Comune di
COLOGNO MONZESE

INTERVENTO AREA FESTE COMUNALE COLOGNO MONZESE (MI)

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

Milano, giugno 2018

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

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
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Comune di
COLOGNO MONZESE

INTERVENTO AREA FESTE COMUNALE COLOGNO MONZESE (MI)

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

SOMMARIO

1 PREMESSA 3
2 RELAZIONE GEOLOGICA (R1+R3) 4
2.1 COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PGT 4
2.1.1 Vincoli idrogeologici 4
2.1.2 Pericolosità sismica locale 5
2.1.3 Sintesi degli elementi conoscitivi 8
2.1.4 Fattibilità 10
2.1.5 Direttiva Alluvioni 11
2.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 13
2.2.1 Lineamenti geomorfologici, idrografici e geologici 13
2.2.2 Classificazione delle unità di sottosuolo 15
2.2.3 Caratteri piezometrici locali 19
2.3 ASPETTI SISMICI 21
2.3.1 Pericolosità sismica locale 21
2.3.2 Approfondimento sismico di primo livello 23

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

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

2.3.3 Individuazione della categoria di suolo di fondazione (D.M. 17/01/2018) 24
2.3.4 Suscettibilità alla liquefazione 25
2.3.5 Approfondimento sismico di II livello 27
2.3.6 Stima degli effetti litologici e del fattore di amplificazione 28
2.3.6.1 Individuazione della scheda di valutazione 28
2.3.6.2 Calcolo del periodo proprio di sito 30
2.3.6.3 Calcolo del fattore di amplificazione 30
2.3.6.4 Confronto tra i valori calcolati e i valori di soglia comunale 31
2.3.6.5 Considerazioni finali 32
3 RELAZIONE GEOTECNICA (R2) 32
3.1 RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI 32
3.2 INDAGINE GEOGNOSTICA 32
3.2.1 Prove penetrometriche dinamiche continue SCPT 33
3.2.2 Prova sismica MASW 34
3.3 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – TECNICA DEI TERRENI 36
3.4 CARATTERISTICHE DEL PROGETTO 38
3.5 CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO 38
3.6 CALCOLO DEI CEDIMENTI 40
3.7 COEFFICIENTE DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO DI WINKLER 41

ALLEGATI

All. 1 - Ubicazione delle indagini geognostiche - scala 1:1.000
All. 2 - Grafici provepenetrometrichedinamiche continue SCPT
All. 3 - Prova sismica MASW
All. 4 – Scheda litologia sabbiosa (D.G.R. IX/2616/2011)
MODULO 9 D.G.R. X/5001/2016
MODULO 10 D.G.R. X/5001/2016

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

1 PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di Cologno Monzeseha affidato allo Studio Idrogeotecnico Srl l'incarico per l'esecuzione di un'indagine geognostica a supporto della realizzazione di un edificio destinato a ristorante/bar entro l'area da adibire a feste, eventi e manifestazioni ubicata in Viale dall'Acqua, nella zona compresa tra il cimitero comunale e il plesso scolastico/sportivo di Via Volta.

Il programma dell'indagine ha previsto l'esecuzione di due prove penetro metriche dinamiche SCPT ed una prova sismica MASW effettuate in data29.05.2018.

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.

Fanno parte della relazione i seguenti allegati tecnici:

- ubicazione delle indagini;

- grafici delle provepenetrometriche;

- elaborato grafico della prova MASW.

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:
  - 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, geotecnica e sismica del sito;
  - analisi di risposta simica semplificata di II livello;
- relazione geotecnica (R2) ai sensi delle NTC 17/01/2018 (punto 6.2.2) finalizzata alla definizione del modello geotecnico di sottosuolo ed alla determinazione delle resistenze di progetto;
- modulistica 9 e 10 ai sensi della D.G.R. X/5001/2016.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

2 RELAZIONE GEOLOGICA (R1+R3)

2.1 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 vigente del comune di Cologno Monzese,redatta da REA in data 2011-2013 ed approvata con delibera C.C. dallo scrivente nel maggio 2013 ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011.

2.1.1 Vincoli idrogeologici

L'area oggetto di studio, come osservabile dall'immagine seguente (Figura 2.1), risulta parzialmente interferente con la zona di rispetto del pozzo ad uso idropotabile dell'Acquedotto di Cologno Monzese (pozzo a due colonne di Via dell'Acqua), individuata con criterio geometrico (r=200 m), normata dall'art. 94, comma 4 e 6 del D.Lgs. 152/06; dalla documentazione allegata alla componente geologica vigente, tale pozzo risulta fermo.

Il sito non è interessato dai vincoli di polizia idraulica del reticolo idrografico principale e minore, né dalle fasce PAI del F. Lambro.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Figura 2.1 - Estratto dalla carta dei vincoli della componente geologica, idrogeologica e sismica del comune di Cologno Monzese

2.1.2 Pericolosità sismica locale

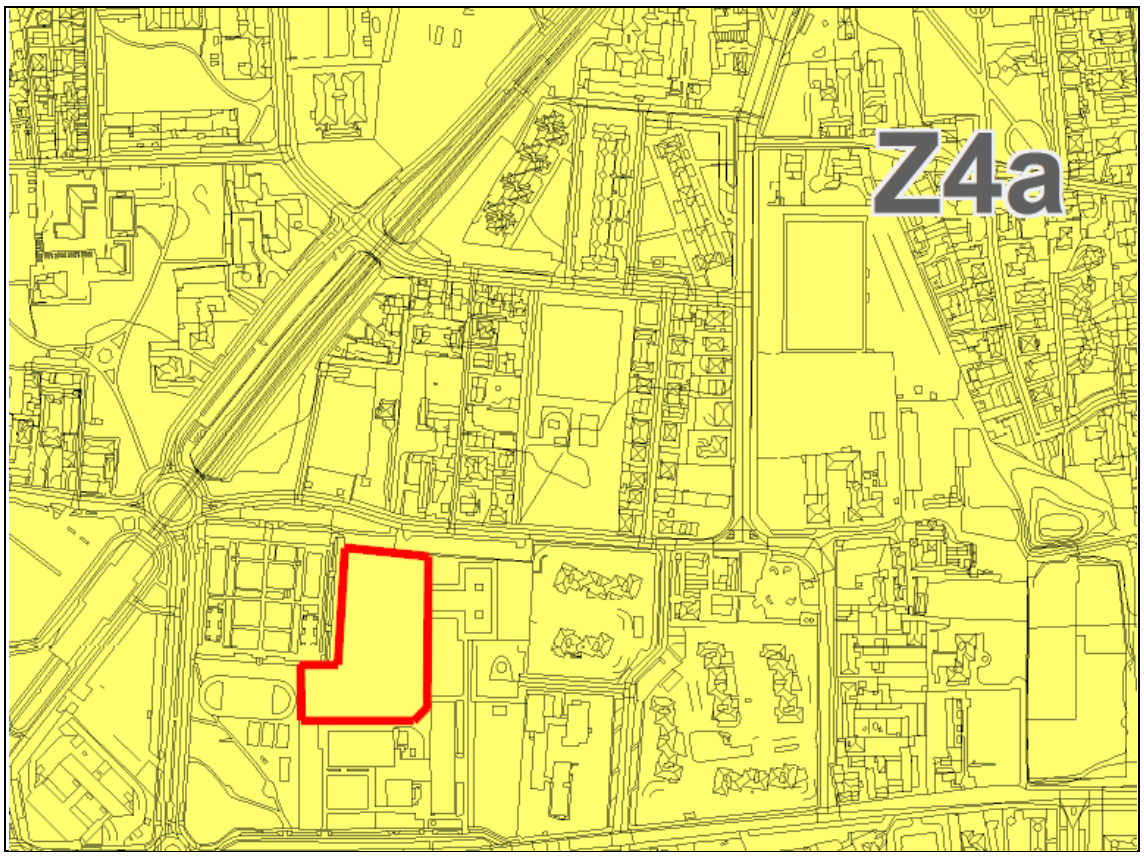
Il Comune di Cologno Monzese, secondo la previgente classificazione sismica del territorio nazionale (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*", pubblicata sulla G.U. n. 105 dell'8 maggio 2003 Supplemento ordinario n. 72, adottata

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

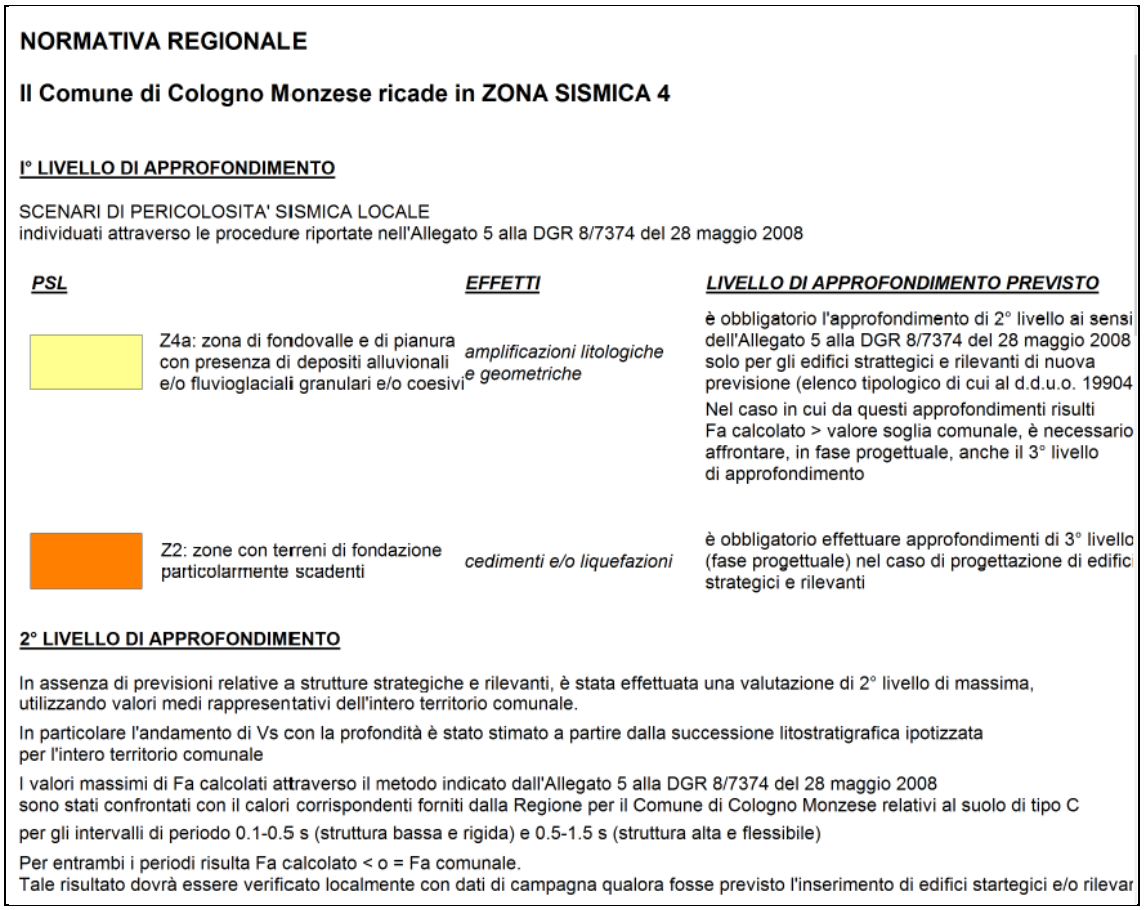
con d.g. Regione Lombardia n. 14964 del 7 novembre 2003) ricade in zona sismica 4 (quella a minor grado di sismicità ovvero a*"bassa sismicità"*).

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*", classifica il comune di Cologno Monzese risulta classificato in **zona sismica 3**con valore di accelerazione massima $\mathbf{A_{gmax} = 0.057066.}$

Per quanto attiene agli scenari di pericolosità sismica locale definiti con analisi di I° livello, il citato studio geologico di PGT individua nella quasi totalità del territorio comunale uno scenario Z4a – Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi nel quale sono possibili effetti di amplificazioni litologiche e geometriche, come evidenziato dalla figura seguente;l'ambito di intervento risulta ricompreso all'interno di tale scenario.



Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com



NORMATIVA REGIONALE

Il Comune di Cologno Monzese ricade in ZONA SISMICA 4

I° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE
individuati attraverso le procedure riportate nell'Allegato 5 alla DGR 8/7374 del 28 maggio 2008

PSL	EFFETTI	LIVELLO DI APPROFONDIMENTO PREVISTO
Z4a: zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	*amplificazioni litologiche e geometriche*	è obbligatorio l'approfondimento di 2° livello ai sensi dell'Allegato 5 alla DGR 8/7374 del 28 maggio 2008 solo per gli edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. 19904 Nel caso in cui da questi approfondimenti risulti Fa calcolato > valore soglia comunale, è necessario affrontare, in fase progettuale, anche il 3° livello di approfondimento
Z2: zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti	*cedimenti e/o liquefazioni*	è obbligatorio effettuare approfondimenti di 3° livello (fase progettuale) nel caso di progettazione di edifici strategici e rilevanti

2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

In assenza di previsioni relative a strutture strategiche e rilevanti, è stata effettuata una valutazione di 2° livello di massima, utilizzando valori medi rappresentativi dell'intero territorio comunale.

