

RELAZIONE TECNICA

REL_PST_0224-15.C-rev0.docx

Del 12.06.2016

OGGETTO:

Relazione geologica, geotecnica, sismica ed idrogeologica ai sensi del D.M. del 14/01/08 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e ai sensi della D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011 "Norme di Piano"

COMMITTENTE:

Comune di Monza

PROPRIETA':

Comune di Monza

LOCALITA': Monza (MB), Via Giovanni Boccaccio,30

RIFERIMENTI:

- Visita di sopralluogo effettuata i giorni 23, 24 e 30 Giugno 2016
- Documentazione Fotografica
- Piante, sezioni e prospetti dell'esistente

Il Tecnico:

Dott. Geol. Luigi Renna

Ordine dei Geologi della Lombardia n° 1665



INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1. <i>Metodologia di lavoro</i>	3
1.2. <i>Riferimenti Normativi</i>	4
2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	5
2.1. <i>Inquadramento Geografico, Geologico e Geomorfologico</i>	5
2.2. <i>Rete Idrografica</i>	7
2.3. <i>Inquadramento Idrogeologico</i>	8
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE	9
3.1. <i>Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)</i>	10
3.2. <i>Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico</i>	11
4. MODELLO GEOTECNICO – VALORI CARATTERISTICI.....	21
5. SPECIFICHE DI PROGETTO E PRESCRIZIONI REALIZZATIVE.....	22
6. SISMICITÀ DELL’AREA E AZIONE SISMICA	24
6.1. <i>Inquadramento sismotettonico</i>	24
6.2. <i>Sismicità locale</i>	24
6.3. <i>Normativa sismica vigente</i>	26
6.4. <i>Risposta Sismica Locale</i>	27
7. FATTIBILITÀ DELL’OPERA DI PROGETTO E CONCLUSIONI	33

1. PREMESSA

Su incarico e a seguito dei colloqui intercorsi con l'Ing. Brini Nicola, è stato eseguito uno studio geologico, geotecnico e sismico a supporto del progetto di recupero e valorizzazione della villa reale di Monza e dei giardini di pertinenza, nel Comune di Monza (MB) ed in particolar modo dell'edificio denominato "ex Borsa". Lo studio viene eseguito in ottemperanza a quanto prescritto dal Testo Unico sulle Costruzioni (D.M. 14/01/08), secondo quanto previsto dalle Norme di Piano (D.G.R. 30/11/2011 n. IX/2616) e dalle nuove normative regionali in materia di vigilanza sulle costruzioni in zone sismiche (DGR 2129/2014, LR 33/2015) e aggiornamento della classificazione sismica regionale (DGR 5001/2016).

1.1. Metodologia di lavoro

Scopo dello studio è stato quello di valutare la natura litologica dei terreni di fondazione presenti nell'area, verificare la fattibilità delle opere di progetto secondo i regolamenti urbanistici comunali e regionali vigenti e considerare le problematiche realizzative.

Lo studio degli aspetti geomorfologici ed idrografici del territorio d'interesse e delle caratteristiche geotecniche dei terreni, si è articolato in una prima fase di rilievi geologico-geomorfologici di campagna, eseguiti in un intorno significativo dell'area di progetto.

Quindi si è proceduto ad una seconda fase che ha riguardato l'acquisizione dei dati reperibili in letteratura consultando, tra gli altri, lo studio della "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio" di Monza (Cooperativa REA S.c.r.l. – Ottobre 2013 e s.m.i.). Da Luglio 2016 è entrata in fase di adozione una Variante del P.G.T. che prevede l'approvazione anche di un nuovo Studio Geologico comunale, per altro già pubblicato sul sito istituzionale comunale e redatto da Idrogea Servizi S.r.l. nel Marzo 2016.

Per l'individuazione delle norme di Fattibilità e Pericolosità Sismica Locale, come concordato con i Tecnici Comunali, sono stati presi in considerazione entrambi gli studi geologici, prediligendo in caso di differenze gli scenari peggiorativi.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni è stata predisposta un'indagine geognostica condotta mediante prove penetrometriche dinamiche standard (S.C.P.T.).

Per la stima delle velocità V_{s30} e della categoria di sottosuolo di sito, è stata eseguita, entro il sito di progetto, una prospezione sismica multicanale con acquisizione ed elaborazione dei dati mediante metodologia MASW e misura del microtremore sismico con tecnica HVSR.

Sono stati infine prodotti alcuni allegati cartografici e tecnici a supporto della presente relazione, come di seguito elencati:

- ✓ Planimetria con ubicazione delle indagini (scala 1:1000)
- ✓ Diagramma Prove Penetrometriche Dinamiche SCPT-DPSH
- ✓ Allegato fotografico

1.2. Riferimenti Normativi

- D.M.14 Gennaio 2008 “*Approvazione delle Norme Tecniche per la Costruzioni*” (G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008); che sancisce l’obbligo di effettuare la progettazione antisismica e la relazione geologica e geotecnica.
- Circolare 2 Febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici “*Istruzioni per l’applicazione delle norme tecniche per le costruzioni*” di cui al Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008.
- Ordinanza Presidenza Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006 n. 3519, recante “*Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*” (G.U. n. 108 del 11/5/2006).
- L.R. 11 Marzo 2005 - n.12 Piani di Governo del Territorio; DGR 22 Dicembre 2005 n.8/1566 “*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio*”.
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 “*Norme in materia ambientale*” con riferimento alla Parte Terza “*Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall’inquinamento e di gestione delle risorse idriche*” - Sezione II “*Tutela delle acque dall’inquinamento*”.
- D.G.R. 30 Novembre 2011 – n. IX/2616 “*Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio*” (art. 57 comma 1 della l.r. 11 Marzo 2005 n. 12).
- D.G.R. 11 Luglio 2014 – n. X/2129 “*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)*”.
- L.R. 12 Ottobre 2015 - n. 33 “*Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche*” BURL n. 42, suppl. del 16 Ottobre 2015).
- 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 per la redazione della “Relazione Geologica” ai sensi delle norme tecnica sulle costruzioni* secondo quanto approvato con delibera n.1 del 14/04/2015 dal Centro Studi del Consiglio Nazionale dei Geologi e con delibera n. 111/2015 del 28/04/2015 del C.N.G..
- Associazione Geotecnica Italiana “*Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche in sito*” (1977).

