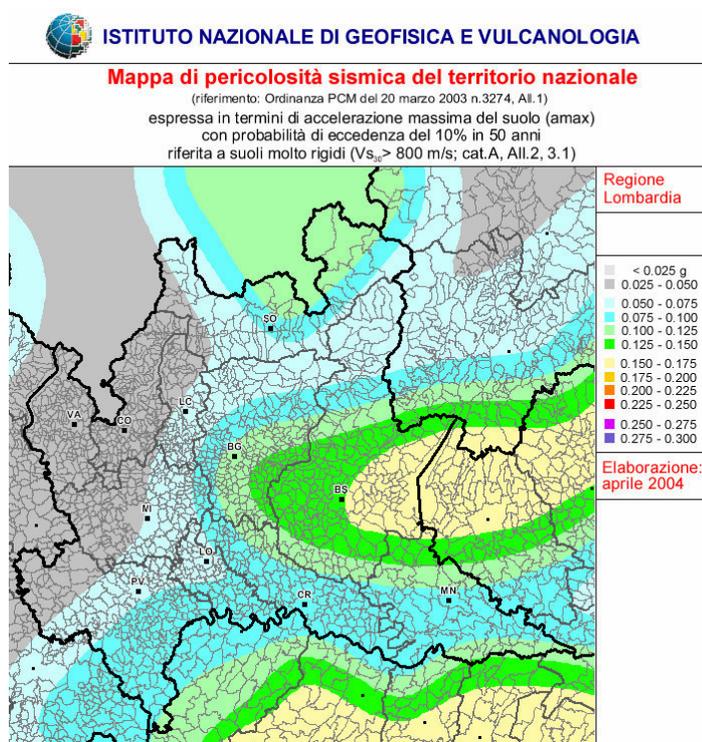
## MODELLO GEOFISICO

### 8. SISMICITA'

La potenziale pericolosità sismica di un'area dipende dalle proprie caratteristiche, geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geotecniche.

A livello sismico il territorio comunale di Paderno Dugnano non era classificato sismico ai sensi del D.M. 19.03.1982 (classe N.C.) poi, ai sensi dell'ordinanza 3274 del 20.03.2003 che ha riclassificato tutto il territorio nazionale, è stato inserito in zona sismica 4.

La figura seguente tratta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia mostra la pericolosità sismica del territorio lombardo.



Di seguito si riporta la tabella ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g/g$ ]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

## 9. PARAMETRI SISMICI

Dalla prova sismica eseguite in sito è possibile attribuire i suoli alla Categoria di suolo C “Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s”. La categoria topografica, trovandosi in zona pianeggiante, risulta T1.

I parametri sismici di base riportati di seguito in tabella sono stati calcolati utilizzando il programma Geostru PS a partire dalle coordinate del sito (longitudine e latitudine nel sistema di riferimento Ed50 geodetico).

<b>PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO</b>				
	<b>SLO</b>	<b>SLD</b>	<b>SLV</b>	<b>SLC</b>
Accelerazione sismica base Ag	0.018	0,023	0,047	0,057
Fattore di amplificazione F0	2,557	2,535	2,654	2,692
Periodo caratteristico Tc	0,159	0,188	0,279	0,299
Coeff. ampl. sismica orizz. Kh	0,005	0,007	0,014	0,017
Coeff. ampl. sismica vert. Kv (+/-)	0,003	0,003	0,007	0,009

### 9.1 Verifica alla liquefazione

Gli studi geologici e sismici hanno evidenziato la presenza di terreni granulari ghiaioso sabbiosi fortemente addensati con grado di compattazione crescente con la profondità in assenza di falda acquifera per più di 20 m dal p.c.. Si possono quindi escludere fenomeni di liquefazione dei terreni in condizioni sismiche (Sherif e Ishibashi, 1978).

## 10. SCAVO E MOVIMENTO TERRE (TERRE E ROCCE DA SCAVO)

Qualora il progetto preveda la realizzazione di scavi, prima dell'eventuale rimozione dal cantiere dei materiali mobilizzati, sarà necessario predisporre l'adeguata documentazione di carattere ambientale ai sensi del D. Lgs. 152/06 e s.m.i.

Ricordo che, fermo restando l'assenza di rifiuti nel terreno escavato e le condizioni di non contaminazione del sito, il terreno può essere gestito nei seguenti modi:

- ✓ lasciato nell'area di cantiere per riempimenti, livellamenti o simili
- ✓ riutilizzato in altro cantiere come sottoprodotto
- ✓ avviato al recupero presso centro autorizzato
- ✓ portato in discarica come rifiuto

A seconda delle scelte del committente e dell'impresa, le prove ambientali sui terreni e le procedure autorizzative alla movimentazione sono differenti.

## MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

### 11. CONCLUSIONI

Dallo studio eseguito, considerato il contesto geologico, le caratteristiche geomorfologiche, litologiche, geotecniche, idrogeologiche e sismiche emergono le seguenti indicazioni generali:

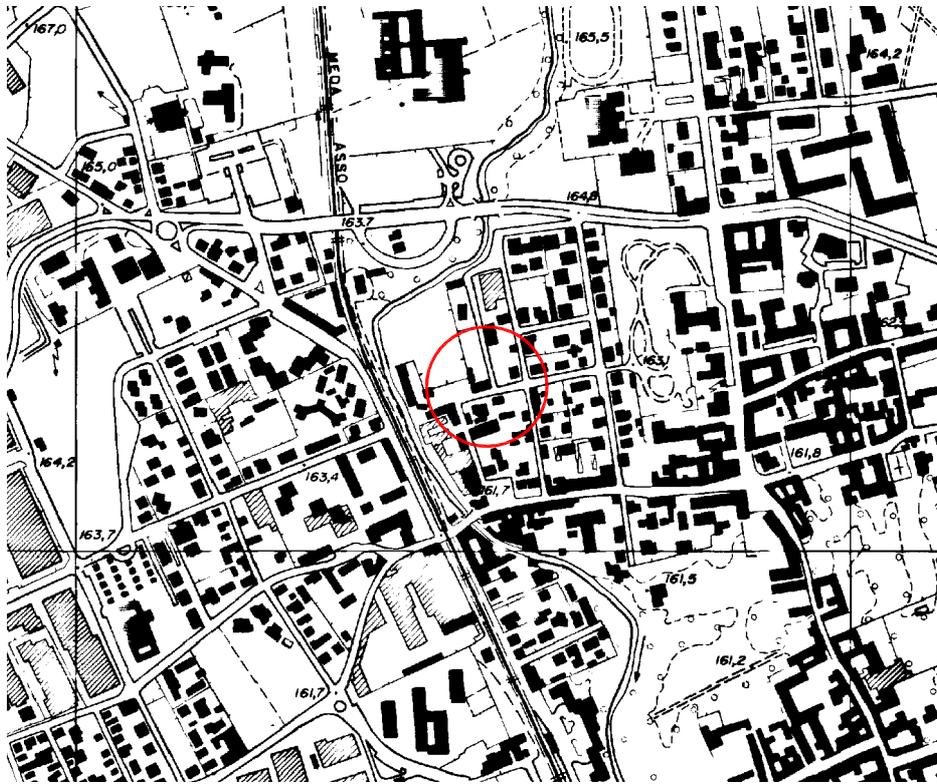
- a livello litologico si segnala la presenza di terreni moderatamente addensati aventi caratteristiche geotecniche molto variabili a sino alla quota di -4.0 m dal p.c. con miglioramento netto delle proprietà geotecniche per profondità superiori;
- a livello idrogeologico, non si rilevano problematiche legate a possibili interferenze con la superficie piezometrica.

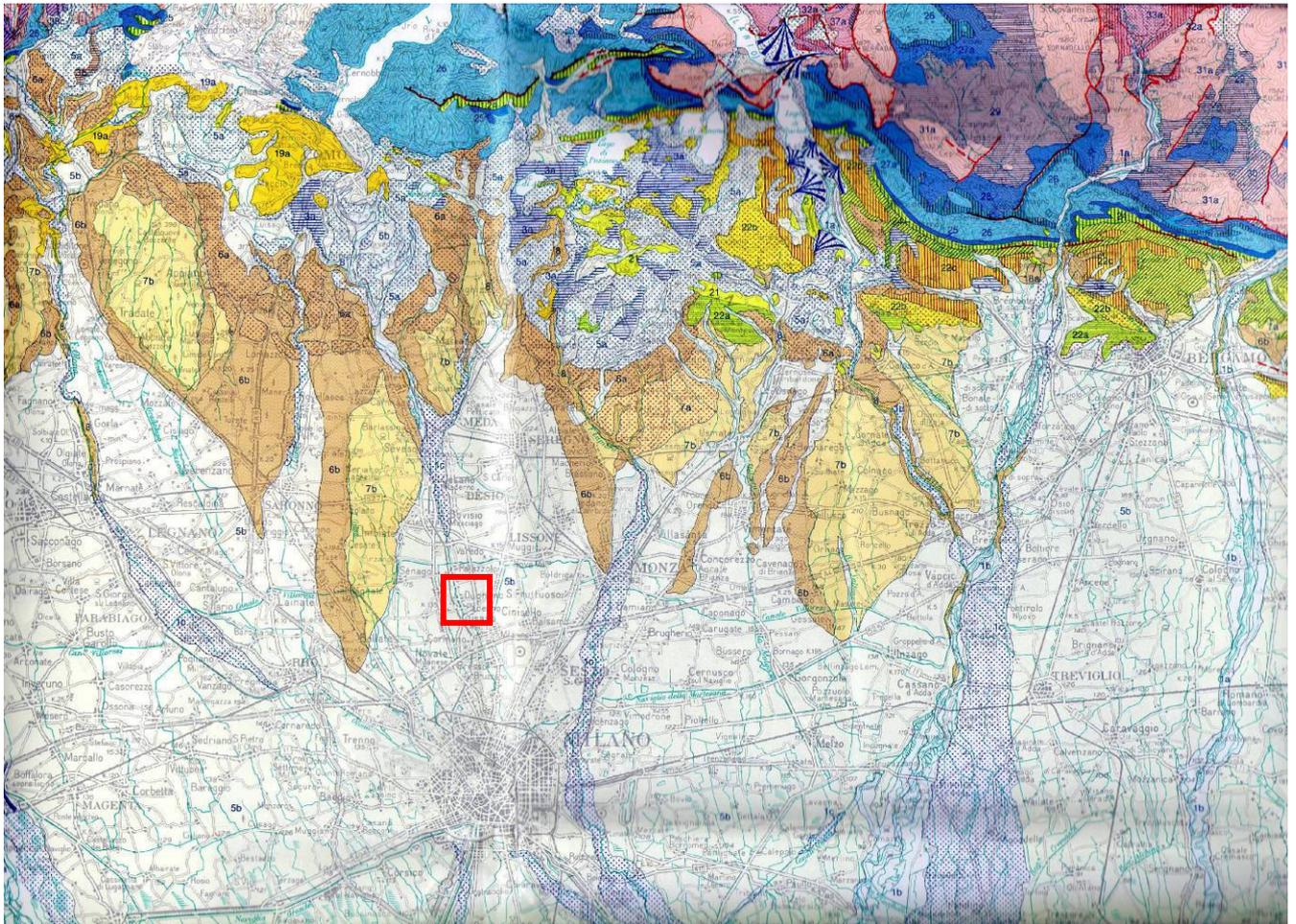
In sostanza, lo studio svolto, ha evidenziato come il progetto sia, in rapporto al contesto geologico in cui si inserisce e al confronto con i vincoli contenuti nello strumento urbanistico, pienamente conforme non costituendo motivo di rischi reali o potenziali legati alla modificazione ambientale dello stato dei luoghi.



#### **ALLEGATI**

- 1. Estratto Carta Tecnica Regionale (scala 1:10000)**
- 2. Estratto Carta Geologica e legenda (scala 1:250000)**
- 3. Planimetria con ubicazione delle indagini in sito**
- 4. Diagrammi ed elaborati delle prove in sito**





### QUATERNARIO CONTINENTALE - "VILAFRANCIANO"

- |                    |  |   |
|--------------------|--|---|
| <b>OLOCENE</b>     |  | 1 - Depositi fluviali dei greti attuali (Alluvium attuale - a) e terrazzati (Alluvium medio - b, Alluvium antico - c): ghiaie, sabbie e limi.   |
|                    |  | 2 - Detriti di falda e frane.   |
|                    |  | 3 - Lacustre olocenico e tardoglaciale: argille e limi (a); torba (b).  |
| <b>PLEISTOCENE</b> |  | 4 - Morenico tardo-würmiano e localmente olocenico: ghiaie, blocchi, limi.  |
|                    |  | 5 - Morenico Würm: ghiaie, blocchi e limi (a); Fluvioglaciale e Fluviale Würm: ghiaie, sabbie (b). <i>PLEISTOCENE SUP.</i>  |
|                    |  | 6 - Morenico Riss: ghiaie, blocchi e limi ferrettizzati (a); Fluvioglaciale, Fluviale e Lacustre Riss: ghiaie, sabbie e argille ferrettizzate (b). <i>PLEISTOCENE MEDIO.</i>                            |
|                    |  | 7 - Morenico Mindel: ghiaie, limi e rari blocchi fortemente ferrettizzati (a); Fluvioglaciale, Fluviale e Lacustre Mindel: ghiaie, limi e argille fortemente ferrettizzate (b). <i>PLEISTOCENE INF.</i> |
| <b>PLIOCENE</b>    |  | 8 - "Ceppo" e formazioni simili, facies "Villafranchiane": conglomerati, sabbie, argille. <i>PLEISTOCENE INF.-PLIOCENE SUP.</i>   |