In particolare l'andamento di Vs con la profondità è stato stimato a partire dalla successione litostratigrafica ipotizzata per l'intero territorio comunale

I valori massimi di Fa calcolati attraverso il metodo indicato dall'Allegato 5 alla DGR 8/7374 del 28 maggio 2008 sono stati confrontati con il calori corrispondenti forniti dalla Regione per il Comune di Cologno Monzese relativi al suolo di tipo C per gli intervalli di periodo 0.1-0.5 s (struttura bassa e rigida) e 0.5-1.5 s (struttura alta e flessibile)

Per entrambi i periodi risulta Fa calcolato < o = Fa comunale.
Tale risultato dovrà essere verificato localmente con dati di campagna qualora fosse previsto l'inserimento di edifici startegici e/o rilevar

Figura 2.2 - Estratto dalla carta della pericolosità sismica locale della componente geologica, idrogeologica e sismica del comune di Cologno Monzese

Nella tabella seguente, secondo quanto indicato al punto 1.4.4 della D.G.R. n. IX/2616/2011, viene sintetizzato l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza.

	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.

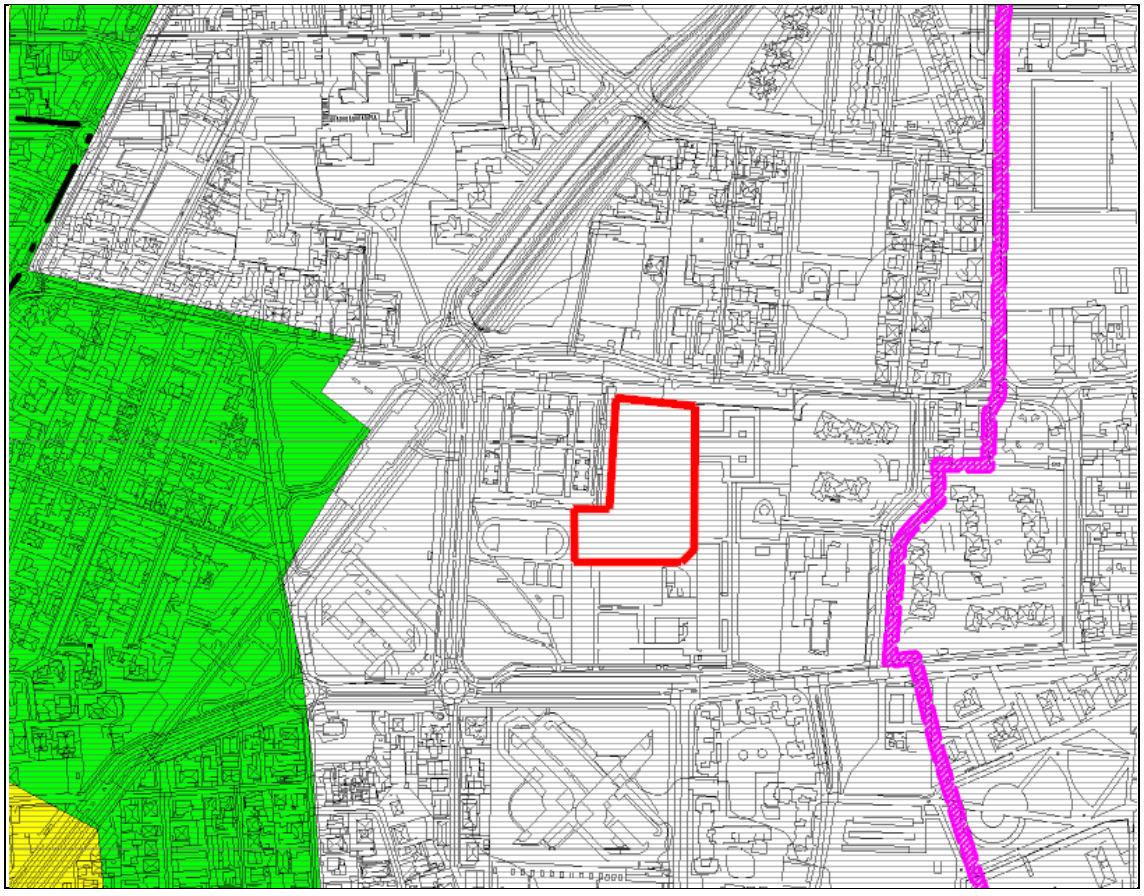
PSL = Pericolosità Sismica Locale

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Pertanto, poiché il comune di Cologno Monzese è classificato in zona sismica 3, per tutti i progetti di edifici ricadenti uno scenario PSL Z4a si rende necessaria la valutazione degli effetti di amplificazione litologica e delle conseguenti azioni sismiche di progetto a mezzo di approfondimenti sismici di 2° livello in fase di pianificazione, condotti secondo i criteri definiti dall'Allegato 5 della D.G.R. 30 novembre 2011 n° IX/2616.

2.1.3 Sintesi degli elementi conoscitivi

L'area di intervento, come desunto dalla tavola di sintesi della componente geologica, ricade nelle aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico, con grado di vulnerabilità intrinseca da medio alto ad alto. Il sito è esterno alle aree vulnerabili dal punto di vista idraulico ed non è interessato da corsi d'acqua appartenenti al reticolo principale e minore.



Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

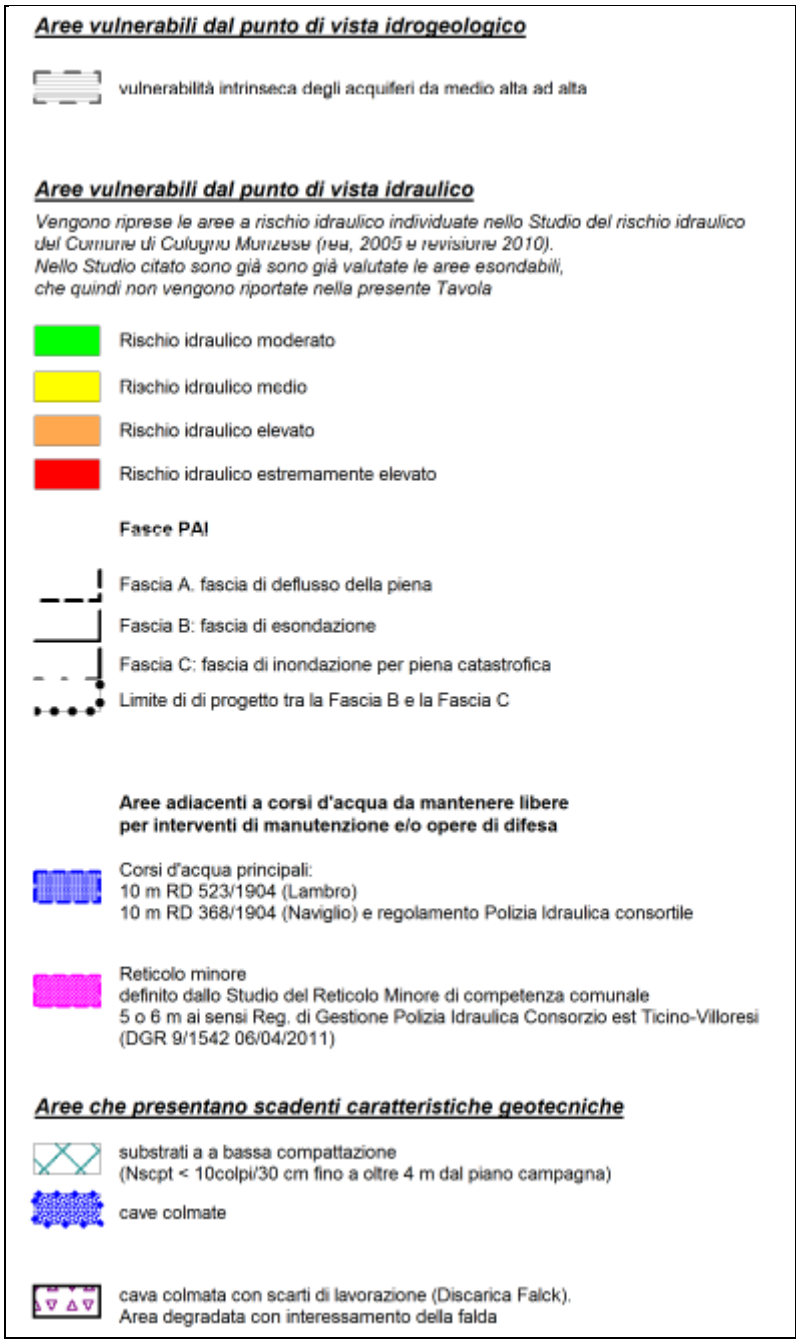


Figura 2.3 - Estratto dalla carta della sintesi degli elementi conoscitivi della componente geologica, idrogeologica e sismica del comune di Cologno Monzese

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

2.1.4 Fattibilità

L'area, come visibile in Figura 2.4, rientra in parte nella classe di fattibilità geologica 2con modeste limitazioni – sottoclasse 2b: areecon vulnerabilità intrinseca dell'acquifero da medio alta ad alta.

Le norme geologiche per tale classe di fattibilità sono di seguito riportate:

Classe di fattibilità 2

Zone con modeste limitazioni all'uso a scopi edificatori e/o alla modifica di destinazione d'uso che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine, accorgimenti tecnico-costruttivi e precauzioni ambientali, senza l'esecuzione di opere di difesa.

Sottoclasse 2b aree con vulnerabilità intrinseca dell'acquifero captato da medio alta ad alta.

Ogni intervento dovrà verificare l'impatto con l'acquifero sottostante. In particolare sarà necessario adottare sistemi che impediscano l'infiltrazioni nel terreno di sostanze inquinanti, pur garantendo l'alimentazione degli acquiferi.

Serbatoi e cisterne interrate dovranno prevedere sistemi di sicurezza quali doppie camere. Le nuove fognature dovranno essere progettate e costruite con tubazione doppia, per evitare perdite. Le aree di espansione AT nei casi indicati dal R.R. 4/2006 la raccolta e il convogliamento in fognatura delle acque di prima pioggia, mentre dovrà essere garantita l'infiltrazione nel terreno della quota rimanente delle acque di precipitazione.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

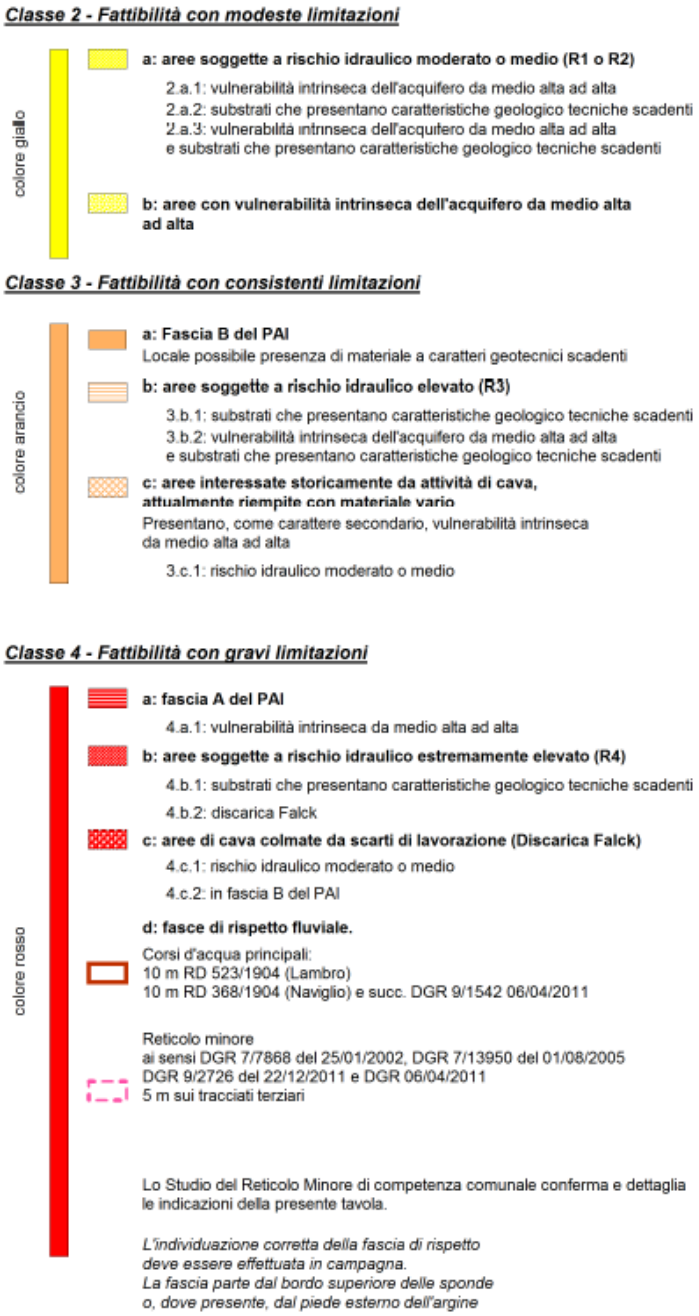


Figura 2.4 - Estratto della carta di fattibilità della componente geologica, idrogeologica e sismica del comune di Cologno Monzese

2.1.5 Direttiva Alluvioni

Il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, con deliberazione n. 2 del 3 marzo 2016, ha approvato il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA).

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

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 2.5), riportante uno stralcio riferito all'area di studio della mappatura "Direttiva Alluvioni 2007/60/CE - revisione 2015" desunta dal viewer geografico del Geoportale della Regione Lombardia, si evidenzia l'assenza di criticità idraulica.