2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Nel presente capitolo viene redatto, sulla base di tutti i dati raccolti in letteratura, un inquadramento geografico-geologico, geomorfologico, idrografico ed idrogeologico generale e di dettaglio, dell'area di progetto.

2.1. Inquadramento Geografico, Geologico e Geomorfologico

L'area di intervento, identificata dal *Mappale n°54 del Foglio 7*, è ubicata in prossimità dell'incrocio tra via Giovanni Boccaccio e Via Regina Margherita, a Nord del Centro Cittadino, all'interno del Parco della Villa Reale di Monza e più precisamente nella sua porzione meridionale (**Fig. 1**).

Il lotto d'interesse, in particolare, è individuato nella CTR RL (*Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia*) alla scala 1:10.000 nella tavola B5c5 e possiede, nel punto mediano, le seguenti coordinate geografiche (Gauss-Boaga): 5048718,47 latitudine N – 1521322,43 longitudine E.



Fig. 1 - Individuazione dell'area oggetto d'interesse su mappa catastale e su immagine da satellite (fonti Viewer Geografico Regione Lombardia e Google Earth).

Il territorio in esame è posto in prossimità della porzione settentrionale della città, ai margini della Villa Reale, ad una distanza dal Fiume Lambro pari a circa 700 m.

La geologia della zona è caratterizzata dalla presenza diffusa di sedimenti clastici d'origine fluvio-glaciale e alluvionale dell'Alta Pianura Padana Milanese.

A grande scala, sono individuati diversi ordini di terrazzi di genesi più propriamente alluvionali riferiti ai corsi d'acqua fluvio-glaciali e più recentemente al Fiume Lambro.

I depositi del sito di intervento sono caratterizzati da una certa omogeneità e sono costituiti da materiali a granulometria essenzialmente grossolana dapprima scarsamente addensati e quindi bene addensati. Sono in ogni caso previste variazioni della litologia poiché la genesi della zona è il risultato della presenza a partire dal Pleistocene Superiore di una pianura alluvionale solcata da diversi corsi d'acqua con

caratteristiche migratorie che hanno dato origine a diverse canalizzazioni naturali, successivamente riempite da sovralluvionamenti e cambiamenti di percorso degli antichi apparati fluviali.

Nello specifico nell'area d'indagine secondo i rilevamenti eseguiti per la stesura del Foglio n°118 della Carta Geologica d'Italia - scala 1:50.000, si rinvencono in affioramento terreni correlabili al Supersistema di Besnate ed in particolare al Sintema di Minoprio (**Fig. 2**).

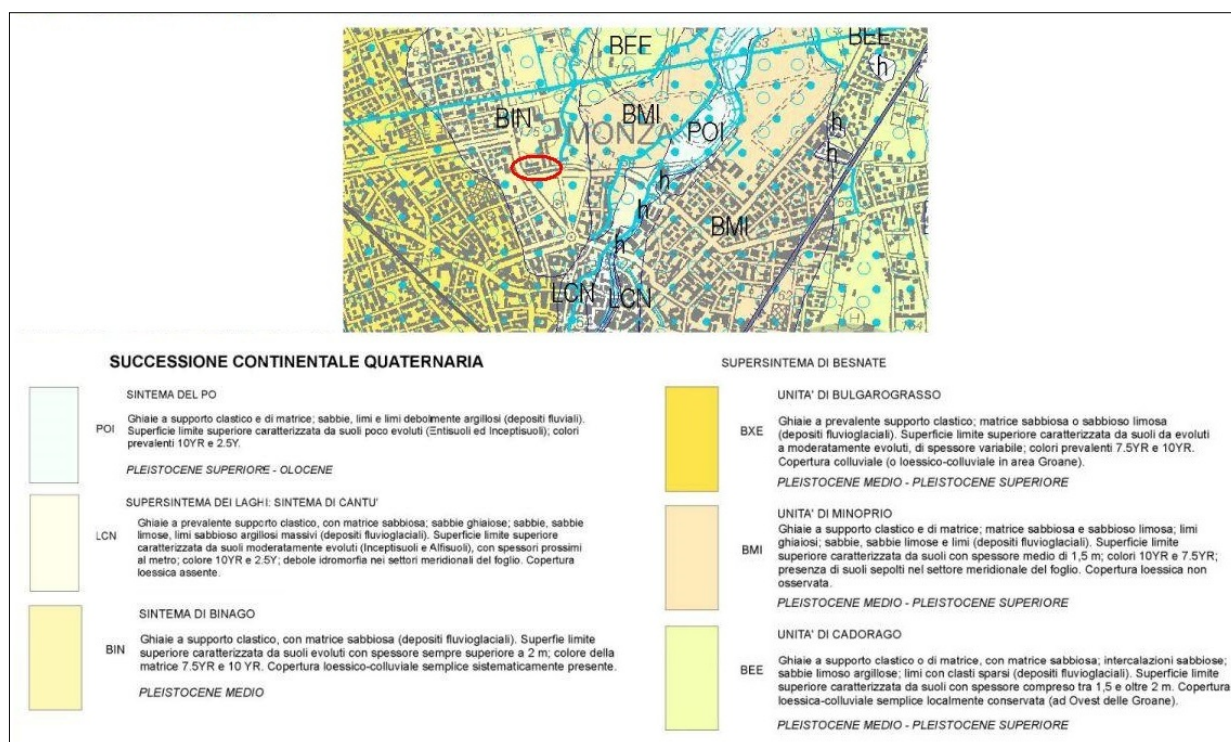


Fig. 2 - Stralcio del F° 118 della Carta Geologica d'Italia – scala 1:50.000”
(progetto CARG – ISPRA) con ubicazione dell'area d'interesse.

L'Allogruppo di Besnate è costituito esclusivamente da depositi fluvio-glaciali, caratterizzati da profili d'alterazione moderatamente evoluti, che strutturano gran parte del territorio del comune di Monza. Il Sintema di Binago rappresenta i resti di una piana fluvio-glaciale più antica dell'attuale, alimentata da scaricatori glaciali provenienti dal ghiacciaio lariano.

Una delle peculiarità evidenziate, negli anni, soprattutto nella porzione nord-occidentale del territorio comunale e quindi anche nell'area in oggetto, è la presenza del fenomeno comunemente conosciuto “degli occhi pollini”.

