

data 12/2016	scala	committente La Linea Verde S.p.a.	il committente	
tavola <b>All. F</b>		<b>Relazione geologica comparto B</b>	lavoro <b>Piano Attuativo AdT n° 9</b>	

ConsultinGEO Environment



ConsultinGeo Environment

STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA E AMBIENTALE

## RELAZIONE GEOLOGICA

Proprietà: Spett.le Linea Verde Società Agricola S.p.a., Via Artigianale 49/B, Manerbio (BS).

Oggetto: Relazione geologica e studio di microzonazione sismica relativa al Piano Attuativo 9B ricadente in F° 6, mapp. 213 in via Artigianale 49/B, Manerbio (BS).

Desenzano del Garda, 20/09/2016.

IL TECNICO

Dott. Geol. Massimo Pasquale FEDELE

Via Antonioli 221 – 25015

Desenzano del Garda (BS) - Italy

Tel. 3345719897

E-mail: [studiogeologofedele@libero.it](mailto:studiogeologofedele@libero.it)

.....



**INDICE.**

<b>1.0</b>	Normativa di riferimento	Pag. 3
<b>2.0</b>	Premessa	Pag. 5
<b>3.0</b>	Inquadramento del sito	Pag. 7
	3.1 Inquadramento territoriale ed urbanistico	Pag. 7
	3.2 Inquadramento geologico, idrogeologico e litostratigrafico generale e locale	Pag. 7
	3.2.1 geomorfologia	Pag. 7
	3.2.2 geologia	Pag. 8
	3.2.3 idrogeologia	Pag. 9
<b>4.0</b>	Rilevamento geologico tecnico	Pag. 11
<b>5.0</b>	Descrizione delle indagini geologiche	Pag. 11
<b>6.0</b>	Modello geologico di riferimento	Pag. 21
<b>7.0</b>	Stima della pericolosità sismica di base	Pag. 20
<b>8.0</b>	Analisi sismica di secondo livello	Pag. 23
	8.1 Cenni teorici sulle metodologie utilizzate	Pag. 25
	8.2 Strumentazione utilizzata	Pag. 29
	8.3 Tracce	Pag. 30
	8.4 Analisi spettrale	Pag. 33
	8.5 Calcolo della $V_{S30}$	Pag. 37
	8.6 Fattore di amplificazione $F_a$ secondo la procedura prevista dalla L.R. 12/05	Pag. 37
<b>9.0</b>	Pericolosità geologica e rischio geologico dell'opera	Pag. 38
<b>10.0</b>	Conclusioni	Pag. 40
<b>11.0</b>	Bibliografia tecnica	Pag. 43
	Allegati: Carta litologica.	



## 1.0 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione ha le sue basi legali nella seguente normativa nazionale (in ordine cronologico):

- Regio Decreto n° 523/1904 (fascia di rispetto dei corsi d'acqua secondari);
- Regio Decreto 30-12-1923 n. 3267 "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani";
- Regio Decreto 16 maggio 1926, n. 1126 "Approvazione del regolamento per l'applicazione del R.D. 30 dicembre 1923, n. 3267 (2), concernente il riordinamento e la riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani";
- Norma Tecnica A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana (1977) "Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche";
- Circ. Min. LL.PP. 24.09.1988 n° 30483 – "Istruzioni 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Norma Tecnica ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) (oggi IMSSGE) "Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure. Proc. ISOPT-I, Orlando (USA)";
- Legge 18 Maggio 1989, n. 183 - Norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), Interventi sulla rete idrografica e sui versanti;
- D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380 – "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia";
- Eurocodice 7.2 (2002). Progettazione assistita da prove di laboratorio – UNI;
- Eurocodice 7.3 (2002). Progettazione assistita con prove in sito – UNI;
- D.L. 42/2004 - "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'art. 10 legge 6 luglio 2002 n. 137";
- Norma Tecnica UNI EN ISO 22476-2:2005 "Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing (Tabella 1, pagina 9)" (Indagini e prove geotecniche - Prove in sito- Parte 2: Prova di penetrazione dinamica. La norma specifica i requisiti per le indagini indirette dei terreni mediante prova di penetrazione dinamica quale parte delle indagini e prove geotecniche previste dall'Eurocodice 7);
- Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" detto (Codice ambientale), come modificato dal D.Lgs. 16 gennaio 2008, n. 4 e dal decreto-legge 29 novembre 2008, n. 185 convertito nella Legge 28 gennaio 2009, n. 2;
- Circolare n. 36 del 27 Luglio 2007 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, contenente "Pericolosità sismica e Criteri Generali per la classificazione sismica del territorio nazionale";
- Decreto Direttore Generale – 3 agosto 2007, n° 8943, "Linee Guida di Polizia Idraulica";
- Decreto Ministeriale 14.01.2008 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Decreto Legislativo 16.01.2008 n. 4: Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale;
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81 "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro";
- Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 contenente "Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008";
- Decreto 10 agosto 2012, n. 161 – "Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo." (GU n. 221 del 21-9-2012);
- Legge n° 98 del 9 agosto 2013 di conversione, con modifiche, del decreto legge 21 giugno 2013, n° 69, recante "Disposizioni urgenti per il rilancio dell'economia" (cd "decreto Fare");
- Disposizioni contenute all'interno delle Norme Geologiche del P.G.T. del comune di Manerbio, settembre 2009 ("Aggiornamento della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. secondo i criteri e gli indirizzi dell'art. 57 della L.R. 11/03/2005 e successive modifiche ed integrazioni") e della Relazione Geologica che accompagna il Piano Regolatore Generale del comune di Manerbio (agosto 2014).

La normativa regionale interessata è:

- D.G.R. n° 6/15137/1996 - "Direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee (pozzi e sorgenti) destinati a consumo umano (D.P.R. n° 236/1988)";



- D.G.R. 10 aprile 2003 n.7/12693. “Decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152 e successive modifiche, art. 21, comma 5- Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo umano”;
- L.R. Lombardia del 12 dicembre 2003 n. 26 “Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche”;
- Regolamento Regionale N. 3 del 24 marzo 2006 – “Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell’articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26”;
- L.R. Lombardia 11 marzo 2005, n. 12 – “Legge per il governo del territorio”;
- D.G.R. della Regione Lombardia n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 - “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57 della L.R. 11 marzo 2005, n. 12”;
- D.G.R. della Regione Lombardia n. 8/2318 del 05 aprile 2006 - “Norme tecniche regionali in materia di trattamento degli scarichi di acque reflue in attuazione dell’art. 3, comma 1 del Regolamento Reg. 2006, n. 3”;
- Regolamento regionale 24 marzo 2006 - n. 3 “Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell’articolo 52, comma 1, della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26”;
- Regolamento regionale 24 marzo 2006 - n. 4, “Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell’art.52 comma 1, lettera a, della legge regionale 12 dicembre 2003, n.26”;
- Regolamento regionale 20 luglio 2007 - n. 5 – “Norme forestali regionali, in attuazione dell’articolo 11 della legge regionale 28 ottobre 2004, n. 27 (Tutela e valorizzazione delle superfici, del paesaggio e dell’economia forestale)”;
- L.R. 05/12/2008, n. 31 “Testo unico delle leggi regionali in materia di agricoltura, foreste, pesca e sviluppo rurale”;
- D.G.R. Lombardia n. 9/2616 del 30.11.2011 - “Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio", in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11.03.2005 n.12, approvati con D.G.R. 22.12.2005 e successivamente modificati con D.G.R. 28.5.2008 n. 8/7374”.
- D.G.R. 21 Luglio 2014, n. 2129 “Aggiornamento delle zone sismiche in regione lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)”;
- Legge regionale n. 33 del 12 ottobre 2015, recante “Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche”;
- Legge Regionale 15 marzo 2016, n. 4 – “Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua”;
- 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);

Raccomandazioni e specifiche:

- AGI Associazione Geotecnica Italiana- Raccomandazioni sulla Programmazione ed esecuzione delle Indagini Geotecniche (1997);
- ASTM D1586-11- Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils (2011);
- NAVFAC DM-7- Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures (1971).



## 2.0 PREMESSA

A seguito d'incarico dello Studio Tecnico dell'Arch. Michelangelo Tiefenthaler, via Verdi n. 42, Manerbio (BS), è stata redatta la presente "Relazione Geologica". Tale relazione è compilata seguendo i dettami della norma vigente e dello stato dell'arte, per un Piano Attuativo (strumento urbanistico particolareggiato) in un'area del comune di Manerbio (BS) in via Artigianale, di proprietà della Linea Verde Società Agricola S.p.a.



L'area oggetto dell'intervento ha coordinate geografiche riferite all'ellissoide European Datum 1950-ED50: latitudine **45,360195°** e longitudine **10,125283°** (Est da Greenwich), Coordinate Piane Gauss Boaga: Est 1.588204,5 mt, Nord 5.023498,2 mt.

Il sito è anche identificato nella cartografia di dettaglio di seguito riportata.

Il progetto di massima redatto dallo Studio Tecnico prevede la realizzazione di un capannone a uso industriale a est dell'insediamento. Esso ha una superficie massima di circa 7.600 mq, probabilmente sarà a due piani con la monda e le lavorazioni al piano primo, mentre i depositi al piano terra.

Poiché trattasi di una costruzione con normali affollamenti, sulla scorta del D.M. 14.01.2008 la Classe d'Uso è la **classe II** (NTC 2008 – 2.4.2).

La presente Relazione Geologica è stata compilata secondo l'Art. C.6.2.1 Circ. n. 617/2009 che recita: "Il Modello Geologico deve definire con preciso riferimento al progetto i

lineamenti morfologici della zona nonché gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali e la loro tendenza evolutiva, la successione litostratigrafica locale, con la descrizione della natura e della distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità; inoltre, deve illustrare i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità e fornire lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea". Ogni progetto avrà il suo specifico Modello Geologico di Riferimento MGR che approfondirà gli aspetti propri e le peculiarità che influiscono direttamente o indirettamente sulla realizzazione e sulla "vita" dell'opera specifica considerata. Il Modello Geologico di Riferimento deve riconoscere e descrivere oltre alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, geologico-strutturali, idrogeologiche, anche gli aspetti connessi alla genesi dei diversi litotipi, quali l'ambiente deposizionale, l'ambiente e le condizioni di genesi dei terreni e delle rocce, gli assetti tettonici dell'area in studio. Tutte queste cognizioni sono indispensabili per prevedere le possibili variazioni delle caratteristiche fisiche, geotecniche e geomeccaniche dei materiali e l'evoluzione morfodinamica dell'area. Il Modello Geologico deve essere capace, attraverso procedimenti di analisi sopra evidenziati, di riconoscere e descrivere, il più oggettivamente possibile, le criticità ed i pericoli di natura geologica.

A tal fine, è stata attuata una ricerca bibliografica e delle cartografie disponibili, il portale Web della Regione Lombardia e il S.I.T. della provincia di Brescia e le tavole incluse alla relazione geologica allegata al DdP del P.G.T. del comune di Manerbio.

E' stato in seguito compiuto un rilevamento sul campo e analisi dello stato dei luoghi, effettuati per individuare eventuali problematiche di ordine morfologico che potessero interferire negativamente con il manufatto di progetto.



Le indagini geologiche eseguite in questa fase preliminare della progettazione con la quale si valuta la prefattibilità dell'opera in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008, sono state programmate ed eseguite compatibilmente con la situazione logistica dell'area e hanno permesso di determinare le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni presenti.

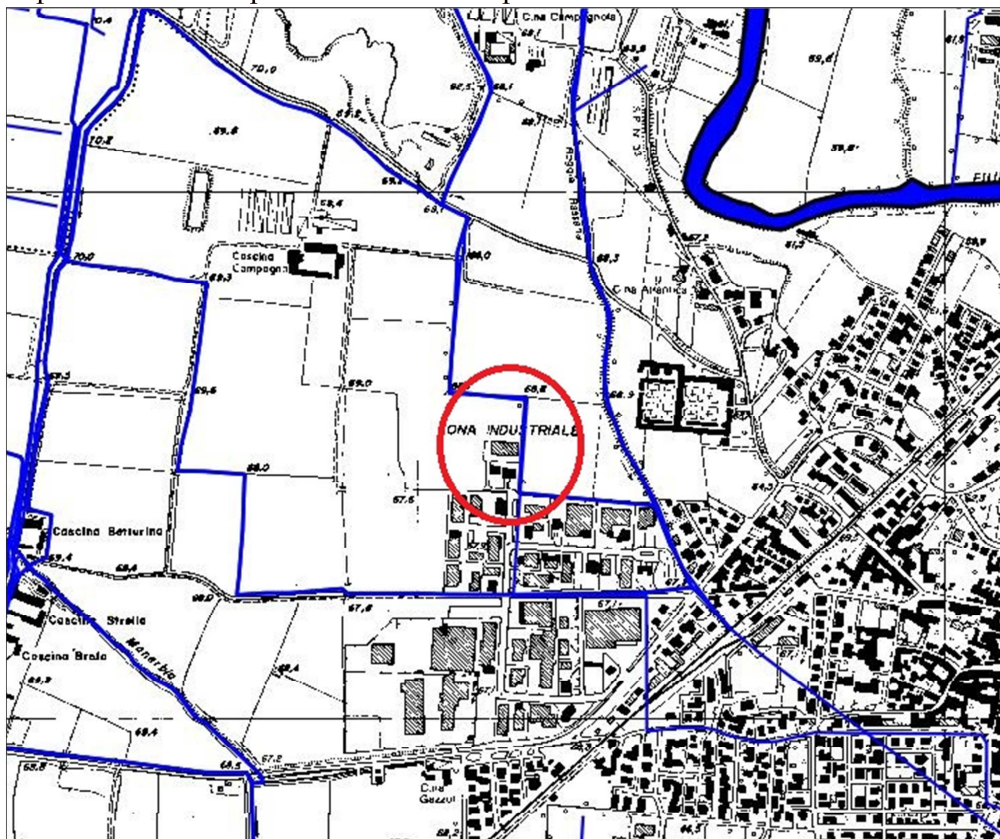
E' stato in seguito effettuato uno studio geologico e geomorfologico commisurato all'entità e dimensione dell'intervento stesso e alle effettive problematiche dell'area d'intervento e di un congruo intorno.

Per quanto riguarda la pericolosità sismica dell'area, si è fatto riferimento alle mappe e ai dati pubblicati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti GNDT, dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV e dal CNR Istituto Nazionale di Geofisica. In particolare si fornisce la pericolosità sismica di base (cioè l'accelerazione orizzontale massima  $a_g$  al bedrock) dell'area.

Le acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, cioè le analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva (Park et al., 1999), sono state utili anche a definire il profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) per stimare l'effetto di sito. La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della  $V_{s30}$  (il valore medio della  $V_s$  nei primi 30 mt. di profondità).

L'indagine sismica di microtremore ha invece misurato direttamente i picchi di risonanza dovuti a contrasti d'impedenza acustica, fonte principale di amplificazione sismica.

I dati raccolti e le analisi svolte hanno permesso l'accertamento di eventuali prescrizioni per la mitigazione del rischio idrogeologico preesistente del territorio, per il conseguente corretto inserimento dell'opera nel contesto vegetazionale e idrogeologico tale da non recare danno all'assetto idrogeologico del territorio e, quindi, del corrispondente interesse pubblico.



Estratto dalla Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 (evidenziato in rosso il baricentro dell'area)



### 3.0 INQUADRAMENTO DEL SITO

#### 3.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED URBANISTICO

Nel presente paragrafo è descritto un inquadramento geologico generale dell'area in studio e di un suo intorno significativo, derivato dai dati diffusi dalla letteratura.

Il progetto dell'opera si colloca in un'area stabile subpianeggiante nella bassa pianura bresciana, costituita essenzialmente da potenti depositi alluvionali quaternari di tipo fluvioglaciale e fluviale.

La zona in studio è situata a una quota di circa **67,6** mt s.l.m. (dato tratto da CTR in scala 1:10.000), riportata in catasto al F° **6**, mapp. **213**, con uso del suolo costituito da **capannoni industriali, incolto e piazzali cementati**. La destinazione urbanistica prevista secondo il P.G.T. è a uso **produttivo**.

#### 3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO IDROGEOLOGICO E LITOSTRATIGRAFIA GENERALE E LOCALE DEL SOTTOSUOLO

##### 3.2.1 Geomorfologia

Geomorfologicamente l'area in studio, e parte della zona circostante, è composta di un deposito continentale cartografato nella *Carta Geologica e Geomorfologica* comunale come **Unità del livello fondamentale della pianura** a morfologia relativamente uniforme formatasi alla fine del Pleistocene, che

ricade nella cosiddetta **bassa pianura sabbiosa** costituita da depositi alluvionali fluvioglaciali e fluviali prevalentemente sabbiosi e limosi riferibili al Pleistocene superiore. Il territorio ha una morfologia globalmente pianeggiante, interrotta dall'incisione del Fiume Mella, disposta da NW verso SE.

La piana si è formata per colmamento alluvionale durante l'ultima glaciazione "wurmiana" da parte dei torrenti alimentati dalle acque di fusione del ghiacciaio sebino.