Figura 2.5 - Direttiva Alluvioni - Geoportale Regione Lombardia

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

2.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

2.2.1 Lineamenti geomorfologici, idrografici e geologici

Il sito di progetto, ubicato nel settore meridionale del territorio comunale di Cologno Monzese, si posiziona nel contesto morfologico dell'alta pianura lombarda, ad una quota altimetrica di 133,5 m s.l.m. all'interno del tessuto urbano compreso tra il cimitero e il plesso scolastico/sportivo di Via Volta,

L'assetto morfologico del territorio è costituito da estese piane fluvioglaciali e fluviali di età quaternaria,a morfologia subpianeggiante, prive di dislivelli morfologici significativi, con deboli pendenze verso S dell'ordine di 0.45 %. 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). Anche la valle del Lambro che rappresenta l'elemento fisiografico e geomorfologico più importante, non risulta morfologicamente depressa rispetto alla pianura circostante

Da un punto di vista geologico, le unità presenti in affioramento sono le seguenti, dalla più recente alla più antica (fonte dati: Regione Lombardia - Progetto CARG - Foglio 118 Milano):

POI - Sintema del PO (Pleistocene superiore - Olocene)

L'unità è costituita da depositi fluviali e di esondazioneprivi di alterazione superficiale, caratterizzati da ghiaie a supporto clastico e di matrice sabbioso limosa, sabbie ghiaiose, sabbie e limi, alternanze di ghiaie e sedimenti sabbiosi/limosi.

LCN - Sintema di Cantù (Pleistocene superiore)

L'Unità è espressione sedimentaria dell'espansione glaciale più recente (Wurm A.A.) ed è rappresentata da depositi fluvioglaciali e da depositi fluvioglaciali a bassa energia.

I depositi fluvioglaciali si caratterizzano da ghiaie a matrice sabbiosa, con intercalazioni di sabbie; i depositi fluvioglaciali a bassa energia sono costituiti da sabbie, sabbie limose, limi e limi sabbiosi sommitali o intercalati. Superficie limite superiore con profili di alterazione di circa 1 m, con suoli moderatamente evoluti.

BMI- Supersintema di Besnate – Unità di Minoprio (Pleistocene medio – Pleistocene superiore)

L'unità è rappresentata da depositi fluvioglaciali e da depositi di esondazione.

I depositi fluvioglaciali sono caratterizzati da ghiaie a supporto clastico e di matrice sabbiosa o sabbioso limosa ; i depositi di esondazione sono costituiti da sabbie ghiaiose, sabbie e sabbie limose.La superficie limite superiore presenta un profilo di alterazione con uno spessore medio 1,5 m.L'unità è priva di evidente copertura loessicacolluviata (probabile asportazione per interventi antropici).

Nel sito di progetto affiorano depositi appartenenti alle unità LCN e BMI.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

	SINTEMA DEL PO - UNITA' POSTGLACIALE (Pleistocene sup. - Olocene) Ghiaie a supporto clastico e di matrice sabbioso limosa, sabbie ghiaiose, sabbie e limi, alternanze di ghiaie e sedimenti sabbiosi/limosi (depositi fluviali). Superficie limite superiore con profili di alterazione poco evoluti; colori 10YR-2.5Y
	SINTEMA DI CANTU' (Pleistocene sup.) Ghiaie a matrice sabbiosa, con intercalazioni di sabbie (depositi fluvioglaciali); sabbie, sabbie limose, limi e limi sabbiosi sommitali o intercalati (depositi fluvioglaciali a bassa energia). Superficie limite superiore con profili di alterazione di circa 1 m, da moderatamente evoluti a evoluti;colore 10YR e 2.5Y per deboli fenomeni di idromorfia.
	SUPERSINTEMA DI BESNATE - UNITA' DI MINOPRIO (Pleistocene medio-sup.) Ghiaie a supporto clastico e di matrice sabbiosa o sabbioso limosa (depositi fluvioglaciali); sabbie ghiaiose, sabbie e sabbie limose (depositi di esondazione). Superficie limite superiore con profilo di alterazione di spessore medio 1,5 m; colore 7,5YR. Privo di evidente copertura loessico-colluviale.
	SUPERSINTEMA DI BESNATE - UNITA' DI CADORAGO (Pleistocene medio-sup.) Ghiaie a supporto clastico o di matrice sabbiosa, intercalazioni sabbiose, sabbie limoso argillose, limi con clasti sparsi (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore con profilo di alterazione tra 1,5 e oltre 2 m. Colore 10YR. Copertura loessico-colluviale localmente conservata.
	SUPERSINTEMA DI BESNATE - UNITA' DI GUANZATE (Pleistocene medio-sup.) Ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa o sabbioso limosa; localmente sabbie limose (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore con profilo di alterazione < 2 m, da moderatamente evoluto a evoluto. Colore 10YR - 7,5YR. Copertura loessico-colluviale con spessore in diminuzione verso Sud.

Figura 2.6 - Caratteri geologici

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

2.2.2 Classificazione delle unità di sottosuolo

La ricostruzione della struttura idrogeologica dell'area di studio è visualizzata nella sezione di Figura 2.8, passanti per i pozzi pubblici e privati del territorio secondo direzioni E-W e N-S, in modo da definire la distribuzione orizzontale e verticale dei corpi litologici e l'andamento della superficie piezometrica dell'acquifero superiore.

Le unità idrogeologiche individuate, la cui distribuzione in profondità è stata confrontata con i dati della pubblicazione ENI-REGIONE LOMBARDIA, si succedono, dalla più superficiale alla più profonda, secondo il seguente schema.

Gruppo Acquifero A

E' presente con continuità in tutto il territorio ed è costituito da depositi di ambiente continentale in facies fluvioglaciale/fluviale di tipo braided. Dal punto di vista litologico sono presenti sedimenti prevalentemente grossolani ad elevata porosità e permeabilità (ghiaie a matrice sabbiosa medio grossolana con subordinati intervalli sabbiosi da medi a molto grossolani) con intercalazioni di lenti e livelli limosi e limoso-argillosi generalmente privi di continuità laterale ma con spessori variabili da decimetrici a plurimetrici; lo spessore medio dell'unità è di circa 40-50 m.

L'unità è sede dell'acquifero superiore ("primo acquifero) di tipo libero o localmente semiconfinato, caratterizzato da soggiacenze variabili da 6 a 20 m circa da piano campagna, ed è tradizionalmente captata dai pozzi di captazione a scopo idropotabile di vecchia realizzazione e da pozzi privati.

Gruppo Acquifero B

E' presente con continuità in tutto il territorio esaminato ed è costituito da depositi in facies fluvioglaciale/fluviale di tipo braided. Litologicamente è composta prevalentemente da sabbie medio-grossolane, sabbie ciottolose e ghiaie a matrice sabbiosa con locali lenti cementate conglomeratiche o arenitiche e con intercalazioni di sedimenti fini limoso-argillosi.

L'unità al tetto è separata dalla precedente da livelli scarsamente permeabili con discreta continuità areale che conferiscono agli acquiferi in essa contenuti un carattere di semi-confinamento. Lo spessore complessivo del gruppo è variabile da 35 a 60 m in approfondimento verso S.

L'unità è sede dell'acquifero superiore ("secondo acquifero") tradizionalmente captato da pozzi di più antica realizzazione, con carattere da libero a semiconfinato. La maggior parte dei pozzi di Cologno Monzese (n. 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 61, 74, 75, 79, 150/151, 128,129,133) captano gli acquiferi contenuti in tale unità tra le profondità complessivamente comprese tra 39 e 98 m da p.c. I rimanenti pozzi captano l'acquifero B in miscelazione con l'acquifero A o C.

Gruppo Acquifero C

E' presente con continuità in tutto il territorio esaminato ed è costituito da depositi in facies continentale/transizionale deltizia. Litologicamente è costituito da sabbie da fini

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid @ fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

a medie e argille limose con orizzonti torbosi a cui si intercalano livelli ghiaioso-sabbiosi a maggiore permeabilità. Lo spessore complessivo è sconosciuto in quanto il limite inferiore non è stato raggiunto dalle perforazioni dei pozzi più profondi presenti nell'area.

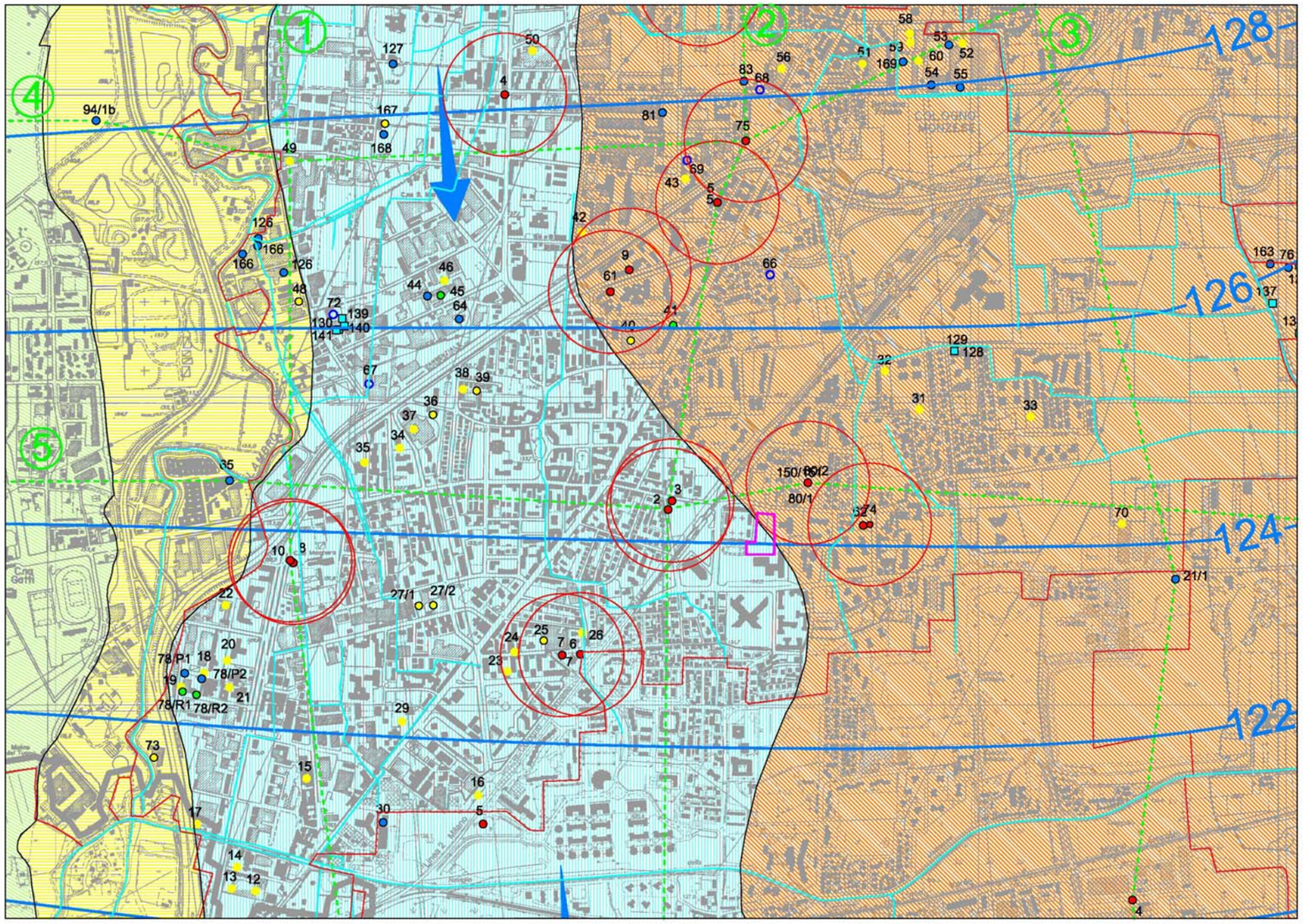
Nei livelli permeabili sono presenti acquiferi intermedi e profondi, di tipo confinato, la cui vulnerabilità è mitigata dalla presenza a tetto di strati argillosi arealmente continui, ma non sono da escludere collegamenti ed alimentazione da parte dell'acquifero libero superiore ad alta vulnerabilità.

Gli acquiferi dell'unità vengono captati dal pozzo n. 9 congiuntamente all'acquifero superiore presente nel gruppo acquifero B.

STUDIO IDROGEOTECNICO
1964 - 2014

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
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com



Area di intervento

VULNERABILITA' INTRINSECA DELL'ACQUIFERO

GRADO DI VULNERABILITA'						CARATTERISTICHE DEGLI ACQUIFERI
EE	E	A	M	B	BB	
						Acquifero di tipo libero in materiale alluvionale in corrispondenza dei depositi fluviali relativi all'Unità Postglaciale (F. Lambro), con corso d'acqua sospeso rispetto alla piezometrica media della falda (alimentazione naturale). Soggiacenza compresa tra 6 e 12 m rispetto al p.c
						Acquifero di tipo libero in materiale alluvionale con copertura superficiale assente o di ridotto spessore (circa 1 m), in corrispondenza dei depositi fluviale e fluvioglaciali relativi al Sintema di Cantù, da poco a mediamente alterati. Soggiacenza compresa tra 6 e 12 m rispetto al p.c.
						Acquifero di tipo libero in materiale alluvionale con copertura superficiale di ridotto spessore (1,5 - 2 m), in corrispondenza dei depositi fluvioglaciali moderatamente alterati relativi al Supersintema di Besnate - Unità di Minoprio e Unità di Cadorago. Soggiacenza compresa tra 8 e 12 m rispetto al p.c.
						Acquifero di tipo libero in materiale alluvionale con copertura superficiale limoso-argillosa di spessore > 2 m, in corrispondenza dei depositi fluvioglaciali da moderatamente alterati a alterati relativi al Supersintema di Besnate - Unità di Guanzate. Soggiacenza > 10 m rispetto al p.c.