Si tratta di cavità di grandezze variabili da pochi centimetri ad alcuni metri, subsferiche, generalmente rivestite da sedimenti fini argillosi, che si possono manifestare a profondità comprese tra pochi decimetri sotto il piano campagna sino a 20 m circa.

Queste cavità si formano prevalentemente in depositi alterati antichi, quali quelli costituenti l'Alloformazione di Binago affiorante nell'area d'interesse, e il meccanismo genetico è legato ad erosione sotterranea dovuta a fenomeni di piping, favorito anche dalle variazioni del livello di falda sia per cause naturali che antropiche. Gli ultimi stadi dell'erosione sotterranea portano al manifestarsi di sprofondamenti (doline di

crollo) e voragini dovuti al collasso della volta dell'“occhio pollino”. In genere, la presenza di un “occhio pollino” nel sottosuolo non comporta particolari manifestazioni superficiali e, non essendo associabili a strutture e morfologie ben definite, difficilmente è possibile riconoscere un areale interessato da “occhi pollini” nel sottosuolo. Le aree dove è possibile la manifestazione di questo fenomeno sono appunto quelle in cui affiorano i depositi dell'Alloformazione di Binago e i depositi dell'Allogruppo di Besnate che costituiscono probabilmente una copertura di spessore variabile dei depositi più antichi.

L'assetto Geomorfologico del sito in esame è legato ai fenomeni geomorfici fluvioglaciali prima e fluviali poi, che hanno portato l'Alta Pianura Padana alle attuali condizioni. Nello specifico l'area di progetto insiste su una morfologia pianeggiante e risulta stabile e non interessata da alcun fenomeno geomorfico in atto.

2.2. Rete Idrografica

La rete idrografica del territorio comunale di Monza è contraddistinto dalla presenza di due corsi d'acqua afferenti al Reticolo Idrografico Principale, il Fiume Lambro e il Canale Villoresi.

Il **Fiume Lambro** nasce a nord di Monza presso il Pian Rancio nel territorio comunale di Magreglio (CO), a quota di circa 950 m s.l.m.. Il fiume si sviluppa per 130 km e drena un bacino di 1950km². Il Lambro percorre Monza in senso Nord – Sud. Attraversa il Parco di Monza con andamento meandriforme, collocandosi in un fondovalle dai contorni morfologici sempre meno evidenti, in cui le opere idrauliche e le protezioni di sponda sono minime, appena sufficienti a non far migrare i meandri. A valle del Parco il fiume attraversa il centro storico presentando un alveo completamente artificializzato, dà origine al corso artificiale del Lambretto. Infine riprende il suo corso a meandri ed infine esce dalla città affiancando l'area del depuratore di S. Rocco ed entrando nel Comune di Cologno Monzese.

Il corso del canale entra nel territorio comunale da ovest e subito dopo Viale Lombardia piega verso sud per evitare il centro cittadino. Riprende il percorso verso est sottolineando il margine occidentale della valle del Lambro; affianca il cimitero urbano, attraversa l'abitato di S. Albino ed esce dal territorio di Monza a sud-est, passando in Comune di Agrate Brianza.

Nell'area territorio comunale nord-occidentale si segnalano esclusivamente corsi d'acqua afferenti al reticolo minore appartenenti a tre tipologie differenti di aste idriche: Canali irrigui appartenenti al Consorzio di Bonifica Est-Ticino Villoresi; Rogge derivate dal Fiume Lambro e altri corsi d'acqua minori.

L'area di progetto non risulta interessata o influenzata in alcun modo da elementi idrografici e dalle rispettive fasce di tutela ad essi assegnati dai differenti Studi Idraulici allegati alle Norme di Piano comunale. Il deflusso idrico superficiale entro l'area di indagine ed in quelle limitrofe avviene essenzialmente per spaglio superficiale e non si segnala alcuna problematica di natura idraulica.

2.3. Inquadramento Idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico, la successione stratigrafica dei depositi della pianura è definita, partendo dal basso, dall'Unità Villafranchiana (Pleistocene Inferiore), caratterizzata da depositi di fasce continentali e di transizione a granulometria fine (argille, limi, limi sabbiosi e argillosi grigio-azzurri) cui si intercalano intervalli sabbioso-ghiaiosi.

Entro questa unità circolano le cosiddette "falde profonde continentali", che costituiscono gli acquiferi profondi, confinati con elevato grado di protezione naturale rispetto alla superficie (Unità idrostratigrafiche C e D – III acquifero).

L'intervallo argilloso del Villafranchiano rappresenta quindi il substrato impermeabile rispetto agli acquiferi sovrastanti appartenenti al cosiddetto "acquifero tradizionale", costituito da una falda superficiale per lo più non confinata (unità idrostratigrafica A – I acquifero) e una seconda falda generalmente semiconfinata (unità idrostratigrafica B – II acquifero), localmente costituenti un'unica falda.

Unità Idrostratigrafica gruppo acquifero	Età (MA)	Scala Cronostratigrafica (MA)
A	~ 0.45	Pleistocene superiore 0.125
B	~ 0.65	Pleistocene medio
C	~ 0.8	
D	~ 1.6	0.89 Pleistocene inferiore
Acquitardo basale	1.73	1.73 Pliocene medio superiore

Su larga scala i livelli idrici risultano essere tra loro intercomunicanti, in quanto gli orizzonti a bassa permeabilità non risultano estesi e continui a tal punto da separare acquiferi diversi. Di conseguenza i livelli acquiferi possono essere ricondotti ad un'unica circolazione idrica sotterranea. Il modello idrogeologico di riferimento per questo settore di pianura è quindi quello di un acquifero di tipo multistrato in cui i diversi orizzonti acquiferi sono tra loro in connessione idrogeologica ed in equilibrio.