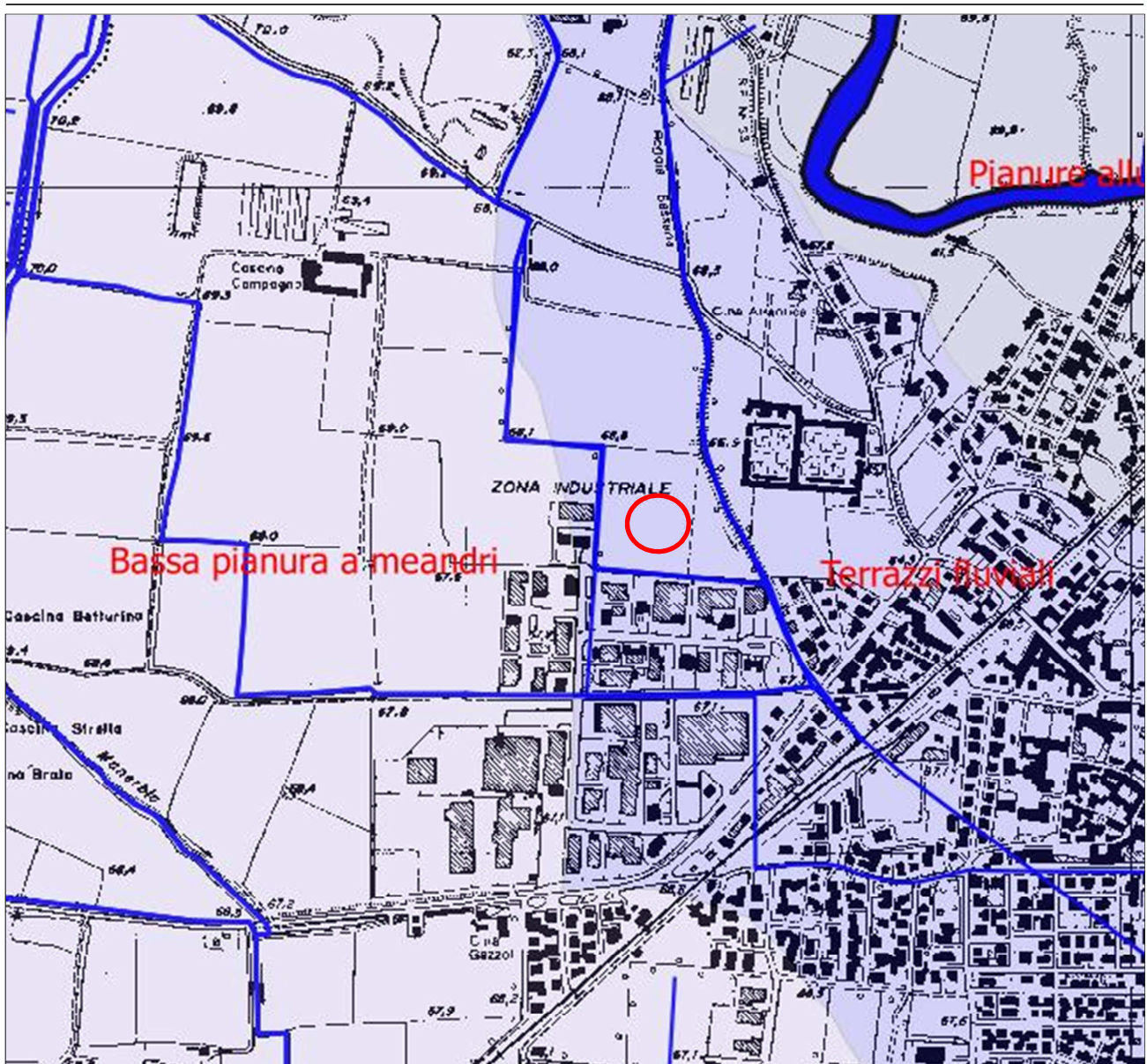
Successivamente, durante l'Olocene, il Fiume Mella ha inciso i depositi fluvioglaciali e fluviali formando una valle fluviale depressa di circa 6-8 metri, delimitata da scarpate erosive, all'interno della quale ha depositato sedimenti alluvionali. In seguito questi ultimi sono stati a loro volta incisi e all'interno del nuovo solco d'erosione sono state deposte le alluvioni più recenti. Mano a mano che il F. Mella incideva la propria valle fluviale, anche i suoi affluenti erodevano i depositi fluvioglaciali e fluviali della pianura, producendo strette incisioni vallive.

La zona in studio si trova sui bordi della valle,

dove è presente il **terrazzo fluviale intermedio** (Pleistocene sup.- Olocene) situato a quote intermedie tra il livello fondamentale e costituito da sedimenti sabbioso-limosi più antichi e maggiormente addensati. Esso rappresenta un brandello di piana più antica risparmiato dalle fasi erosive che hanno poi abbassato il livello sino a portarlo a quello attuale.







### 3.2.2 Geologia

L'area in esame e quelle contermini sono contraddistinte dalla presenza dell'unità litologica che corrisponde all'unità morfologica e idrogeologica, individuata dalla cartografia ufficiale (Foglio 47 – "Brescia" della Carta Geologica d'Italia, che rappresenta il riferimento bibliografico per la nomenclatura e la descrizione della formazione affiorante) come segue:

**fg<sup>w</sup>: alluvioni fluvio-glaciali**, prevalentemente sabbiose e limose con strato di alterazione brunastro, di spessore limitato. Costituiscono la media pianura a valle della zona delle risorgive –Würm.

Litologicamente l'area in studio, e parte della zona circostante, è composta di un deposito formato da sedimenti costituiti da alternanze di **sabbie limose con intercalazioni ghiaiose o argillose**; i suoli sono bruni, talvolta con evidenti fenomeni d'idromorfia. Le diverse facies formano corpi stratiformi potenti diversi metri.

La carta geologica riprodotta in allegato riassume quanto finora descritto ed evidenzia i rapporti esistenti tra le varie formazioni in esame e il territorio circostante.

La banca-dati della Regione Lombardia riporta per l'area in studio, e parte della zona circostante, un deposito continentale cartografato con la sigla **sabbie limose**. Tale deposito appartiene all'**Unità a sabbie frammiste a locali depositi fini (limi e argille)**.



### 3.2.3 Idrogeologia

Idrogeologicamente l'osservazione delle stratigrafie dei pozzi permette di distinguere due unità idrogeologiche principali che vengono di seguito descritte.

L'unità sabbioso-ghiaiosa più superficiale (Pleistocene superiore) è caratterizzata da depositi sabbiosi con intercalazioni ghiaioso limoso-argillose, complessivamente molto permeabile, circolazione consistente e trasmissività elevata. Essa è presente fino a 50,0 mt. di profondità (curva rossa della superficie basale del Gruppo A nella cartografia in allegato). Tale unità è sede di una falda acquifera libera con produttività limitata. In superficie sono localmente presenti orizzonti limosi. La presenza di orizzonti a minore permeabilità, costituiti da livelli a granulometria fine, determina un deflusso preferenziale dell'acqua nei litotipi più permeabili e di conseguenza la circolazione idrica si sviluppa prevalentemente in livelli sovrapposti.

Da circa 50,0 mt. di profondità si evidenziano livelli limoso-argillosi che assumono spessori anche notevoli con intercalazioni sabbiose o sabbioso-ghiaiose che contengono falde confinate o semiconfinate. Si ritiene comunque che i livelli siano in parte tra loro intercomunicanti, perché gli orizzonti a bassa permeabilità non sembrano estesi e continui a tal punto da separare completamente gli acquiferi. Di conseguenza i livelli acquiferi contenuti nei depositi sabbioso-ghiaiosi possono essere ricondotti a un'unica circolazione idrica sotterranea. Si tratta quindi di una falda acquifera multistrato, all'interno della quale la presenza di orizzonti a minore permeabilità determina fenomeni di drenaggio ritardato. Tuttavia localmente, laddove in superficie sono presenti depositi fini limosi, possono formarsi falde sospese superficiali di esigua entità.

La "Carta Idrogeologica e del Sistema Idrografico" dello studio geologico comunale allegato al P.G.T. riporta, per quanto riguarda la soggiacenza, cioè la profondità della **falda** dal piano campagna è generalmente compresa tra **8,0 e 9,0 mt.** La falda presenta una certa escursione stagionale (la minima soggiacenza si registra al termine della stagione estiva, mentre il massimo abbassamento nella stagione invernale-primaverile) con variazioni variabili del livello piezometrico. Globalmente la falda immerge verso SE. È evidente la presenza di un asse drenante in corrispondenza del Fiume Mella. La falda presenta un gradiente piezometrico, pari al 2,5 - 3,0 ‰.

Considerata la litologia grossolana e sciolta dei terreni dell'areale in studio, deve essere considerata moderata la capacità protettiva dei suoli ed elevato il grado di vulnerabilità del primo acquifero, a proposito della velocità di infiltrazione degli eventuali inquinanti provenienti dalla superficie.

La falda acquifera profonda confinata o semiconfinata risulta invece protetta nei confronti di eventuali infiltrazioni di sostanze inquinanti provenienti direttamente dalla superficie topografica.

#### Idrografia superficiale.

Dal punto di vista dell'idrografia superficiale la "Carta Idrogeologica e del Sistema Idrografico" comunale individua un sistema di drenaggio caratterizzato principalmente dalla presenza del F. Mella. Il reticolo idrografico minore di Manerbio è costituito da una serie di canali secondari in parte gestiti direttamente dal Comune di Manerbio, in parte gestiti da una serie di consorzi minori. Esso è complesso e consente di irrigare i terreni agricoli attraverso innumerevoli canali secondari. I canali principali sono alimentati a monte dalla fascia delle risorgive.

L'area non presenta nessuna criticità dal punto di vista idraulico perché ricade in un settore di territorio privo di rischi d'inondazione nel caso di piena catastrofica.

Sulla "Carta dei Vincoli esistenti" è riportato il vincolo di polizia idraulica del tratto intubato della Seriola Luzzaga appartenente al reticolo idrografico minore con una fascia di rispetto di 4 mt.

Non è cartografato un vincolo ambientale, idrogeologico (che è situazione diversa dal rischio idrogeologico e idraulico in quanto cartografato con criteri non scientifici), paesistico, cimiteriale, di

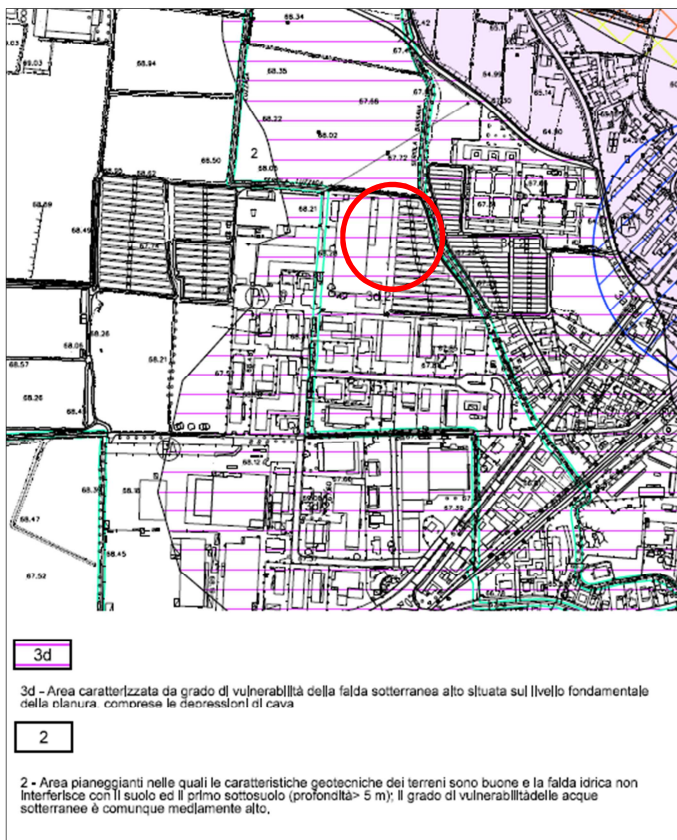


polizia idraulica e di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile.

L'area oggetto di costruzione è distante dalla fascia C di inondazione per piena catastrofica del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, cioè quella fascia di territorio che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

Allo stato attuale le possibilità di divagazione del fiume Mella, e quindi la sua interazione sulle morfologie circostanti, sono limitate o addirittura escluse dalle arginature presenti sia in sponda destra sia in sponda sinistra. Tali arginature sono state oggetto d'interventi d'innalzamento nel periodo 1980-1985, che hanno evitato problemi d'esondazione durante gli eventi meteorici a carattere eccezionale verificatisi negli ultimi anni (1993, 1997, 2000 e 2002).

Nella "Carta di sintesi" il lembo di territorio in oggetto, è inserito in **Aree Vulnerabili dal punto di vista idrogeologico, con grado di vulnerabilità delle acque sotterranee alto**.



Come riporta la tavola "Pericolosità sismica" dello Studio geologico comunale, dicembre 2007, nel territorio esaminato potrebbero verificarsi fenomeni di amplificazione sismica locale riferibile allo scenario di amplificazione litologica e geometrica **Z4a - zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e /o fluvio-glaciali granulari e /o coesivi** (Tab. 1 Allegato 5 del D.G.R. 28.05.2008 n. 8/7374). A seguito dell'applicazione del 2° Livello di approfondimento previsto dalla D.G.R. 7374/2008, è stato calcolato il fattore di amplificazione  $F_a$  che è inferiore al valore di soglia comunale corrispondente stabilito dalla Regione Lombardia per suoli di tipo B e C. Perciò la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa stessa.

Come restituisce la Tavola della "Carta Della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano" dello

studio geologico comunale, agosto 2008, è prevista la **Classe di Fattibilità 3d**, che comprende aree caratterizzate da grado di vulnerabilità della falda sotterranea alto situata sul livello fondamentale della pianura, comprese le depressioni di cava. In questa classe sono incluse zone con consistenti limitazioni alla modifica della destinazione d'uso dei terreni e all'utilizzo a scopi edificatori, che possono essere superate mediante uno studio geologico, come quello in oggetto, che verifica per mezzo di rilievi, indagini e prove, le tematiche geologico-tecniche secondo le disposizioni in vigore.



#### 4.0 RILEVAMENTO GEOLOGICO TECNICO

Il rilievo diretto geologico e geomorfologico del settore subpianeggiante è stato finalizzato alla ricerca delle discontinuità del terreno (giunti di deposizione, faglie, diaclasi, fratture) oltre alla diretta osservazione dei depositi in affioramento. Esso è stato eseguito secondo il criterio litocronostratigrafico per un intorno di ampiezza congrua con le dimensioni dei processi di modificazione delle forme del rilievo e con le condizioni idrauliche con le quali l'intervento edificatorio previsto può interagire.

In sede di sopralluogo s'individua una topografia pianeggiante che non crea problemi di stabilità legati alla pendenza dei depositi. Non si rilevano lesioni riscontrabili sulle strade, abitazioni, muri.

L'azione antropica è aver modificato nel tempo l'originaria configurazione dei luoghi. L'area è stabile e non interessata da alcun fenomeno geomorfico in atto, né si riscontrano problematiche di tipo idraulico.

Il drenaggio delle acque è reso difficile dalla bassa permeabilità dei terreni e, spesso, dalla presenza della falda a limitata profondità, ma in occasione d'intense precipitazioni meteoriche un'aliquota dell'acqua piovana, penetrando nei terreni, s'introduce nella struttura stessa del terreno provocando una variazione nella consistenza e nelle caratteristiche del terreno stesso. Trattandosi di terreni superficiali limoso-argillosi, dotati di un qualche grado d'impermeabilità, l'acqua imbibisce il terreno e ne provoca la plasticità.

#### 5.0 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE



Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni in situ, propedeutica all'elaborazione di un verosimile modello geologico e geotecnico del sottosuolo, in ottemperanza alle prescrizioni imposte dalla normativa e dalla classe 3 di fattibilità geologica entro cui ricade il lotto d'indagine, alle caratteristiche stratigrafiche più superficiali dell'area in esame e all'importanza e alle dimensioni dell'opera oggetto dell'intervento, sono stati compiuti, in prossimità dell'area d'impronta del fabbricato di progetto, due prove penetrometriche senza ausilio di rivestimento, un sondaggio sismico di microtremori e uno stendimento sismico del tipo Masw finalizzati alla ricostruzione della successione stratigrafica e dello spessore dei sedimenti sciolti e per una successiva valutazione delle caratteristiche geotecniche.

Le **prove penetrometriche** sono finalizzate alla ricostruzione della

successione stratigrafica, dello spessore dei sedimenti sciolti e per una posteriore valutazione delle caratteristiche geotecniche. Essa permettono di ottenere un andamento continuo delle caratteristiche di



resistenza alla penetrazione con la profondità, permettono d'investigare un volume maggiore di terreno e sono in generale più rapide ed economiche.