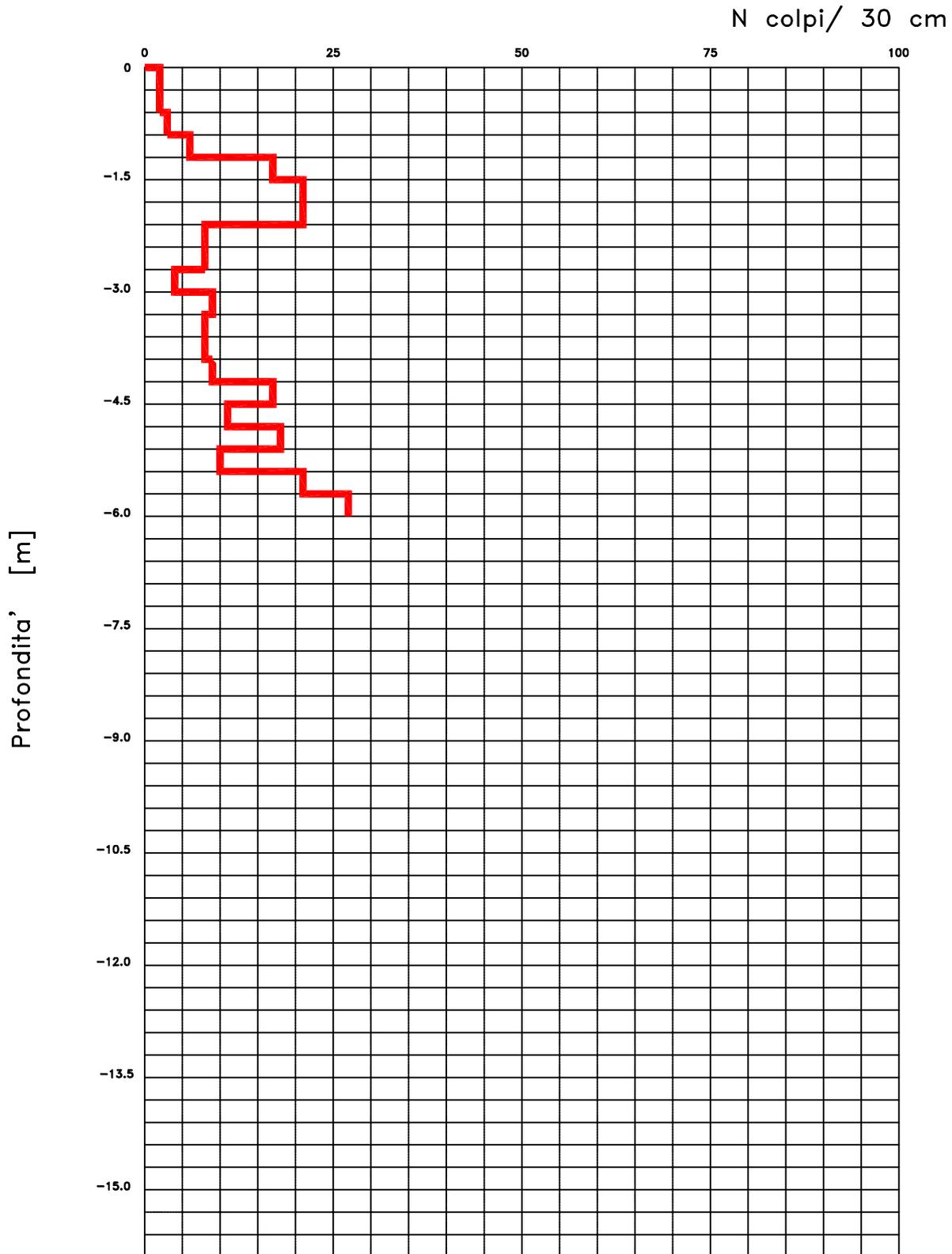
# Prova Penetrometrica Dinamica n. 1

Localita': via Resegone - Paderno Dugnano (MI)

Quota inizio prova: circa 163 m s.l.m.

Data: 24.05.2017

Note:



- Livello della superficie piezometrica
- Resistenza alla punta
- ..... Resistenza al rivestimento

Punta conica : conicita' 60, diametro 51 mm  
Massa battente: peso 73 kg, altezza di caduta 75 cm

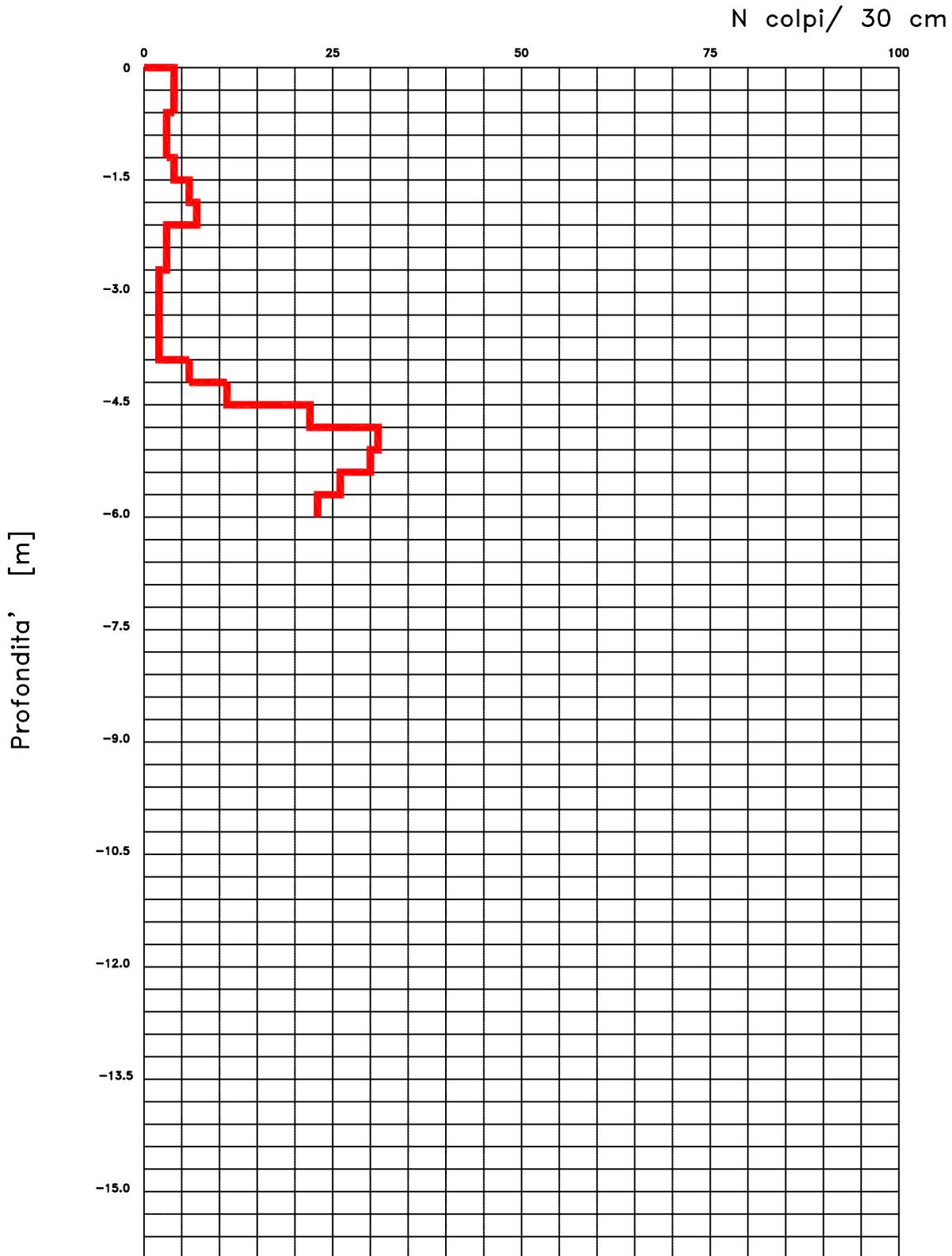
# Prova Penetrometrica Dinamica n. 2

Localita': via Resegone - Paderno Dugnano (MI)

Quota inizio prova: circa 163 m s.l.m.

Data: 24.05.2017

Note:



- Livello della superficie piezometrica
- Resistenza alla punta
- ..... Resistenza al rivestimento

Punta conica : conicita' 60, diametro 51 mm  
Massa battente: peso 73 kg, altezza di caduta 75 cm

**SIG. MASCHERONI**

**COMUNE DI PADERNO DUGNANO (MI)**

**Via Resegone**

**RELAZIONE GEOTECNICA**



Milano, maggio 2017

## **INDICE**

1. RIFERIMENTI NORMATIVI	3
2. PREMESSA	3
3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO	3
4. PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO	4
MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	4
5. PARAMETRI GEOTECNICI	4
6. VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' PORTANTE	5
6.1 Tensioni ammissibili	5
6.2 Stati limite	5
7. VERIFICA DEI CEDIMENTI	6
8. CONCLUSIONI	6

### **Allegati:**

1. Capacità portante tensioni ammissibili
2. Capacità trave
3. Cedimento trave

## **1. RIFERIMENTI NORMATIVI**

- D.M. 11/03/1988 Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e successive modificazioni e integrazioni, seguita dalla D.G.R. 07/11/2003 N. 7/4964, che inseriscono il territorio comunale di Paderno Dugnano in zona 4,

- Ordinanza del P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;

- D.M. 14/01/2008 Nuovo Testo Unico sulle Costruzioni, che sancisce l'obbligo di effettuare la progettazione antisismica nelle zone 1-2-3, mentre nella zona 4 l'obbligo vale soltanto per gli edifici strategici o rilevanti e la redazione di una relazione geologica e geotecnica;

- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008; Circolare 5 agosto 2009 del M.I.T approvata dal C.S.LLPP, Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 "Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248"; Circolare 11 dicembre 2009 del M.I.T approvata dal C.S.LLP, Entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. Circolare 5 agosto 2009 - Ulteriori considerazioni esplicative.

## **2. PREMESSA**

Nella presente relazione vengono analizzate le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione per il progetto di costruzione di un fabbricato ad uso residenziale in via San Resegone a Paderno Dugnano.

La relazione geotecnica è stata redatta sulla base dei dati geotecnici riportati nella relazione geologica.

## **3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO**

Il progetto riguarda la costruzione di una villetta comprensiva di due piani fuori terra di altezza massima di 8 m dotata di un piano interrato adibito a box.

#### 4. PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO

Per quanto riguarda la definizione dei parametri sismici si rimanda alla relazione geologica paragrafo 9.

#### MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

#### 5. PARAMETRI GEOTECNICI

Sulla base dei parametri geotecnici medi della tabella del capitolo 7 della relazione geologica, integrata con i risultati delle prove in sito è stata eseguita la determinazione dei valori caratteristici. Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato. Come indicato anche dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, il valore caratteristico è prossimo al valore medio quando, nello stato limite considerato, è coinvolto un elevato volume di terreno con possibile compensazione delle eterogeneità (caso delle fondazioni superficiali) o quando la struttura a contatto con il terreno, è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

In relazione, in accordo con quanto sopra riportato, sono stati identificati i valori minimi desunti “da una stima ragionata e cautelativa dei parametri”, assumendoli anche come valori caratteristici.

##### **Unità A – Sabbia medio fine**

Profondità:	0.00 ÷ 4.00 m
Angolo di attrito:	28° ÷ 30°
Coesione $c'$ :	0 kPa
Peso di volume naturale $\gamma$ :	17.5 ÷ 18.0 kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente di reazione di Winkler K:	3/4 kg/cm <sup>3</sup>
Modulo di Young E:	24 ÷ 25 MPa

##### **Unità B – Ghiaia con sabbia**

Profondità:	>4.00 m
Angolo di attrito:	31° ÷ 33°
Coesione $c'$ :	0 kPa
Peso di volume naturale $\gamma$ :	18.5 ÷ 19.0 kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente di reazione di Winkler K:	8/10 kg/cm <sup>3</sup>
Modulo di Young E:	31 ÷ 33 MPa

## 6. VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' PORTANTE

Il progettista ha indicato un piano di imposta delle fondazioni posto nell'unità A a -3.5 m dal piano campagna per una tipologia di fondazione nastriforme variabile da 0.80 a 1.20 m.

### 6.1 Tensioni ammissibili

In via preliminare è stata condotta la verifica alle tensioni ammissibili, secondo la vecchia normativa (DMLLPP 11/03/1988).

Per il calcolo della Plim riferita allo stato limite ultimo si è utilizzata la formula di Brinch-Hansen (1970) che nella sua forma più generale è espressa come segue:

$$q_{lim} = c N_c s_c i_c d_c + \gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma + \gamma D N_q s_q i_q d_q$$

dove:

$q_{lim}$	[kPa]	= capacità portante limite
$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	= peso di volume
$B$	[m]	= larghezza della fondazione
$c$	[kPa]	= coesione
$q$	[kPa]	= $\gamma * D$ = sovraccarico dovuto al rinterro
$D$	[m]	= profondità di incasso della fondazione
$N_\gamma, N_c, N_q$	[-]	= fattori di capacità portante
$s_\gamma, s_c, s_q$	[-]	= fattori forma
$d_\gamma, d_c, d_q$	[-]	= fattori profondità

Nel caso di terreni di fondazione prevalentemente granulari e privi di coesione, l'equazione citata si riduce alla seguente:

$$q_{lim} = 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma + q N_q s_q d_q$$

I risultati sono riportati nell'allegato n. 1.

### 6.2 Stati limite

Per le verifiche agli stati limite ultimi in zona sismica è stata utilizzata la formula proposta da Brinch Hansen corretta secondo le indicazioni di Maugeri e Novità (2004) per tener conto dell'azione sismica.

La formula è la seguente:

$$q_{lim} = c N_c s_c i_c d_c g_c b_c h_c + 0.5 \gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma g_\gamma b_\gamma h_\gamma + q N_q s_q i_q d_q g_q b_q h_q$$

dove:

- $N_c, N_q, N$  = fattori di capacità portante [-]
- $s_c, s_q, s_\gamma$  = fattori di forma [-]
- $d_c, d_q, d_\gamma$  = fattori di profondità [-]
- $i_c, i_q, i_\gamma$  = fattori di inclinazione del carico [-]

$g_c, g_q, g_\gamma$  = fattori di inclinazione del piano campagna [-]

$b_c, b_q, b_\gamma$  = fattori di inclinazione del piano di posa [-]

$h_c, h_q, h_\gamma$  = fattori di riduzione sismica [-]

$c$  = coesione [kPa]

$q$  = tensione geostatica agente alla base della fondazione =  $\gamma D$  [kPa]

$\gamma$  = peso di volume del terreno [kN/m<sup>3</sup>]

$B$  = larghezza della fondazione [m]

L'analisi della capacità portante delle fondazioni è stata condotta in conformità a quanto previsto delle NTC, eseguendo le verifiche secondo i 3 approcci previsti da 1c1, da 1c2, da 2.

Nella tavola n. 2 sono riportati i tabulati di calcolo ed i risultati.

## 7. VERIFICA DEI CEDIMENTI

Le NTC prevedono che per le verifiche agli SLE vengano applicati i parametri caratteristici dei terreni senza l'applicazione di coefficienti di sicurezza parziali. Per il calcolo dei cedimenti si è utilizzato il metodo di Schmertmann.

L'equazione proposta da Schmertmann è la seguente:

$$\Delta H = C_1 \times C_2 \times \Delta q \times \sum ((I_z \times \Delta z) / E) \text{ dove:}$$

$\Delta H$  = cedimento immediato [mm]

$\Delta q$  = pressione netta applicata [kPa]

$E$  = modulo di elasticità [MPa]

$I_z$  = coefficiente d'influenza [-]

$C_1, C_2$  = coefficienti di Schmertmann

L'equazione è stata applicata in via parametrica, per le stesse tipologie di fondazione considerate per i calcoli di capacità portante, con l'applicazione di 3 carichi diversi.

Per il calcolo si è suddiviso artificialmente il terreno sottostante il piano di fondazione in strati di spessore congruo con il modello geotecnico indicato. Si sono poi calcolati i coefficienti d'influenza per ciascuno strato secondo Schmertmann e applicata la formula risolutiva. Nella formula di Schmertmann la deformabilità dei terreni è introdotta dal modulo elastico  $E$  con valori desunti dalle indagini eseguite.

Nell'allegato n. 3 sono riportati i tabulati di calcolo ed i risultati.

## 8. CONCLUSIONI

La valutazione della capacità portante sia in termini di tensioni ammissibili che agli stati limite risulta, per una quota di imposta nell'unità A, in relazione allo stato di addensamento e compattazione dei terreni, mediamente dell'ordine dei 120/130 kPa.