Fig. 3 - Schema dei gruppi acquiferi alta pianura lombarda

Per il sito in esame, la falda freatica o primo acquifero si mantiene comunque ad una profondità di varie decine di metri e quindi ben oltre le quote di interesse fondazionale.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

A supporto della presente relazione tecnica, in data 13 Giugno 2016 la ditta *Crestana S.r.l.s.* ha eseguito un'indagine geognostica, realizzata e progettata al fine di raggiungere i seguenti obiettivi:

- ✓ Caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni di fondazione e verifica delle condizioni idrogeologiche locali (par. 3.1)
- ✓ Caratterizzazione sismica del sito ed elaborazione del modello sismostratigrafico e (par. 3.3)

L'indagine ha previsto la realizzazione **n° 2 Prove penetrometriche dinamiche (SCPT-DPSH)**. Le indagini sono state eseguite secondo le prescrizioni e gli oneri contenuti nelle *Raccomandazioni A.G.I. (1977)* ed alla presenza costante di un geologo abilitato.

Per l'elaborazione di un modello sismostratigrafico e la determinazione della categoria sismica di sottosuolo del sito (par. 3.3), sono stati utilizzati i dati ottenuti dall'esecuzione **n° 1 stendimento di sismica multicanale con acquisizione ed elaborazione delle onde di superficie (MASW)** e **n° 1 misura del microtremore sismico con tecnica HVSR**, eseguiti all'interno del lotto d'interesse, contestualmente alle prove penetrometriche.

I dati derivanti dalla prova in situ riassunti nel diagramma in allegato, sono riferiti al piano campagna (p.c.) presente alla data delle indagini.

Nell'ubicazione dei punti d'indagine (**Fig. 4**) si è tenuto conto dell'ingombro della dell'edificio esistente, con l'intento di caratterizzare l'area d'interesse fondazionale. Si ritiene che le prove realizzate siano rappresentative anche della sequenza stratigrafica presente al di sotto dell'edificio esistente.



Fig. 4 - Inquadramento geografico con ubicazione dei punti d'indagine (fonte Google earth).

3.1. Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)

Metodologia ed attrezzatura di prova

Le prova penetrometrica dinamica SCPT (Standard Cone Penetration Test), è una prova puntuale che consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio prolungabile ad una batteria di aste, e misurare il numero di colpi N_{SCPT} necessari per la penetrazione di 30 cm della punta, nel corso della prova. La diffusione di questo tipo di prova e la sua standardizzazione consentono, attraverso l'utilizzo di alcune correlazioni di bibliografia, di ottenere una soddisfacente caratterizzazione dei terreni indagati ed un'interpretazione dei fondamentali parametri geotecnici.

Nello specifico sono state eseguite n° 2 prove penetrometriche dinamiche, mediante Penetrometro DINAMICO SUPERPESANTE DPSH (Dinamic Penetrometer Super Heavy) Tipo Emilia - mod. Pagani TG 63/200, con avanzamento delle aste e dei rivestimenti ogni 30 cm.


Penetrometro dinamico-statico super pesante Tipo: Emilia – Modello: Pagani TG 63-200 	
Massa battente (M)	73,0 kg
Altezza di caduta del maglio (H)	0,75 m
Avanzamento aste (δ)	30 cm
Apertura punta conica di infissione (α)	60°
Diametro punta conica di infissione (D)	50,5 mm
Base cono di infissione (A)	20 cm ²
Diametro batteria d'aste (d)	36 mm
Lavoro specifico compiuto per ciascuna battuta (L)	234 kJ/m ²

Fig. 5 - Caratteristiche della strumentazione utilizzata.

Dal valore di N_{SCPT} (numero di colpi per 30 cm di infissione delle aste) può essere ricavato il corrispondente valore di $N_{S.P.T.}$ mediante la relazione:

$$N_{S.P.T.} = N_{SCPT} / C$$

Il coefficiente C, utilizzato in questo caso pari a 0.87, è un fattore dipendente dalla litologia dei terreni attraversati durante la prova e dall'attrezzatura utilizzata.

Le prove, la cui ubicazione è riportata nella planimetria in allegato, sono state eseguite in modo da essere rappresentative dei terreni che sottendono le fondazioni del fabbricato esistente.

Interpretazione dei dati

Le prove penetrometriche, sono state spinte ad una profondità massima di -17,4 m rispetto al p.c. (P2); esse risultano sufficientemente rappresentative dei terreni indagati e risultano correlabili tra loro. Durante l'esecuzione delle prove dinamiche SCPT-DPSH non sono stati riscontrati l'insorgere di fenomeni di adesione-coesione tra le aste per la presenza di terreno prevalentemente argilloso e si è ritenuto quindi opportuno non utilizzare appositi rivestimenti per limitare la sovrastima del N_{DPSH} .

Le verticali d'indagine hanno evidenziato oltre uno spessore iniziale di 0,10/0,30 m, di pavimentazione in asfalto, depositi da scarsamente addensati a sciolti (N_{spt} caratteristico \rightarrow 1-6), presumibilmente limoso-sabbioso-argillosi (*Unità A*), attribuibili a terreni di riporto o depositi glaciali ferrettizzati legati al fenomeno degli "occhi pollini". Questa unità sembra possiede continuità fino ad almeno 8,7 (intorno prova P2)/15,6 (intorno prova P1) m dal p.c.

Oltre tali profondità sono stati riscontrati depositi attribuibili alle unità fluvioglaciali ghiaioso-sabbiose da moderatamente addensate ad addensate (N_{spt} caratteristico \rightarrow 15->50), con presenza di grossi ciottoli o trovanti. Quest'ultimi hanno certamente generato prematuramente il "rifiuto strumentale" dell'avanzamento delle aste durante le prove effettuate.

Si specifica che nella prova P1 è possibile che il rifiuto sia stato generato, in alternativa, dalla presenza di materiale cementizio o in pietrame facenti parte di eventuali materiali di riporto o molto più probabilmente da croste di conglomerato.

Durante l'avanzamento delle prove sono state riscontrate aste umide a partire da 1,80 m circa dal p.c.. È stato quindi inserito, nel foro di prova P1 rimasto aperto, per la misura di un eventuale livello di falda, un tubo piezometrico in PVC, del diametro di $\frac{1}{2}$ " , fino ad una profondità di -6,0 m dal p.c..

A fine indagine è stata eseguita una misura freaticometrica mediante la quale il piezometro inserito nel foro di prova è risultato asciutto.

Quanto riscontrato risulta compatibile con l'assetto idrogeologico dell'area, caratterizzato da una circolazione idrica sotterranea, principalmente organizzata in falde multistrato profonde, situate a profondità superiori a quelle di interesse fondazionale.