Le prove sono state effettuate mediante **strumento unificato DPH (Dynamic Probing Heavy)**. Tale sonda DPH standardizzata da parte della competente Commissione europea e le modalità di esecuzione della prova penetrometrica rientrano negli Standard di riferimento dei Penetrometri Dinamici Medi normalizzati dalle seguenti norme:

Elemento		Tipo di prova di riferimento			
		DPL	DPM	DPH	DPSH
Maglio	(kg)	10 ± 0.1	30 ± 0.3	50 ± 0.5	83.5 ± 0.5
Caduta	(m)	0.5 ± 0.01	0.5 ± 0.01	0.5 ± 0.01	0.75 ± 0.02
Massa del complesso asta di guida e testa di battuta; max	(kg)	6	18	18	30
Compressione elastica max (rispetto alla penetrazione)	(%)	← 50 →			
Rapporto lunghezza (L)/ diametro (D) maglio	(-)	← 2 ≥ L/D ≥ 1 →			
Diametro testa battuta (d)	(mm)	← 100 < d < 0.5D (*) →			
(*) vedasi la nota N. 2					
Lunghezza asta	(m)	1 ± 0.1%	1-2 ± 0.1%	1-2 ± 0.1%	1-2 ± 0.1%
Massa aste; max	(kg/m)	3	6	6	8
Deviazione primi 5 m aste; max	(%)	← 1.0 →			
idem, dopo i primi 5 m	(%)	← 2.0 →			
Max eccentricità asta	(mm)	← 0.2 →			
Diametro esterno asta	(mm)	22 ± 0.2	32 ± 0.3	32 ± 0.3	32 ± 0.3
Diametro interno asta	(mm)	6 ± 0.2	9 ± 0.2	9 ± 0.2	—
Angolo di apertura cono	(°)	← 90 →			
Area base cono	(cm <sup>2</sup> )	10	10	15	20
Diametro cono (nuovo)	(mm)	35.7 ± 0.3	35.7 ± 0.3	43.7 ± 0.3	50.5 ± 0.5
Minimo diam. cono (usato)	(mm)	34	34	42	49
Altezza cilindro base cono	(mm)	35.7 ± 1	35.7 ± 1	43.7 ± 1	50.5 ± 2
Restremazione cono (parte alta)	(°)	← 11 →			
Altezza parte conica	(mm)	17.9 ± 0.1	17.9 ± 0.1	21.9 ± 0.1	25.3 ± 0.4
Accorciamento max punta conica (usurata)	(mm)	3	3	4	5
Penetrazione standard	(cm)	10	10	10	20
Numero colpi/penetr. standard		N <sub>10</sub>	N <sub>10</sub>	N <sub>10</sub>	N <sub>20</sub>
Campo di colpi standard		3 - 50	3 - 50	3 - 50	5 - 100
Lavoro specifico per colpo M g H / A	(kJ/m <sup>2</sup> )	49	147	164	234

Tab. 3.4 Dati tecnici delle attrezzature (Procedura ISSMFE)

- Norma Tecnica UNI EN ISO 22476-2:2005 "Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing (Tabella 1, pagina 9)" (Indagini e prove geotecniche - Prove in sito- Parte 2: Prova di penetrazione dinamica. La norma specifica i requisiti per le indagini indirette dei terreni mediante prova di penetrazione dinamica quale parte delle indagini e prove geotecniche previste dall'Eurocodice 7);
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) (oggi IMSSGE) "Dynamic Probing (DP): International Reference Test Procedure. Proc. ISOPT-I, Orlando (USA)";
- A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana (1977) "Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche".

Le caratteristiche delle attrezzature accettate dalla commissione europea sono illustrate nella prossima tabella.

Le indagini con sonda DPH consistono nel conteggio del numero dei colpi necessari per infiggere, mediante un peso di 50 kg che cade liberamente da un'altezza di 50 cm., una batteria d'aste nel terreno ogni  $\delta = 10$  cm. di penetrazione. L'unica interruzione richiesta nelle operazioni è stata quella di aggiungere delle aste nuove.

L'alleggerimento dell'attrito laterale lungo le aste è affidato alla rotazione manuale delle stesse, eseguendo almeno 1,5 giri ogni metro di penetrazione.

Le caratteristiche strumentali sono:

motore Honda, 4 tempi, 9 HP.
aste d'acciaio speciale per la punta di $\phi 32$ , L = 100 cm e del peso di 6,0 Kg.
punta conica fissa a perdere, d'area A = 15 cmq., $\phi = 43,7$ mm, angolo d'apertura 60°.
peso del maglio a caduta libera di M = 50 Kg.
frequenza di caduta del maglio di 30 colpi il minuto.
altezza di caduta libera del maglio H = 50 cm. costanti.
estrattore idraulico automatico di 5 t.
energia specifica per colpo (LaCroix e Horn, 1973) $Q = (M \times H / A \times \delta) = 16,67$ Kg/cm <sup>2</sup> .
coefficiente teorico di energia (Bruschi, 2010): $\beta_t = Q / Q_{spt} = 2,034$ ( $N_{spt} = \beta_t \times N_{DPH}$ ).

L'elaborazione della penetrometria con software Dynamic Probing della *GeoStru Software* (n. licenza 22768), permette di ottenere in automatico, dal numero dei colpi standardizzati N<sub>DPH</sub> a N<sub>S.P.T.</sub>, standard penetration test, attraverso l'utilizzo di un'opportuna correlazione empirica  $\beta_t$  che tiene conto del tipo di strumentazione impiegata, un andamento continuo del valore di N<sub>spt</sub> con la profondità.

La quota sui grafici di penetrazione è riferita al piano d'inizio della prova penetrometrica dinamica



continua, e non allo “zero” di progetto. L’andamento delle prove è riassunto nei prossimi diagrammi. Le aste estratte al termine della prova sono state rilevate umide alla profondità di 8,0 mt. Non è stato possibile misurare la soggiacenza della **falda** a causa del franamento dei fori. Si ritiene probabile una sua profondità di **8,6 metri**, soggetta a escursione legata alle variazioni stagionali.

Occorre precisare che il metodo d’indagine utilizzato non consente il campionamento, pertanto la successione stratigrafica desunta, ricavata dagli indici di resistenza, è di carattere indicativo. L’elaborazione delle prove penetrometriche permette, infatti, una stima, più o meno attendibile, delle caratteristiche stratigrafiche dei terreni attraversati nei punti indagati. La ricostruzione esatta della natura del sottosuolo è possibile solo attraverso scavi esplorativi e sondaggi a carotaggio continuo.

### PROVA PENETROMETRICA N. 1.



Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	1	0,857	9,65	11,26
0,20	1	0,855	9,62	11,26
0,30	1	0,853	9,60	11,26
0,40	1	0,851	9,58	11,26
0,50	1	0,849	9,56	11,26
0,60	4	0,847	38,15	45,05
0,70	7	0,845	66,62	78,83
0,80	6	0,843	56,98	67,57
0,90	6	0,842	52,60	62,50
1,00	5	0,840	43,74	52,08
1,10	5	0,838	43,65	52,08
1,20	6	0,836	52,27	62,50
1,30	6	0,835	52,16	62,50
1,40	6	0,833	52,05	62,50
1,50	5	0,831	43,29	52,08
1,60	5	0,830	43,21	52,08
1,70	5	0,828	43,12	52,08
1,80	4	0,826	34,43	41,67
1,90	4	0,825	31,97	38,76
2,00	5	0,823	39,88	48,45
2,10	4	0,822	31,85	38,76
2,20	4	0,820	31,79	38,76
2,30	4	0,819	31,73	38,76
2,40	4	0,817	31,67	38,76
2,50	3	0,816	23,71	29,07
2,60	2	0,814	15,78	19,38
2,70	1	0,813	7,88	9,69
2,80	1	0,811	7,86	9,69



2,90	2	0,810	14,67	18,12
3,00	5	0,809	36,62	45,29
3,10	5	0,807	36,56	45,29
3,20	4	0,806	29,20	36,23
3,30	4	0,805	29,16	36,23
3,40	5	0,803	36,39	45,29
3,50	5	0,802	36,33	45,29
3,60	6	0,801	43,53	54,35
3,70	7	0,800	50,70	63,41
3,80	10	0,798	72,32	90,58
3,90	11	0,797	74,57	93,54
4,00	13	0,746	82,47	110,54
4,10	15	0,745	95,01	127,55
4,20	13	0,744	82,21	110,54
4,30	13	0,743	82,09	110,54
4,40	9	0,791	60,57	76,53
4,50	8	0,790	53,76	68,03
4,60	7	0,789	46,98	59,52
4,70	7	0,788	46,91	59,52
4,80	6	0,787	40,16	51,02
4,90	6	0,786	37,79	48,08
5,00	7	0,785	44,03	56,09
5,10	9	0,784	56,54	72,12
5,20	11	0,783	69,01	88,14
5,30	8	0,782	50,13	64,10
5,40	5	0,781	31,29	40,06
5,50	2	0,780	12,50	16,03
5,60	3	0,779	18,73	24,04
5,70	4	0,778	24,94	32,05
5,80	4	0,777	24,91	32,05
5,90	5	0,776	29,41	37,88
6,00	6	0,775	35,25	45,45
6,10	6	0,775	35,21	45,45
6,20	6	0,774	35,17	45,45
6,30	6	0,773	35,13	45,45
6,40	8	0,772	46,79	60,61
6,50	7	0,771	40,90	53,03
6,60	7	0,770	40,85	53,03
6,70	7	0,770	40,81	53,03
6,80	2	0,769	11,65	15,15
6,90	2	0,768	11,03	14,37
7,00	3	0,767	16,53	21,55
7,10	6	0,766	33,03	43,10
7,20	8	0,766	44,00	57,47
7,30	10	0,765	54,95	71,84
7,40	9	0,764	49,41	64,66
7,50	9	0,763	49,36	64,66
7,60	6	0,763	32,88	43,10
7,70	6	0,762	32,84	43,10
7,80	7	0,761	38,28	50,29
7,90	7	0,761	36,37	47,81
8,00	5	0,760	25,95	34,15
8,10	5	0,759	25,93	34,15
8,20	6	0,759	31,09	40,98
8,30	9	0,758	46,59	61,48
8,40	7	0,757	36,21	47,81
8,50	4	0,757	20,67	27,32
8,60	2	0,756	10,33	13,66
8,70	6	0,755	30,96	40,98
8,80	8	0,755	41,24	54,64
8,90	10	0,754	49,09	65,10
9,00	12	0,753	58,87	78,13
9,10	12	0,753	58,82	78,13
9,20	14	0,702	64,01	91,15
9,30	14	0,702	63,96	91,15
9,40	14	0,701	63,90	91,15



Studio ConsultinGEO Environment di dr Massimo Pasquale Fedele

Via Antonioli,221 - 25015 Desenzano del Garda (Brescia)

Email: [studiogeologofedele@libero.it](mailto:studiogeologofedele@libero.it)

---

9,50	14	0,701	63,85	91,15
9,60	13	0,700	59,24	84,64
9,70	14	0,699	63,75	91,15
9,80	14	0,699	63,69	91,15
9,90	15	0,698	65,14	93,28
10,00	14	0,698	60,75	87,06





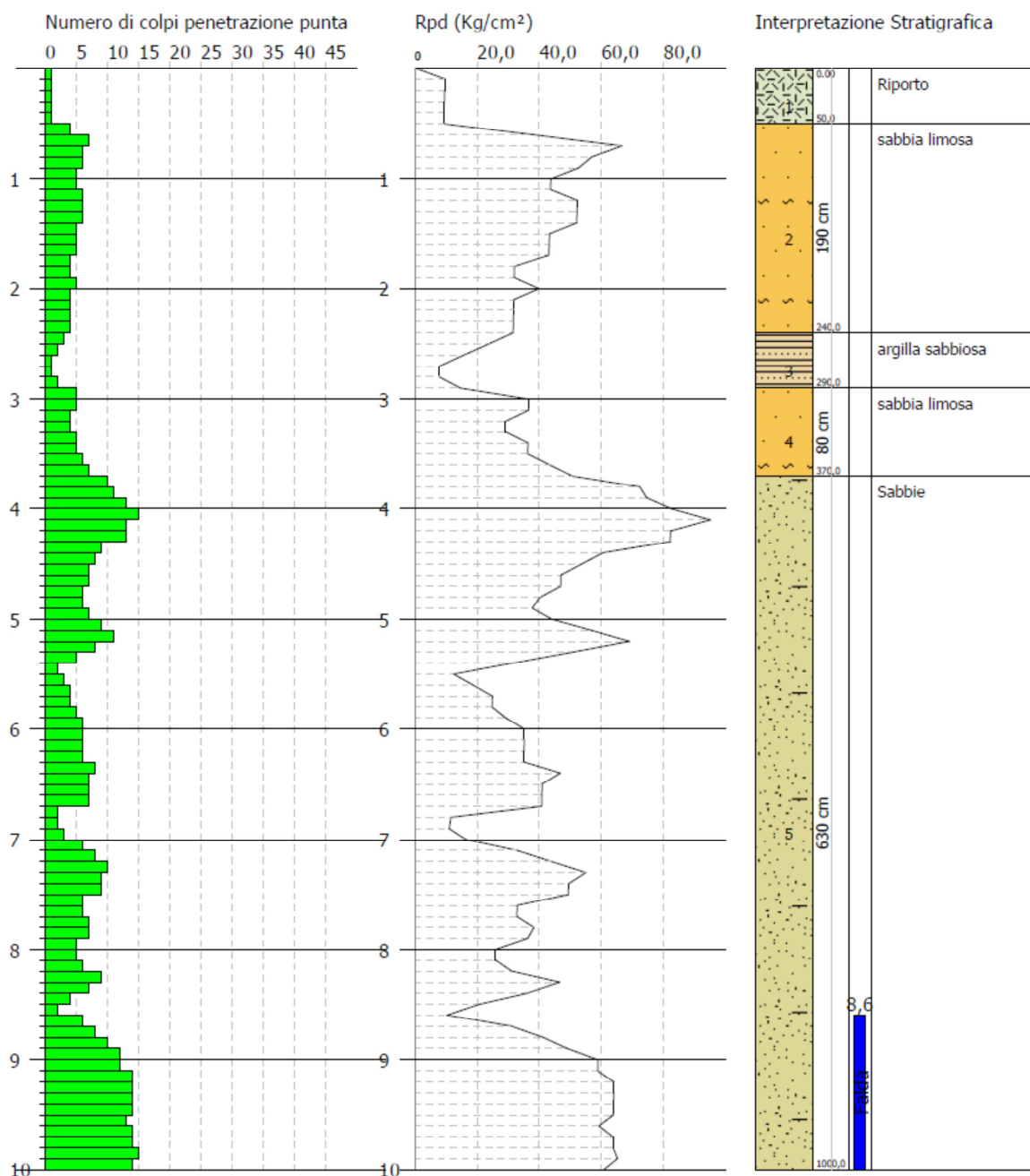
STUDIO GEOLOGICO TECNICO  
VIA ANTONIOLI 221  
25015 DESENZANO D/G (BS) ITALY

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1  
Strumento utilizzato... DPH

Committente: Arch. Michelangelo Tiefenthaler  
Cantiere:  
Località: Manerbio (BS)

Data: 20/03/2016

Scala 1:53





### PROVA PENETROMETRICA N. 3.

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )
0,10	1	0,857	9,65	11,26
0,20	1	0,855	9,62	11,26
0,30	3	0,853	28,81	33,78
0,40	2	0,851	19,16	22,52
0,50	2	0,849	19,12	22,52
0,60	4	0,847	38,15	45,05
0,70	3	0,845	28,55	33,78
0,80	1	0,843	9,50	11,26
0,90	1	0,842	8,77	10,42
1,00	1	0,840	8,75	10,42
1,10	1	0,838	8,73	10,42
1,20	1	0,836	8,71	10,42
1,30	1	0,835	8,69	10,42
1,40	1	0,833	8,68	10,42
1,50	2	0,831	17,32	20,83
1,60	2	0,830	17,28	20,83
1,70	2	0,828	17,25	20,83
1,80	2	0,826	17,22	20,83
1,90	3	0,825	23,98	29,07
2,00	3	0,823	23,93	29,07
2,10	3	0,822	23,88	29,07
2,20	2	0,820	15,89	19,38
2,30	3	0,819	23,80	29,07
2,40	2	0,817	15,84	19,38
2,50	2	0,816	15,81	19,38
2,60	3	0,814	23,67	29,07
2,70	4	0,813	31,50	38,76
2,80	5	0,811	39,31	48,45
2,90	5	0,810	36,69	45,29
3,00	4	0,809	29,30	36,23
3,10	4	0,807	29,25	36,23
3,20	5	0,806	36,50	45,29
3,30	3	0,805	21,87	27,17
3,40	3	0,803	21,83	27,17
3,50	2	0,802	14,53	18,12
3,60	2	0,801	14,51	18,12
3,70	3	0,800	21,73	27,17
3,80	5	0,798	36,16	45,29
3,90	7	0,797	47,45	59,52
4,00	6	0,796	40,61	51,02
4,10	6	0,795	40,55	51,02
4,20	5	0,794	33,75	42,52
4,30	4	0,793	26,96	34,01
4,40	2	0,791	13,46	17,01
4,50	3	0,790	20,16	25,51
4,60	5	0,789	33,56	42,52
4,70	8	0,788	53,62	68,03
4,80	7	0,787	46,85	59,52
4,90	4	0,786	25,19	32,05
5,00	6	0,785	37,74	48,08
5,10	3	0,784	18,85	24,04
5,20	5	0,783	31,37	40,06
5,30	3	0,782	18,80	24,04



5,40	3	0,781	18,78	24,04
5,50	5	0,780	31,25	40,06
5,60	5	0,779	31,22	40,06
5,70	5	0,778	31,18	40,06
5,80	5	0,777	31,14	40,06
5,90	6	0,776	35,29	45,45
6,00	4	0,775	23,50	30,30
6,10	3	0,775	17,60	22,73
6,20	4	0,774	23,45	30,30
6,30	3	0,773	17,57	22,73
6,40	1	0,772	5,85	7,58
6,50	1	0,771	5,84	7,58
6,60	1	0,770	5,84	7,58
6,70	1	0,770	5,83	7,58
6,80	1	0,769	5,82	7,58
6,90	1	0,768	5,52	7,18
7,00	3	0,767	16,53	21,55
7,10	4	0,766	22,02	28,74
7,20	5	0,766	27,50	35,92
7,30	8	0,765	43,96	57,47
7,40	8	0,764	43,92	57,47
7,50	10	0,763	54,84	71,84
7,60	12	0,763	65,75	86,21
7,70	16	0,712	81,84	114,94
7,80	15	0,711	76,65	107,76
7,90	14	0,711	67,95	95,63
8,00	12	0,760	62,29	81,97
8,10	9	0,759	46,67	61,48
8,20	7	0,759	36,27	47,81
8,30	8	0,758	41,42	54,64
8,40	9	0,757	46,55	61,48
8,50	7	0,757	36,18	47,81
8,60	6	0,756	30,98	40,98
8,70	6	0,755	30,96	40,98
8,80	6	0,755	30,93	40,98
8,90	7	0,754	34,37	45,57
9,00	8	0,753	39,24	52,08
9,10	8	0,753	39,21	52,08
9,20	9	0,752	44,08	58,59
9,30	10	0,752	48,94	65,10
9,40	6	0,751	29,34	39,06
9,50	8	0,751	39,09	52,08
9,60	10	0,750	48,83	65,10
9,70	11	0,749	53,67	71,61
9,80	11	0,749	53,63	71,61
9,90	12	0,748	55,84	74,63
10,00	10	0,748	46,50	62,19