La stima dei cedimenti per una medesima ipotesi di carico ha mostrato, a seconda della tipologia di fondazioni considerata, valori massimi inferiori a 25 mm (max 14 mm).

Dal punto di vista idrogeologico si ritiene che non sussistano particolari problemi durante le fasi di scavo per la posa delle fondazioni.



## **ALLEGATI**

- 1. Capacità portante tensioni ammissibili)**
- 2. Capacità trave**
- 3. Cedimento trave**

## CAPACITA' PORTANTE AMMISSIBILE - BRINCH HANSEN

Fondazione nastriforme																							
B	Df	L	f	c	g	q	k	dc	dq	dg	sc	sq	sg	b	gc	gq	gg	Nc	Nq	Ng	q_ult	Fs	q_adm
[m]	[m]	[m]	[°]	[kPa]	[kN/mc]	[kPa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[°]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kPa]	[-]	[kPa]
0,8	3,5	15,0	29	0	18,0	63,0	4,38	2,75	3,50	1,00	1,00	1,03	0,98	0,00	1,00	1,00	1,00	27,86	16,44	12,84	3824	3	1275
1,0	3,5	15,0	29	0	18,0	63,0	3,50	2,40	3,00	1,00	1,00	1,04	0,97	0,00	1,00	1,00	1,00	27,86	16,44	12,84	3337	3	1112
1,2	3,5	15,0	29	0	18,0	63,0	2,92	2,17	2,67	1,00	1,00	1,04	0,97	0,00	1,00	1,00	1,00	27,86	16,44	12,84	3023	3	1008

B= Dimensione caratteristica della fondazione (larghezza nel caso di fondazioni nastriformi)

Df= Profondità del piano fondazione rispetto a p.c.

ø= Angolo di resistenza al taglio

g= Peso di volume del terreno

q\_ult= capacità portante ultima

q\_adm= capacità portante ammissibile

L= Lunghezza della fondazione

c= Coesione

q= carico indotto dal peso del terreno alla profondità Df

b= angolo di pendio a valle della fondazione

Fs= fattore di sicurezza

## CAPACITA' PORTANTE TRAVI IN CONDIZIONI SISMICHE

La capacità portante è stata calcolata con il metodo di Brinch-Hansen, nella formulazione di Marsan-Romeo.

I fattori di riduzione sismica sono stati calcolati applicando il metodo di Maugeri & Novità.

La larghezza della fondazione (\*) è da intendersi come larghezza ridotta in presenza di eccentricità del carico.

Per tener conto della eccentricità del carico, dimensionare la larghezza reale della fondazione B con  $B = B_r + 2e$

DATI DI INPUT			da1c1	da1c2	da2	da1c1	da1c2	da2	da1c1	da1c2	da2
larghezza ridotta fondazione (*)	$B_r$	m	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00	1,20	1,20	1,20
lunghezza fondazione	L	m	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
incastro fondazione	$D_f$	m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
profondità di posa	$Z_f$	m	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
peso volume strato di incastro	$\gamma_k$	kN/m <sup>3</sup>	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
angolo di resist. al taglio caratt.	$\phi'_k$	°	29	29	29	29	29	29	29	29	29
coesione caratteristica	$c'_k$	kPa	0	0	0	0	0	0	0	0	0
coeff. accel. sismica orizz.	$k_h$	-	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
inclinazione piano campagna	$\beta$	°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
coeff. parziale parametri geot.	$M_x$	-	1,00	1,25	1,00	1,00	1,25	1,00	1,00	1,25	1,00
coeff. parziale resistenze	$R_x$	-	1,00	1,80	2,30	1,00	1,80	2,30	1,00	1,80	2,30
DATI DI OUTPUT											
n=nastr. / r=rettang. / q=quadr.	-	-	n	n	n	n	n	n	n	n	n
rapporto di profondità	D/B	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
coesione di progetto	$c'_d$	kPa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
angolo di resist. al taglio prog.	$\phi'_d$	°	29,0	23,9	29,0	29,0	23,9	29,0	29,0	23,9	29,0
carico minimo bordo fond.	q	kPa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
fattore di capacità portante	$N_c$	-	27,86	19,21	27,86	27,86	19,21	27,86	27,86	19,21	27,86
fattore di capacità portante	$N_q$	-	16,44	9,52	16,44	16,44	9,52	16,44	16,44	9,52	16,44
fattore di capacità portante	$N_\gamma$	-	12,84	5,67	12,84	12,84	5,67	12,84	12,84	5,67	12,84
fattore di forma	$s_c$	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
fattore di forma	$s_q$	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
fattore di forma	$s_\gamma$	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
fattore di profondità	$d_c$	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
fattore di profondità	$d_q$	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
fattore di profondità	$d_\gamma$	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
fattore di inclinazione pc	$g_c$	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
fattore di inclinazione pc	$g_q$	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
fattore di inclinazione pc	$g_\gamma$	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
fattore di riduzione sismico	$h_c$	-	0,941	0,934	0,941	0,941	0,934	0,941	0,941	0,934	0,941
fattore di riduzione sismico	$h_q$	-	0,976	0,977	0,976	0,976	0,977	0,976	0,976	0,977	0,976
fattore di riduzione sismico	$h_\gamma$	-	0,966	0,968	0,966	0,966	0,968	0,966	0,966	0,968	0,966
capacità portante ultima slv	$Q_{ult}$	kPa	89	39	89	112	49	112	134	59	134
<b>capacità portante amm. slv</b>	<b><math>Q_{amm}</math></b>	<b>kPa</b>	<b>85</b>	<b>20</b>	<b>35</b>	<b>110</b>	<b>25</b>	<b>45</b>	<b>130</b>	<b>30</b>	<b>55</b>
<b>carico max di progetto (**)</b>	<b><math>E_d</math></b>	<b>kN</b>	<b>1020</b>	<b>240</b>	<b>420</b>	<b>1650</b>	<b>370</b>	<b>670</b>	<b>2340</b>	<b>540</b>	<b>990</b>
resistenza di progetto	$R_d$	kN	1020	240	420	1650	370	670	2340	540	990
verifica	$R_d \geq E_d$		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok

(\*\*= carico calcolato applicando alle azioni i coefficienti parziali  $A_x$  previsti dall'approccio considerato, su fondazioni di larghezza effettiva B e larghezza ridotta  $B_r$ , tenuto conto dei valori di eccentricità del carico)

## CEDIMENTO SCHMERTMANN TRAVE

Il cedimento è stato calcolato con il metodo di Schmertmann.

Per ogni larghezza di fondazione sono stati ipotizzati 3 carichi crescenti.

Per affinare il calcolo, il sottosuolo è stato diviso in 5 strati omogenei per caratteristiche elastiche.

La larghezza della fondazione è da intendersi come larghezza reale.

Il coefficiente di Winkler è stato calcolato a ritroso sulla base della coppia di valori carico / cedimento di ogni ipotesi.

DATI DI INPUT			b1			b2			b3		
			q1	q2	q3	q1	q2	q3	q1	q2	q3
larghezza della fondazione	B	m	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00	1,20	1,20	1,20
carico lordo sulla fondazione	q	kPa	100	100	100	120	120	120	140	140	140
profondità della fondazione	Zf	m	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
pressione efficace base fond.	$\sigma'_{vf}$	kPa	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
tempo di calcolo	Tc	anni	50	50	50	50	50	50	50	50	50
DATI DI OUTPUT											
spessore relativo degli strati	D/B	-	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
carico netto sulla fondazione	$\Delta q$	kPa	40,0	40,0	40,0	60,0	60,0	60,0	80,0	80,0	80,0
fattore di correzione profondità	C1	-	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,63	0,63	0,63
fattore di correzione creep	C2	-	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
fattore influenza massimo	lmax	-	0,58	0,58	0,58	0,60	0,60	0,60	0,62	0,62	0,62
fattore di correzione per lf	Fc	-	1,16	1,16	1,16	1,20	1,20	1,20	1,23	1,23	1,23
spessore assoluto degli strati	D	m	2,40	2,40	2,40	3,00	3,00	3,00	3,60	3,60	3,60
S1 profondità limite sup.	Zmin	m	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
S1 profondità limite inf.	Zmax	m	5,90	5,90	5,90	6,50	6,50	6,50	7,10	7,10	7,10
S1 modulo alla prof med.	E	MPa	24	24	24	24	24	24	24	24	24
S1 coefficiente di influenza	lf	-	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
S1 cedimento dello strato	Si	mm	1,1	1,1	1,1	2,2	2,2	2,2	4,5	4,5	4,5
S2 profondità limite sup.	Zmin	m	5,90	5,90	5,90	6,50	6,50	6,50	7,10	7,10	7,10
S2 profondità limite inf.	Zmax	m	8,30	8,30	8,30	9,50	9,50	9,50	10,70	10,70	10,70
S2 modulo alla prof med.	E	MPa	32	32	32	32	32	32	32	32	32
S2 coefficiente di influenza	lf	-	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
S2 cedimento dello strato	Si	mm	0,8	0,8	0,8	1,5	1,5	1,5	3,0	3,0	3,0
S3 profondità limite sup.	Zmin	m	8,30	8,30	8,30	9,50	9,50	9,50	10,70	10,70	10,70
S3 profondità limite inf.	Zmax	m	10,70	10,70	10,70	12,50	12,50	12,50	14,30	14,30	14,30
S3 modulo alla prof med.	E	MPa	32	32	32	32	32	32	32	32	32
S3 coefficiente di influenza	lf	-	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
S3 cedimento dello strato	Si	mm	0,8	0,8	0,8	1,6	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2
S4 profondità limite sup.	Zmin	m	10,70	10,70	10,70	12,50	12,50	12,50	14,30	14,30	14,30
S4 profondità limite inf.	Zmax	m	13,10	13,10	13,10	15,50	15,50	15,50	17,90	17,90	17,90
S4 modulo alla prof med.	E	MPa	32	32	32	32	32	32	32	32	32
S4 coefficiente di influenza	lf	-	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
S4 cedimento dello strato	Si	mm	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	2,1	2,1	2,1
S5 profondità limite sup.	Zmin	m	13,10	13,10	13,10	15,50	15,50	15,50	17,90	17,90	17,90
S5 profondità limite inf.	Zmax	m	15,50	15,50	15,50	18,50	18,50	18,50	21,50	21,50	21,50
S5 modulo alla prof med.	E	MPa	32	32	32	32	32	32	32	32	32
S5 coefficiente di influenza	lf	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
S5 cedimento dello strato	Si	mm	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	1,6	1,6	1,6
<b>cedimento totale</b>	<b>S</b>	<b>mm</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>14</b>
modulo winkler teorico	kw	kg/cm3	2,7	2,7	2,7	1,7	1,7	1,7	1,0	1,0	1,0

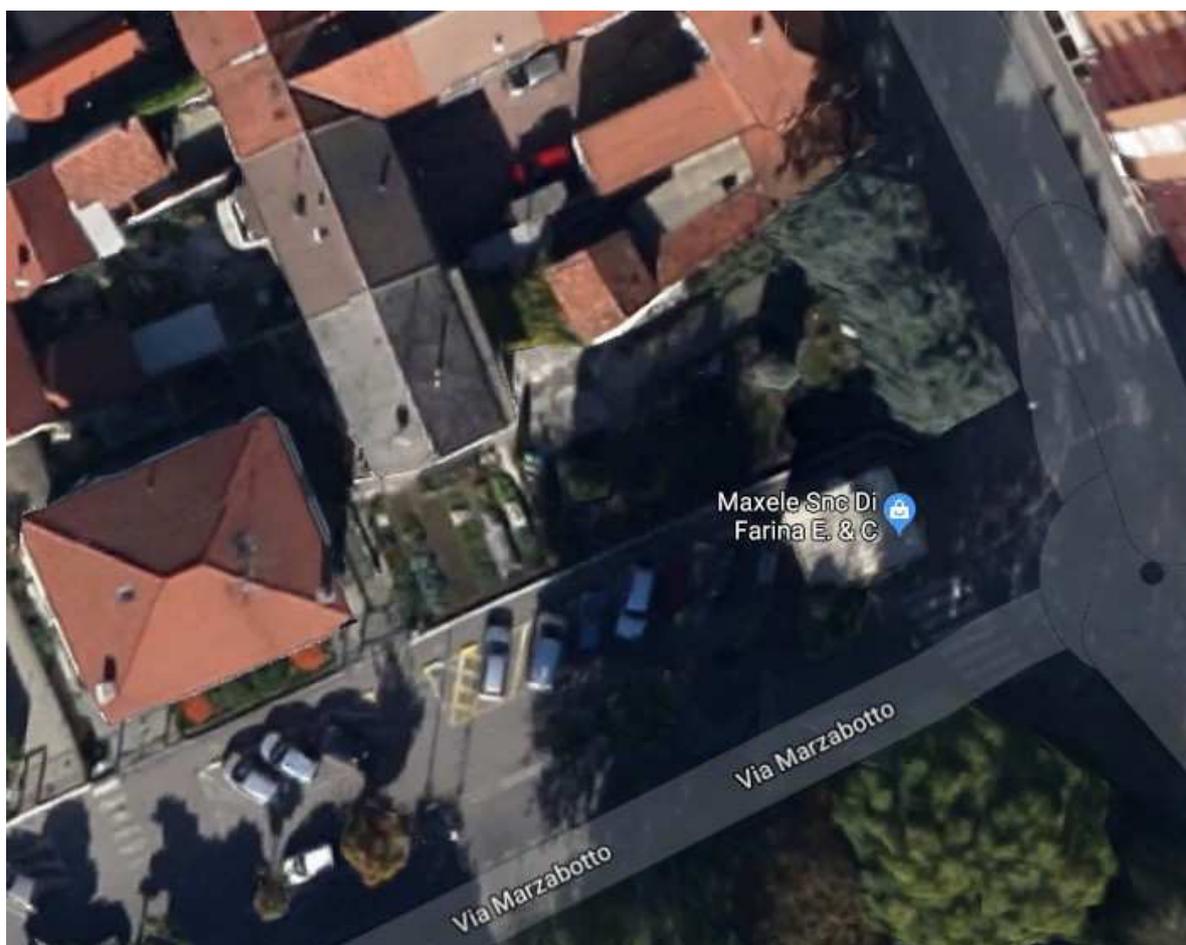


Via Liguria 1 – 20900 Monza  
 Telefono e fax 039 837656  
[geotecnoindagini@pec.it](mailto:geotecnoindagini@pec.it)

**Dott. Geol. Riccardo Cortiana**  
[r.cortiana@geotecnoindagini.it](mailto:r.cortiana@geotecnoindagini.it)

**Dott. Geol. Filippo Valentini**  
[f.valentini@geotecnoindagini.it](mailto:f.valentini@geotecnoindagini.it)

**POLO SERVICE S.r.l.**



**RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA PER LA REALIZZAZIONE  
 DI UN NUOVO EDIFICIO RESIDENZIALE IN VIA BATTISTI ANGOLO VIA  
 MARZABOTTO NEL COMUNE DI PADERNO DUGNANO (MI)**