3.2. Prospezioni sismiche e modello sismostratigrafico

Per la verifica del comportamento sismico dei terreni di fondazione sono state eseguite specifiche indagini per determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo. Le indagini in sito sono consistite nell'esecuzione di **n° 1 stendimento di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie** con elaborazione dei dati secondo la **procedura MASW** e di **n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR**.

Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire l'**andamento medio delle onde Vs** in profondità ed eseguire la valutazione del parametro **V_{s30}** di sito al fine di classificare il terreno di fondazione (tabelle allegate al D.M. 14/01/08) e stimare la **frequenza di risonanza di sito**.

Si specifica che per esigenze operative e per garantire la qualità dell'indagine, la misura HVSR è stata eseguita in un'aiuola poco distante dall'edificio di progetto. Il relativo profilo di Vs ottenuto plottando la curva HV è risultato conforme a quello MASW pur con qualche differenza sugli spessori dei sismostrati individuati.

Cenni sulla metodologia HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola, consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza f_r relativa alla configurazione stratigrafica del sito (con f_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

Acquisizione dei dati

Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*; il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.0*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.

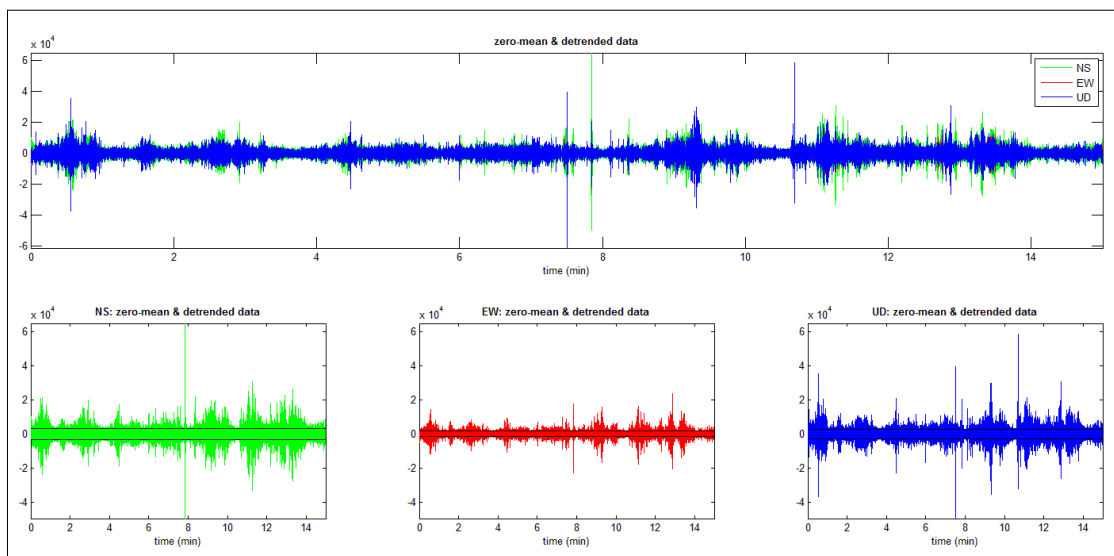


Fig. 6 - Visualizzazione dei dati prima della rimozione di eventi transienti.

La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato (vedi figura precedente).
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y.
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le *n* curve HVSR.

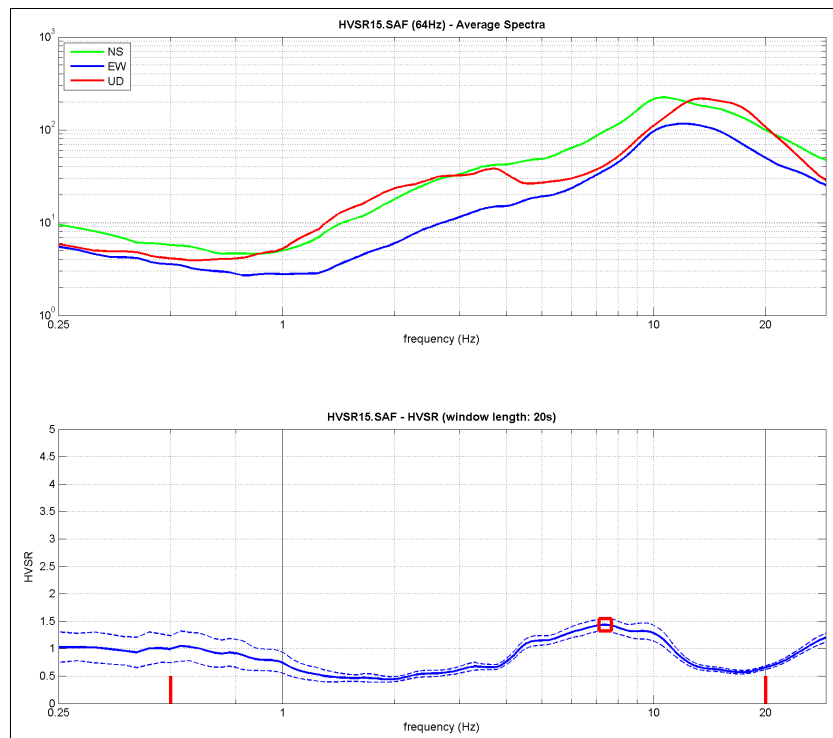


Fig. 7 - Visualizzazione della curva HVSr e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSr.

La curva HVSr calcolata, indica un picco principale a circa 7,4 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME* (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSr e degli eventuali picchi presenti).

Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)

- #1. $[f_0 > 10/L_w]: 7.382 > 0.5$ (OK)
- #2. $[n_c > 200]: 9006 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f_-) < A_0/2]:$ yes, at frequency 1.9Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f_+) < A_0/2]:$ yes, at frequency 12.6Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]: 1.4 < 2$ (NO)
- #4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]:$ (OK)
- #5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]: 3.535 > 0.369$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]: 0.120 < 1.58$ (OK)

Descrizione dei risultati

Il picco a 7,4 Hz e di ampiezza pari 1,4 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; tuttavia non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 20 Hz (frequenze di interesse ingegneristico), è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 7,4 Hz. Questa però non può essere definita come certamente significativa ai fini della definizione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

Al picco principale individuato, può essere attribuito comunque un significato stratigrafico, riconducendo la sua frequenza ad un possibile contrasto di impedenza sismica presente tra i terreni superficiali scarsamente addensati (rilevati sia con prove SCPT che con MASW) e i sottostanti depositi fluvioglaciali da addensati a molto addensati. Dalla modellazione diretta della curva HV (Fig. 8), tale orizzonte, nell'area a nord dell'edificio d'interesse, è stato identificato a -6 m dal p.c..