EE Estremamente elevato **E** Elevato **A** Alto **M** Medio **B** Basso **BB** Molto basso

18/9 Pozzi pubblici attivi
4077 Pozzi privati
27/5 Pozzi dismessi / chiusi
129 Piezometri
Zona di rispetto (criterio geometrico = raggio 200 m)
1 Traccia sezioni idrogeologiche
104 Linee isopiezometriche al marzo 2015 e relativa quota in m s.l.m.
Direzioni del flusso idrico sotterraneo
Idrografia

Figura 2.7 Inquadramento idrogeologico

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
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

SEZIONE 5

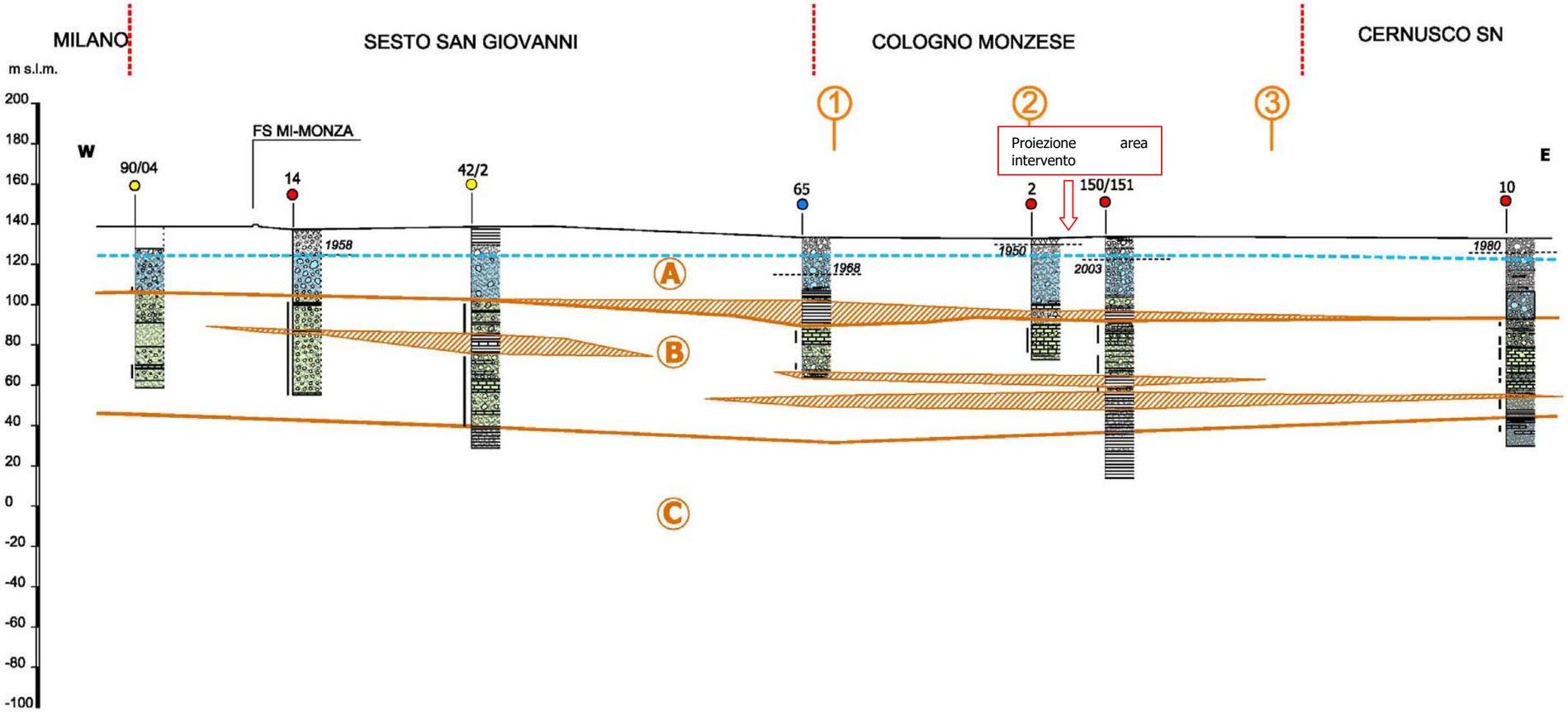


Figura 2.8 Sezioni idrogeologiche

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

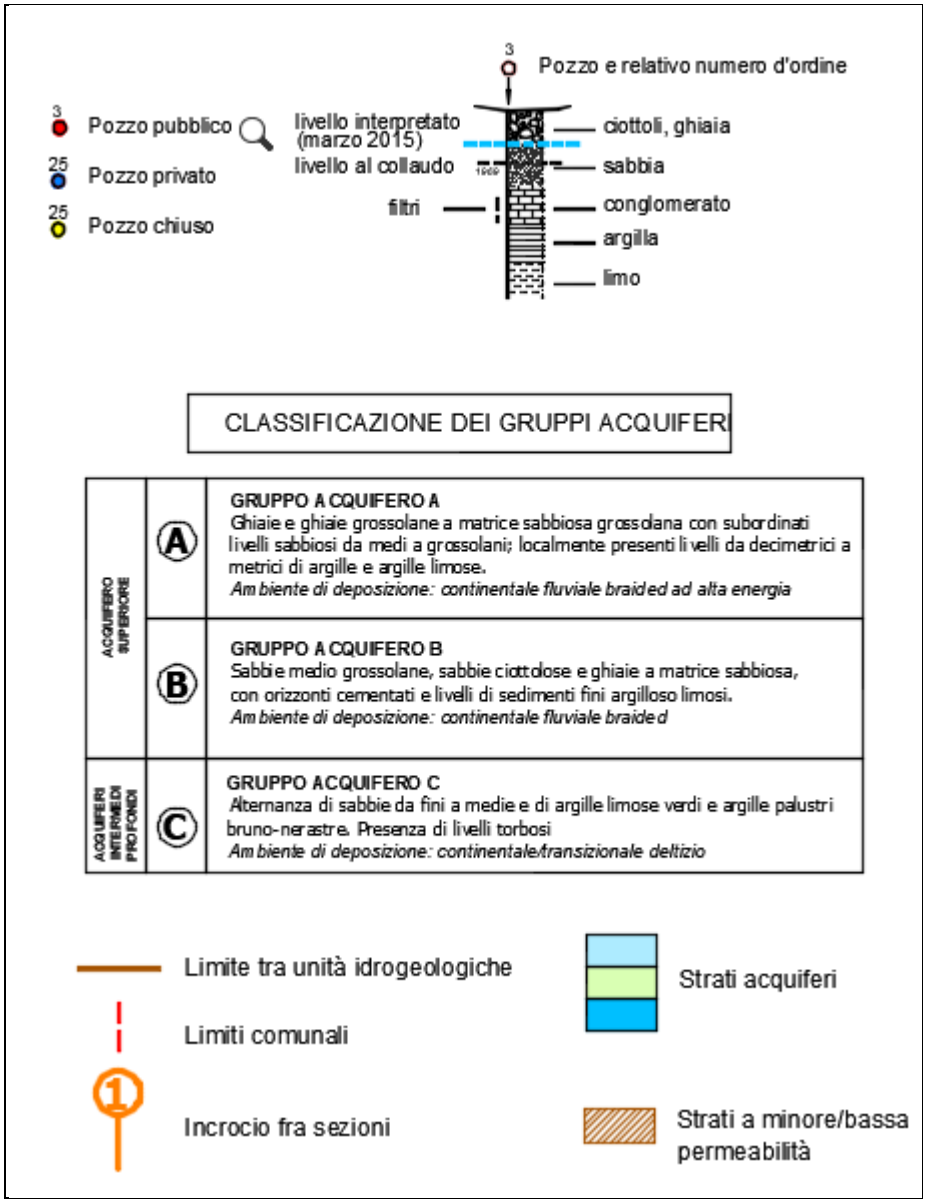


Figura 2.9 legenda unità idrogeologiche

2.2.3 Caratteri piezometrici locali

La morfologia della superficie piezometrica della falda superiore fa riferimento alle elaborazioni dei dati di livello al marzo 2015 dei pozzi di monitoraggio della rete di controllo urbana di Metropolitana Milanese S.p.A.[1](cfr. Figura 2.7).

Nell'area di studio, si evidenzia una falda di tipo radiale debolmente divergente, con quote compresetra 116 e136m s.l.m. e un gradiente idraulico medio del 2,5-3 ‰.

Le principali direzioni del flusso idrico sotterraneo sono mediamente orientate NNW-SSE.

41

[1]Dati Metropolitana Milanese S.p.A. - Servizio Idrico Integrato.

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

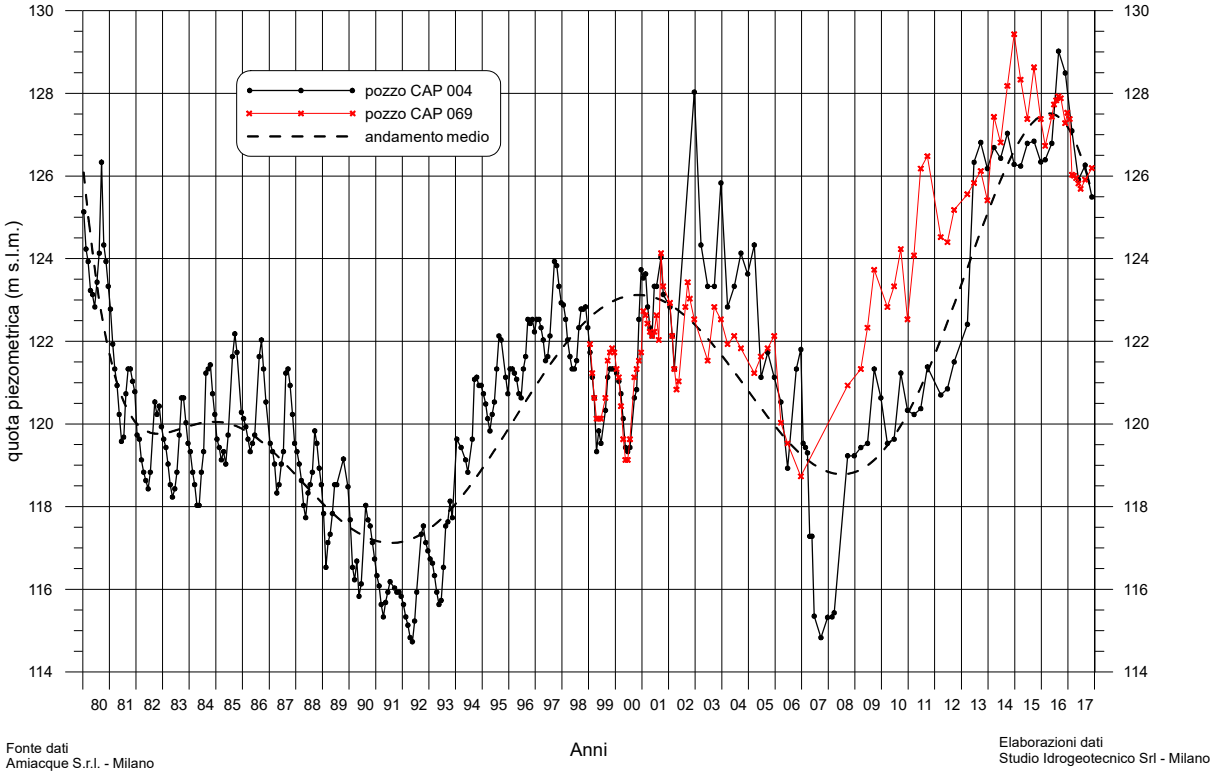
Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Nel sito di progetto il livello di falda al marzo 2015, in condizioni di alto piezometrico, si è attestato a circa 9 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 004 Via Levi e 069 Via Paganini, punti più prossimi al sito di progetto.

ANDAMENTO DELLE QUOTE PIEZOMETRICHE

Cologno Monzese (MI) - pozzo CAP 004 - q.ta rif. 138.33 m s.l.m.
Cologno Monzese (MI) - pozzo CAP 069 - q.ta rif. 138,53 m s.l.m.



Fonte dati
Amiacque S.r.l. - Milano

Elaborazioni dati
Studio Idrogeotecnico Srl - Milano

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

Durante il periodo investigato (1980÷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 relativo a fine 2014/2015.

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, con approfondimento piezometrico rispetto al 1980 pari a circa 13 m.

Dal 1992 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.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

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.

Le scarse precipitazioni che hanno caratterizzato il regime pluviometrico dal 2003 hanno determinato un nuovo abbassamento dei livelli di falda registrato nel 2007/2008.

L'aumentodelleprecipitazioniregistrato dal 2008-09, e in particolarenelperiodo 2013-2014, ha determinato una sensibile risalita dei livelli, fino a raggiungere valori di massimo storicoin dicembre 2014 e giugno 2015, come osservabile nel pozzo 069.

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/aprile), 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.

2.3 ASPETTI SISMICI

2.3.1 Pericolosità sismica locale

In adempimento a quanto previsto dal D.M. 17Gennaio 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 in All. 5 della D.G.R. IX/2616/2011.

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.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Tabella 1- Livelli di approfondimento e sintesi delle procedure - D.G.R. IX/2616/2011

	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 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

Secondo la classificazione sismica vigente (Delibera Giunta regionale 11 luglio 2014 - n. X/2129), il comune di Cologno Monzese risulta inserito in **zona sismica 3**.

Ricadendo il comune in **zona sismica 3**, in fase pianificatoria il 1° livello è obbligatorio ed esteso a tutto il territorio comunale, mentre gli approfondimenti di 2° livello sono obbligatori per tutti gli edifici ricadenti in aree a pericolosità sismica locale PSL Z3 e Z4.