*Monza gennaio 2018*

A cura di: Dott. Geol. R. Cortiana  
 Dott. Geol. F. Valentini

## INDICE

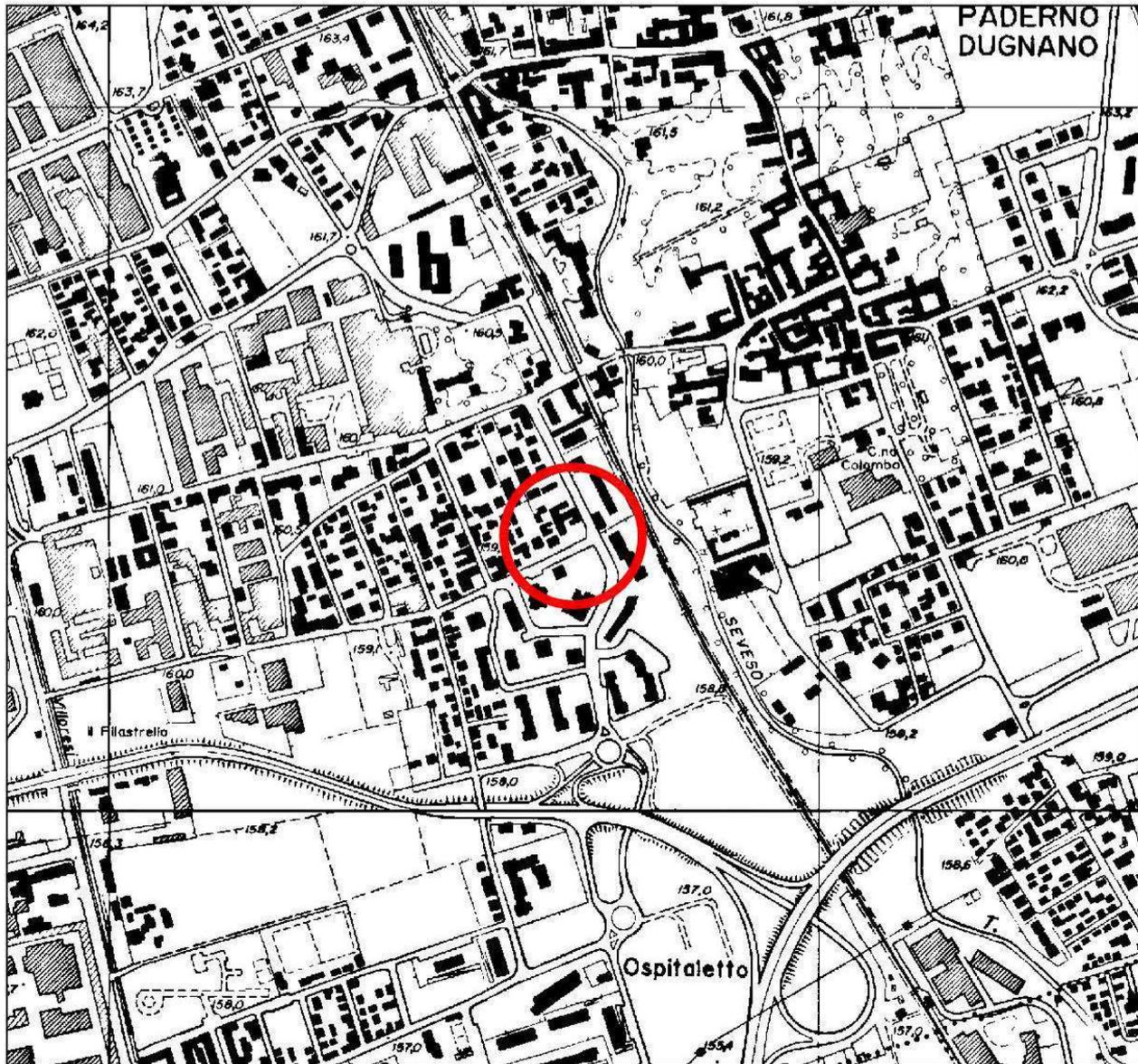
1.	PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO .....	3
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO .....	6
3.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	7
4.	INQUADRAMENTO SISMICO .....	8
5.	INDAGINE SISMICA .....	16
6.	ANALISI RISCHIO SISMICO .....	18
7.	INDAGINE GEOGNOSTICA .....	19
8.	PARAMETRI GEOTECNICI .....	20
9.	CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI SOTTOFONDO E DEI CEDIMENTI PREVEDIBILI .....	21
10.	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE.....	26
11.	CONCLUSIONI .....	27

## ALLEGATI

- UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE
- GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE
- PROVA SISMICA MASW

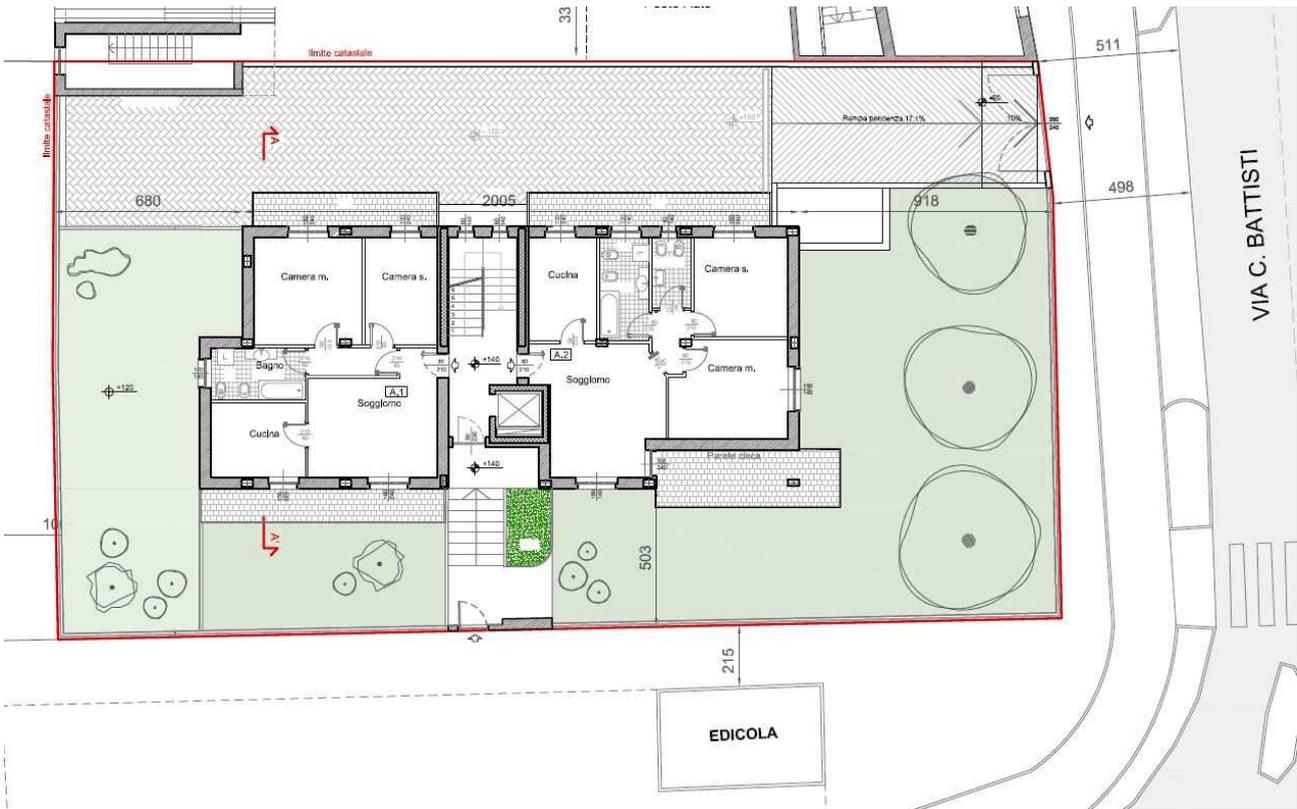
## 1. PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

La presente relazione, redatta su incarico della POLO SERVICE S.r.l., illustra una campagna di indagini geognostiche eseguita in un'area posta in via Battisti angolo Via Marzabotto nel comune di Paderno Dugnano (MI) in previsione della realizzazione di un nuovo edificio residenziale.



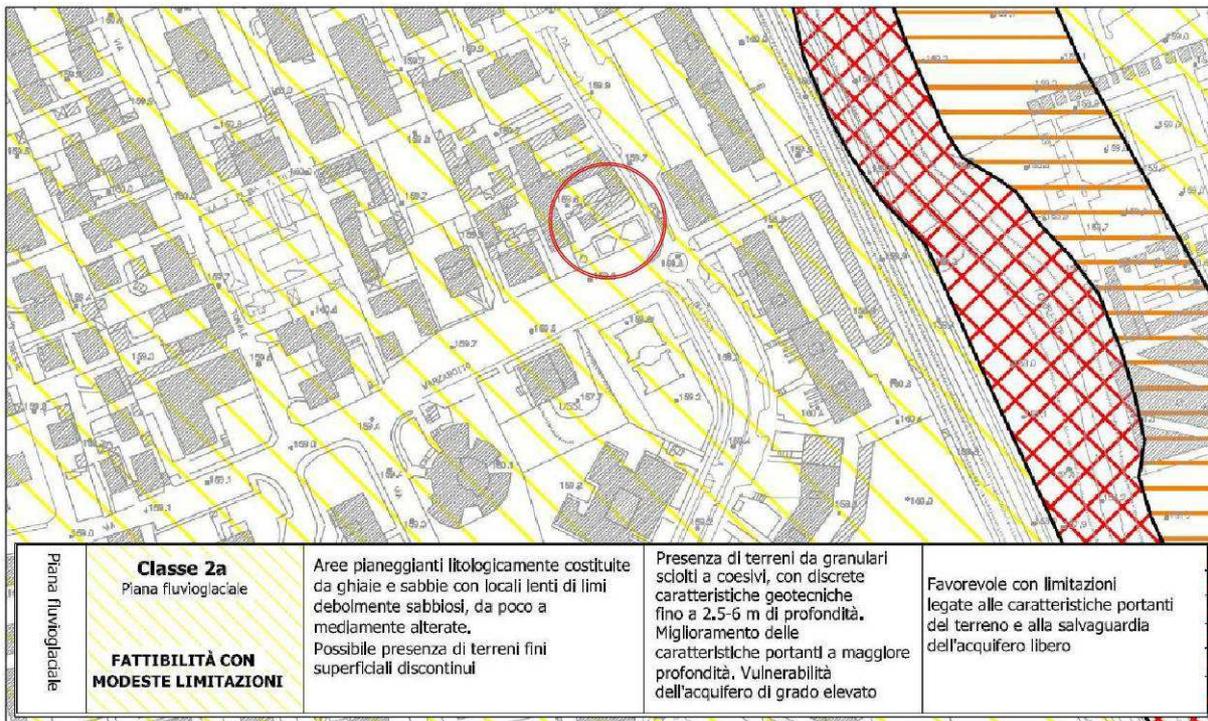
Corografia area di studio (estratta da Carta Tecnica Regionale)

Nell'area in esame è prevista la realizzazione di un nuovo edificio che sarà dotato di un piano interrato e di tre piani fuori terra. Le nuove strutture di fondazione saranno pertanto impostate ad una profondità di circa 3.50 m da piano campagna.



Planimetria fondazioni intervento in progetto

Secondo la carta della fattibilità geologica, allegata alla componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T vigente del comune di Paderno Dugnano l'area in esame ricade nella **classe 2** ovvero *fattibilità con modeste limitazioni*, e in particolare nella *sottoclasse 2A, aree pianeggianti litologicamente costituite ghiaie e sabbie con locali lenti di limi debolmente sabbiosi, da poco a mediamente alterati.*



Estratto Carta della fattibilità allegata al PGT

Scopo della presente relazione è verificare la fattibilità, per quanto attiene le problematiche geologico-tecniche ed idrogeologiche, del nuovo intervento in progetto: si tratta in sostanza di verificare, con maggiore puntualità rispetto alle indicazioni generali dettate dalla perizia geologica a supporto del P.G.T. vigente, ed in ottemperanza delle prescrizioni dettate dalla perizia stessa, la fattibilità dell'intervento in oggetto.

Nel mese di gennaio 2018 è stata pertanto effettuata un'analisi accurata dell'area con esecuzione di 3 prove penetrometriche di tipo dinamico (S.C.P.T.). Successivamente all'indagine fornimmo al progettista dei c.a. le indicazioni per la realizzazione delle fondazioni dell'intervento in progetto.

E' stata inoltre condotta un'indagine sismica consistita nell'esecuzione di una prova MASW al fine di ottenere l'identificazione della categoria di sottosuolo dell'area in esame così come definito dal capitolo C.3.2.2 della circolare n° 617/2009 *Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008*.

La seguente relazione è stata redatta, ai sensi delle nuove NTC (D.M. 14/01/2008) e della Circ. 617/09, sulla base dei risultati delle suddette indagini.

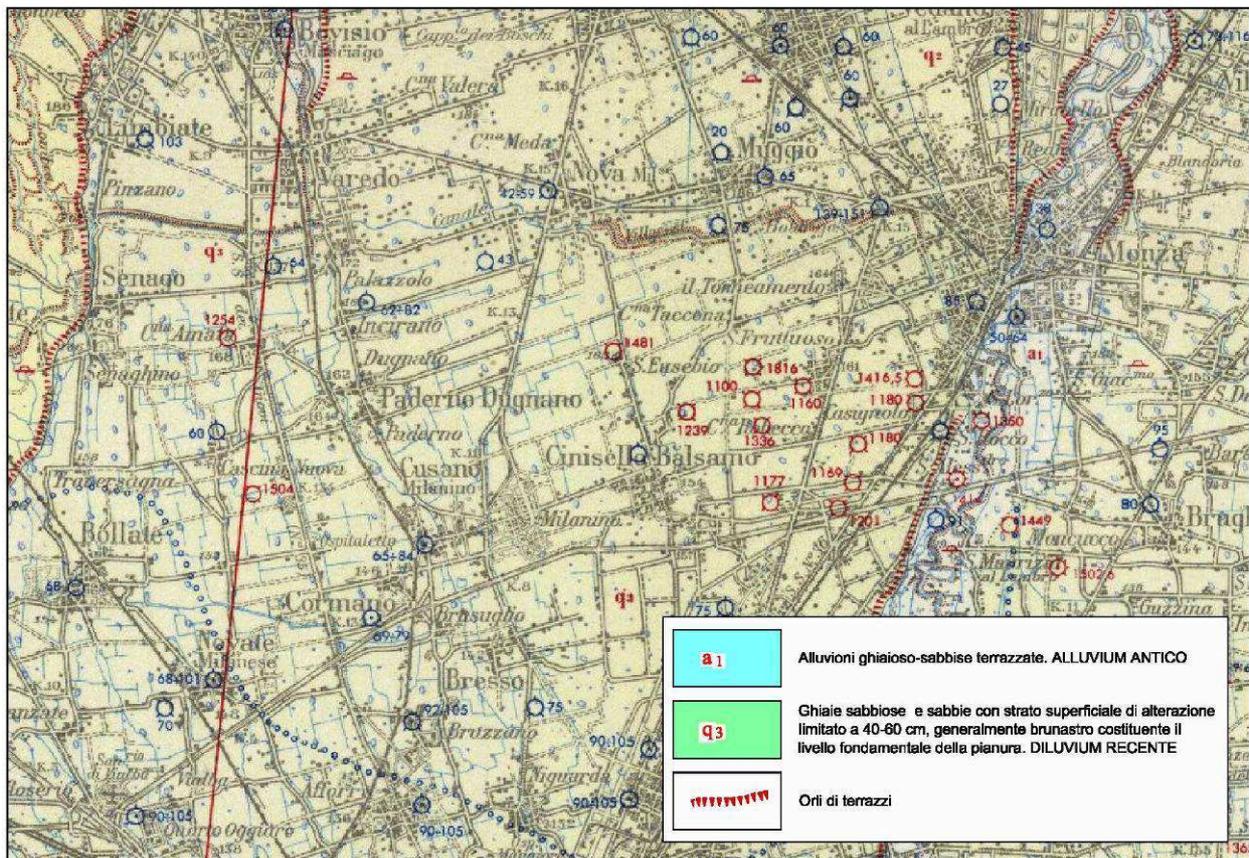
## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO

L'area lombarda ha subito le più importanti trasformazioni in un'epoca geologicamente recente, dal Miocene Superiore in poi, quando hanno avuto inizio intense fasi erosive culminate con la genesi di profondi canyons scavati allo sbocco nella Pianura Padana dai corpi glaciali che percorrevano le vallate alpine. Ciò è avvenuto in concomitanza con l'alternanza di episodi di trasgressione e regressione marina che si sono succeduti in questo periodo; tale fase è durata fino a tutto il Pleistocene Inferiore.