Data la distanza e la differenza di profondità dei depositi superficiali è stato scelto di non utilizzare la curva HVSR calcolate per la modellazione del profilo verticali di V_s , desunto invece dall'analisi MASW.

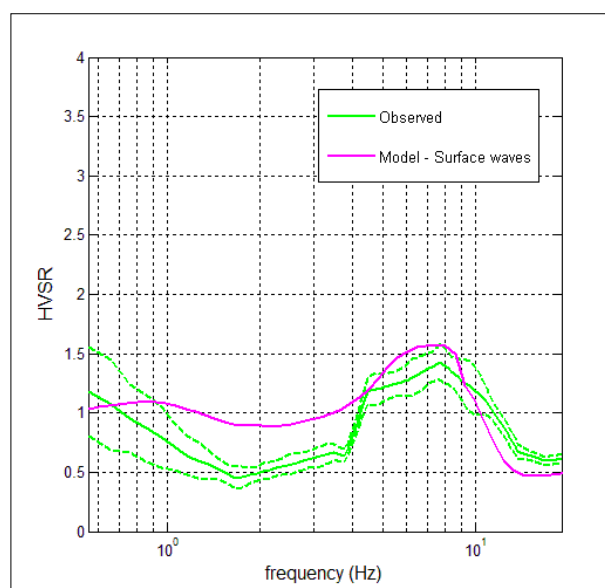


Fig. 8 - Modellazione diretta della curva HVSR, in verde il dato misurato in sito e in viola la curva teorica del modello di velocità V_s considerato, caratterizzato da una profondità dei depositi superficiali scarsamente addensati pari a -6,0 m dal p.c.

Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica *MASW* (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta *velocità di fase*.

Le *MASW* attive sono realizzate tramite analisi di onde di Rayleigh, onde di Love, oppure congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'iterazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale (la classica martellata). Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto lungo lo stendimento sismico sono state registrate per motivi operativi solo le componenti verticali delle onde di Rayleigh.

Il principio della tecnica MASW prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo (ad esempio la velocità delle onde di taglio V_s e lo spessore degli strati). La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) infatti è correlabile alla V_s , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio.

L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la *curva di dispersione*, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi *MASW*, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh o di Love è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. La propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh o di Love si verifica senza problemi anche in caso di inversioni di velocità. Rispetto alla sismica a rifrazione, infatti, il metodo MASW non presenta problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi.
3. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito (categoria di suolo in base al Testo Unico).

Acquisizione dei dati

L'acquisizione dei dati è avvenuta mediante registrazione della propagazione delle onde di Rayleigh generate da una sorgente ad impatto (martellata), tramite uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente verticale ed un sismografo multicanale.

L'ubicazione e la lunghezza dello stendimento è stata scelta in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro dell'edificio esistente nell'area di progetto. L'allineamento sismico per l'acquisizione delle onde di Rayleigh ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (1-3-5-7-10-15 m) a diversa intensità di energizzazione.

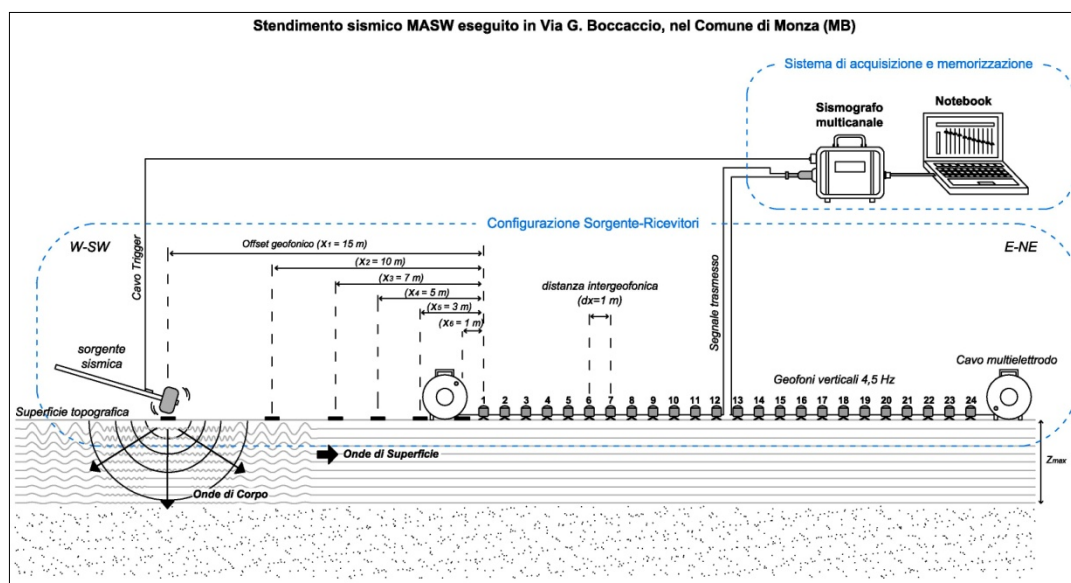


Fig. 9 - Schema di acquisizione adottato per lo stendimento sismico MASW.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale e orizzontale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito alternativamente da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (*Geospace GS11D*) a frequenza di 4,5 Hz e tripode in alluminio, collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

La stima dell'andamento in profondità delle velocità V_s , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio *frequenza/velocità di fase*.

Viene utilizzato lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto quindi il sismogramma più idoneo, quello solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore*, si esegue una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità*.

Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi*, che possono sovrapporsi all'interno dello spettro di velocità.

Se tale sovrapposizione avviene, come in questo caso, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione.

Nel caso in esame, è stato individuato il "*modo fondamentale ed il primo modo superiore*", utilizzati per la successiva modellazione della curva di dispersione.