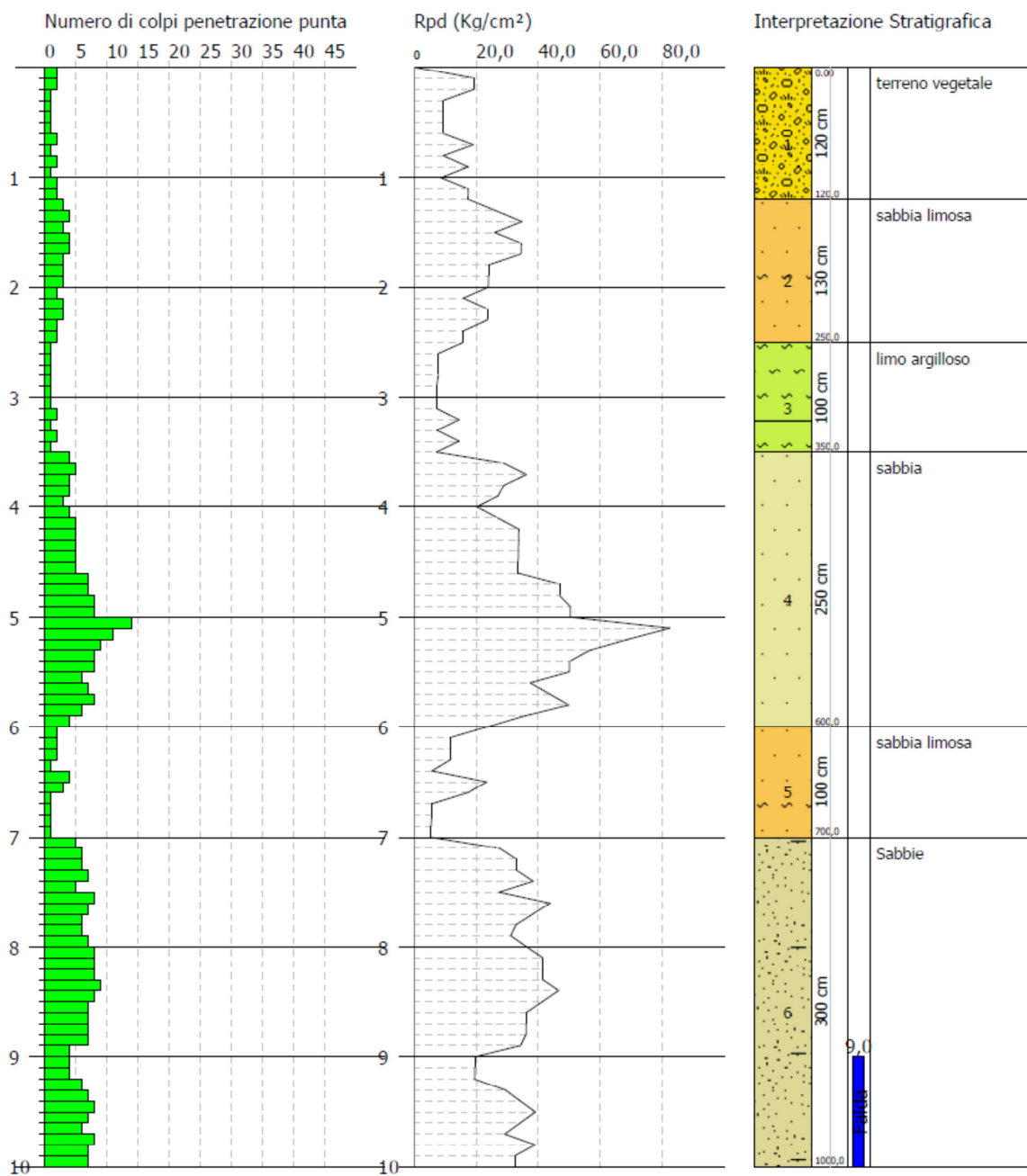
STUDIO GEOLOGICO TECNICO  
VIA ANTONIOLI 221  
25015 DESENZANO D/G (BS) ITALY

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3  
Strumento utilizzato... DPH

Committente: Arch. Michelangelo Tiefenthaler  
Cantiere:  
Località: Manerbio (BS)

Data: 20/03/2016

Scala 1:53





## PROVA PENETROMETRICA N. 2.

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lettura laterale (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs (Kg/cm <sup>2</sup> )	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20						
0,40						
0,60						
0,80						
1,00						
1,20	43,00	60,0	43,3	1,7	26,0	3,9
1,40	44,00	69,0	44,3	1,4	31,6	3,2
1,60	56,00	77,0	56,3	1,3	44,4	2,3
1,80	57,00	76,0	57,3	1,3	45,2	2,2
2,00	52,00	71,0	52,3	1,3	41,3	2,4
2,20	47,00	66,0	47,4	1,3	37,4	2,7
2,40	47,00	66,0	47,4	3,2	14,8	6,7
2,60	103,00	151,0	103,4	2,2	47,0	2,1
2,80	157,00	190,0	157,4	3,1	50,2	2,0
3,00	105,00	152,0	105,4	2,5	41,6	2,4
3,20	71,00	109,0	71,6	2,1	33,5	3,0
3,40	100,00	132,0	100,6	3,4	29,6	3,4
3,60	124,00	175,0	124,6	2,9	43,4	2,3
3,80	117,00	160,0	117,6	1,9	60,8	1,6
4,00	136,00	165,0	136,6	2,3	58,5	1,7
4,20	145,00	180,0	145,7	3,0	48,6	2,1
4,40	155,00	200,0	155,7	2,7	57,0	1,8
4,60	145,00	186,0	145,7	2,0	72,8	1,4
4,80	110,00	140,0	110,7	1,9	59,3	1,7
5,00	118,00	146,0	118,7	2,1	55,6	1,8
5,20	90,00	122,0	90,8	1,6	56,8	1,8
5,40	73,00	97,0	73,8	1,9	38,2	2,6
5,60	99,00	128,0	99,8	1,3	74,9	1,3
5,80	180,00	200,0	180,8	1,3	142,7	0,7
6,00	123,00	142,0	123,8	1,1	109,3	0,9
6,20	115,00	132,0	116,0	1,9	62,1	1,6
6,40	72,00	100,0	73,0	1,5	49,7	2,0
6,60	71,00	93,0	72,0	1,3	54,0	1,9
6,80	47,00	67,0	48,0	1,4	34,3	2,9
7,00	42,00	63,0	43,0	1,3	33,9	2,9
7,20	81,00	100,0	82,1	1,4	58,6	1,7



7,40	20,00	41,0	21,1	1,5	13,8	7,3
7,60	32,00	55,0	33,1	1,3	24,8	4,0
7,80	25,00	45,0	26,1	0,7	39,1	2,6
8,00	53,00	63,0	54,1	1,3	40,6	2,5
8,20	50,00	70,0	51,2	1,3	40,4	2,5
8,40	52,00	71,0	53,2	1,0	53,2	1,9
8,60	26,00	41,0	27,2	1,3	20,4	4,9
8,80	6,00	26,0	7,2	0,7	10,9	9,2
9,00	36,00	46,0	37,2	0,8	46,6	2,1
9,20	83,00	95,0	84,4	1,2	70,3	1,4
9,40	42,00	60,0	43,4	1,5	28,3	3,5
9,60	59,00	82,0	60,4	1,3	45,3	2,2
9,80	44,00	64,0	45,4	1,2	37,8	2,6
10,00	73,00	91,0	74,4	2,2	33,8	3,0
10,20	93,00	126,0	94,5	1,6	59,1	1,7
10,40	72,00	96,0	73,5	1,7	44,1	2,3
10,60	11,00	36,0	12,5	1,1	11,0	9,1
10,80	43,00	60,0	44,5	0,8	55,6	1,8
11,00	28,00	40,0	29,5	1,4	21,1	4,7
11,20	58,00	79,0	59,7	1,2	49,7	2,0
11,40	35,00	53,0	36,7	0,9	39,3	2,5
11,60	53,00	67,0	54,7	0,9	58,6	1,7
11,80	61,00	75,0	62,7	1,3	47,0	2,1
12,00	88,00	108,0	89,7	1,9	46,4	2,2
12,20	68,00	97,0	69,8	2,0	34,9	2,9
12,40	64,00	94,0	65,8	1,4	47,0	2,1
12,60	47,00	68,0	48,8	1,4	34,9	2,9
12,80	44,00	65,0	45,8	1,3	34,4	2,9
13,00	135,00	155,0	136,8	1,9	73,3	1,4
13,20	100,00	128,0	101,9	2,1	49,3	2,0
13,40	111,00	142,0	112,9	2,1	54,6	1,8
13,60	87,00	118,0	88,9	1,7	51,3	1,9
13,80	76,00	102,0	77,9	1,4	55,7	1,8
14,00	30,00	51,0	31,9	1,5	20,8	4,8
14,20	10,00	33,0	12,1	0,7	16,5	6,1
14,40	9,00	20,0	11,1	0,9	12,8	7,8
14,60	19,00	32,0	21,1	0,6	35,1	2,8
14,80	48,00	57,0	50,1	0,0		0,0

## 6.0 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO (M.G.R)

Tramite la campagna d'indagine geognostica e il rilievo geologico di superficie è definito il modello geologico per il sito di progetto. Esso prevede le seguenti considerazioni, punto di partenza per le elaborazioni successive:

A) prendendo come quota di riferimento il p.c. generale, il profilo litostratigrafico previsto è essenzialmente composto di un'unità geologico-tecnica che presenta natura litologica e comportamento variabile sia lateralmente sia con la profondità, collegata all'eterogeneità dell'ambiente di deposizione fluvioglaciale, ascrivibile secondo il *Cancelli* all'Unità Geologica delle Terre di Copertura (t. coesive, t. non coesive, t. organiche, eventuali materiali di riporto e rifiuti), quali terre granulari, non cementate o debolmente cementate, a sua volta divisibile in 5 litozone con diverse caratteristiche:

Schmertmann, 1978 (consigliato per CPT).

Prof. Strato (m)	qc (Minimo) (Kg/cm <sup>2</sup> )	fs Minima (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descrizione
1,00	0,0	0,0	Stima non eseguibile
1,20	43,3	1,7	Argille sabbiose e limose



2,20	44,3	1,3	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
2,40	47,4	3,2	Argilla inorganica molto compatta
2,80	103,4	2,2	Sabbie addensate o cementate
3,60	71,6	2,1	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
5,00	110,7	1,9	Sabbie addensate o cementate
5,20	90,8	1,6	Sabbie
5,40	73,8	1,9	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
6,20	99,8	1,1	Sabbie addensate o cementate
6,60	72,0	1,3	Sabbie
7,00	43,0	1,3	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
7,20	82,1	1,4	Sabbie
7,40	21,1	1,5	Argilla inorganica molto compatta
7,60	33,1	1,3	Argille sabbiose e limose
8,20	26,1	0,7	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
8,40	53,2	1,0	Sabbie
8,60	27,2	1,3	Argilla inorganica molto compatta
8,80	7,2	0,7	Argille organiche e terreni misti
9,00	37,2	0,8	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
9,20	84,4	1,2	Sabbie
9,40	43,4	1,5	Argille sabbiose e limose
10,00	45,4	1,2	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
10,20	94,5	1,6	Sabbie
10,40	73,5	1,7	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
10,60	12,5	1,1	Argille organiche e terreni misti
10,80	44,5	0,8	Sabbie
11,00	29,5	1,4	Argille sabbiose e limose
11,20	59,7	1,2	Sabbie
11,40	36,7	0,9	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
11,80	54,7	0,9	Sabbie
12,20	69,8	1,9	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
12,40	65,8	1,4	Sabbie
12,80	45,8	1,3	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
13,40	101,9	1,9	Sabbie addensate o cementate
13,80	77,9	1,4	Sabbie
14,00	31,9	1,5	Argille sabbiose e limose
14,20	12,1	0,7	Argilla inorganica compatta
14,40	11,1	0,9	Argille organiche e terreni misti
14,60	21,1	0,6	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi



Considerata la struttura lenticolare delle varie unità litotecniche, il loro limite è da ritenersi del tutto indicativo. Ci si riserva pertanto di ridefinire accuratamente tale dato, mediante indagini geognostiche approfondite e/o semplici osservazioni dirette, in fase di progettazione esecutiva.

B) La **falda** freatica è stata intercettata a una profondità media di circa **7,4 mt**, quindi non interferisce con il volume significativo delle opere. Non si esclude che durante eventi meteorici occasionali o in corrispondenza di periodi particolarmente piovosi il livello piezometrico possa risalire a quote più elevate, ma per una sua esatta definizione richiede tempi di osservazione e comparazioni rinviati nel tempo e quindi una sua pertinente definizione per la zona oggetto di rilevamento non può essere compiuta nel breve intervallo a nostra disposizione.

C) Il sito nel complesso è da ritenere stabile nei confronti di fenomeni gravitativi.

Si ritiene che la modellazione, così come sia stata eseguita, è in grado di “simulare” in maniera accettabile il comportamento del terreno. In relazione con la qualità e la quantità delle informazioni reperite, delle indagini eseguite e con la complessità geologico-strutturale dell’area in studio, si qualifica il modello geologico di riferimento del sito attraverso un grado di attendibilità sufficiente.

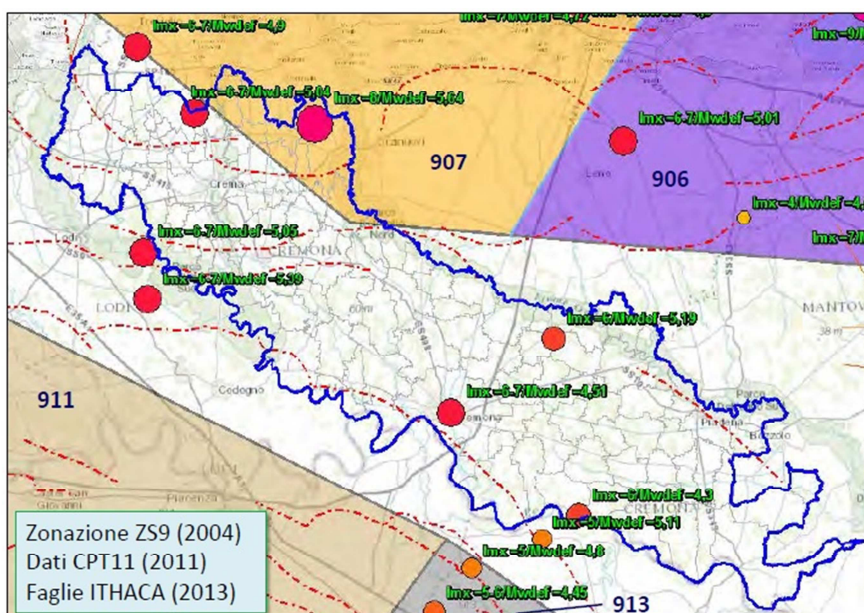
## 7.0 STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

I terremoti avvengono in maniera random dove e quando capita, e allo stato attuale non è possibile prevederli in senso stretto. Non esiste una previsione scientificamente attendibile dei terremoti. E' possibile prevederli in senso lato, cioè prevedendo la possibilità di una scossa di grado superiore a un certo valore in un dato territorio e in un prefissato periodo. In questo senso la previsione è possibile applicando un approccio statistico al rischio sismico, che tiene conto del periodo di riattivazione medio delle faglie sismogenetiche attive e capaci di generare terremoti o riattivazioni delle loro manifestazioni superficiali (faglie capaci con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni) e del periodo di ritorno di un terremoto per un dato settore geodinamico.

La **pericolosità sismica di base**, definita ai sensi del D.M. 14/01/2008, è la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell’area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). Essa calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in un determinato periodo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza, con riferimento a condizioni ideali di bedrock sismico affiorante e privo

d’irregolarità morfologiche (superficie topografica orizzontale) e fornisce le caratteristiche del terremoto di riferimento (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali). La scala di studio è solitamente regionale e costituisce una base per la definizione del terremoto di riferimento per studi di microzonazione sismica.

L’ultima **Zonazione Sismogenica** del territorio nazionale è nota con la semplice sigla “ZS9” (2004), prodotta dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).



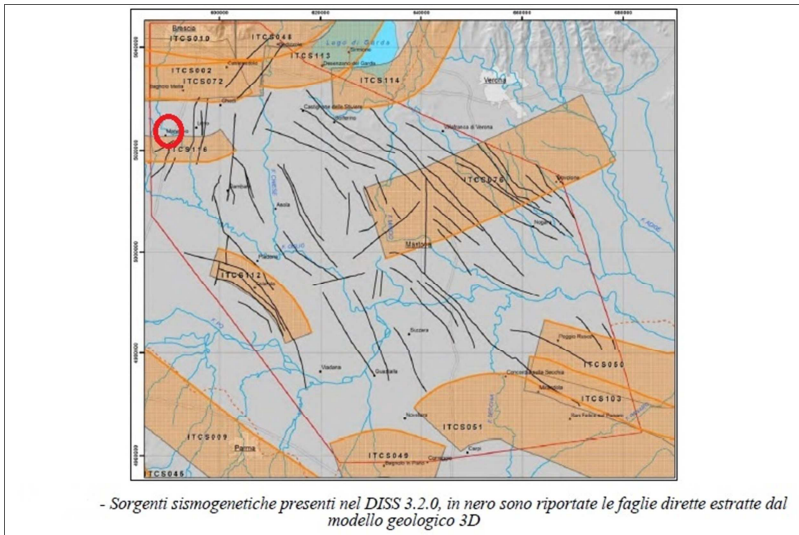




Questa zonazione rappresenta il più recente riferimento per gli studi di pericolosità sismica del territorio italiano, elaborata riferendosi anche ai più recenti background informativi sui terremoti e in particolare alle ultime banche dati relative alle sorgenti sismogeniche italiane DISS4 3.2.0 e al catalogo CPTI5. L'identificazione di tali sorgenti sismogenetiche, concisamente definite silenti, permette di definire le

aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

Il lotto in studio si trova nella zona sismogenetica n° 907 "Bergamasco" della ZS9, per la quale si può assumere in favore di sicurezza (come riportato negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica", Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome et alii, 2008) come valore di magnitudo attesa  $M$  per la zona il valore di  $M_{wmax}$  della zona sismogenetica di appartenenza, pari a 6,14 (valore ricavato dalla Tab. 6, contenuta nel Rapporto conclusivo, aprile 2004 del Gruppo di lavoro per la



redazione della mappa sismica - INGV, prendendo come riferimento la magnitudo momento  $M_w$  della colonna 10 relativa alla ZS9 di appartenenza).