Per quanto concerne la determinazione dei parametri di scuotimento sismico dell'area di progetto, facendo riferimento al D.M. 14/01/08 *Norme tecniche per le costruzioni*, ed al successivo 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 per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni definita nella tabella 1 allegata al D.M. 14/01/08 in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento nazionale, le cui coordinate sono le seguenti:

Sito in esame

latitudine:	45,52765
longitudine:	9,287072
Classe:	4
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 12040	Lat: 45,5117	Lon: 9,2848	Distanza: 1778,729
Sito 2	ID: 12041	Lat: 45,5142	Lon: 9,3560	Distanza: 5574,225
Sito 3	ID: 11819	Lat: 45,5641	Lon: 9,3525	Distanza: 6512,783
Sito 4	ID: 11818	Lat: 45,5617	Lon: 9,2814	Distanza: 3807,902

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Per l'opera in progetto, considerando una vita nominale V_N = 50 anni ed un coefficiente di utilizzo C_U = 2.0, i parametri sismici di base al bedrock sismico assumono i seguenti valori:

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	60,0	0,28	2,55	0,21
S.L.D.	101,0	0,34	2,57	0,22
S.L.V.	949,0	0,7	2,64	0,3
S.L.C.	1950,0	0,85	2,68	0,31

2.3.2 Approfondimento sismico di primo livello

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.

L'individuazione degli scenari di pericolosità sismica locale fanno riferimento alla *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 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

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
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Il sito in esame ricade nello scenario di pericolosità sismica locale ***Z4a – Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi***ove sono prevedibili effetti di amplificazione della sollecitazione sismica attesa, conseguenti a fenomeni di amplificazione litologica e geometrica.

→Nel caso specifico, considerando che l'opera in progetto interferisce con l'urbanizzato e ricade in uno scenario PSL Z4a, è richiesto l'approfondimento sismico di 2° livello.

2.3.3 Individuazione della categoria di suolo di fondazione (D.M. 17/01/2018)

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.

Tabella 2: Categorie di suolo di fondazione (tab. 3.2.II del D.M. 17.01.2018)

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	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Le NTC2018 raccomandano la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio V_S; a tale scopo è stata eseguita una prova sismica MASW, il cui risultato è stato:

V_{s30} = 348 m/s

L'area oggetto di indagine presenta quindi terreni rientranti nella **categoria C**, definiti nel DM come "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati e terreni a grana fine mediamente consistenti, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s*".

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

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

2.3.4 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.

Durante un evento sismico vengono indotte nel terreno sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la tensione geostatica rimane invariata. In conseguenza dell'applicazione di sollecitazioni cicliche, la struttura granulare del terreno tende a diventare più compatta, ma essendo molto più compressibile dell'acqua, la sollecitazione viene trasmessa all'acqua interstiziale. Se l'incremento della pressione interstiziale è tale da raggiunge il valore della tensione geostatica di confinamento, il terreno inizia a subire deformazioni, la cui entità dipende essenzialmente dal suo grado di addensamento.

Se il terreno ha una modesta densità relativa la pressione interstiziale aumenterà molto rapidamente fino a valori prossimi a quelli della tensione geostatica di confinamento e il terreno comincerà a subire grosse deformazioni, con totale annullamento della resistenza a taglio.

Se il terreno viceversa è addensato, esso potrà avere alla fine dei cicli di carico una pressione interstiziale pari alla tensione geostatica di confinamento ma, poiché i terreni addensati si deformano con aumento di volume per il fenomeno della dilatanza, la pressione interstiziale subirà una brusca caduta e il terreno riuscirà a sviluppare una resistenza a taglio sufficiente a sostenere le sollecitazioni applicate.

Poiché la tensione geostatica aumenta con la profondità mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce, ne consegue che la resistenza alla liquefazione di un terreno cresce con la profondità. Numerose evidenze sperimentali dimostrano infatti che il fenomeno della liquefazione può generarsi fino a profondità massime di circa 20 m.

Occorre inoltre considerare che il terreno può essere soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie; in tali condizioni l'innesco del fenomeno della liquefazione è condizionato anche dal rapporto tra le tensioni di taglio indotte dalla sollecitazione sismica e quelle statiche preesistenti.

La resistenza alla liquefazione è infine influenzata dall'entità dei legami intergranulari e di cementazione connessi a fenomeni di aging che si sviluppano nel tempo. Inoltre la struttura di un deposito antico è in genere più stabile per gli effetti di ripetute sollecitazioni cicliche

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

subite nel tempo che, qualora non abbiano dato luogo a fenomeni di liquefazione, avranno prodotto un significativo incremento della resistenza a taglio ciclica.

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:

a) l'accelerazione massima attesa a piano campagna in condizioni di free-field è inferiore a 0.1 g;
b) la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m da p.c.;
c) 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;
d) sono presenti terreni con distribuzione granulometrica esterna ai limiti indicati nel grafico seguente

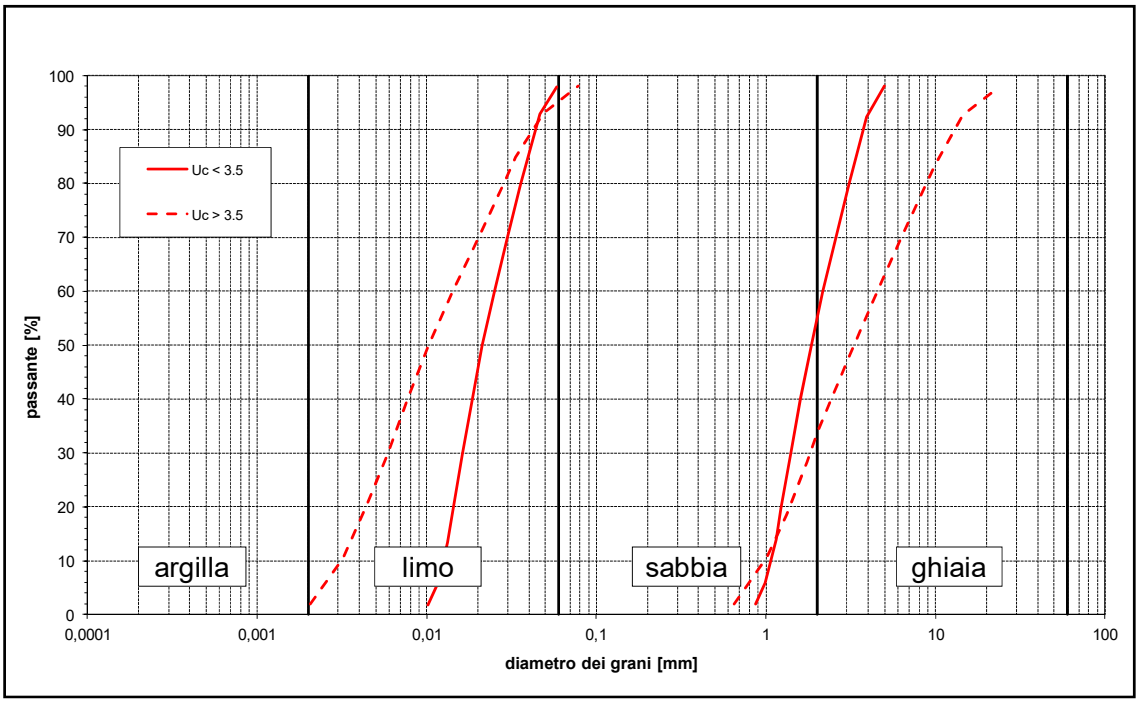


Figura 2.10 – Campo di liquefacibilità potenziale

Nel caso in esame, i terreni di fondazione sono da non ritenersi suscettibili a fenomeni di liquefazione in quanto è verificato il punto d), come rilevato dalle caratteristiche litologiche dei depositi dell'area appartenenti al Sintema di Cantù e dalle stratigrafie dei pozzi prossimi al sito (n. 2 Via XXV Aprile, n. 3 Via dell'Acqua).

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

2.3.5 Approfondimento sismico di II 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 (Fa).

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 dl 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$\boldsymbol{h_i}$ e $\boldsymbol{V_{Si}}$ 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},

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
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

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.

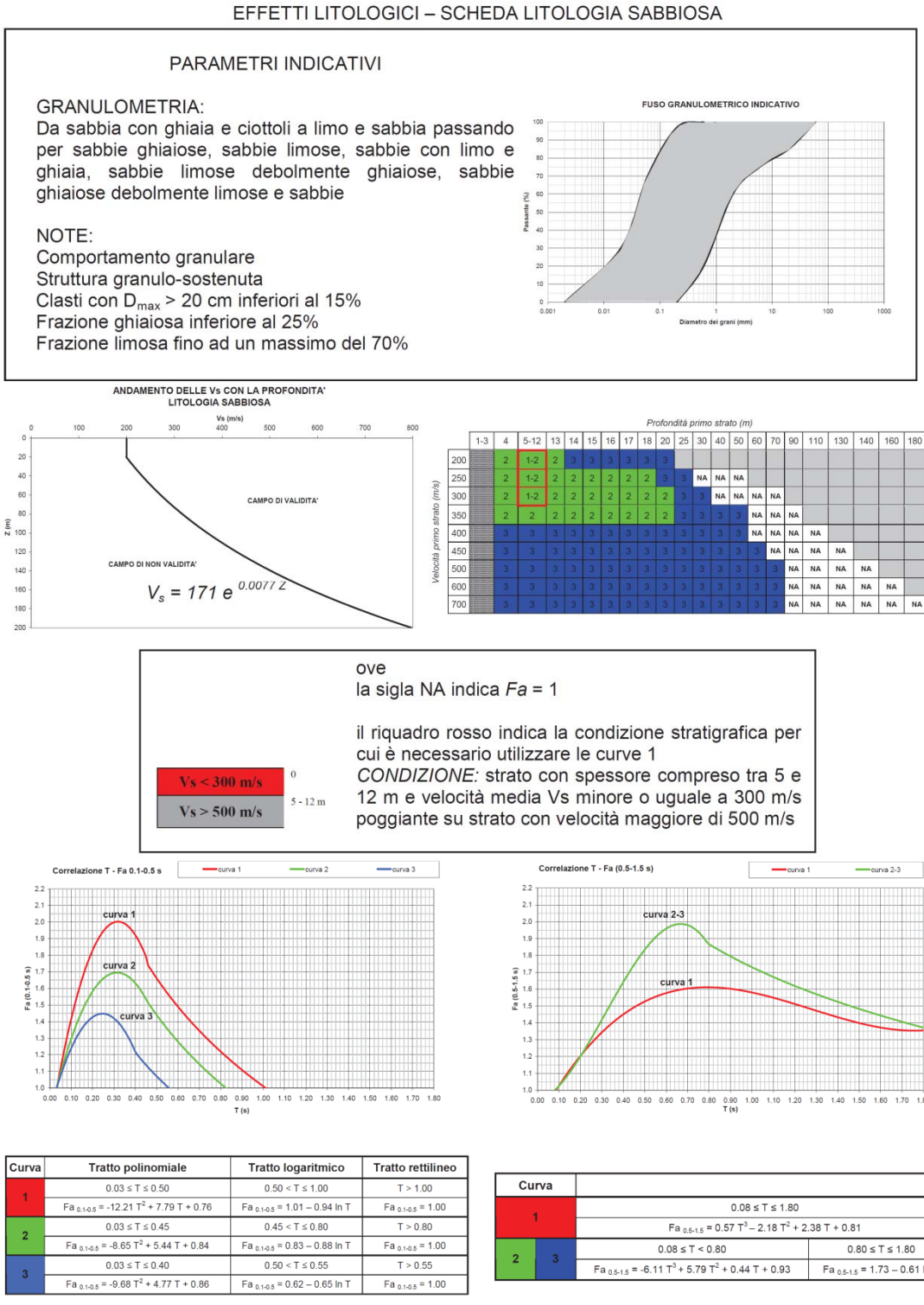
2.3.6 Stima degli effetti litologici e del fattore di amplificazione

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).

2.3.6.1 Individuazione della scheda di valutazione

In accordo alla procedura regionale si è proceduto a confrontare le stratigrafie 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 (All. 4) e di seguito riportata:



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \le T \le 0.50$	$0.50 < T \le 1.00$	$T > 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.21\ T^2 + 7.79\ T + 0.76$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \le T \le 0.45$	$0.45 < T \le 0.80$	$T > 0.80$
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.65\ T^2 + 5.44\ T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \le T \le 0.40$	$0.50 < T \le 0.55$	$T > 0.55$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.68\ T^2 + 4.77\ T + 0.86$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva		
1	$0.08 \le T \le 1.80$	
	$Fa_{0.5-1.5} = 0.57\ T^3 - 2.18\ T^2 + 2.38\ T + 0.81$	
2 3	$0.08 \le T < 0.80$	$0.80 \le T \le 1.80$
	$Fa_{0.5-1.5} = -6.11\ T^3 + 5.79\ T^2 + 0.44\ T + 0.93$	$Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Figura 2.11 - Scheda di valutazione (DGR IX/2626/2011)

All'interno della scheda stabilita, in funzione della profondità e della velocità delle onde S dello strato superficiale equivalente (caratterizzato da una Vs calcolata come media pesata

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

del valore di Vs degli stati superficiali - fino ad almeno 4-5 m), è stata scelta la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa, calcolando successivamente il periodo proprio del sito (cfr. paragrafo seguente).

2.3.6.2 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 Vs 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 (periodo proprio del sito), calcolati ad ogni variazione di velocità per entrambe le prove MASW:

Tabella 3 - periodo proprio di oscillazione ad ogni variazione di velocità delle onde S.