Si riassumono di seguito i dati relativi ai parametri di acquisizione del dataset prescelto, utilizzato per la successiva elaborazione:

MASW - Villa Reale Monza
Dati relativi allo shot 3 – file5R.sgy
offset del dataset utilizzato: 3 m
distanza intergeofonica: 1,0 m
Intervallo di campionamento: 0,5 ms
Tempo di acquisizione: 1 s

Procedure di modellazione diretta della curva di dispersione

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle V_s . Partendo dalla curva di dispersione delle onde di Rayleigh è stato ricostruito il modello che è responsabile di quella curva, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.

Lo spettro di velocità di fase è stato interpretato identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Fig. 10**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti.

Oltre al classico metodo legato all'identificazione delle curve modali, è stata eseguita parallelamente una verifica del modello di velocità attraverso l'approccio FVS (Full Velocity Spectrum). Questo metodo si

basa sulla generazione di sismogrammi sintetici e considera l'intero spettro di velocità e non le curve di dispersione scelte dall'operatore.

I due metodi hanno rappresentato un valido elemento di interpretazione dello spettro di velocità ottenuto per il sismogramma prescelto, permettendo di ottenere un modello di velocità maggiormente vincolato.

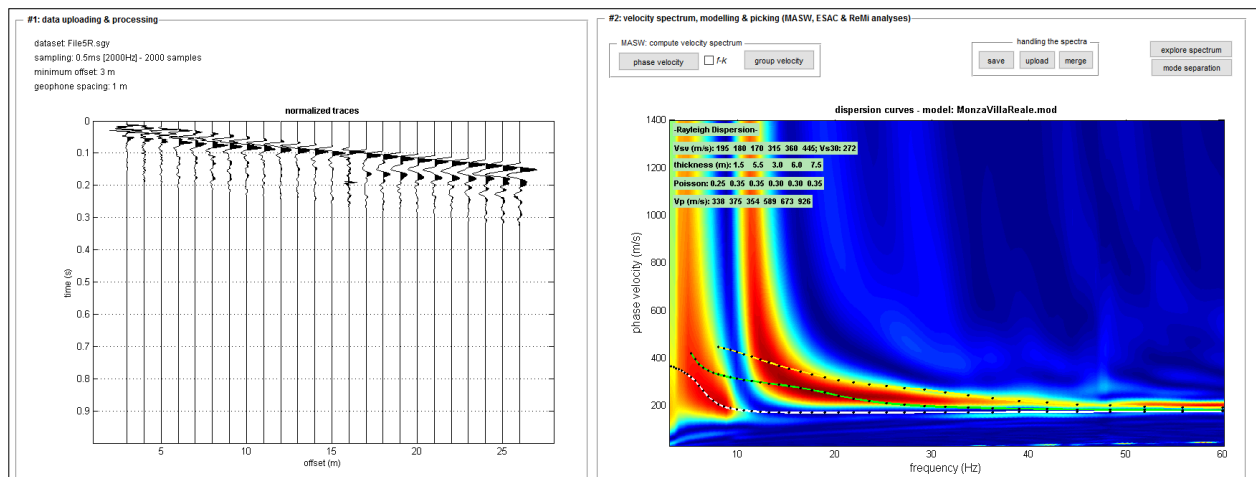


Fig. 10 - A sinistra: sismogramma prescelto. A destra modellazione diretta dello spettro di velocità mediante individuazione del modo fondamentale e dei modi superiori che lo compongono.

Profilo sismostratigrafico

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati, si è tenuto conto delle evidenze del segnale acquisito e delle conoscenze stratigrafiche dell'area di indagine. Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio**, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in maniera congiunta con l'analisi della curva H/V .

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori di V_p , densità e modulo di Poisson eseguite dal software di elaborazione. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla V_s e degli spessori degli strati (cioè dalla geometria), tali valori di densità e V_p devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da V_p , ma solamente da V_s e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

MODELLO GEOFISICO MEDIO – Villa Reale, Comune di Monza (MB)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Tagli (MPa)
1	195	1,5	-1,5	1,79	0,25	68
2	180	5,0	-6,5	1,82	0,35	59
3	170	3,0	-9,5	1,80	0,35	52
4	315	6,0	-15,5	1,93	0,35	191
5	360	7,5	-22,5	1,96	0,30	254
6	445	7,5	-30,0	2,04	0,35	403

I valori sopra riportati sono riferiti a moduli dinamici e quindi a condizioni di bassa deformazione, essendo stimati sulla base delle deformazioni indotte nel terreno. Questo comporta alti valori dei moduli dinamici calcolati. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente corretti. Il Progettista dovrà quindi utilizzarli solo nei modi e nei casi appropriati.

	Vs ₃₀	Categoria di sottosuolo: C
Modello medio	272 m/s	Stimata sulla base del valore di Vs ₃₀ calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 14/01/2008 $V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}$

Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata in base alla Tabella 3.2 II del D.M. 14/01/08, deve essere definita dal Geologo in base ai dati sismostratigrafici, alle indagini geotecniche nonché ai dati progettuali.

Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio ottenuto fino a -30 m dal p.c., utilizzato per il calcolo del parametro Vs₃₀ (**Fig. 11**).

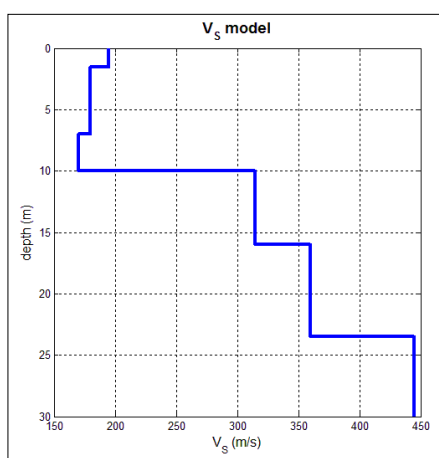


Fig. 11 - Profilo sismostratigrafico.

4. MODELLO GEOTECNICO – VALORI CARATTERISTICI

Mediante i dati raccolti dalle indagini in sito ed i rilievi geologici è stato possibile procedere alla definizione di un modello geotecnico medio. Sulla scorta dei dati geognostici ricavati dalle indagini in sito (Prove SCPT-DPSH e prospezioni sismiche MASW e HVSR eseguite nell'area di progetto) e dall'elaborazione degli stessi, mediante formule di letteratura, sono stati individuati, da una stima ragionata e cautelativa, i valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Viene di seguito schematizzata la successione stratigrafica delle unità geotecniche riconosciute, riportando i valori del modello geotecnico di riferimento adottato, partendo dall'alto verso il basso, prendendo come quota di riferimento il piano campagna del ripiano generale, esistente al momento delle indagini.