Con il Pleistocene Superiore si è avuta la sedimentazione di depositi di origine glaciale e fluvioglaciale apportati dai corpi glaciali provenienti dalla catena alpina; si è così formata una spessa coltre di sedimenti di origine glaciale (nelle aree pedemontane) e fluvioglaciale ed alluvionale (nelle aree di pianura).

In seguito si è assistito ad un susseguirsi di cicli di erosione e di deposito corrispondenti ad un'alternanza di fasi glaciali (Mindel, Riss e Würm) e interglaciali che si sono succedute fino ai giorni nostri; questo ha dato origine ad una tipica morfologia a cordoni morenici (visibili nella zona dell'alta pianura lombarda) e a terrazzi (visibile nella media e bassa pianura lombarda).

Nell'area in esame i depositi fluvioglaciali e alluvionali formano una coltre dello spessore di alcune centinaia di metri e sono costituiti da ghiaie e sabbie con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose; frequenti sono i ciottoli di dimensioni centimetriche, generalmente con un grado elevato di arrotondamento.



Stralcio della Carta Geolitologica della Brianza

L'area in esame, come si osserva dalla Carta Geologica d'Italia (Foglio 45 Milano) in scala 1:100.000, dalla Carta Geologica della Lombardia in scala 1:250.000 e da pubblicazioni specifiche (in allegato si riporta uno stralcio della Carta Geolitologica della Brianza tra il T. Seveso e il T. Molgora), è caratterizzato dalla presenza di depositi fluvioglaciali appartenenti al cosiddetto DILUVIUM RECENTE (Fluvioglaciale).

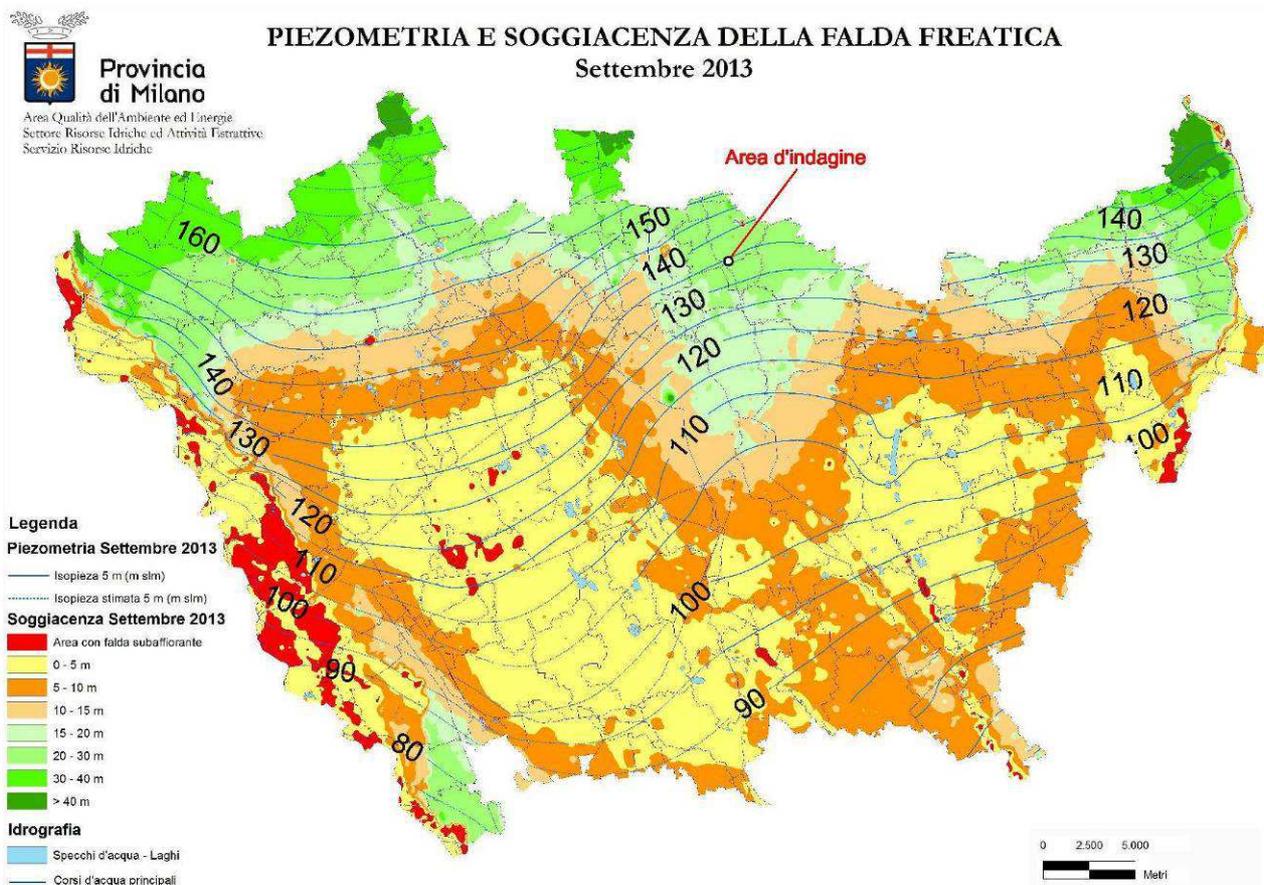
### DILUVIUM RECENTE

L'unità fluvioglaciale Würm è litologicamente costituita da sedimenti ghiaiososabbiosi, talvolta con lenti limose o argilloso-limose, che generalmente mostrano caratteristiche d'addensamento discrete. Sono presenti, alle volte, intercalazioni di livelli conglomeratici che raggiungono spessori anche considerevoli e che sono però caratterizzati da una notevole variabilità sia laterale che orizzontale.

### 3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dai dati reperiti presso il SIF (Sistema Informativo Falda) della Provincia di Milano si evince che la quota della superficie freatica nell'area di studio è posta ad una profondità superiore a 20 m rispetto alla quota di piano campagna (vedasi carta della soggiacenza sotto riportata); nella zona considerata quindi non si hanno problemi legati alla presenza di acqua di falda freatica.

In quest'area del territorio comunale di Paderno Dugnano le linee isopiezometriche (linee di eguale quota della superficie freatica sul livello del mare) relative alla falda freatica assumono generalmente una direzione OSO-ENE ed hanno una quota media dell'ordine di 138.0 m s.l.m. (si veda carta della piezometria sotto riportata); direzione di flusso della falda freatica con andamento circa NNE-SSO e gradiente idraulico pari a circa 6‰.



*Estratto della Carta della soggiacenza e della piezometria della falda freatica*

## 4. INQUADRAMENTO SISMICO

Le azioni sismiche attese in un certo sito si prevedono, su base probabilistica, tramite la pericolosità sismica che è funzione delle caratteristiche di sismicità regionali e del potenziale sismogenetico delle sorgenti sismiche; la valutazione della pericolosità sismica porta poi alla valutazione del rischio sismico di un sito in termini di danni attesi a cose e persone come prodotto degli effetti di un evento sismico.

La pericolosità sismica valutata all'interno di un sito deve essere stimata come l'accelerazione orizzontale massima al suolo in un dato periodo di tempo, definendo i requisiti progettuali antisismici per le nuove costruzioni nel sito stesso.

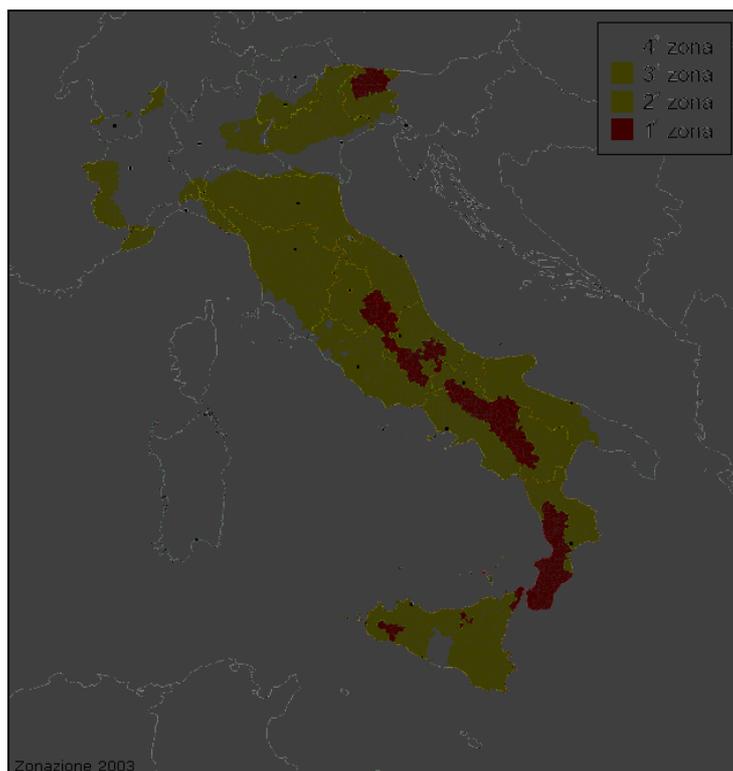
### 4.1 Classificazione nazionale

#### OPCM 20 marzo 2003

Sulla base del documento *Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale* elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito dalla Commissione Naz. Di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi (23 aprile 1997) e successive precisazioni, sono state individuate in tutto il territorio nazionale 4 zone sismiche, secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. La valutazione di  $a_g$  è stata calcolata con metodologie internazionali aggiornate periodicamente con procedure trasparenti e riproducibili.

La zonizzazione sismica dell'intero territorio nazionale è stata effettuata secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/03 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'8/05/03 Supplemento Ordinario n. 72: *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

- ✓ Allegato 1 - *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*
- ✓ Allegato 2 - *Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici*
- ✓ Allegato 3 - *Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti*
- ✓ Allegato 4 - *Norme tecniche per il progetto sismico di opere di fondazioni e di sostegno dei terreni.*



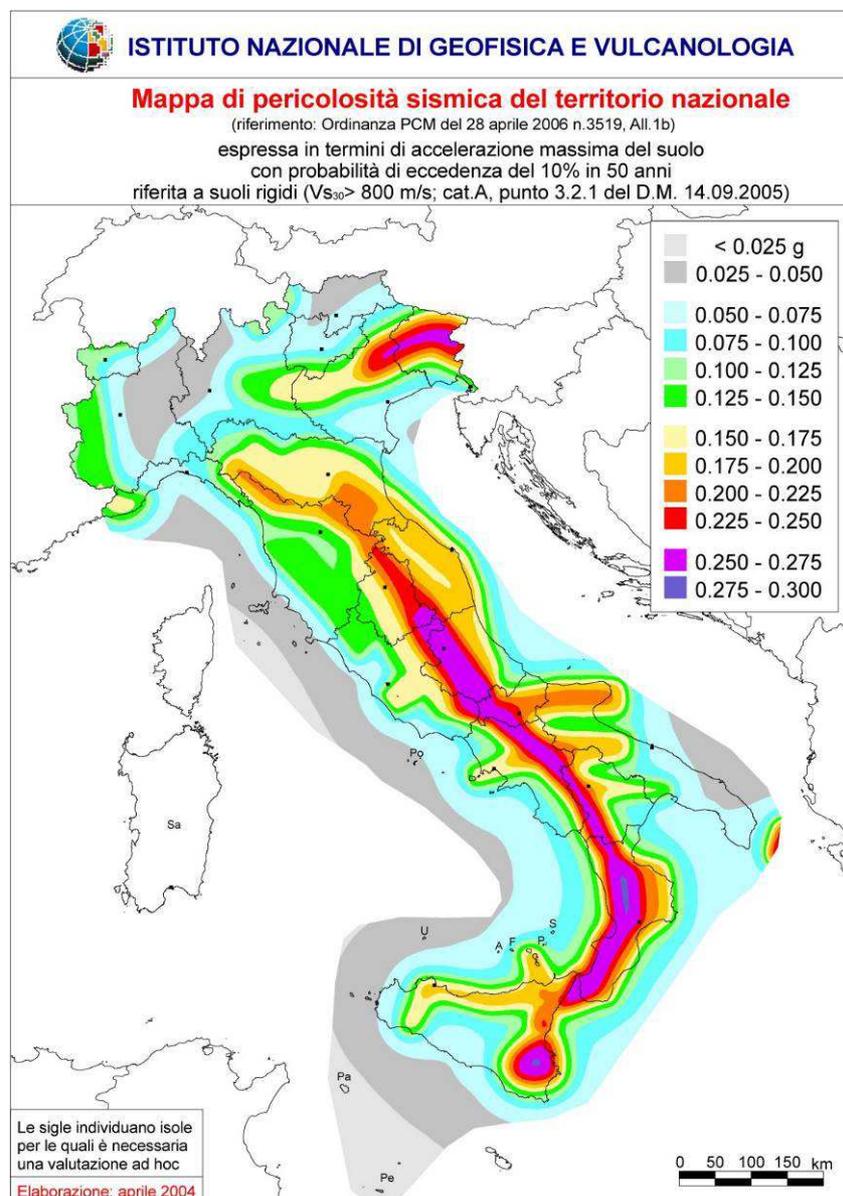
Secondo questa zonizzazione (vedasi figura di seguito riportata) il comune di Paderno Dugnano si trova in **zona 4** (colore verde), cioè nella zona, tra quelle individuate, di minor rischio sismico.