STRATO CON VELOCITA' ONDE S COSTANTE	VALORE DI Vs	PERIODO T_0
da 0 metri a – 1,7 metri	163	0,041718
da – 1,7 metri a – 3,3 metri	181	0,076866
da – 3,3 metri a – 8,4 metri	288	0,138659
da – 8,4 metri a – 16,8 metri	393	0,211546
da – 16,8 metri a – 22,6 metri	507	0,246824
da – 22,6 metri a – 31,4 metri	468	0,318162

Si è ottenuto un valore massimo del periodo del sito T pari a 0.31.

2.3.6.3 Calcolo del fattore di amplificazione

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 Vs ottenuta come media pesata si è considerata la curva caratteristica n. 2:

- strato equivalente di 8,4 metri e Vs pesata = 242 m/s.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Sulla base dell'individuazione della curva caratteristica,si utilizza l'equazione per il calcolo del valore di $F_a$sia per strutture aventi periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s sia tra 0.5 e 1.5 s.

Nel caso in esame le equazioni individuate sono mostrate di seguito:

Strutture aventi periodo proprio T compreso tra 0.1 e 0.5 s

Curva	
	0.03≤ T ≤ 0.45
2	$F_a = - 8.65T^2+5.44T+0.84$

Strutture aventi periodo proprio T compreso tra 0.5 e 1.5 s

Curva	
	0.08≤ T ≤ 0.80
2	$F_a = -6.11T^3+5.79T^2+0.44T+0.93$

Sulla base dei modelli monodimensionali ricostruiti, si ottengono i seguenti risultati:

Categoria Sottosuolo da $V_{s,30}$	**Scheda**	**Curva**	**Periodo T_o [s]**	**Fa**
C	Sabbiosa	2	0.31	**(0.1-0.5 s)1.7**
C	Sabbiosa	2	0.31	**(0.5-1.5 s) 1.4**

2.3.6.4 Confronto tra i valori calcolati e i valori di soglia comunale

Per il comune di Cologno Monzese i valori di Fa di soglia, per la categoria di suolo **C**, sono i seguenti:

- periodo 0.1-0.5 s → Fa di soglia = 1.9

- periodo 0.5-1.5 s → Fa di soglia = 2.4

Quindi risulta:

- **$Fa_{0.1\div0.5\ s} = 1.7 < 1.9$**
- **$Fa_{0.5\div1.5\ s} = 1.4 < 2.4$**

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

2.3.6.5 Considerazioni finali

Sulla base dell'applicazione del II livello di approfondimento sismico di cui alla D.G.R. IX/2616/2011, la categoria di sottosuolo ricavata secondo le procedure contenute nella normativa antisismica (D.M. 17.01.2018) **è sufficiente** a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica propri del sito sia per le strutture con periodo proprio compreso tra **0.1 e 0.5** ossia per le strutture con periodo proprio compreso tra **0.5 e 1.5 s**.

Pertanto, per il progetto di Via dell'Acqua / Via Volta occorre considerare la categoria sismica di sottosuolo C, così come ricavato dalla prova sismica di cui sopra.

3 RELAZIONE GEOTECNICA (R2)

3.1 RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

Normative

- D.M. Infrastrutture e trasporti 17.01.18 – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- D.M. Infrastrutture e trasporti 14.01.08 – Norme tecniche per le costruzioni
- 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
- 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
- D.G.R. 11.07.2014 – n° X/2129 – Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia
- L.R. 12/10/2015 n° 33 – Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche
- 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 materi sismica.

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.

3.2 INDAGINE GEOGNOSTICA

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione dell'area di Via dell'Acqua/Via Volta è stata ottenuta mediante le seguenti indagini eseguite in data 21.05.2018:

- n. 2 prove penetrometriche dinamiche continue SCPT spinte fino a – 7,5 metri;
- n. 1 prova sismica MASW.

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
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

L'ubicazione planimetrica delle indagini eseguite è riportata nella seguente figura e in **All. 1** alla presente relazione; in **All. 2, 3** sono riportate le risultanze delle indagini.

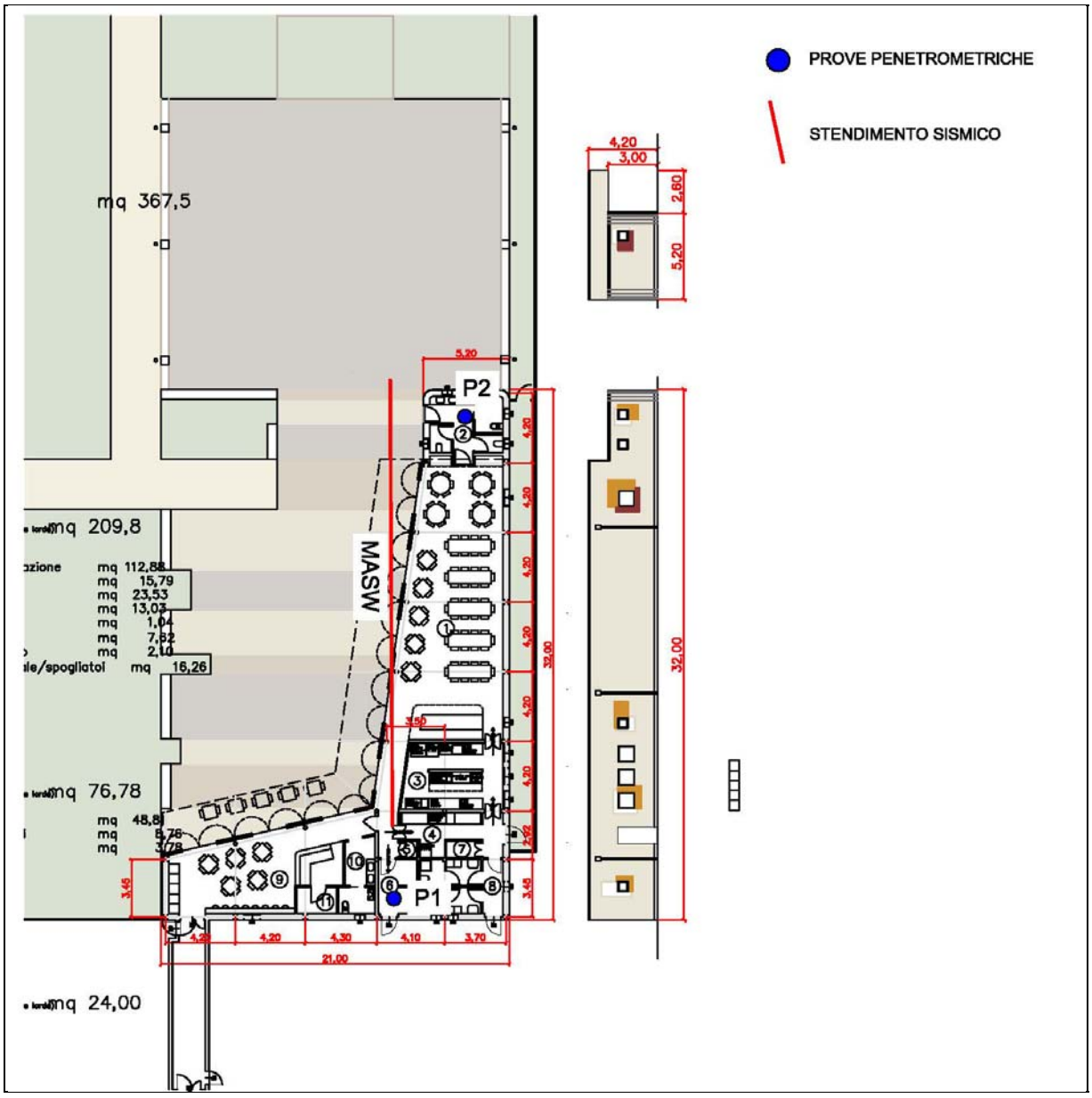


Figura 3.1 – Ubicazione indagini

3.2.1 Prove penetrometriche dinamiche continue SCPT

La prova penetro metrica standard (Standard Cone Penetration Test) consiste nel misurare il numero di colpi necessario ad infiggere per 30 cm nel terreno una punta conica collegata alla superficie da una batteria di aste.

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
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Le misure vengono fatte senza soluzione di continuità a partire da piano campagna: ogni 30 cm di profondità si rileva perciò un valore del numero di colpi necessario all'infissione.

Caratteristiche tecniche:

- altezza di caduta della mazza: 75 cm;
- peso della mazza: 73 kg;
- punta conica: conicità 60°, ϕ = 51 mm;
- aste: ϕ =34 mm.

Il risultato viene dato in forma di grafico, con una linea rappresentante la resistenza che il terreno ha opposto alla penetrazione alla punta (RP).

Il risultato viene dato in forma di grafico, con una linea rappresentante la resistenza che il terreno ha opposto alla penetrazione alla punta (RP).

Figura 3.2 esecuzione delle prove penetrometriche

3.2.2 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 Vs30.

Le caratteristiche della prova sono:

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
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

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.

In All. 3 sono riportati i risultati della prova MASW. Nel riquadro principale si osserva la stratigrafia delle Vs ricavata dalla prova, nonché le curve di dispersione misurate e calcolate. A destra è visibile il sismogramma mentre in basso è riportato il valore del parametro **Vs30** calcolato.

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Figura 3.3Prova MASW - sismografo e stendimento geofoni

3.3 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – TECNICA DEI TERRENI

Le prove penetrometriche SCPT hanno rilevato il seguente andamento geo-meccanico: da 0 metri a circa – 3.5 metri, il terreno presenta un grado di addensamento scarso; da tale profondità al termine delle prove (rifiuto strumentale raggiunto a – 7,5 metri), il terreno è possiede un grado di addensamento buono.

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 delle resistenze all'avanzamento delle prove penetrometriche dinamiche sono stati correlati ai valori di $\mathbf{N_{SPT}}$, utilizzati per la valutazione dei parametri di resistenza e deformabilità, mediante la seguente relazione:

$$\mathbf{Nspt = 1,5 \times Nscpt}$$

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 della caratteristiche granulometriche generali dei terreni, secondo la seguente equazione:

$$\mathbf{N'(60) = N_{SPT} \times 1.08 \times Cr \times Cd \times Cn}$$

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
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

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 (Dr) è stata eseguita secondo le equazioni proposte da Skempton (1986):

$$Dr \cong \sqrt{N_{60}/60}$$

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 riconosciutedue unità geotecniche, suddivise per spessore e aventi le seguenti caratteristiche meccaniche:

UNITA' A - Da 0 metri a circa –3.5 metri

N_{SPT}= 6

Φ = 27°

γ = 18 kN/m^3

D_r = 22 %

UNITA' B - Da circa – 3.5metri a – 7,5 metri

N_{SPT}= 25

Φ = 34°

γ = 19 kN/m^3

Dr = 60 %

N.B.

N_{SP} = numero colpi/30 cm;

Φ =angolo di attrito del materiale;

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

γ = peso di volume;

Dr =densità relativa;

$\mathbf{E_{Young}}$ = modulo elastico di Young stimato.

3.4 CARATTERISTICHE DEL PROGETTO

Sulla base delle indicazioni fornite dai progettisti, riportiamo le caratteristiche principali dell'intervento edilizio.

Il progetto prevede la realizzazione di un edificio ad uso ristorante, costituito da un piano fuori terra e nessun piano interrato.

Si considera una fondazione a platea, avente uno spessore minimo di 0,30 metri.

La platea verrà impostata alla quota di – 1,08 metri dal piano strada.

3.5 CALCOLO DELLA RESISTENZA DI PROGETTO

Per il calcolo della resistenza di progetto Rd, la normativa impone l'utilizzo di coefficienti parziali riduttivi, da applicare ai valori caratteristici dei parametri meccanici del terreno, secondo due approcci (6.4.2.1 – NTC2018).

Le verifiche devono essere effettuate nei confronti dei seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico (GEO) e SLU di tipo strutturale (STR), accertando che la condizione Ed ≤ Rd, dove Ed è il valore di progetto dell'azione e Rd è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

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.

Si è scelto di utilizzare l'approccio 2, dove è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Approccio 2: (azioni A1 + materiali M1 + resistenze R3)

I coefficienti parziali dei parametri di resistenza del terreno (M) sono unitari e la resistenza globale del sistema (R) è ridotta tramite il coefficiente del gruppo R3, pari a 2,3.

Una volta conosciuti ed elaborati i parametri geotecnici, calcoliamo la resistenza di progetto; la valutazione è eseguita sulla base dell'equazione proposta da Brinch-Hansen (1970); l'equazione adottata, nella sua forma più generale, è la seguente:

$$\mathbf{Rk = 0.5\ \gamma\ B\ N_\gamma s_\gamma d_\gamma + c\ N_C\ s_C\ d_C + q\ N_q\ s_q\ d_q}$$

dove:

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
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Rk	[kPa]	= resistenza allo stato limite ultimo;
γ	[kN/mc]	= peso di volume;
B	[m]	= larghezza della fondazione;
c	[kPa]	= coesione;
q	[kPa]	= $\gamma \times$ 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.

Per il calcolo alle condizioni sismiche si è utilizzato il metodo di Paolucci &Pecker (1997).

Alla quota di imposta considerata, i risultati sia in condizioni statiche che in condizioni dinamiche (sismiche) sono i seguenti.

- Condizioni statiche → Carico limite**Rk = 4,07kg/cm^2**;
- Condizioni sismiche → Carico limite**Rk = 4,02kg/cm^2**.

Per il calcolo del valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, l'approccio impone il coefficiente parziale R3 = 2,3.