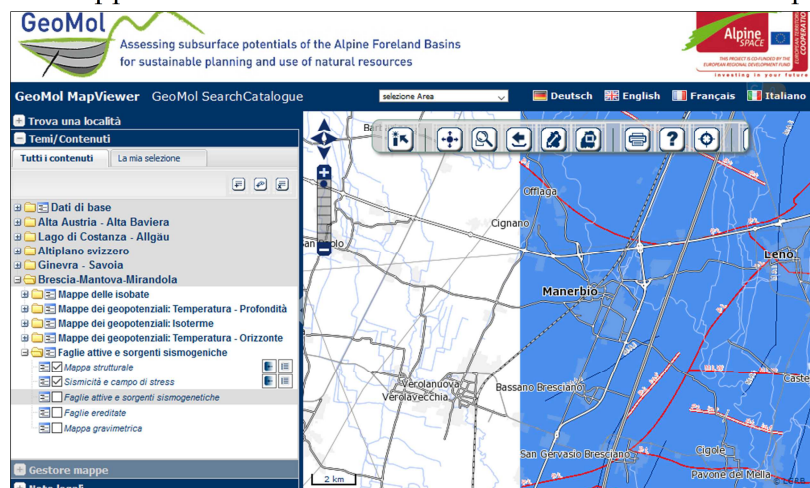
Con riferimento al "Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3.2.0" (INGV, <http://diss.rm.ingv.it/diss/>), si osserva che l'area in studio è al limite esterno dell'Area Sismogenetica Composita (poligono di diverso colore trasparente nella figura a lato, definito quali proiezioni in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse) denominata ITCS116 "Western S-Alps external thrust shallow-east" per la quale è prevista una magnitudo momento massima attesa  $M_w$  di 5,5. Tale sorgente composita appartiene al fronte di spinta più esterno delle Alpi Meridionali S-tendente sepolto nella pianura Lombardia, rilevato nella ricerca sviluppata durante il Progetto Europeo GeoMol (<http://www.geomol.eu/>).

Secondo la Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (MPS04) approvata dalla Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, il territorio è inserito in zona 3 (bassa sismicità).

La mappa è stata accolta dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006 ed è divenuta infine la Mappa di riferimento prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni. Quest'ultima descrive la

pericolosità sismica di base attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido (suolo di categoria A,  $V_{s30} > 800$  m/s) e pianeggiante, senza considerare i fenomeni di amplificazione sismica.

Con riferimento ai suddetti dati il territorio comunale di Manerbio identificato con il codice ISTAT





03017103, ricade secondo la D.G.R. 11 luglio 2014 - n. 2129 in un'area da un valore di accelerazione massima  $a_g$  **0,13687g** riferita a suoli rigidi (cat. A).

I dati di partenza di questa pericolosità sismica di base vanno implementati secondo gli *effetti locali* dovuti alla diversa categoria geologica di sottosuolo e alle condizioni topografiche del sito.

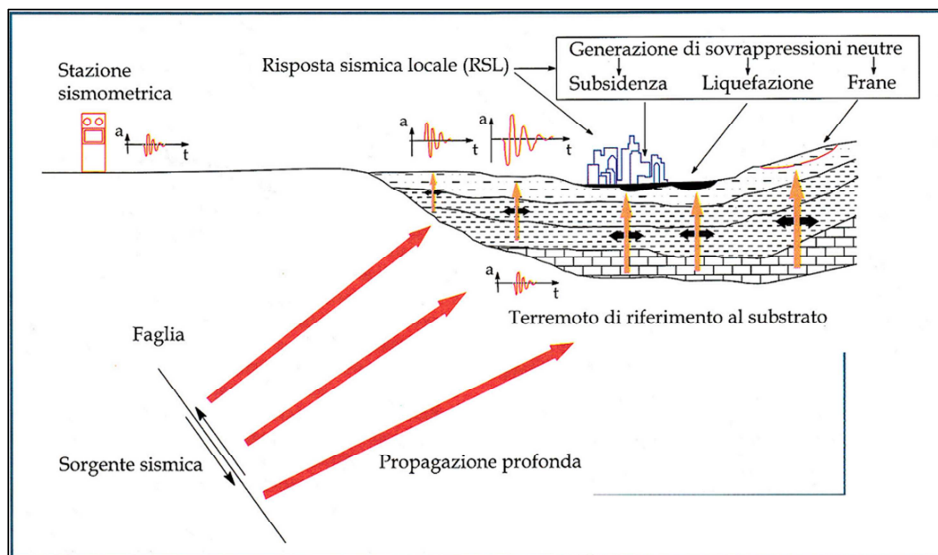
## 8.0 ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO

Le onde di taglio (S) sono le principali responsabili delle lesioni che subiscono gli edifici durante un evento sismico. Infatti, mentre le onde di compressione (P) agiscono sulle sovrastrutture in direzione prevalentemente verticale (moto sussultorio), le onde S sollecitano le stesse con forze di taglio lungo il piano orizzontale (moto ondulatorio), dove gli elementi strutturali sono più vulnerabili.

Nelle analisi di pericolosità sismica è quindi indispensabile analizzare in dettaglio in che modo le onde S si propagano. E', infatti, diffusamente documentato che questo tipo di oscillazione durante il percorso verso la superficie può subire un'azione di filtraggio, poiché le rocce funzionano come un filtro passa-basso, le componenti di (relativa) alta frequenza sono smorzate più rapidamente al crescere della distanza.

Quando le onde intercettano la superficie terrestre il problema si complica, poiché le stesse subiscono un'altra modifica consistente in una distorsione delle frequenze e in una variazione di forma e di ampiezza in funzione delle caratteristiche dei terreni del sito e in particolare della velocità propria del mezzo.

Occorre considerare che un terremoto che entra in terreni superficiali poggianti su roccia all'interfaccia



roccia-terreni soffici (questi ultimi così detti in funzione della loro velocità molto inferiore rispetto a quella della roccia sottostante) subisce una notevole diminuzione della velocità e di conseguenza dell'accelerazione. Allo stesso tempo, nonostante l'energia di un terremoto si dissipa con l'aumentare della distanza dall'ipocentro, deve localmente valere la legge di conservazione dell'energia. In

definitiva, la brusca decelerazione e l'impossibilità istantanea di dissipare energia sono compensate da un aumento dell'ampiezza delle onde con relativa amplificazione del moto risultante.

La quantità di energia riflessa che resta intrappolata nel deposito è tanto maggiore quanto più è elevato il contrasto d'impedenza sismica tra i terreni del deposito e il basamento. Le onde che restano intrappolate nel deposito interferiscono tra loro e con le onde incidenti in funzione delle caratteristiche geometriche del deposito, delle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e del contenuto in frequenza della sollecitazione. Gli effetti di sito di tipo stratigrafico sono quindi essenzialmente attribuibili a fenomeni d'intrappolamento delle onde sismiche nel deposito per effetto di riflessioni e di risonanza tra onde sismiche riflesse e incidenti.



## 8.1 CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA UTILIZZATA

### **Tecnica MASW.**

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive più di due terzi dell'energia sismica totale generata è 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 a 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.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*), 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  $V_s$ .

Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Molte tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione è realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione e sono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh sono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (*back scattered*) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) e fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (*back scattered*) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente



dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatta con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, un'opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

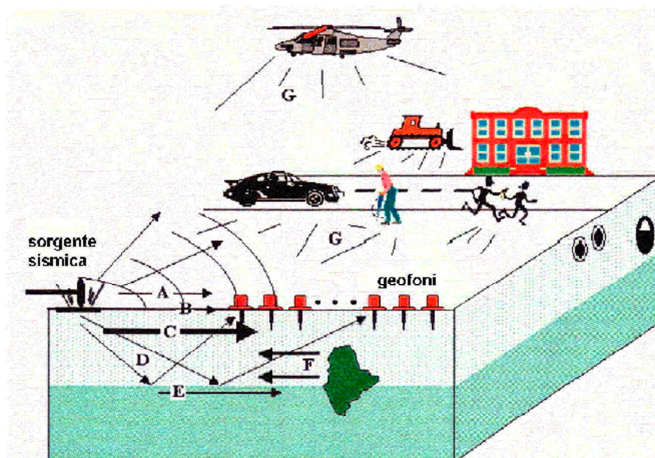
La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili ( $x;y$ ) il cui legame costituisce la **curva di dispersione**. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso la tecnica MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità d'indagine del profilo Vs d'inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione.

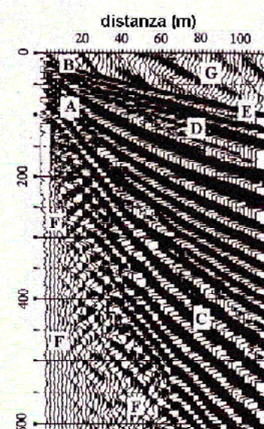
Per quanto riguarda le proprietà di dispersione delle onde di superficie, le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori) sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

## VANTAGGI DELLA REGISTRAZIONE MULTICANALE

### Acquisizione multicanale



### Sismogramma multicanale



A: onde in aria  
B: onde dirette  
C: onde di superficie  
D: onde riflesse

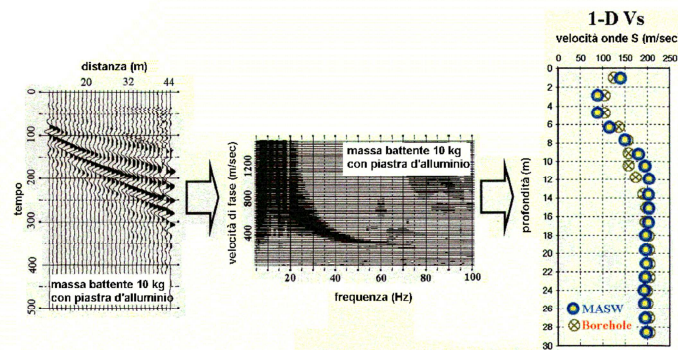
E: onde rifratte  
F: onde riverberate  
G: rumore ambientale



Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno tutte queste onde sono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

1. acquisizione dei dati di campo;
2. estrazione della curva di dispersione;
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità



Nelle prove basate sulla propagazione delle onde superficiali, i problemi di equivalenza (non-unicità della soluzione) comportano incertezze sui singoli parametri di modello (es. spessore e velocità del singolo strato, posizione di interfacce) mentre l'incertezza è minore su parametri integrali (a es.  $V_{s30}$ ). L'incertezza legata ai problemi di non-unicità della soluzione può essere mitigata con l'integrazione delle informazioni riguardanti le diverse prove (es. inversioni congiunte con sismica a rifrazione, rapporti spettrali H/V) e un utilizzo delle informazioni a priori quali ad esempio stratigrafie dai fori di sondaggio.

### **Tecnica Microtremori.**

La metodologia di misura e confronto H/V concretizzata per la prima volta da Nakamura Y. (1989): *A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface*. QR of RTRI, Vol. 30, pp. 25-33, si basa sull'acquisizione dei **microtremori ambientali**, in altre parole movimenti micrometrici della crosta terrestre a livello locale, entro frequenze dell'ordine di 0,1–1 Hz (microsismi); 1–20 Hz (microtremori), eccitate in maniera diffusa dall'attività antropica o ambientale locale nella gamma di frequenze tra 1 e 20 Hz. Queste vibrazioni indotte, costituiscono un rumore diffuso che permette di focalizzare con precisione superfici che determinano contrasti d'impedenza sismica con notevole precisione, tali contrasti modificano anche le velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ ) e inducono il terreno soprastante alla risonanza con la frequenza di oscillazione evidenziata dall'indagine.

Il rumore sismico diffuso, non puntuale e sufficientemente lontano, agisce come sorgente di eccitazione, più o meno come la luce bianca diffusa dalla nebbia illumina gli oggetti più vicini all'osservatore, eccitando le lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e permettendo una percezione chiara degli oggetti vicini anche nella nebbia stessa che di per se nasconde tutto ovvero mascherando (tagliando) le informazioni lontane.

Affinché si abbia una registrazione di segnale sismico significativa per lo studio delle caratteristiche fisico-meccaniche del sottosuolo, anche a profondità di alcune decine o addirittura centinaia di metri, è



necessario eseguire misure con frequenze di registrazione comprese almeno tra 0,1 e 128 Hz, per un tempo di circa 20 minuti (1200 sec). Tale intervallo è necessario affinché sia possibile eseguire un'interpretazione corretta del segnale registrato alle varie frequenze, poiché si basa sull'analisi statistica del segnale stesso (registrazione di eventi stocastici).

Le ipotesi alla base della tecnica di sismica passiva (H.V.S.R.) sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente di sotto i 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale attraverso l'utilizzo di un geofono triassiale in tre direzioni diverse: due, orizzontali, vibrano in direzione N-S ed E-W, il terzo vibra rispetto al piano dello zenit (verticale UD). Tale registrazione deve essere eseguita, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate sono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre sono filtrate secondo dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, è valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo è sottoposto a *tapering* e/o **lisciamento** secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Poi si prendono in considerazione gli spettri delle finestre concernenti le tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione E-W, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione N-S, vale a dire che riguardano finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie è eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Le misure acquisite sono poi campionate in finestre temporali (*time window*), su cui è compiuta una **trasformazione di Fourier (FFT)** in modo da ottenere una rappresentazione grafica con asse x in Hertz (Hz) e in asse y in un fattore di amplificazione delle misure orizzontali rispetto a quelle verticali z. Questo permette quindi di ottenere il ricercato **rapporto spettrale H/V** per tutti gli intervalli temporali in cui è suddivisa la registrazione durante l'operazione di *windowing*.

## 8.2 STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

### **Tecnica Masw.**

L'indagine è stata condotta con un sismografo DoReMi della Sara Electronic Instruments a 18 canali, 12 geofoni verticali con frequenza di risonanza di 4,5 Hz. Come sorgente di energia delle onde superficiali sono stati eseguiti n. 2 scoppi (*offset*) con mazza da 8 kg su piatto di battuta, a distanza rispettivamente di 8 mt. dal primo geofono della stesa sismica.

E' stata eseguita una linea sismica della lunghezza di 48 metri utilizzando un cavo sismico e 12 geofoni mentre la distanza tra i geofoni è stata di 4 metri.

L'esecuzione della prova è stata compiuta in una direzione e in versi opposti lungo lo stesso allineamento (ossia con sorgente posta ai due estremi opposti): ciò consente una verifica sommaria dell'ipotesi di conformazione del sottosuolo a strati piani e paralleli sulla base del confronto tra le diverse curve di dispersione ottenute. Se tale verifica non è soddisfatta, i dati hanno una significatività limitata e potrebbero richiedere delle correzioni.

Le condizioni al contorno sono state:



- 1) Condizioni meteo: assenza di vento (scala 1: 10) = 2.
- 2) Traffico non elevato ma presente in lontananza.

### **Tecnica Microtremori.**

L'indagine è stata condotta con un sismografo SR04-Geobox della *Sara electronics instruments S.r.l.* (in dotazione allo Studio scrivente) con tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri) ad alta risoluzione con frequenza propria di 4,5 Hz. Tale sismografo è collegato a una scheda di acquisizione a 24 bit effettivi con la possibilità di impostare diverse funzioni (filtri, sensibilità, frequenza di campionamento, ecc...).