#### OPCM 28 aprile 2006

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28/04/06 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'11/05/06 Serie Generale Anno 147° - n. 108 (*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*) adotta come riferimento ufficiale una nuova mappa di pericolosità sismica e definisce i criteri generali per la classificazione delle zone sismiche. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

- ❖ Allegato 1A - *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*
- ❖ Allegato 1B - *Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.*

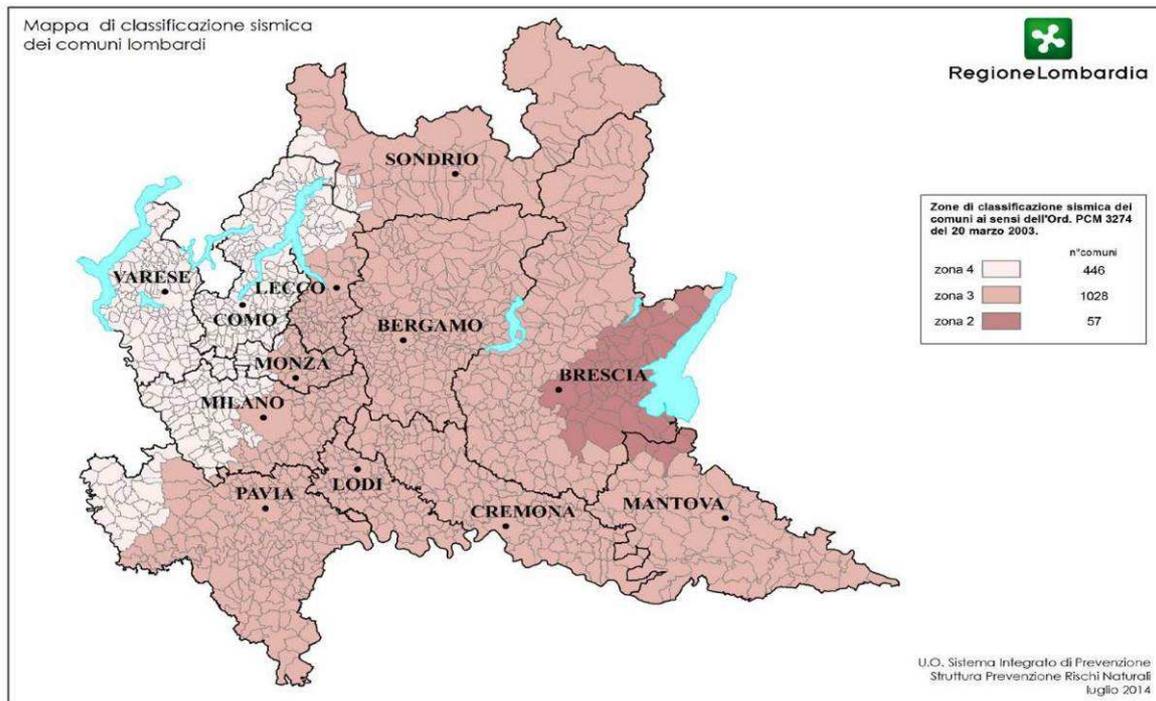
La mappa, riportata nell'Allegato 1B (vedasi figura di seguito riportata), rappresenta graficamente la pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{S30} > 800$  m/s.



## 4.2 Classificazione regionale

### D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129

La Regione Lombardia con D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129 *Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia* (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) e pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione in data 16 luglio 2014 ha provveduto alla nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia così come previsto dall'ordinanza **O.P.C.M. 3519/06** "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".



Secondo la classificazione vigente il comune di Paderno Dugnano si trova in zona 4 caratterizzata da una  $Ag_{Max}$  pari a 0,049194.

## 4.3 Progettazione antisismica

### D.M. 14 gennaio 2008

Dal 1° luglio 2009 la progettazione antisismica in Italia è regolata dal D.M. 14/01/08 per tutte le zone sismiche e per tutte le tipologie di edifici.

Il D.M. 14 gennaio 2008 (*Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*), pubblicato sulla G.U. n. 29 del 04/02/08, in vigore dal 5 marzo 2008, sostituisce il precedente D.M. 14 settembre 2005, fatto salvo il periodo di monitoraggio di 18 mesi di cui al comma 1 dell'art. 20 della L. 28 febbraio 2008, n. 31.

Queste nuove Norme Tecniche per la Costruzioni definiscono i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 (*Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale*); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini di accelerazione del suolo  $a_g$  e di forma dello spettro di risposta. Costituiscono parte integrante del decreto:

- Allegato A - *Pericolosità sismica*
- Allegato B - *Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica.*

Diversamente dalla precedente normativa l'azione sismica non viene più valutata riferendosi ad una zona sismica (territorialmente coincidente con più entità amministrative), ad un'unica forma spettrale e ad un

periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni, ma viene valutata sito per sito e costruzione per costruzione.

Secondo l'allegato A l'azione sismica sulle costruzioni viene valutata a partire da una pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido (categoria di sottosuolo A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1).

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta con sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; i risultati dello studio di pericolosità devono essere forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata in funzione delle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo e morfologiche della superficie; tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

### Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo indicate nella tabella 3.2.II, di cui al punto 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*, capitolo 3 *Azioni sulle costruzioni* del D.M. 14/01/2008.

Sono state definite cinque classi di terreni (A, B, C, D, E) identificabili in base ai valori della velocità equivalente  $V_{S,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. In mancanza di misure di  $V_s$ , l'identificazione della categoria di sottosuolo può essere effettuata sulla base dei valori di altre grandezze geotecniche, quali il numero dei colpi della prova penetrometrica dinamica ( $N_{SPT}$ ) per depositi di terreni prevalentemente a grana grossa e la resistenza non drenata ( $c_u$ ) per depositi di terreni prevalentemente a grana fine.

In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti le categorie di sottosuolo di riferimento:

- A** *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{S30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
- B** *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- C** *Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- D** *Depositati di terreni grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30} < 180$  m/s (ovvero  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).
- E** *Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con  $V_s > 800$  m/s).

La classificazione è effettuata sulla base del parametro  $V_{S,30}$  che rappresenta la velocità delle onde di taglio S riferita a 30 m di profondità e calcolata utilizzando la seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (NTC):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

### Condizioni topografiche

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione, di cui al punto 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante pendii e rilievi con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. L'area di esame presenta configurazioni superficiali semplici, pertanto è possibile adottare la classificazione riportata in tabella 3.2.IV.

Sulla base dei dati topografici disponibili (riportati in cartografia), l'area rientra mediamente nella categoria **T1** ovvero *Superficie pianeggiante, con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* .

### D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003

La Regione Lombardia con D.G.R. n. 14964 del 7/11/03 prende atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata ordinanza 3274/03 ed impone l'obbligo della progettazione antisismica per i comuni che ricadono in zona 2, zona 3 ed in zona 4 esclusivamente per gli edifici strategici e rilevanti, così come individuati dal D.D.U.O. n. 19904 del 21/11/03.

### D.G.R. n IX/2616 del 30 novembre 2011

Per l'analisi della pericolosità sismica dell'area in esame si è fatto riferimento all'Allegato 5 (*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*)

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando $F_a$ calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando $F_a$ calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Tale allegato illustra la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale che prevede tre livelli di approfondimento, di seguito sintetizzati:

1° livello, riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).

2° livello, caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima di risposta sismica nei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa)

3° livello, definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini e analisi più approfondite.

*Il primo livello è obbligatorio per tutti i comuni.*

*riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).*

*Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti*

*Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti (a scala 1:10.000 e 1:2.000) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.). Perciò, salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito degli studi di 1° livello non sono necessarie nuove indagini geotecniche.*

*Lo studio consiste nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1:10.000 – 1:2.000 rappresentata dalla:*

- carta geologica con le relative sezioni, in cui viene rappresentato il modello geologico e tettonico dell'area, le formazioni, le discontinuità e i lineamenti tettonici in essa presenti;*
- carta geomorfologica, in cui vengono distinte le varie forme e i processi (dinamica dei versanti, dinamica fluviale, etc.) in atto, quiescenti o relitti presenti nell'area in esame;*
- carta della pericolosità sismica locale (PSL), derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle situazioni tipo Z1, Z2, Z4 e gli elementi lineari delle situazioni tipo Z3, Z5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (Tabella 1). In particolare per lo scenario Z3a si evidenzierà il ciglio della scarpata, per lo scenario Z3b la linea di cresta sommitale e per lo scenario Z5 il limite di contatto tra i litotipi individuati. Gli scenari Z1 e Z2 nell'analisi di 1° livello sono evidenziati sulla base del fenomeno prioritario che li caratterizza, quali fenomeni di instabilità e liquefazione e/o cedimenti: si sottolinea che le prescrizioni da assegnare a questi scenari in fase di pianificazione riguardano, oltre al fenomeno prioritario, anche i fenomeni di possibile amplificazione sismica che dovranno essere valutati in fase di progettazione sulla base degli interventi adottati per risolvere le problematiche prioritarie.*

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

TABELLA 1 – SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

In riferimento alle diverse situazioni tipo, riportate nella suddetta tabella, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale – PSL) si effettua l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e conseguentemente dei successivi livelli di approfondimento necessari.

All'interno delle aree classificate come scenario Z1 o Z2 non è necessario realizzare l'analisi di 2° livello ma si passa immediatamente all'analisi di 3° livello.

All'interno delle aree classificate come scenario Z3 o Z4, si potrà realizzare (nei casi sotto riportati) l'analisi di 2° livello e, conseguentemente ai suoi risultati, si potrà realizzare (dove necessario) l'analisi di 3° livello in fase progettuale.

Lungo le aree classificate come scenario Z5 non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzione a cavallo dei due litotipi; in fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.

Il secondo livello è obbligatorio in fase pianificatoria:

consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa).

L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Il secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1° livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato, negli scenari PSL Z3 e Z4, nel caso di costruzione di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

*Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2 della Tabella 1 dell'Allegato 5) non è prevista l'applicazione degli studi di 2<sup>a</sup> livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3<sup>a</sup> livello, come specificato al punto successivo.*

*Non è necessaria la valutazione quantitativa al 3<sup>a</sup> livello di approfondimento dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo. Nell'impossibilità di ottenere tale condizione, si dovranno prevedere opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.*

*Il terzo livello è obbligatorio in fase progettuale:*

*Consiste nella definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Al fine di poter effettuare le analisi di 3<sup>a</sup> livello la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati, rese disponibili sul Geoportale della Regione Lombardia, il cui utilizzo è dettagliato nell'allegato 5.*

*Tale livello si applica in fase progettuale nei seguenti casi:*

- quando, a seguito dell'applicazione del 2<sup>a</sup> livello, si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale all'interno degli scenari PSL caratterizzati da effetti di amplificazioni morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5);*
- in presenza di aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1e Z2), nelle zone sismiche 2 e 3 per tutte le tipologie di edifici, mentre in zona sismica 4 nel caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.*

## 5. INDAGINE SISMICA

### 5.1 Prova MASW

L'indagine sismica è stata realizzata per determinare le proprietà fisiche del sottosuolo e le caratteristiche dinamiche del litotipo da indagare, attraverso la determinazione di un modello di distribuzione di velocità di propagazione delle onde Sh nel sottosuolo.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh (onde Sh), che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase.

Nel metodo di indagine MASW le onde superficiali generate in un punto della superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Attraverso questo metodo si ottiene un grafico (curva di dispersione) che descrive l'andamento delle velocità di fase in funzione delle frequenze nel range compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi si ottengono informazioni sulla parte superficiale del suolo, sui primi 30-50 m di profondità, in funzione della rigidità del suolo.

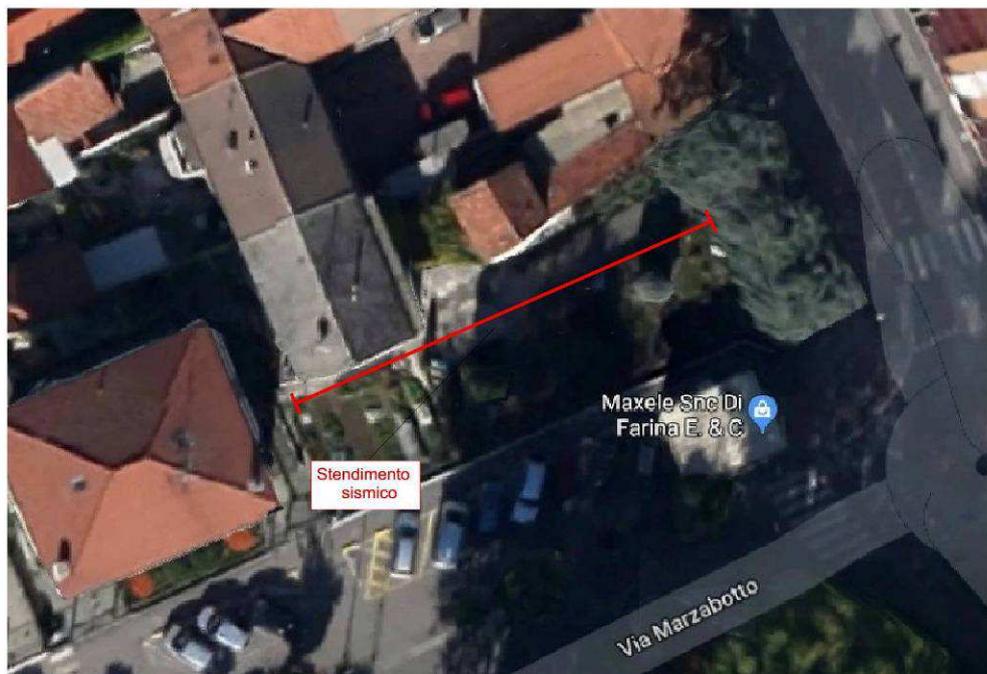
Il metodo MASW consiste in tre fasi:

1. calcolo della curva di dispersione apparente sperimentale
2. calcolo della curva di dispersione apparente numerica
3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs.

Mediante l'analisi delle onde di Rayleigh viene determinato il parametro  $V_{s30}$ , che rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S nei primi 30 m di profondità.

### 5.2 Indagine in sito

L'analisi delle onde superficiali nell'area di studio è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 2.0 m.



Ubicazione stendimento sismico

Sono stati utilizzati 15 geofoni da 4.5 Hz e un sismografo a 24 bit (EEG BR24) in modo da ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, mentre come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza di 6 kg battente su un piattello metallico. La sorgente è stata posta ad una distanza di 6 m dal primo geofono (Optimum Field Parameters of an MASW Survey”, Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).



Stendimento sismico

### 5.3 Elaborazione dei dati

La procedura di elaborazione adottata per la classificazione dei profili del suolo di fondazione ha utilizzato la tecnica sopra descritta utilizzando un software specifico.

La prima fase consiste nell'elaborazione di tutte le registrazioni acquisite tramite l'analisi spettrale dei singoli sismogrammi allo scopo di ottenere lo spettro del segnale di velocità sismica in funzione della frequenza. Successivamente si seleziona lo spettro dal quale viene estrapolata la curva di attenuazione del segnale (curva di dispersione) dalla quale tramite una procedura di inversione si risale al modello stratigrafico in termini di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) da cui il valore relativo ai primi 30 m di sottosuolo ( $V_{s,30}$ ). Per l'elaborazione del profilo sismico vedasi anche grafici allegati.