Ne consegue che la resistenza di progetto Rd, che non deve essere superata dalle azioni di progetto Ed, è:

- Cond. statiche → Res. di progetto **Rd (SLU) = 1,77 kg/cm^2**;
- Cond. sismiche → Res. di progetto **Rd (SLU) = 1,75 kg/cm^2**;

Per il calcolo dei cedimenti, prendiamo in considerazione il carico di esercizio (Stato Limite di Esercizio).

Dividiamo quindi il valore di progetto Rd per il valore medio dei coefficienti di amplificazione delle azioni (A1), che, nel caso dell'approccio considerato, possiamo quantificare in 1,4.

Verificheremo quindi i cedimenti per le seguenti pressioni all'esercizio sul terreno:

- **S.L.E. = 1,25 kg/cm^2**.

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
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

3.6 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Si ricorda che le resistenze calcolate nel precedente capitolo sono governate dai cedimenti tollerabili, generalmente riconosciuti come inferiori o uguali a 25 mm in 15 anni. Infatti, per la platea in progetto si otterrebbe una resistenza maggiore del terreno ma i cedimenti sarebbero superiori a 25 mm.

Per il calcolo dei cedimenti utilizziamo il metodo di Burland&Burbidge, basato su un'analisi statistica di oltre 200 casi reali, comprendenti fondazioni di dimensioni variabili tra 0.8 e 135 m. L'espressione per il calcolo dei cedimenti è la seguente:

$$s = f_s \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[\sigma'_{vo} \cdot B^{0.7} \cdot \frac{I_C}{3} + \left(q' - \sigma'_{vo}\right) \cdot B^{0.7} \cdot I_C \right],$$

dove: q' = pressione efficace lorda (kPa),

σ'_{vo} =tensione verticale efficace agente alla quota di imposta della fondazione (kPa),

B = larghezza della fondazione (m),

I_c = indice di compressibilità,

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

I valori dei cedimenti forniti dall'equazione sopra esposta sono espressi in mm.

Il valore medio di Ic è dato da:

$$I_C = \frac{1.706}{N_{AV}^{1.4}},$$

dove N_{AV} rappresenta la media dei valori N_{SPT} all'interno di una profondità significativa, z_i, deducibile da dati tabulati da Burland&Burbidge (1984) e reperibili in letteratura tecnica.

Se lo strato compressibile ha uno spessore H inferiore ai valori di z_i, nell'equazione per il calcolo del cedimento se ne tiene conto tramite il fattore f_H dalla seguente relazione:

$$f_H = \frac{H}{z_i} \cdot \left(2 - \frac{H}{z_i}\right).$$

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

Il fattore di forma f_s è dato da: $$f_s = \left(\frac{1.25 \cdot L/B}{L/B + 0.25} \right)^2 .$$

Infine, il fattore correttivo f_t, è dato da: $$f_t = \left(1 + R_3 + R \cdot \log \frac{t}{3} \right),$$

in cui t= tempo espresso in anni (≥3);

R_3= costante pari a 0,3 nel caso di carichi statici.

Calcolo dei cedimenti - Burland&Burbidge (1984)		
	Tempo, 0 sec	***Tempo, 15 anni***
Pressione: 1,25 kg/cm^2(SLE)	s_i= 20 mm	s_t= 25 mm

3.7 COEFFICIENTE DI REAZIONE DEL SOTTOFONDO DI WINKLER

Il valore del coefficiente di Winkler è il parametro che permette di determinare la rigidezza di una fondazione; viene calcolato con il metodo di Bowles (1982), in funzione dei cedimenti e della pressione sul terreno.

I risultati ottenuti attraverso il software utilizzato sono:

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 1,58 kg/cm³

Il Tecnico incaricato

Dott. Geol. Efrem Ghezzi

Comune di
COLOGNO MONZESE

INTERVENTO AREA FESTE COMUNALE COLOGNO MONZESE (MI)

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

ALLEGATI

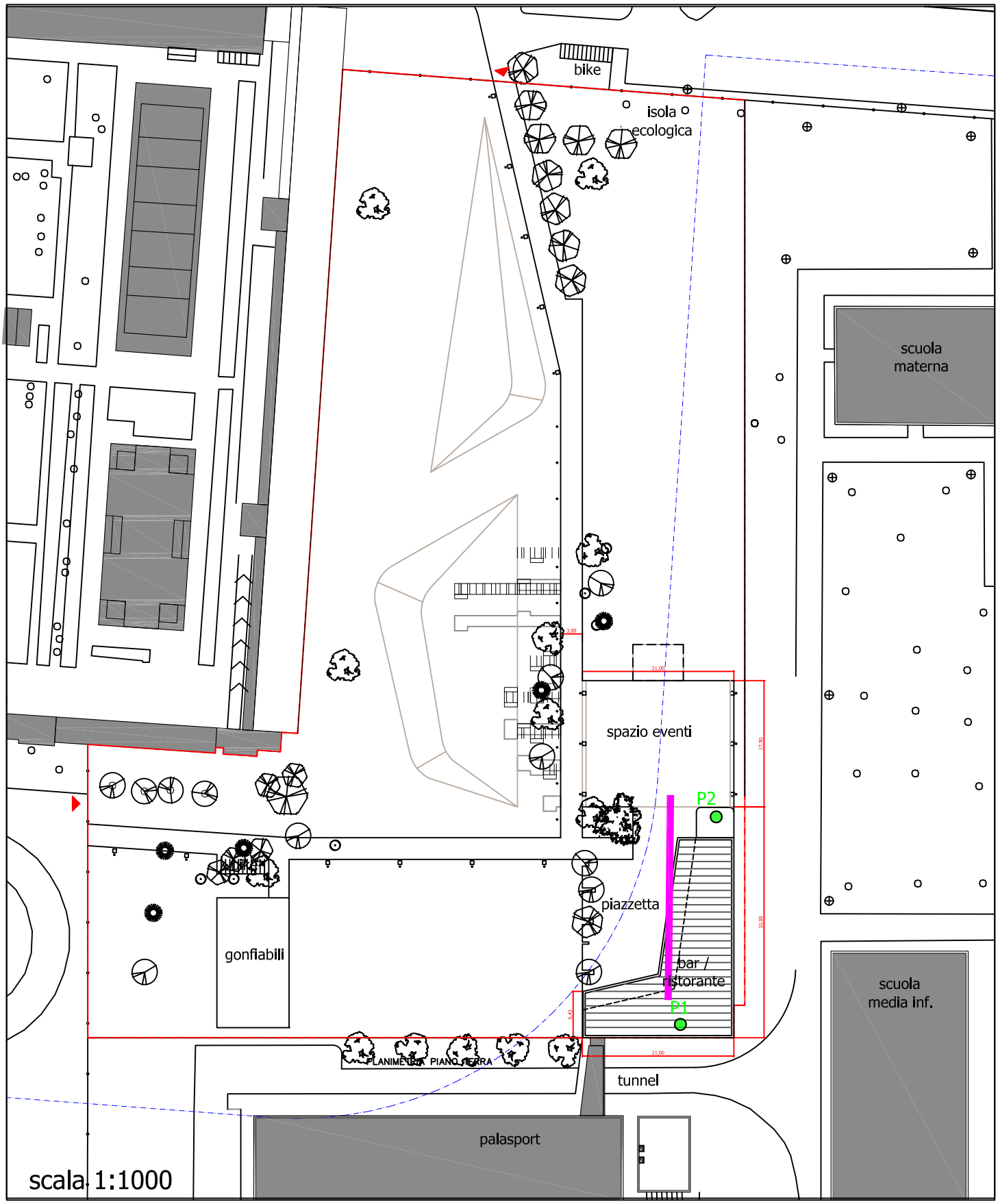
All. 1 - Ubicazione indagini geognostiche - scala 1:1000
All. 2 – Grafici prove penetrometriche dinamiche continue SCPT
All. 3 – Prova sismica MASW
All. 4 - Scheda litologia sabbiosa (D.G.R. IX/2616/2011)

MODULO 9 D.G.R. X/5001/2016
MODULO 10 D.G.R. X/5001/2016

Milano, giugno 2018

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



P1 Prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT)

Stendimento prova sismica MASW

COMUNE DI COLOGNO MONZESE (MI)
Area a feste comunale
UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

STUDIO IDROGEOTECNICO
1964 - 2014

ALL. 1

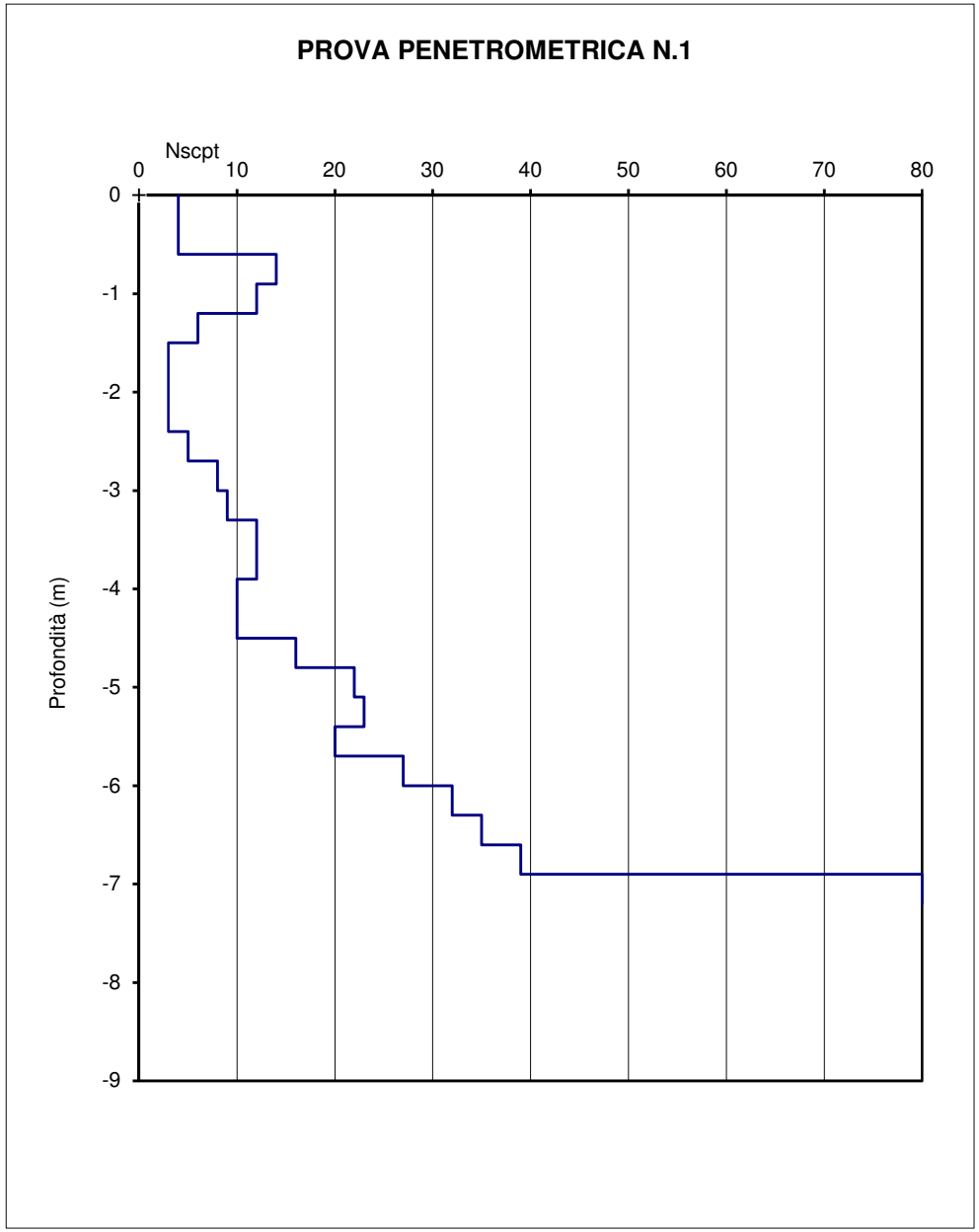
CANTIERE DI COLOGNO MONZESE (MI) - VIA A. VOLTA

DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE: 29/05/2018

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)

Profondità	RP	RL
0	4	
	4	
	14	
	12	
-1,5	6	
	3	
	3	
	3	
	5	
-3	8	
	9	
	12	
	12	
	10	
-4,5	10	
	16	
	22	
	23	
	20	
-6	27	
	32	
	35	
	39	
	R	
-7,5		