### **8.3 TRACCE**

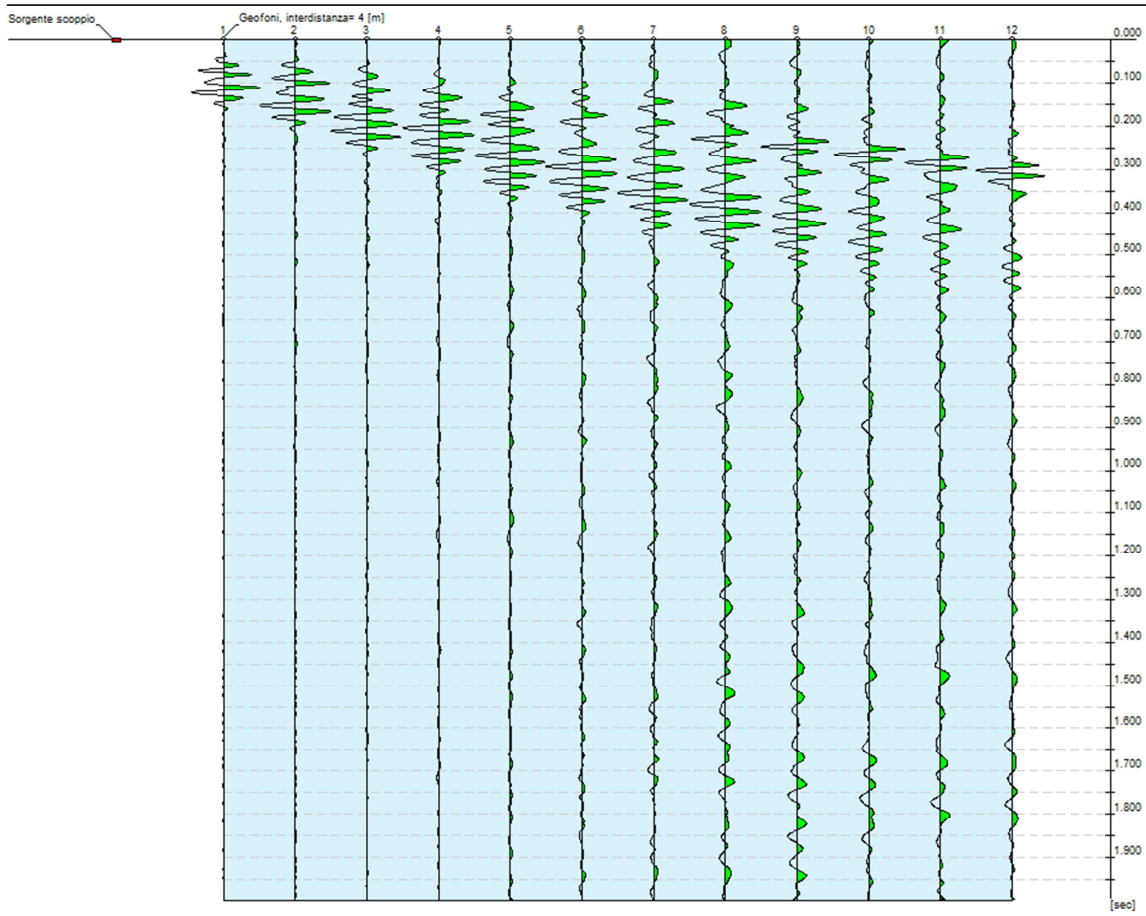
#### **Tecnica Masw.**

I dati sperimentali acquisiti sono stati trasferiti su PC e analizzati con l'apposito software (EasyMasw) prodotto dalla Geostru, di cui si dispone regolare licenza d'uso. Sia la fase di misurazione che quella d'interpretazione sono state fatte tenendo conto delle indicazioni delineate dalla comunità scientifica nel corso di esperienze applicative della tecnica Masw avute su vari siti di studio.

#### **Analisi del segnale**

Nella prima fase elaborativa dei record l'interprete si è limitato a eseguire alcuni passi obbligati quali la conversione del file e il *preprocess* semiautomatizzato che filtra ed equalizza le tracce. Inoltre sono stati introdotti alcuni parametri: la geometria utilizzata, la frequenza massima da indagare, la velocità di fase minima di partenza.

<b>N. tracce</b>	12
<b>Durata acquisizione</b>	2000.0
<b>[msec]</b>	
<b>Interdistanza geofoni</b>	4.0
<b>[m]</b>	
<b>Periodo di</b>	1.00
<b>campionamento [msec]</b>	

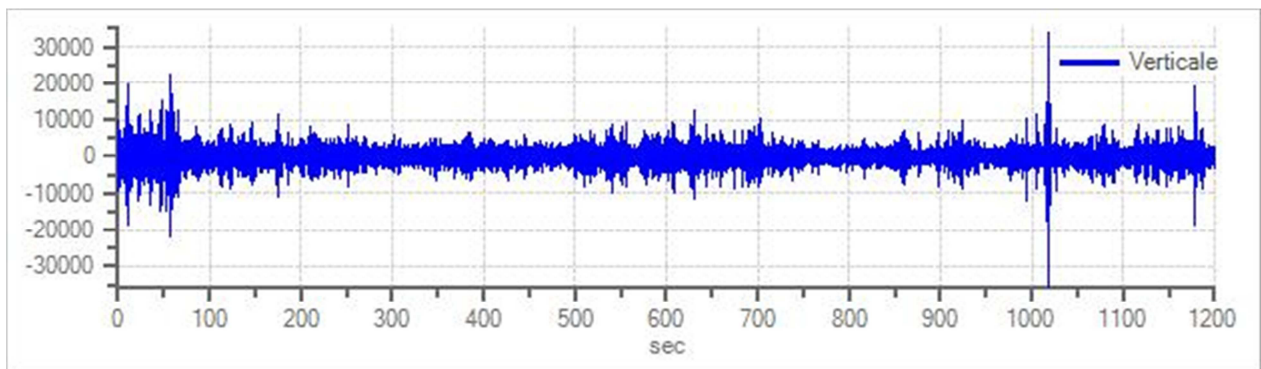
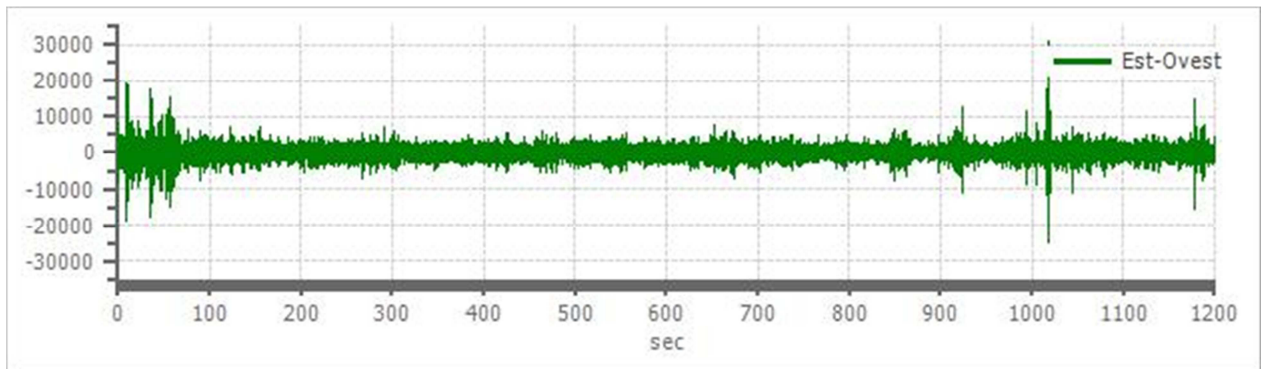
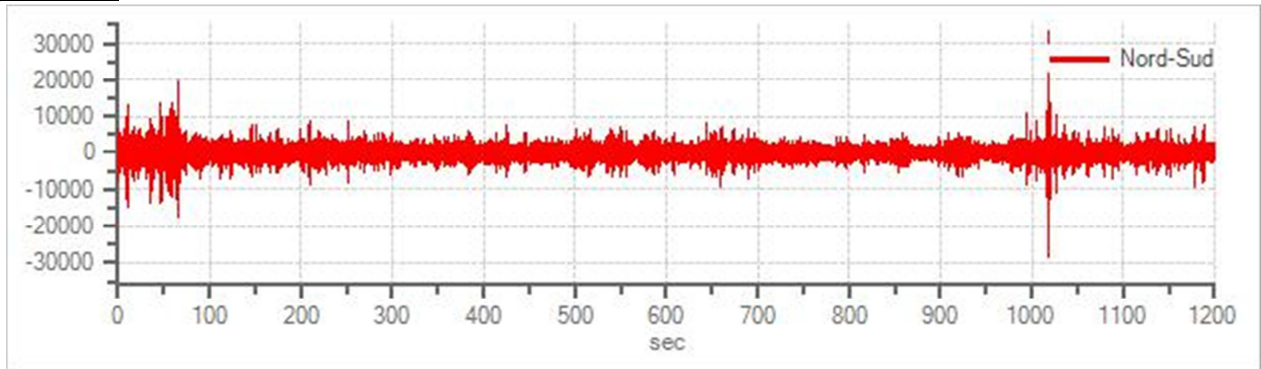




## Tecnica Microtremore.

Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1100 s  
Frequenza di campionamento: 480.00 Hz  
Numero campioni: 528000  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

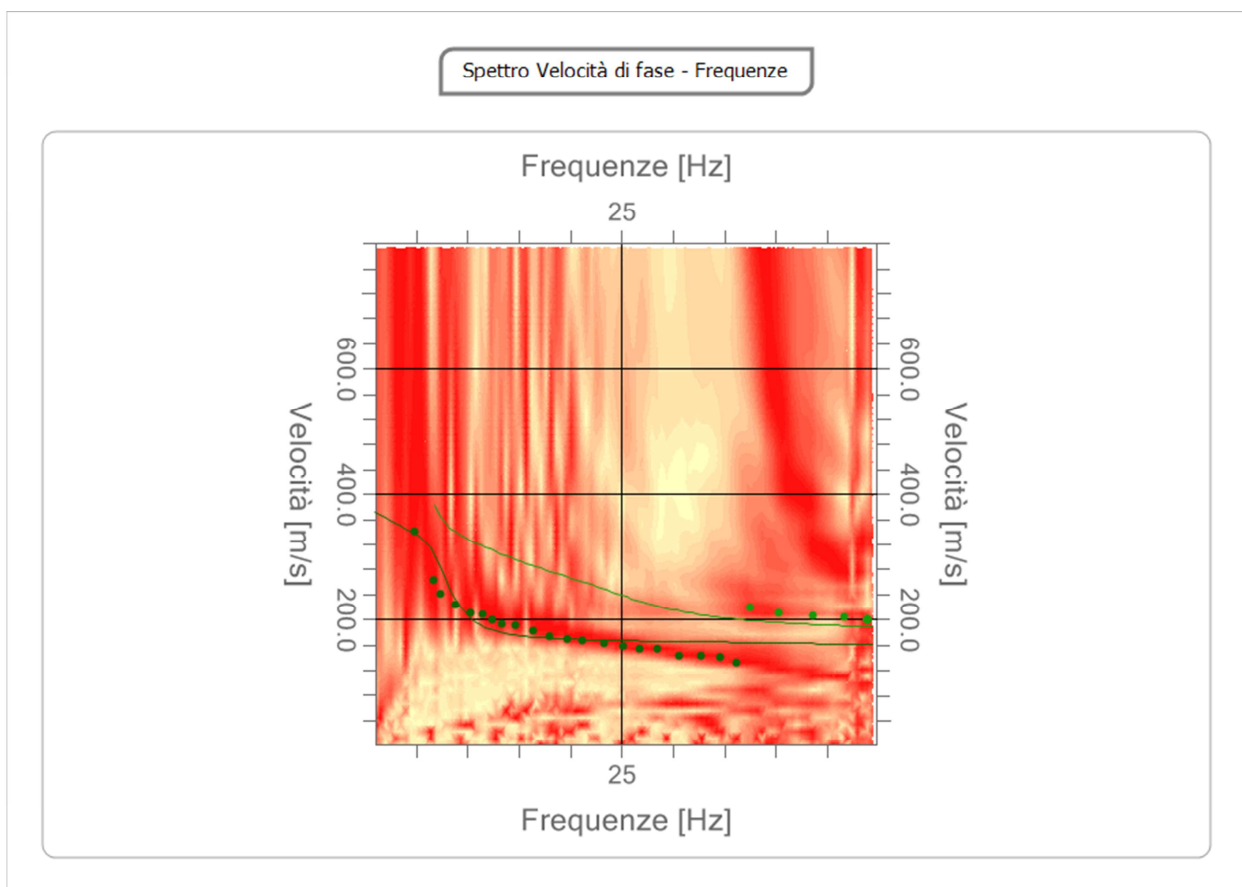
### Grafici tracce:



Il file .seg2 prodotto dalla misura di campagna è stato importato all'interno del software EasyMasw della Geostru. I dati acquisiti sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

#### 8.4 ANALISI SPETTRALE

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Il secondo (e ultimo) passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della  $V_s$  è l'inversione della **curva di dispersione** prima "piccata", anche se l'approccio consigliato è quello della modellazione diretta (Dal Moro, 2008).

La valutazione della curva di dispersione è stata fatta con una qualche cautela, per evitare errori provocati dalla presenza di **modi** di vibrazione superiori al primo. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate. La corrispondenza tra curva di dispersione sperimentale e curva di dispersione numerica relativa all'ultima iterazione del processo d'inversione, minimizzando gli scarti, è adeguata per tutto il campo di frequenza per il quale sono disponibili informazioni sperimentali.

#### **Inversione**

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si ottiene una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il



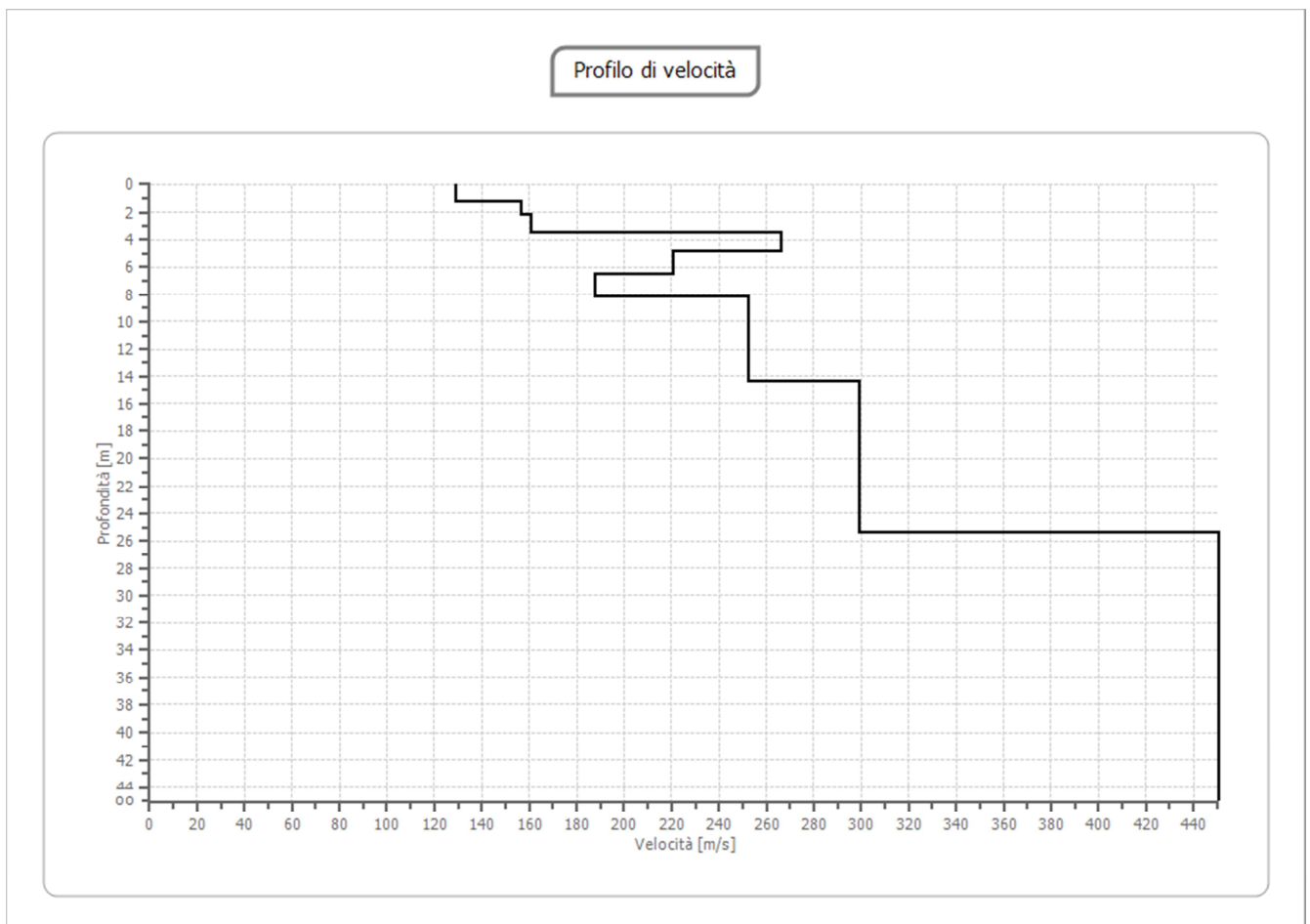
profilo delle velocità in mezzi a differente rigidezza.

Sia nella curva d'inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno (modi).

### Inversione

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.20	1.20	1860.0	0.4	No	315.5	128.8
2		2.21	1.01	1900.0	0.4	No	383.5	156.6
3		3.54	1.33	1860.0	0.4	No	334.8	160.8
4		4.91	1.37	2100.0	0.4	No	554.7	266.5
5		6.55	1.64	1960.0	0.4	No	459.4	220.7
6		8.16	1.61	1870.0	0.4	Si	391.2	187.9
7		14.36	6.21	2040.0	0.5	Si	836.4	252.2
8		25.40	11.04	2000.0	0.5	Si	993.2	299.4
9		oo	oo	2000.0	0.5	Si	1495.1	450.8

Percentuale di errore 0.054 %  
Fattore di disadattamento della soluzione 0.025



Le elaborazioni eseguite sui dati rilevati hanno evidenziato Vs da circa 120 in superficie sino a 300 m/s a una profondità di 25mt.