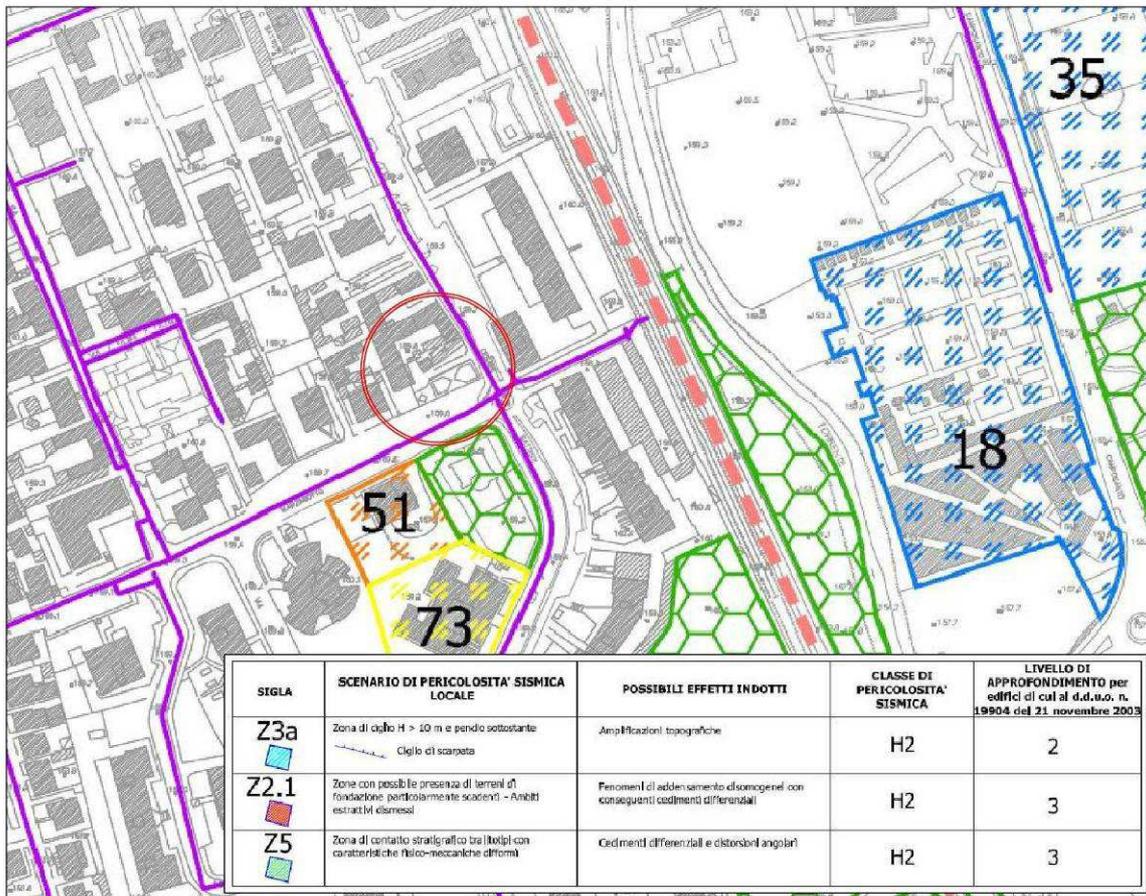
Il valore del parametro  $V_{s,30}$ , necessario ai fini della caratterizzazione sismica del sito, è quindi risultato:

$$V_{s,30} = 336 \text{ m/s}$$

Il valore di  $V_{s,30}$  così ricavato consente di classificare l'area in esame nella *categoria di sottosuolo C*, mentre la morfologia sub-pianeggiante, facendo riferimento alla tabella riportata nei paragrafi precedenti, l'inserisce nella *categoria topografica T1*.

## 6. ANALISI RISCHIO SISMICO

### 6.1 Analisi di I livello



Carta della Pericolosità Sismica Locale allegata al PGT vigente del comune di Paderno Dugnano

Secondo la Carta di PSL allegata al PGT vigente del comune di Paderno Dugnano, nell'area in esame non è presente alcun scenario di pericolosità sismica locale.

L'area in esame ricade in zona sismica 4 pertanto non è obbligatorio realizzare l'analisi di secondo livello.

## 7. INDAGINE GEOGNOSTICA

L'indagine geognostica di campagna è stata condotta mediante l'esecuzione di 3 prove penetrometriche dinamiche continue S.C.P.T.

Le indagini sono state eseguite con penetrometro Pagani TG63-200 avente le seguenti caratteristiche:

peso del maglio	73	kg
altezza di caduta	75	cm
angolo al vertice della punta conica	60	°
diametro del cono	51	mm
peso delle aste	6.31	kg/ml



*Penetrometro utilizzato*

L'ubicazione delle prove eseguite è riportata nella planimetria schematica allegata. La distribuzione dei punti di prova, parzialmente ostacolata dall'edificio esistente, garantisce una corretta ricostruzione stratigrafica dell'area in esame.

Le verticali d'indagine sono state interrotte alle quote indicate nella tabella sottostante per la presenza di livelli particolarmente resistenti alla penetrazione dinamica.

Prova penetrometrica	Profondità (m)
1	6.3
2	5.4
3	5.7

Durante l'esecuzione delle verticali d'indagine non è stata riscontrata la presenza di acqua di falda, a conferma dei dati idrogeologici in nostro possesso.

## 8. PARAMETRI GEOTECNICI

Sulla base del grado di addensamento rilevato nel corso delle indagini, possono essere riconosciute le seguenti litozone:

- LITAZONA A: grado di addensamento basso con caratteristiche geotecniche modeste ( $N_{scpt} < 5$ )
- LITAZONA B: grado di addensamento da modesto a discreto con caratteristiche geotecniche discrete ( $5 < N_{scpt} < 10$ )
- LITAZONA C: grado di addensamento medio-alto con caratteristiche geotecniche da discrete a buone ( $N_{scpt} > 15$ )

Il terreno è stato suddiviso in litozone in base ai parametri geotecnici medi degli orizzonti attraversati dalle verticali penetrometriche.

**S.C.P.T. 1 – 2 – 3**

Litozona	Profondità (m)	$N_{SCPT}$	$N_{SPT}$	$\gamma$ ( $T/m^3$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )	E ( $kg/cm^2$ )	K's ( $kN/m^3$ )
A	0.0 – 1.2/1.8	2 – 3	4 – 5	1.65 - 1.70	25.5 – 26.5	30 – 75	$5.4 - 8.5 \times 10^3$
B	1.2/1.8 – 3.0/3.3	6 - 8	10 – 14	1.75 – 1.80	29 – 30.5	195 – 270	$16.0 – 24.0 \times 10^3$
C	3.0/3.3 – 6.3	> 15	> 26	> 1.85	> 34.5	> 385	$> 49.5 \times 10^3$

dove:

$N_{SCPT}$  = numero di colpi necessario per ottenere un avanzamento di 30 cm in una prova SCPT

$N_{SPT}$  = numero di colpi SPT correlato

$\gamma$  = peso di volume del terreno ( $T/m^3$ )

$\Phi$  = angolo di attrito del terreno ( $^\circ$ )

E = modulo di deformazione (o di Young) in  $kg/cm^2$

K's = stima del modulo di reazione del sottofondo (o di Winkler) in  $kN/m^3$

Le verticali d'indagine eseguite hanno evidenziato la presenza in superficie di sedimenti dalle modeste caratteristiche geotecniche (litozona A); inferiormente i quali si osserva un orizzonte caratterizzato da un discreto grado di addensamento (litozona B) presente fino alla profondità di 3.3 m da p.c.

Oltre tale quota si è rilevato un ulteriore miglioramento del grado di addensamento dei terreni che hanno determinato il rifiuto alla penetrazione a profondità variabili tra 5.4 e 6.3 metri da p.c..

Durante l'esecuzione delle verticali d'indagine non è stata riscontrata la presenza di acqua di falda, a conferma dei dati idrogeologici in nostro possesso.

## 9. CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI SOTTOFONDO E DEI CEDIMENTI PREVEDIBILI

Secondo le NTC (D.M. 14/01/2008) la sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. In particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- **sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU):** capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera. Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso.
- **sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE):** capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.
- **robustezza nei confronti di azioni eccezionali:** capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Le opere strutturali devono essere verificate:

- per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;
- per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

Le verifiche di sicurezza delle opere devono essere contenute nei documenti di progetto, con riferimento alle prescritte caratteristiche meccaniche dei materiali e alla caratterizzazione geotecnica del terreno, dedotta in base a specifiche indagini.

### 9.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)

Le verifiche di sicurezza per gli stati limite ultimi (SLU) richiedono il rispetto della seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove

$E_d$  è il valore di progetto dell'azione (o dell'effetto delle azioni)

$R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (ovvero la sua capacità portante)

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

ovvero:

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right],$$

con  $\gamma_E = \gamma_F$  e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right].$$

Effetto delle azioni ( $E_d$ ) e resistenza ( $R_d$ ) sono espressi in funzione di:

- azioni di progetto  $\gamma_F F_k$
- parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$
- geometria di progetto  $a_d$ .

L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come  $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ . Nella formulazione della resistenza  $R_d$ , compare esplicitamente un coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione (Combinazione 1) è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione (Combinazione 2) è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

La verifica di stabilità globale in questo caso viene effettuata secondo l'Approccio 2 e sarà quindi effettuata solamente nei confronti dello SLU di tipo geotecnico (GEO) e tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabella 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici, accertando che la condizione  $E_d \leq R_d$  sia soddisfatta.

### Approccio 2: A1+M1+R3

dove:

**A** rappresenta le azioni

**M** rappresenta la resistenza dei materiali (terreno)

**R** rappresenta la resistenza globale del terreno.

#### Azioni (A)

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I (Cap. 6 D.M. 14/01/2008). Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

#### Resistenze (M)

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008);
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008);
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera (Cap. 6 D.M. 14/01/2008).

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r$	1,0	1,0

Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni

Valori caratteristici dei parametri geotecnici

La scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici avviene in due fasi. La prima fase comporta l'identificazione dei parametri geotecnici appropriati ai fini progettuali. Identificati i parametri geotecnici appropriati, la seconda fase del processo decisionale riguarda la valutazione dei valori caratteristici degli stessi parametri.

Nella progettazione geotecnica, in coerenza con gli Eurocodici, la scelta dei valori caratteristici dei parametri deriva da una stima cautelativa del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato.

Nel caso in esame i valori caratteristici vengono ricavati utilizzando la seguente formula:

$$x_k = \bar{x} \pm t_{n-1}^{0.95} \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

dove:

$x_k$  è il valore caratteristico desiderato

$\bar{x}$  (**con barra**), il valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;

$t$  è il valore della distribuzione di student ad n-1 gradi di libertà con probabilità  $u = 95\%$

$s$  è la deviazione standard del campione

$n$  è il numero di dati

Quota imposta fondazioni (m)	Tipo di fondazione	Larghezza fondazione (m)	$\Phi_m$ (°)	$\Phi_k$ (°)	$\gamma_m$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_k$ (T/m <sup>3</sup> )
3.50	Trave rovescia	1.00	35.5	34	1.90	1.85

dove

$\Phi_m$  e  $\gamma_m$  rappresentano i valori medi

$\Phi_k$  e  $\gamma_k$  i valori caratteristici.

Valori di progetto dei parametri geotecnici

Nel calcolo della capacità portante saranno utilizzati i parametri geotecnici di progetto ottenuti dividendo i valori caratteristici per i coefficienti parziali riportati nella colonna M1 (vedasi *Tabella 6.2.II* - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici dei terreni).

Quota imposta fondazioni (m)	Tipo di fondazione	Larghezza fondazione (m)	$\Phi_k$ (°)	$\Phi_d$ (°)	$\gamma_k$ (T/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (T/m <sup>3</sup> )
3.50	Trave rovescia	1.00	34	34	1.85	1.85

dove

$\Phi_d$  e  $\gamma_d$  rappresentano i valori di progetto.

Calcolo della capacità portante

Per il calcolo della capacità portante è stata utilizzata la formula di Meyerhof che, nel caso di carico verticale su un terreno prevalentemente incoerente con angolo di attrito  $\Phi > 10^\circ$ , presenta la seguente espressione:

$$q_{ult} = q N_q S_q d_q + c N_c S_c d_c + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

dove:

$S_c S_q S_\gamma$  sono fattori di forma

$d_c d_q d_\gamma$  sono fattori di profondità

$N_c N_q N_\gamma$  sono fattori di portata

Nel caso in esame il valore della coesione  $c$  è uguale a zero, in quanto si tratta di un terreno a comportamento prevalentemente frizionale, per cui l'espressione della capacità portante si riduce a:

$$q_{ult} = q N_q S_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

Nei calcoli effettuati si è valutata la capacità portante per fondazioni dirette continue del tipo a trave rovescia ( $B$  media = 1.0 m) impostate ad una profondità di circa 3.50 m da p.c..

Introducendo i valori dei parametri geotecnici di progetto nella formula di Meyerhof e tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nella tabella 6.4.1 si ottiene un valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico  $R_d$  pari a **2.95 kg/cm<sup>2</sup>**.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Tabella 6.4.1 - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

Nel prossimo paragrafo si procederà alla verifica delle pressioni di contatto agenti sui terreni di fondazione in termini di cedimenti ammissibili. Tale trattazione viene sviluppata in relazione alla geometria della fondazione e alle caratteristiche geotecniche del terreno in esame, al fine di ottenere il valore di pressione che le nuove opere potranno esercitare sul terreno fondale senza determinare cedimenti superiori ai valori ammissibili per l'opera stessa.

Tale trattazione consentirà di ricavare il valore di pressione allo stato limite d'esercizio.

## 9.2 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)

Per effetto delle azioni trasmesse in fondazione, i terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa. Le componenti verticali degli spostamenti (cedimenti) assumono in genere valori diversi sul piano di posa di un manufatto. Si definisce cedimento differenziale la differenza dei cedimenti tra punti di una stessa fondazione, di fondazioni distinte con sovrastrutture comuni e di fondazioni distinte con sovrastrutture staticamente indipendenti. In base alla evoluzione nel tempo si distinguono i cedimenti immediati e i cedimenti differiti. Questi ultimi sono caratteristici dei terreni a grana fine, poco permeabili, e dei terreni organici. I cedimenti e gli spostamenti delle fondazioni e del terreno circostante possono essere valutati con metodi empirici o analitici. Nel caso di terreni a grana media o grossa, i parametri anzidetti possono essere valutati sulla base dei risultati di indagini geotecniche in sito.

Le verifiche relative alle deformazioni (cedimenti) e agli spostamenti si effettuano adoperando i valori caratteristici dei parametri. Pertanto, si assegnano valori unitari ai coefficienti delle azioni (A) e dei parametri di resistenza (M).