Profondità	RP	RL
-9		
-10,5		
-12		
-13,5		
-15		



STUDIO IDROGEOTECNICO 1964 - 2014

ALL. 2

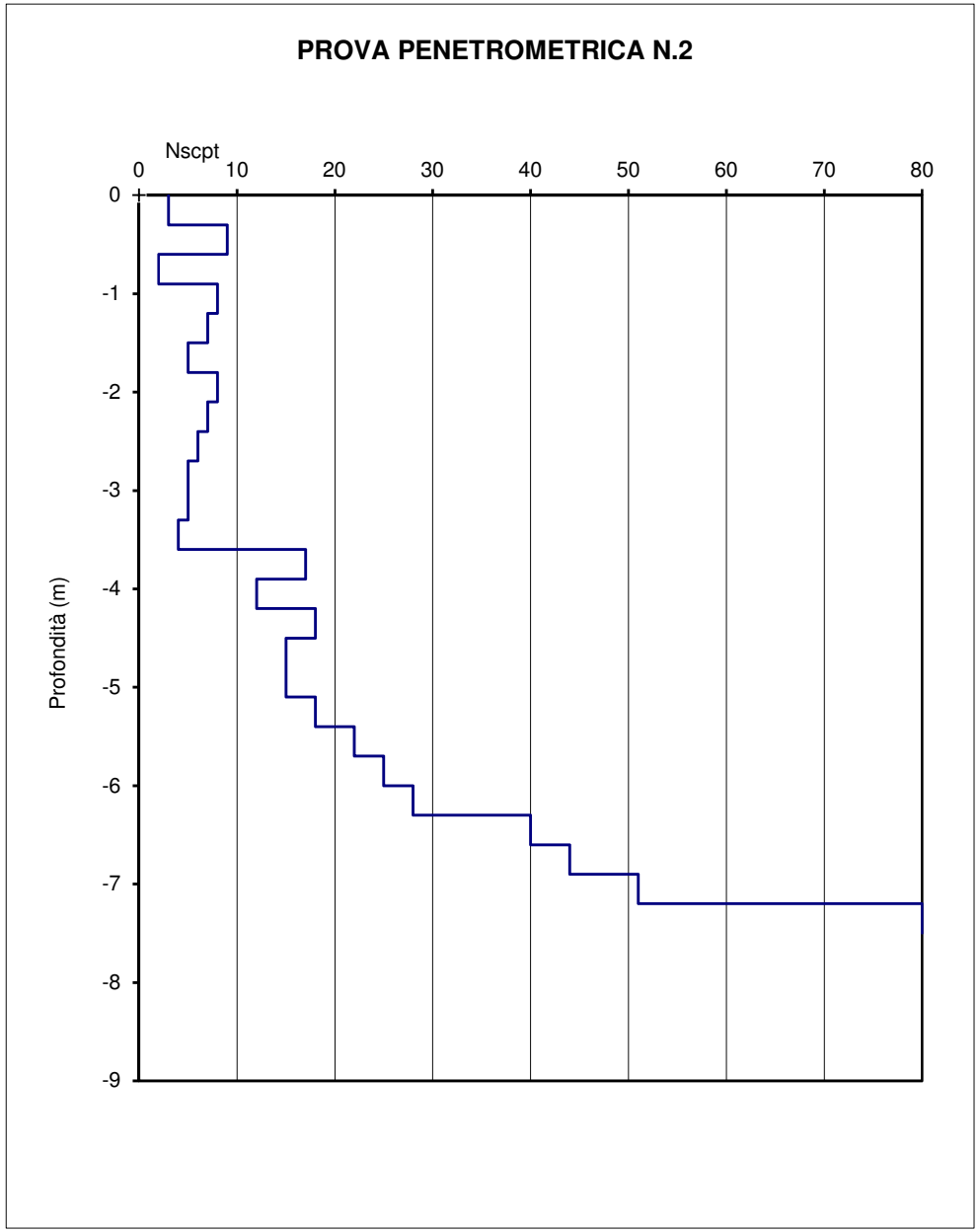
CANTIERE DI COLOGNO MONZESE (MI) - VIA A. VOLTA

DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE: 29/05/2018

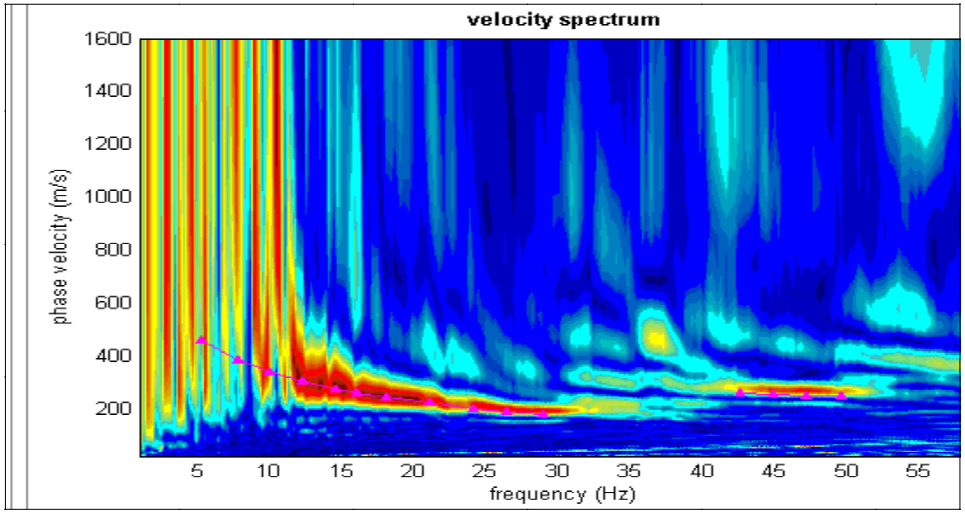
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)

Profondità	RP	RL
0	3	
	9	
	2	
	8	
-1,5	7	
	5	
	8	
	7	
	6	
-3	5	
	5	
	4	
	17	
	12	
-4,5	18	
	15	
	15	
	18	
	22	
-6	25	
	28	
	40	
	44	
	51	
-7,5	R	

Profondità	RP	RL
-9		
-10,5		
-12		
-13,5		
-15		



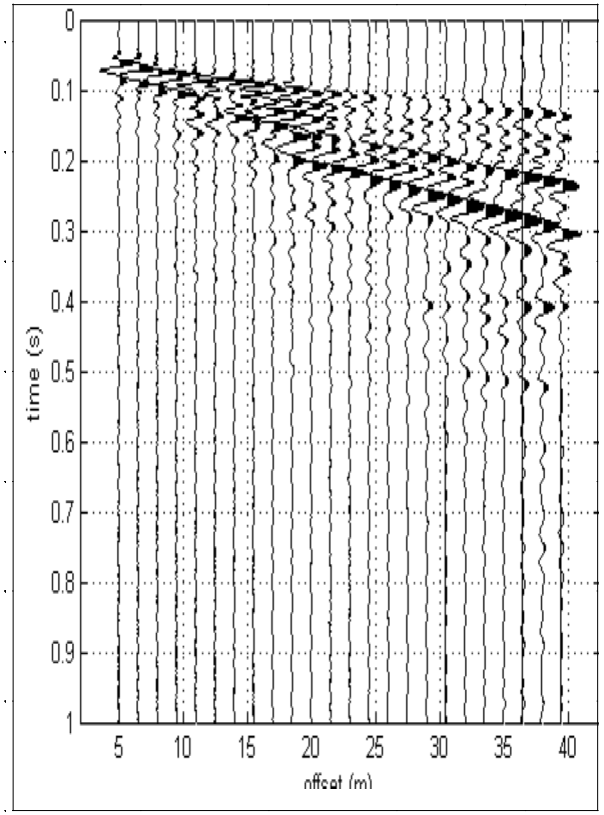
STUDIO IDROGEOTECNICO
1964 - 2014



LEGENDA

- Curva di dispersione misurata
- Curva di dispersione calcolata
- Velocità sismica delle onde S
- Modulo di taglio (Mpascal)
- VsX

Il valore approssimato del peso di volume per il calcolo del parametro G è dato dalla formula D=1.5 + Vs/1000



Sismogramma

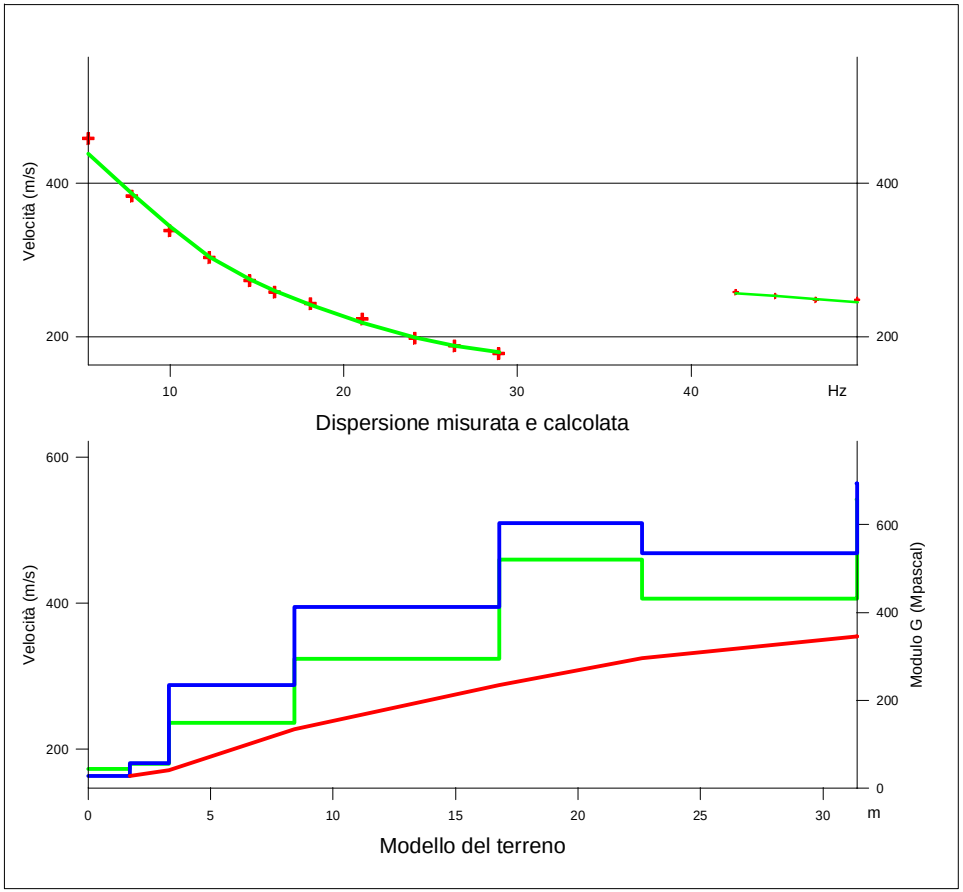


TABELLA DI CALCOLO

Da Prof.	a Prof.	Vs	Hi/Vi	VsX	G
0	1.7	163	.0105	163	44
1.7	3.3	181	.0089	171	55
3.3	8.4	288	.0177	227	148
8.4	16.8	393	.0213	288	294
16.8	22.6	507	.0114	324	520
22.6	31.4	468	.0188	355	432

VALORE CALCOLATO VS30 = 348 m/s

PROVA SISMICA VS30

Località: Cologno Monzese - Via Volta

Committente: Comune di Cologno Monzese

Metodologia MASW

VELOCITA' DELLE ONDE S

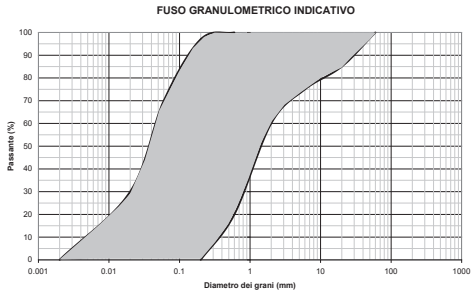
Giugno 2018

ALL. 3

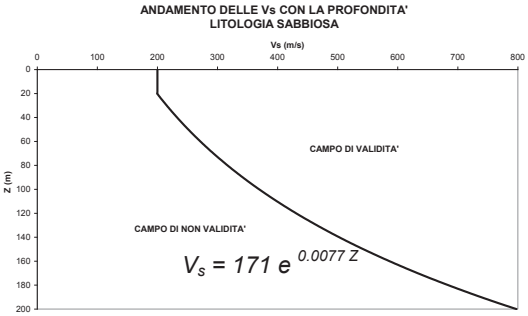
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

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%

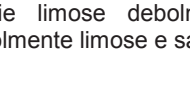


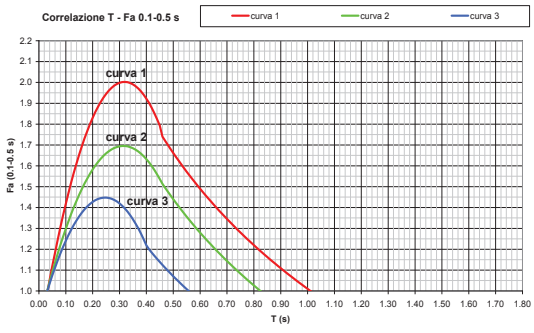
Profondità primo strato (m)

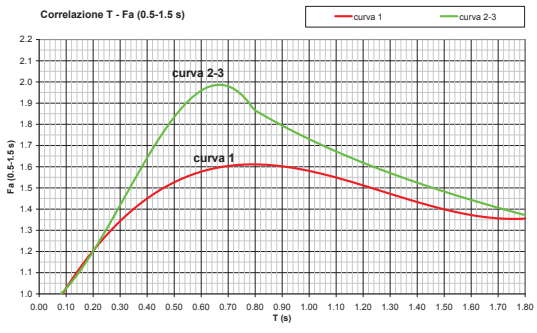
Velocità primo strato (m/s)	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200		2	1-2	2	3	3	3	3	3	3												
250		2	1-2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
300		2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA						
350		2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA					
400		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA				
450		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
500		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	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	
700		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	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 Vs minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s







Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	0.03 ≤ T ≤ 0.50	0.50 < T ≤ 1.00	T > 1.00
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.21\ T^2 + 7.79\ T + 0.76$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94\ \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	0.03 ≤ T ≤ 0.45	0.45 < T ≤ 0.80	T > 0.80
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.65\ T^2 + 5.44\ T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88\ \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	0.03 ≤ T ≤ 0.40	0.50 < T ≤ 0.55	T > 0.55
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.68\ T^2 + 4.77\ T + 0.86$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65\ \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva		
1	0.08 ≤ T ≤ 1.80	
	$Fa_{0.5-1.5} = 0.57\ T^3 - 2.18\ T^2 + 2.38\ T + 0.81$	
2 3	0.08 ≤ T < 0.80	0.80 ≤ T ≤ 1.80
	$Fa_{0.5-1.5} = -6.11\ T^3 + 5.79\ T^2 + 0.44\ T + 0.93$	$Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61\ \ln T$