### Tecnica Microtremore.

Numero totale finestre selezionate: 59

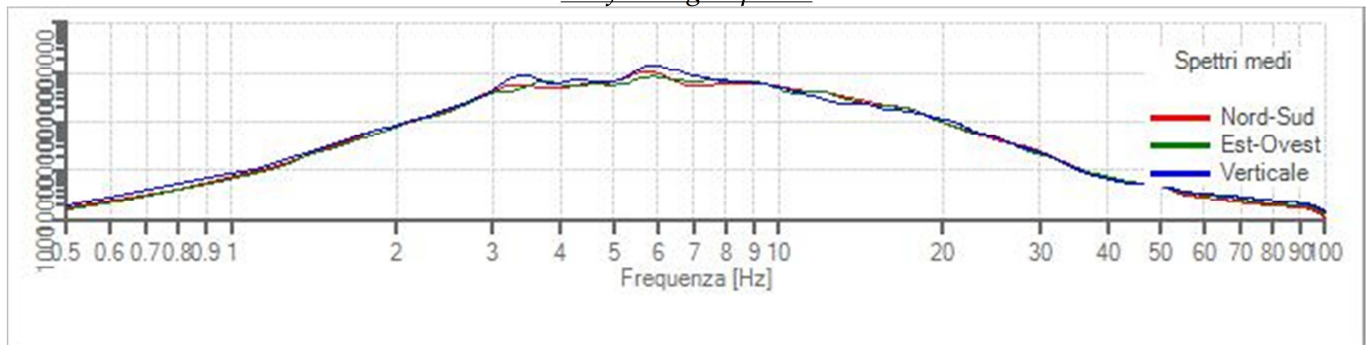
Numero finestre incluse nel calcolo: 57

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

Tipo di lisciamo: Triangolare proporzionale

Percentuale di lisciamo: 10.00 %

### Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni

Frequenza massima: 100.00 Hz

Frequenza minima: 0.50 Hz

Passo frequenze: 0.15 Hz

Tipo lisciamo: Triangolare proporzionale

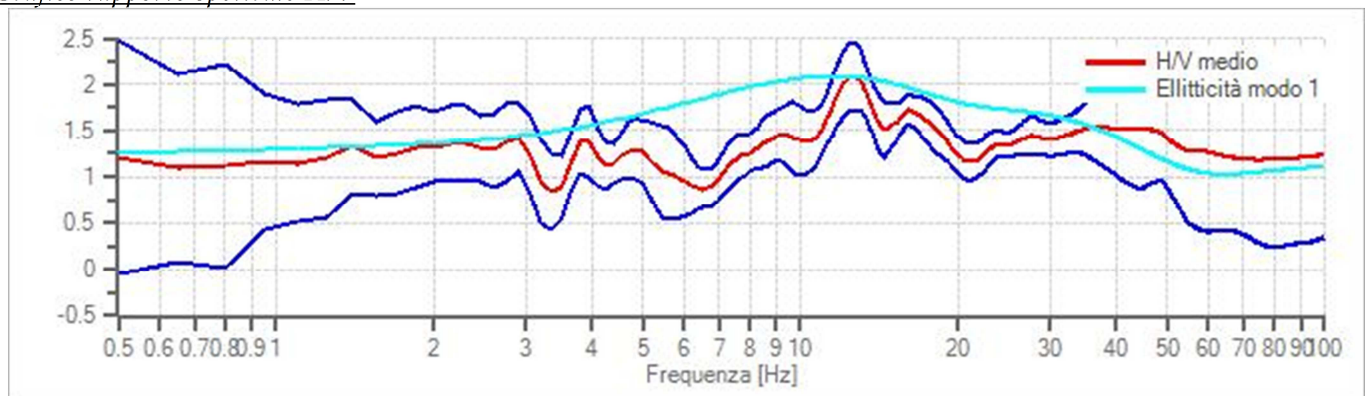
Percentuale di lisciamo: 10.00 %

Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

**Frequenza del picco del rapporto H/V: 12.50 Hz ± 0.18 Hz**

### Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

### Verifiche SESAME:

	<b>Verifica</b>	<b>Esito</b>
$f_0 > 10/l_w$		Ok
$n_c(f_0) > 200$		Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$		
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		Ok



$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Dati riepilogativi:

Numero strati: 8

Frequenza del picco dell'ellitticità: 11.60 Hz

Valore di disadattamento: 0.24

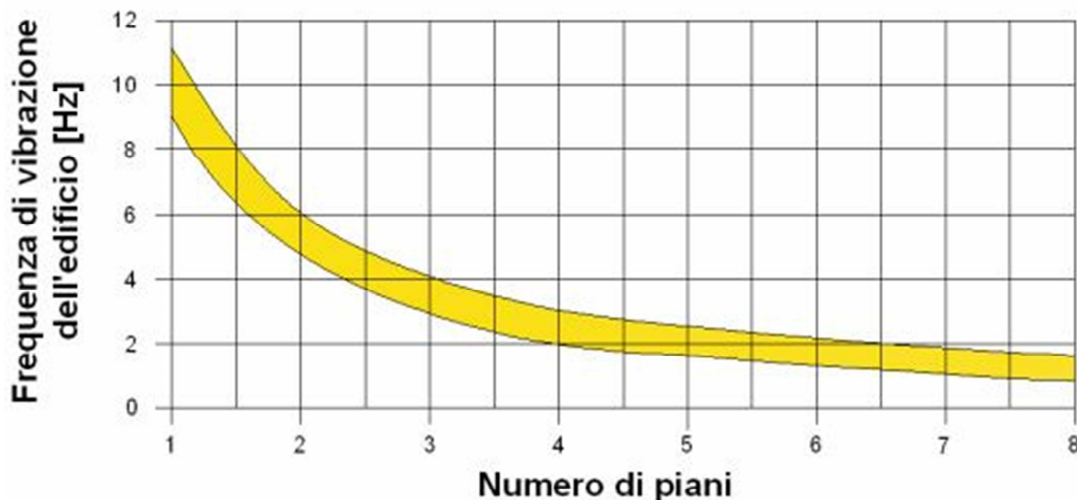
**Valore  $V_{s30}$ : 274.25 m/s**

Le ampiezze del segnale non superiore a 2 dei picchi dimostra una scarsa capacità amplificativa dei suoli. Per valutare correttamente i possibili fenomeni di amplificazione e quindi gli effetti dello scuotimento sismico sulle opere esposte al rischio bisogna porre estrema attenzione ai fenomeni di "risonanza" dovuti alla coincidenza tra le frequenze dominanti del segnale sismico in ingresso e quelle naturali del sottosuolo, e alla conseguente possibile "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti edificati.

Nel caso in esame bisogna porre l'attenzione quindi agli intervalli di frequenza evidenziati dalle prove HVSR, poiché su questi possono verificarsi fenomeni di risonanza, evidenziando che i contatti a maggiore contrasto d'impedenza sismica e, quindi, anche a maggiore potenziale di amplificazione, sono quelli con gli orizzonti sopra il bedrock geofisico di riferimento.

Come evidenziato dalla recente bibliografia, qualora la frequenza di risonanza dell'opera in progetto presenti un valore uguale o che si discosta di non più del  $\pm 15\%$  dal valore di frequenza caratteristica del terreno (ovvero dai valori estremi del range di variabilità individuato), il pericolo di risonanza del sistema opera-terreno può essere ritenuto alto; se tale valore ricade entro il  $\pm 15-25\%$  tale pericolo può essere ritenuto medio, mentre se è maggiore  $\pm 25\%$  può essere considerato basso. Pertanto vanno tenuti in debita considerazione anche eventuali fenomeni di degradazione per danneggiamento della struttura a seguito della sollecitazione ciclica.

A titolo puramente indicativo e quale valutazione di massima, è utile ricordare che il periodo



fondamentale di una struttura a geometria semplice realizzata in cemento armato è prossimo a  $T=0,1 \cdot N$  (Numero dei piani) ovvero  $f=10/N$  (frequenza fondamentale) per cui ad es. per un fabbricato a 1 piano  $f=10/1 = 10.00$  Hz e a 2 piani  $f=10/2 = 5.00$  Hz.



### 8.5 CALCOLO DELLA $V_{S30}$

Il valore di  $V_{S30}$  rispetto al piano campagna attuale è stato calcolato utilizzando la formula:

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

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

Profondità piano di posa [m]	0,00
$V_{S30}$ [m/sec]	312,78
Categoria del suolo	C

Il sito rientra quindi nella **categoria di sottosuolo C** secondo il D.M. 14.01.2008 (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi fra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{spt,30} < 50$  nei terreni a grana grossa,  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)), perché la  $V_{S30}$  è di 312,78 m/s.

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{S30}$ superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di 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 $V_{S30}$ , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ( $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa o $cu_{30} > 250$ 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 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S30}$ compresi fra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ( $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato di riferimento ( $V_{S30} > 800$ m/s).

### 8.6 FATTORE DI AMPLIFICAZIONE FA SECONDO LA PROCEDURA PREVISTA DALLA L.R. 12/05.

A seguito dell'applicazione nello studio geologico comunale del 2° Livello di approfondimento previsto dall'Allegato 5 della D.G.R. 7374/2008, è stato calcolato il **Fattore di amplificazione (Fa)** (procedura semplificata per la valutazione semi-quantitativa degli scenari morfologici suscettibili di amplificazione sismica di tipo litologico). Il valore di  $F_a$  è inteso come rapporto  $PGA/PGA_0$ , ossia come rapporto dell'agmax al suolo rispetto all'agmax al suolo rigido, cioè si tratta di un unico fattore numerico che



intende rappresentare l'insieme degli effetti di amplificazione concernente la zona in esame in rapporto a quanto atteso nel caso di basamento rigido affiorante.

I parametri di cui si è tenuto conto per l'applicazione del metodo adottato sono:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s (quando possibile);
- spessore e velocità di ciascuno strato presente nelle zone rappresentative scelte per l'esecuzione delle indagini.

Lo stendimento sismico e l'acquisizione di microtrempi mostrano come non sia stato possibile raggiungere il bedrock sismico, cioè quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido ( $V_s = 800$  m/s). Per questo motivo, sulla base del gradiente delle Vs nei primi 30-35 mt emerso dall'indagine, il programma RSL "Abachi" della Geostru ha ricostruito l'andamento delle Vs fino al valore di 800 m/s.

La litologia prevalente è quella limoso-sabbiosa cui corrisponde il maggior spessore cumulato lungo tutta la verticale d'indagine. Utilizzando la **scheda relativa alla litologia limoso-sabbiosa T2** (Allegato 5 della D.G.R. n.8/7374 del 28 maggio 2008), il fattore di amplificazione è  $F_a = 1,725$  nell'intervallo 0.1-0.5 s.

I valori di  $F_a$  calcolati con le schede di valutazione sono stati confrontati con il valore di soglia (Soglia norma) per il comune in oggetto, fissati dalla normativa vigente e disponibili nella banca dati della Regione Lombardia riferenti all'intervallo di periodo tra 0,1-0,5 s, valido per strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide fino a 5 piani, considerando una variabilità di  $\pm 0.1$  che tiene conto della variabilità del valore di  $F_a$ .

Essi sono:

Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
1,8	1,8	1,9	1,8

Dal confronto è emerso che il valore di  $F_a$  calcolato con le schede fornite dalla regione non supera il valore soglia previsto per suolo di tipo C ( $F_a=1,8$ ), quindi secondo tale metodo la procedura semiquantitativa di 2° livello evidenzia che per lo scenario Z4a identificato nel territorio di Manerbio, la possibile amplificazione sismica potrebbe essere contenuta e che quindi l'applicazione dello spettro previsto dalla normativa (D.M. 14 gennaio 2008) potrebbe essere sufficiente a tenere in considerazione i reali effetti di amplificazione litologica.

## 9.0 PERICOLOSITA' GEOLOGICA E RISCHIO GEOLOGICO DELL'OPERA

Com'è noto, le NTC08 si riferiscono nei contenuti, anche se non reso comprensibile chiaramente nel testo, al 'progetto strutturale', che, ovviamente, è cosa diversa dal "progetto generale dell'opera" che deve ottemperare a un quadro normativo più ampio sia a livello nazionale (D.P.R. n. 380 del 06/06/01, D.Lgs. 03/04/06 n. 152, Norme Autorità di Bacino, ecc.) sia a scala locale (vincolo idrogeologico, Piani urbanistici, leggi sismiche regionali, ecc.).

Nel campo dei fenomeni naturali "geologici", vi sono la pericolosità sismica, la pericolosità idraulica e la pericolosità geomorfologica. In generale, con il termine "pericolosità" s'intende "la probabilità che un fenomeno potenzialmente distruttivo di determinata intensità occorra in un dato periodo e in una determinata area" (CNR - GNDICI, 1994), ed è quindi espressa in termini di probabilità annuale (o "tempo di ritorno").

La **pericolosità geomorfologica** è data dal rischio frana s.l., la quale è assente insistendo le opere di progetto su superficie subpianeggiante.

Nell'indagine di superficie del presente studio non sono stati evidenziati fenomeni o sintomi d'instabilità sia a livello superficiale che profondo: i muri dei fabbricati vicini sono privi di lesioni efficaci o comunque di quadri fessurativi che complessivamente indichino la presenza di fenomeni di dissesto in atto. Anche la



Carta inventario dei fenomeni franosi, redatta dalla Regione Lombardia (SIT – Dissesto idrogeologico), e l'elaborato 2 del P.A.I. "Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici" (PAI dissesti – PAI dissesti aggiornati) non evidenzia alcun dissesto.

Per quanto riguarda la **pericolosità idraulica** in letteratura non sono state segnalate aree vulnerabili dal punto di vista idraulico per fenomeni legati a eventi alluvionali, o in occasione di eventi meteorici eccezionali tali da pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e il conseguente svolgimento delle attività economiche.

La falda freatica è generalmente contraddistinta da **vulnerabilità dell'acquifero elevata** in funzione della sua soggiacenza (pari a circa 8,0-10 mt dal p.c. attuale), con possibili escursioni, positive o negative, relazionabili alla variabilità del regime pluviometrico e agli apporti durante la stagione irrigua. Perciò si dovranno attuare tutti gli interventi possibili per evitare l'infiltrazione d'acque inquinate nel sottosuolo.

La **pericolosità sismica** è dedotta dalle indagini geologiche e geognostiche citate nei precedenti paragrafi: queste suggeriscono che si possono verificare **fenomeni di amplificazione sismica** come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale (zona stabile suscettibile di amplificazione locale).

Per una preliminare base informativa per guidare le analisi di approfondimento degli effetti locali di **liquefazione** in caso di sisma dei terreni non coesivi (§ 7.11.3.4.2 delle NTC) con il tetto della falda a profondità inferiori a 15,0 mt dal p.c., si è valutata la suscettibilità geofisica alla liquefazione, in quanto la velocità delle onde di taglio  $V_s$  è poco dipendente dal grado di saturazione, ma allo stesso tempo caratterizza (*proxi geotecnico*) l'appartenenza del sito a una classe di suolo. In letteratura si riconosce come caratterizzante il limite superiore dei suoli suscettibili di liquefazione dal valore  $V_s$  di 225-250 m/s, con lo spessore dell'unità geofisicamente suscettibile alla liquefazione variabile tra i 3 mt e 16 mt, mentre il suo tetto è variabile tra 4 mt e 10 mt. Il rapporto  $V_p/V_s > 5-6$  costituisce un indicatore sintetico caratterizzante i siti predisposti al fenomeno della liquefazione sismica. Pertanto non vi sono unità potrebbero essere geofisicamente suscettibili alla liquefazione.

Quando sul piazzale industriale/artigianale non accadano né lavorazioni, né lavaggi, né depositi, le acque meteoriche non sono da considerarsi **scarichi**. Qualunque tipo di lavorazione o di lavaggio avvenga sul piazzale industriale o qualunque tipo di materiale sia su di esso depositato o per sversamenti accidentali, conferisce alle acque meteoriche di dilavamento la caratteristica di scarico "a tutti gli effetti", e quindi queste devono essere depurate e autorizzate.

L'inquinamento è massimo nei primi minuti di precipitazione atmosferica ed è dovuto essenzialmente alla presenza di sabbia, terriccio, oli minerali leggeri, oli di carburanti, di metalli pesanti, per modeste perdite accidentali da auto e tir in sosta.

Il risultato delle analisi restituisce, pertanto, una classe di pericolosità del sito:

PESO	CLASSE DI PERICOLOSITA'
0	Molto bassa
≤ 12	Bassa
≤ 18	Medio-bassa
≤ 24	Media
≤ 30	Medio-alta
≤ 36	Alta
≤ 44	Molto alta
>48	Estremamente alta

Nella **Pericolosità media** sono state inserite le aree in cui rientrano fenomeni inattivi stabilizzati (naturalmente) ed elementi geomorfologici, litologici e giacaturali dalla cui valutazione è una media propensione al dissesto.

Gli **interventi di mitigazione del rischio di vulnerabilità** per la prima falda vietano qualsiasi forma di dispersione nel sottosuolo di reflui e delle acque provenienti dal dilavamento dei piazzali.





Il recapito degli **scarichi domestici** può avvenire nella fognatura pubblica: in questo caso la legge non prevede un'autorizzazione esplicita, poiché è sufficiente seguire il regolamento di fognatura (art. 107 comma 2 del D.Lgs. 152/2006).

Le acque meteoriche andranno raccolte con apposita rete e condotte in un manufatto di sedimentazione/disoleazione opportunamente dimensionato. Le acque così trattate, potranno essere poi condotte ai fossati circostanti o scaricate nella rete comunale di fognatura per acque bianche e/o miste, presumendo lo scolamento sul suolo o nel primo sottosuolo per le acque di piena.

Con il regolamento regionale 4/2006 la Regione Lombardia ha disciplinato la separazione, il trattamento, e lo scarico delle acque di prima e seconda pioggia provenienti da attività produttive, dando attuazione alla delega in materia prevista prima dall'articolo 39 del D.lgs. 152/99 e poi dall'analogo articolo 113 del D.lgs. 152/06.

Secondo la Legge sono soggette a trattamento quelle raccolte durante i primi 5 mm di pioggia e, nel caso di piogge particolarmente intense, le acque eccedenti, sono avviate direttamente allo scarico tramite una canalizzazione di by-pass.