La combinazione delle azioni (SLE, Stato Limite d'Esercizio) da considerare è la Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$N_d = G_1 + G_2 + P + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \Psi_{23}Q_{k3} + \dots$$

dove:

**G<sub>i-esimo</sub>** = azioni permanenti

**P** = precompressione

**Q** = azioni variabili

**Ψ** = coefficienti di combinazione che dipendono dalla natura dell'azione e della categoria dell'edificio.

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. 14/01/008.

In questa fase si è proceduto alla determinazione della pressione massima esercitabile dalle opere di fondazione in progetto sui terreni affinché i cedimenti totali (a 50 anni dalla costruzione) risultino inferiori a 30 mm, (valore di riferimento per strutture in c.a. come quelle in progetto) e affinché i cedimenti differenziali risultino inferiori a 10 mm.

#### Calcolo dei cedimenti

Per il calcolo dei cedimenti dei terreni di fondazione si è fatto riferimento alla relazione di Burland e Burbidge.

$$S = f_s f_h f_t [ \sigma_{vo} B^{0.7} I_c/3 + (q' - \sigma_{vo}) B^{0.7} I_c ]$$

dove:

$f_s$   $f_h$   $f_t$  sono fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e della componente viscosa dei cedimenti.

$B$  è la larghezza delle fondazioni

$I_c$  è l'indice di compressibilità (tiene conto dei valori NSPT ricavati nel corso delle prove)

$q'$  è la pressione efficace lo Rda (kPa)

$\sigma_{vo}$  è la tensione verticale efficace agente alla quota d'imposta delle fondazioni (kPa)

Utilizzando i valori della pressione limite ricavati con il fattore di sicurezza  $\gamma_R = 2.3$  previsto dalla normativa, per le fondazioni ipotizzate si otterrebbero cedimenti immediati e totali elevati e non compatibili con le strutture in progetto.

Si consiglia pertanto di adottare un valore di pressione di esercizio  $P_E$  pari a **1.80 kg/cm<sup>2</sup>**, con il quale si otterranno cedimenti immediati e totali compatibili con le strutture in progetto.

## 10. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione delle sabbie è il comportamento dei suoli sabbiosi che, a causa di un aumento della pressione interstiziale, passano improvvisamente da uno stato solido ad un fluido, o con la consistenza di un liquido pesante.

La liquefazione avviene più frequentemente in depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. Durante la fase di carico, le sollecitazioni indotte nel terreno, quali possono essere quelle derivanti da un evento sismico, possono causare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la tensione soprastante. Viene così annullata la resistenza al taglio del terreno secondo il principio delle pressioni efficaci di Terzaghi, e si assiste così a un fenomeno di fluidificazione del suolo.

Secondo il D.M. 14/01/2008 (articolo 7.11.3.4.2 “Esclusione della verifica a liquefazione) è possibile non effettuare la verifica alla liquefazione quando si manifesta almeno una delle seguenti condizioni:

1. eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  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  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. 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  $U_c > 3,5$ .

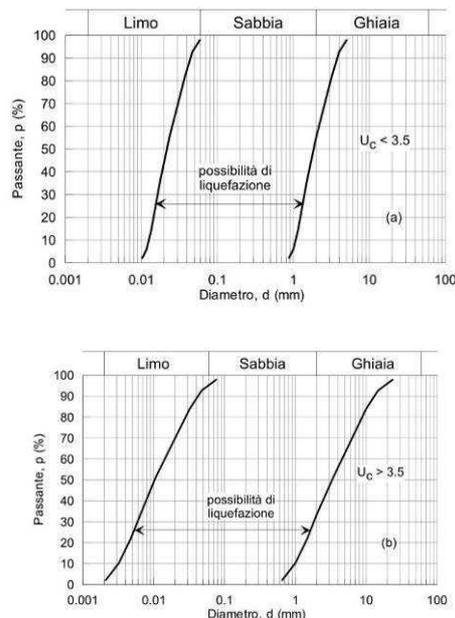


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nell’area in esame le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) risultano minori di  $0,1g$ ; il manifestarsi di tale condizione esclude, per l’area oggetto di studio, la verifica alla liquefazione.

## 11. CONCLUSIONI

L'area in esame sita in via Battisti angolo Via Via Marzabotto nel comune di Paderno Dugnano (MI) è caratterizzata dalla presenza, in affioramento, di un terreno di fondazione appartenente dal punto di vista geologico alle alluvioni fluvioglaciali del periodo Würm (DILUVIUM RECENTE), caratterizzate da ghiaie e sabbie con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose; frequenti sono i ciottoli di dimensioni centimetriche, generalmente con un grado elevato di arrotondamento.

Nell'area in esame è prevista la realizzazione di un nuovo edificio di forma rettangolare che sarà costituito da un piano interrato e da tre piani fuori terra

Le verticali d'indagine eseguite hanno evidenziato la presenza, alla quota di imposta delle fondazioni, di depositi caratterizzati da un grado di addensamento medio elevato.

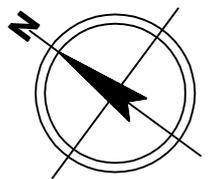
I calcoli effettuati hanno dimostrato che sarà possibile utilizzare fondazioni dirette continue del tipo a trave rovescia impostate ad una profondità di 3.50 m da piano campagna attuale utilizzando il valore della pressione di esercizio riportato nel capitolo 8.

L'intervento non interferirà con la falda freatica, la quale è situata ad una profondità media superiore a 20 m da p.c.



**Il tecnico incaricato**  
*Dott. Geol. Filippo Valentini*

# UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE



● S.C.P.T. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

COMMITTENTE: Polo Service srl

CANTIERE: Paderno Dugnano (MI) - via Battisti

DATA: Gen. '18

# PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

COMMITTENTE: **POLO SERVICE S.r.l.**

CANTIERE: **PADERNO DUGNANO (MI) - Via Battisti Via Marzabotto**

QUOTA DI RIFERIMENTO: **piano campagna** DATA **gennaio-18**

Profondità (m)	S.C.P.T. 1	S.C.P.T. 2	S.C.P.T. 3		Profondità (m)
0.3	6	4	3		0.3
0.6	2	1	1		0.6
0.9	1	3	2		0.9
1.2	4	3	4		1.2
1.5	1	2	11		1.5
1.8	3	6	10		1.8
2.1	8	13	9		2.1
2.4	6	8	8		2.4
2.7	6	6	6		2.7
3.0	4	9	5		3.0
3.3	13	14	5		3.3
3.6	23	15	13		3.6
3.9	26	31	21		3.9
4.2	26	34	16		4.2
4.5	6	17	13		4.5
4.8	16	15	16		4.8
5.1	17	40	31		5.1
5.4	24	100	43		5.4
5.7	17		100		5.7
6.0	24				6.0
6.3	100				6.3
6.6					6.6
6.9					6.9
7.2					7.2
7.5					7.5
7.8					7.8
8.1					8.1
8.4					8.4
8.7					8.7
9.0					9.0
9.3					9.3
9.6					9.6
9.9					9.9

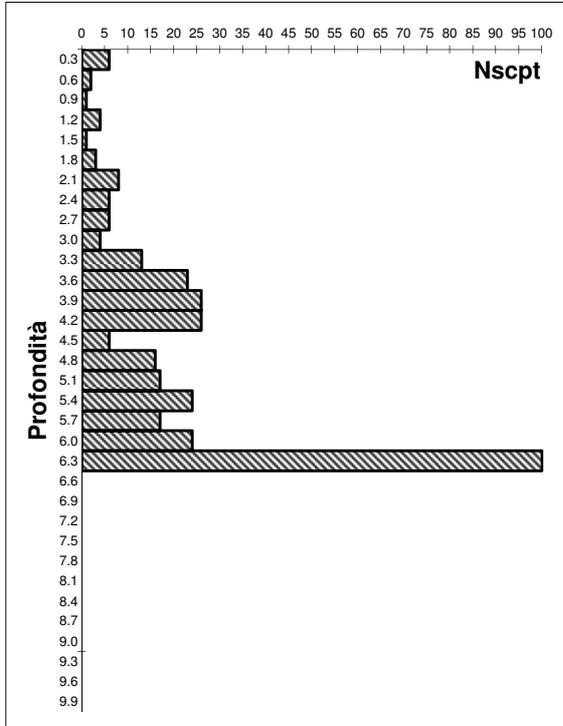
# PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

(Penetrometro super pesante tipo Meardi - A.G.I.)

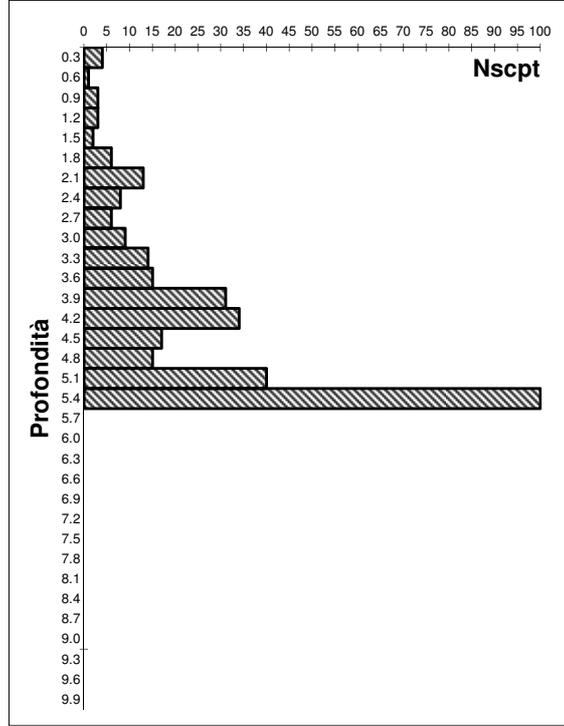
COMMITTENTE: POLO SERVICE S.r.l.

LOCALITA': PADERNO DUGNANO (MI) - Via Batt DATA: CCCC

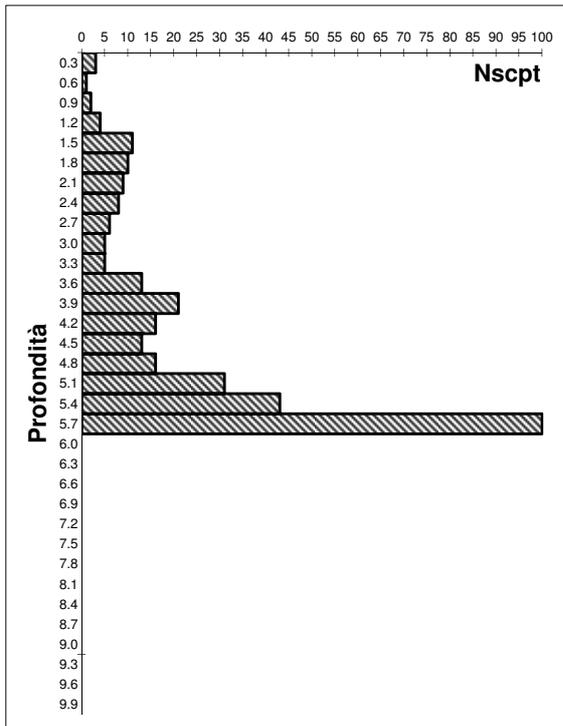
S.C.P.T. 1



S.C.P.T. 2

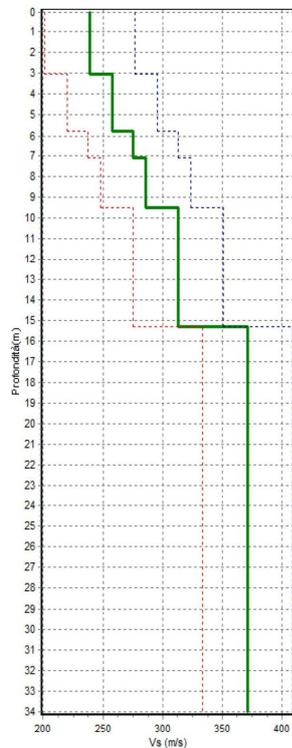


S.C.P.T. 3

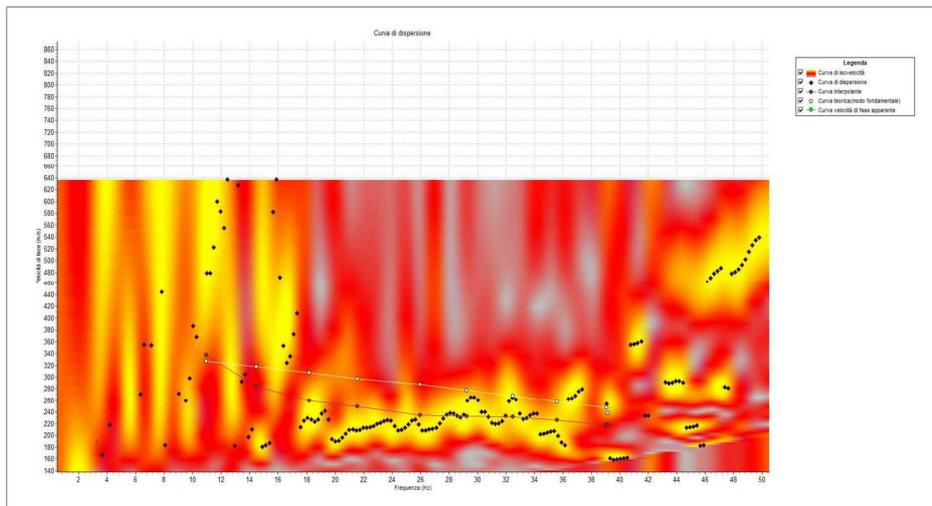
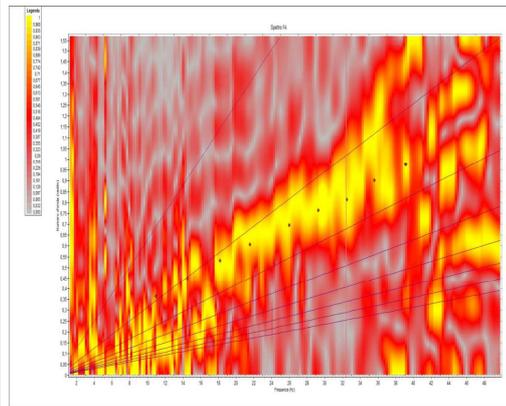
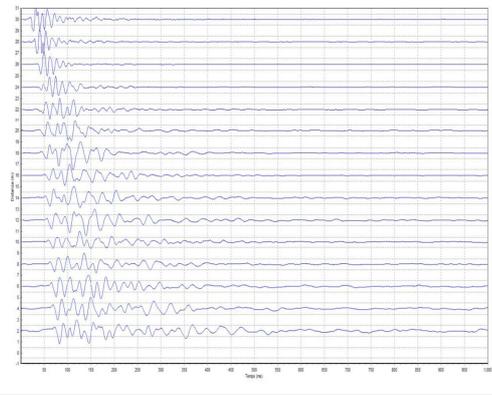


# INDAGINE SISMICA MASW

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	3,06	239,0
2	5,78	258,0
3	7,14	275,0
4	9,52	286,0
5	15,3	313,0
6	34,0	371,0



Classe sito: C - Vs30 (m/s)= 336



COMMITTENTE: Polo Service srl

CANTIERE: Paderno Dugnano (MI) - via Battisti

DATA: Gen. '18