## 10.0 CONCLUSIONI

Le conoscenze disponibili e le assunzioni fatte hanno fornito la seguente connotazione per l'area in studio, appresso specificata in sintesi:

- geomorfologicamente l'area in studio, e parte della zona circostante, ha una morfologia globalmente pianeggiante, interrotta dall'incisione del Fiume Mella, disposta da NW verso SE. Essa si trova sui bordi della valle sui bordi della valle, dove è presente il **terrazzo fluviale intermedio** (Pleistocene sup.- Olocene) situato a quote intermedie tra il livello fondamentale e costituito da sedimenti sabbioso-limosi più antichi e maggiormente addensati. Esso rappresenta un brandello di piana più antica risparmiato dalle fasi erosive che hanno poi abbassato il livello sino a portarlo a quello attuale;
- geologicamente l'area è composta di un deposito continentale cartografato nella cartografia geologica ufficiale come **fg<sup>w</sup>: alluvioni fluvio-glaciali**, prevalentemente sabbiose e limose con strato di alterazione brunastro, di spessore limitato. Costituiscono la media pianura a valle della zona delle risorgive – Würm;
- la banca-dati della Regione Lombardia riporta per l'area in studio, e parte della zona circostante, un deposito continentale cartografato con la sigla **sabbie limose**. Tale deposito appartiene all'**Unità a sabbie frammiste a locali depositi fini (limi e argille)**.
- litologicamente l'area è composta di un deposito continentale cartografato nella *Carta Geologica e Geomorfologica* comunale come **Unità del livello fondamentale della pianura**. Lo spessore di questo corpo è di circa 50 metri; alla sua base sono generalmente presenti conglomerati con intercalazioni di sabbie e rare ghiaie;
- idrogeologicamente è presente una **falda** superficiale alla profondità di circa **8,6** metri dal p.c., ma per un'esatta esposizione dell'escursione richiede tempi di osservazione e comparazioni rinviati nel tempo e quindi una sua pertinente determinazione per la zona oggetto di rilevamento non possono essere compiuta nel breve intervallo a nostra disposizione;
- sulla "*Carta dei Vincoli esistenti*" è riportato il vincolo di polizia idraulica del tratto intubato della Seriola Luzzaga appartenente al reticolo idrografico minore con una fascia di rispetto di 4 mt;
- nella "*Carta di sintesi*" il lembo di territorio in oggetto è inserito in Aree Vulnerabili dal punto di vista idrogeologico, con **grado di vulnerabilità delle acque sotterranee alto**;
- la tavola "*Pericolosità sismica Locale*" dello Studio geologico comunale, che rappresenta il risultato dell'analisi di 1° livello, riporta che nel territorio esaminato potrebbero verificarsi fenomeni di amplificazione sismica locale riferibile allo scenario di amplificazione litologica e geometrica **Z4a** -



zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e /o fluvio-glaciali granulari e /o coesivi. A seguito dell'applicazione del 2° Livello di approfondimento previsto dalla D.G.R. 7374/2008, è stato calcolato il **fattore di amplificazione Fa** che è inferiore al valore di soglia comunale corrispondente stabilito dalla Regione Lombardia. Perciò la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa stessa;

- come riporta la Tavola della "Carta Della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano" dello studio geologico comunale, è prevista la **Classe di Fattibilità 3d**, che comprende aree caratterizzate da grado di vulnerabilità della falda sotterranea alta situata sul livello fondamentale della pianura;
- il rilevamento geologico presso l'area in studio individua una topografia subpianeggiante, in un contesto generale più articolato. L'azione antropica è aver modificato nel tempo l'originaria configurazione dei luoghi. L'area è stabile e non interessata da alcun fenomeno geomorfico in atto, né si riscontrano problematiche di tipo idraulico;
- le indagini geologiche eseguite in questa fase preliminare della progettazione con la quale si valuta la prefattibilità dell'opera, in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008, sono state programmate ed eseguite compatibilmente con la situazione logistica dell'area. Sono state compiute, in prossimità dell'area d'impronta del fabbricato di progetto, **due prove penetrometriche dinamiche** senza ausilio di rivestimento, finalizzate alla ricostruzione della successione stratigrafica e dello spessore dei sedimenti sciolti, un sondaggio sismico di microtremori e uno stendimento sismico del tipo Masw. Le aste estratte al termine della prova sono state rilevate umide alla profondità di 8,0 mt. Non è stato possibile misurare la soggiacenza della **falda** a causa del franamento dei fori. Si ritiene probabile una profondità di **7,4 metri**, soggetta a escursione legata alle variazioni stagionali;
- la composizione del modello geologico di massima prevede 5 litozone con diverse caratteristiche:

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,5										riporto
2,4	5	51,88	Incoerente	0	1,74	1,92	0,17	2,03	10,17	sabbia limosa
2,9	1,8	17,19	Coesivo	0	1,68	1,87	0,37	2,03	3,66	limo argilloso
3,7	5,12	46,42	Incoerente	0	1,74	1,92	0,48	2,03	10,41	sabbia limosa
10	8,19	60,25	Incoerente	0	1,92	1,96	1,16	2,03	16,66	sabbie

- l'esame della mappa probabilistica di pericolosità sismica del territorio comunale identificato con il codice ISTAT 03017103, evidenzia valori di accelerazione massima al suolo, calcolati per probabilità di superamento in 50 anni del 10% (distribuzione del 50° percentile - mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento), variabili tra 0,10 e 0,15. Secondo la D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129 (la cui entrata in vigore è posticipata con D.G.R. 10 ottobre 2014 - n. X/2489 al 14 ottobre 2015) l'area ricade in **zona sismica 3** caratterizzata da un valore di accelerazione massima ag **0,13687g** riferita a suoli rigidi (cat. A);
- la caratterizzazione della risposta sismica del sito in esame è stata eseguita attraverso un'acquisizione sismica attiva MASW utile a definire il profilo verticale della Vs e un'indagine sismica di microtremore che misura direttamente i picchi di risonanza dovuti a contrasti d'impedenza acustica, fonte principale di amplificazione sismica. Il modello sismico del sottosuolo ricavato ha calcolato un valore di **Vs30** dal piano di posa delle fondazioni coincidente con il p.c. pari a **256,78 m/s** e **frequenza fondamentale di risonanza di 12,50 Hz** per quanto riguarda il valore d'interesse ingegneristico - strutturale. Il sito potrebbe rientrare quindi nella **categoria di sottosuolo C** secondo il D.M. 14.01.2008 (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi fra 180 e 360 m/s (15 < Nspt, 30 < 50 nei terreni a grana grossa, 70 < cu < 250 kPa nei terreni a*



grana fina)).

I risultati resi nella presente relazione geologica costituiscono uno strumento per la pianificazione territoriale e si basano soltanto sulle assunzioni fatte per questi terreni che, data la loro genesi, possono presentare variazioni litostratigrafiche in senso verticale e orizzontale associate a una modificazione della quota della falda freatica. Pertanto, per i singoli interventi edificatori, dovranno programmarsì specifiche indagini geognostiche di maggior dettaglio secondo le indicazioni del D.M. 14.01.2008; sarà, infatti, necessario confermare il modello geologico di prima approssimazione redatto.

Tanto dovevo secondo le conoscenze tecniche specifiche e l'accurata diligenza in concreto per l'incarico ricevuto, a tutela della pubblica e privata incolumità.

*Dott. Geol. Massimo Pasquale FEDELE*

.....



## 11.0 BIBLIOGRAFIA TECNICA

(in ordine alfabetico)

- APAT "Indicazioni per l'utilizzo e la Gestione delle Terre e Rocce da Scavo nei Lavori Privati sottoposti a Dia o a Permesso di Costruire" (2009).
- Boni A., Cassinis G. (1973) – "Carta geologica delle Prealpi bresciane a Sud dell'Adamello", in scala 1:50.000.
- Bruschi Alberto (2010). "Prove geotecniche in situ". Dario Flaccovio Editore.
- Carta Geologica d'Italia - Foglio 47 – "Brescia".
- Cestari F. (1990). "Prove Geotecniche in Sito". Geo-Graph. Pp. 207-284.
- Ispra (2015). "Modello geologico 3D e geopotenziali della Pianura Padana centrale (Progetto GeoMol)". Rapporti ISPRA, 234/2015.
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Mappe interattive di pericolosità sismica. [http://esse1-gis.mi.ingv.it/s1\\_en.php](http://esse1-gis.mi.ingv.it/s1_en.php).
- Jamiolkowski, M., Pasqualini, E. (1974) - "Previsione dei cedimenti delle fondazioni superficiali poggianti su terreni sabbiosi ..." (V ciclo annuale di conferenze dedicate ai problemi di ingegneria delle fondazioni).
- Locati M., Camassi R. & Stucchi M. (2011) Database Macrosismico Italiano, versione DBMI11.
- Meletti C. & Valensise G. (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9. App. 2 al rapporto conclusivo.
- Mulargia F., Castellaro S. e Rossi P.L. (2007). – "Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica".
- Ordini Geologici vari, Standard metodologico di lavoro.
- Regione Emilia Romagna, Assessorato all'Ambiente. Regione del Veneto, Assessorato Agricoltura e foreste. (1998) "Manuale tecnico di ingegneria naturalistica".
- Regione Lombardia (1997) – "I suoli dell'area morenica gardesana settore bresciano" (Progetto Carta Pedologica – Ersal).
- Riga Giulio (2010) – "Modellazione geologica e geotecnica." Dario Flaccovio Editore.
- Società Geologica Italiana (2002). "Alpi e Prealpi Lombarde". Guide Geologiche Regionali. BE-MA Editrice.
- Stucchi R., Camassi, Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti E. C., Migliavacca P., Bernardini F. & Azzaro R. (2007) - DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/> Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp.38.
- S.I.T. (Sistema Informativo Territoriale) della Regione Lombardia.
- Vallario A. (1993) – "Frane e territorio. Le frane nella morfogenesi dei versanti e nell'uso del territorio". Liguori editore.
- Venzo S. (1965) – "Rilevamento geologico dell'anfiteatro morenico del Garda, dal Chiese all'Adige", con carta Geologica in scala 1: 40.000.
- Viggiani, C. – (1999-2003) "Fondazioni" (Hevelius Edizioni).

Articoli in formato .pdf. per gli approfondimenti tecnici riguardanti le indagini sismiche:

- De Stefano A., Foti S., Lancellotta R., Roma V.: "L'isolamento sismico delle strutture su pali", Atti del IX Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica in Italia, Torino 20-23 Settembre 1999;
- De Stefano A., Foti S., Lancellotta R., Roma V.: "Dissipazione dell'energia in strutture su pali", Atti del IX Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica in Italia, Torino 20-23 Settembre 1999;
- Hebel G., Lai C.G., Orozco C., Rix G., Roma V.: "Recent advances in Surface Wave methods for Geotechnical Site Characterization", XV International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Istanbul 27-31 Agosto 2001;
- Roma V., Lancellotta R., Rix G.: "Frequencies and wavenumbers of Resonance in horizontally stratified media for traveling Rayleigh waves", XI International Conference on Waves and Stability in Continuous Media, Porto Ercole 3-9 Giugno 2001;
- Roma V., Hebel G., Rix G., Lai C.G.: "Geotechnical soil characterization using fundamental and higher Rayleigh modes propagation in layered media", XII European Conference on Earthquake Engineering, London 9-13 Settembre 2002;
- Iovieno M., Roma V.: "Two dimensional viscous flow between circular cylinders: application to damping devices for seismic isolation", Mathematical and Computer Modelling, 35 (2002);



- Roma V., Foti S., Lai C.G., Rix G.: *"Simultaneous measurement and inversion of surface wave dispersion and attenuation curves"*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22 (2002) 923-930;
- Roma V.: *"Automated inversion of Rayleigh geometrical dispersion relation for geotechnical soil identification"*, 3rd World Conference on Structural Control, Como 7-12 April 2002;
- Roma V.: *"Soil Properties and Site characterization through Rayleigh Waves"*, International Conference on Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Lione, Settembre 2003
- Roma V.: *"Dynamic Soil Identification by means of Rayleigh Waves"*, XI Conferenza Nazionale di Ingegneria Sismica in Italia, Genova, Gennaio 2004;
- Roma, V. and Mahtab, M. A. *"Use of Rayleigh Waves as Reference for Determining Setback Distances for Explosions near Shorelines"*, Poster Session, 6th Bay of Fundy Workshop, September 29-October 2, 2004, Cornwallis Park, Nova Scotia;
- Roma V., Mahtab A., Stanton K.L. *"Environmental Impacts of Blasting for Stone Quarries near Bay of Fundy"*, 6th Bay of Fundy Workshop, September 29-October 2, 2004, Cornwallis Park, Nova Scotia;
- Roma V., Pescatore M.: *"Environmental impact caused by high speed train vibrations"*, International Geotechnical Conference: Soil-structure interaction: calculation methods and engineering practice, 26-28 May, 2005, St. Petersburg (accettato per pubblicazione);
- Roma V., Bergamaschi M., Locatelli L., Quadrelli D. *"Soil-Structure dynamic interaction: application to design and construction of the facilities of a gas power plant"*, accepted to the XIIIth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering (29-31 May 2006, Lubiana) Active Geotechnical Design in Infrastructure Development;
- Roma V.: *"Impatto ambientale causato da vibrazioni prodotte da treni ad alta velocità"*, accettato alla XII Conferenza Nazionale di Ingegneria Sismica in Italia, Pisa, Giugno 2007;
- Roma V.: *"Caratterizzazione geotecnica sismica dei suoli con il metodo MASW"*, accettato alla XII Conferenza Nazionale di Ingegneria Sismica in Italia, Pisa, Giugno 2007;
- Roma V.: *"Soil Properties and Site characterization by means of Rayleigh Waves"*, PhD Thesis, Technical University of Turin (Politecnico di Torino), November 2001;
- Roma V.: *"Attenuazione della risposta sismica di strutture su pali"* (Attenuation of seismic response of structure on piled foundations), Prof. De Stefano e Lancellotta, Technical University of Turin (Politecnico di Torino), 12 May 1998;
- Roma V.: *"Determination of dynamic soil properties through propagation of Rayleigh waves"*, Seminario Politecnico di Torino (Italy), 20 July 2001;
- Roma V.: *"Caratterizzazione Geotecnica e Proprietà dinamiche dei terreni attraverso la propagazione delle Onde di Rayleigh: recenti sviluppi della tecnica SASW"*, Seminario Ordine degli Ingegneri di Brindisi, 19 April 2002;
- Roma V.: *"Caratterizzazione Geotecnica attraverso le Onde Rayleigh (Metodo SASW Multicanale)"*, Seminario Geodata, Torino, 1 October 2002;
- Roma V.: *"Frequencies and Wavenumbers of Resonance in Layered Media for Traveling Rayleigh Waves"*, Seminar Georgia Institute of Technology (Atlanta, USA), 23 April 2001;
- Roma V., Hebel G., Rix G., Lai C.G.: *"Geotechnical soil characterization using fundamental and higher Rayleigh modes propagation in layered media"*, XII European Conference on Earthquake Engineering, London 9-13 Settembre 2002;
- Roma V.: *"Soil Properties and Site characterization through Rayleigh Waves"*, International Conference on Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Lione, Settembre 2003
- Roma V.: *"Dynamic Soil Identification by means of Rayleigh Waves"*, XI Conferenza Nazionale di Ingegneria Sismica in Italia, Genova, Gennaio 2004.

Dispense ed appunti forniti nei corsi di A.P.C. (Aggiornamento Professionale Continuo):

- *"L'uso e la tutela delle acque delle acque sotterranee: obiettivi e strumenti"* - Ordine dei Geologi della Lombardia (2007);
- *"Regolamento Regionale 24.03.2006 - n° 2 Disciplina dell'uso delle acque superficiali e sotterranee, dell'utilizzo delle acque per uso domestico, del risparmio idrico e del riutilizzo dell'acqua (attuazione art. 52 L.R. 26/2003). Considerazioni – Approfondimenti"*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2007);
- *"Criteri e metodi per la progettazione, installazione, gestione di un sistema di monitoraggio di un dissesto finalizzato alla definizione del modello geologico"* - Ordine dei Geologi della Lombardia (2008);



- 
- *“Pericolosità al ritiro/rigonfiamento delle terre coesive”* - Ordine dei Geologi dell’Emilia Romagna (2008);
  - *“Difesa dei versanti e mitigazione del rischio idrogeologico in ambiente montano con tecniche a basso impatto ambientale. Soluzioni, nuove tecnologie ed approccio progettuale”* - Ordine dei Geologi della Lombardia (2009);
  - *“Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC)”* – Ordine dei Geologi della Lombardia (2009);
  - *“Ragioni della sismologia e della sismica a confronto”*. Ordine dei Geologi del Veneto (2010);
  - *“Risposta sismica locale: metodologie e casi applicativi alla luce anche del D.M. 14/01/2008”* - Associazione dei Geologi della Provincia di Vicenza (I e II giornata 2010);
  - *“Caratterizzazione sismica del sottosuolo ai fini geotecnici”* – Ordine dei Geologi del Veneto (2011).
  - *“Terre e rocce da scavo: novità e valutazioni”* - Ordine dei Geologi del Veneto (2011).
  - *“Paesaggio: tutela, valorizzazione, riqualificazione”* – Ordine dei Geologi della Lombardia (2012).
  - *“Modellazione 3D applicata all’ingegneria geotecnica e alla geologia”* – Ordine dei Geologi del Veneto (2012).
  - *“Progettazione degli impianti di condizionamento climatico con sonde geotermiche a circuito chiuso”* - Ordine dei Geologi del Veneto (2014).
  - *“Gestione integrata delle risorse idriche sotterranee e ricarica artificiale delle falde”* - Ordine dei Geologi del Veneto (2014).
  - Workshop IAEG (2014) *“Giornata sull’Engineering Geology in Italia”* - Ordine dei Geologi della Lombardia (2014).
  - *“Eurogeologo e valorizzazione delle pietre naturali. Nuove opportunità di lavoro”*. Ordine dei Geologi del Veneto (2014).
  - *“Effetti sismici locali e modelli geotecnici”*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2014).
  - *“Procedure operative per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie nell’ambito della microzonazione sismica in aree di pianura”*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2016).
  - *“La nuova normativa regionale in materia di costruzioni in zona sismica”*. Ordine dei Geologi della Lombardia (2016).