Unità Geotecnica A (**Strato 1**)

Dal piano campagna fino a -8,7 m (intorno prova P1) e -15,6 m (intorno prova P2) dal p.c. sono presenti terreni presumibilmente alterati, umidi ma non acquiferi, costituiti da sabbie, sabbie limose e argillose di color rosso mattone, derivanti dalla profonda alterazione (ferrettizzazione) del materiale ghiaioso sabbioso fluvioglaciale originario. I depositi riscontrati risultano da scarsamente addensati a sciolti e non si esclude, in alternativa, la possibile presenza di materiali antichi di riporto.

Unità Geotecnica FG (**Strato 2**)

Oltre -8,7/-15,6 m dal p.c. è stata riscontrata la presenza di depositi ghiaioso-sabbiosi da moderatamente addensati a molto addensati attribuibili alla sequenza fluvioglaciale compatta.

Dai dati sismostratigrafici l'Unità FG sembra possedere continuità fino ad almeno -30 m circa dal p.c. e risulta caratterizzata da un grado di addensamento crescente progressivamente con la profondità ($V_s=360-445$ m/s).

Considerando cautelativamente terreni di fondazione unicamente granulari ($\phi > 0^\circ$, $C_u = 0$) in condizioni drenate, le caratteristiche geotecniche delle unità descritte risultano mediamente essere le seguenti:

parametri geotecnici	Peso unitario de terreno	Coesione non drenata	Angolo di resistenza al taglio efficace	Classificazione AGI	Velocità di propagazione delle onde S
	γ_{nat} (t/m ³)	C_u (kg/cm ²)	ϕ	Denominazione	V_s (m/s)
STRATO 1	1,6	0	22°	Da scarsamente addensato a sciolto	170-195
da -0,0 a -8,7/-15,6 m					
STRATO 2	1,9	0	30°	Da moderatamente addensato a molto addensato	315-360
oltre -8,7/-15,6 m					

5. SPECIFICHE DI PROGETTO E PRESCRIZIONI REALIZZATIVE

L'intervento di progetto riguarda le opere di ristrutturazione e recupero di un edificio appartenente al complesso della Villa Reale di Monza, denominato "edificio ex borsa".

L'edificio è inserito all'interno del parco della Villa Reale ed in particolare è situato nella sua porzione meridionale, lungo Via Giovanni Boccaccio in adiacenza all'edificio del Liceo Artistico Statale. L'edificio è composto da due piccole porzioni d'interrato e da due piani fuori terra e sottotetto.

L'ipotesi di ristrutturazione di progetto fornita dai *Tecnici della Committenza* prevede, per quanto attiene all'iterazione del sistema *struttura-terreno*, la realizzazione di modifiche e miglioramenti strutturali che non comportino un aumento delle tensioni trasferite al terreno, rispetto a quelle già esercitate dalle strutture esistenti.

Per la definizione delle caratteristiche geotecniche del terreno interessato dal progetto, nel Giugno 2016 è stata condotta, nell'area in esame, un'indagine geognostica consistita nell'esecuzione di n°2 prove penetrometriche di tipo dinamico (SCPT-DPSH) e prospezioni simiche MASW e HVSR.

Dall'analisi delle verticali di prova, è stato possibile verificare la presenza iniziale di materiale fortemente alterato o "ferrettizzato" a prevalente componente limoso-argillosa-sabbiosa, connesso agli intensi processi di decarbonatazione e ossidazione dei depositi fluvioglaciali, che hanno generato un orizzonte uniforme dallo spessore molto variabile, con comportamento meccanico molto scadente.

Fattori peggiorativi sono connessi al locale rinvenimento di falde a carattere sospeso (non rinvenute nelle prove P1 e P2) e alla presenza all'interno dei terreni dei cosiddetti "occhi pollini" o "nespolini".

In particolare lo spessore di tali depositi molto poco addensati varia, nell'area indagata da un minimo di -8,7 m dal p.c. (intorno prova P1) ad un massimo di -15,6 m dal p.c. (intorno Prova P2). Oltre è stata rilevata la presenza di depositi fluvioglaciali compatti a buone caratteristiche geotecniche.

Alla luce di tali considerazioni si prescrive l'esecuzione di fondazioni profonde mediante micropali idoneamente intestati entro i depositi dell'Unità geotecnica FG.

Terreni poco addensati, come quelli riscontrati nel corso delle prove, possono consentire l'adozione di pali battuti o vibroinfissi che hanno costi contenuti rispetto ai pali trivellati e migliorano le caratteristiche del terreno poiché tendono ad addensarlo. L'impiego di questo tipo di pali risulta però problematico per le vibrazioni che, provocate dall'infissione dei pali, potrebbero determinare lesioni alle strutture esistenti a confine (complesso scolastico a nord e residenziale a sud).

Si ritiene quindi preferibile consigliare l'utilizzo di pali trivellati che dovranno essere attestati sino alla profondità di almeno 12/19 m, in modo da garantire un adeguato immorsamento negli orizzonti ben addensati presenti a profondità massime di 15,60 m dal p.c., Le strutture di fondazione così realizzate saranno in grado di garantire la stabilità della struttura anche in caso di incrementi di portata dei carichi, allo stato limite ultimo ed in esercizio, con cedimenti pressoché nulli. Tale accorgimento annulla inoltre gli effetti negativi legati alla Classe Sismica Z2 assegnata, azzerando quindi i rischi dovuti a fenomeni di cedimento e/o liquefazione dei terreni presenti in sito.

Operativamente si consiglia la messa in opera di micropali trivellati verticali distanziati di 2-3 m l'uno dall'altro, disposti lungo il perimetro dell'edificio esistente, collegati mediante una trave di coronamento, spinottata a sua volta con la fondazione esistente.

Per la progettazione di questo tipo di fondazione e per le verifiche agli stati limite di esercizio, previste dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14/01/08), si rimanda alla Relazione di Calcolo dell'Ing. incaricato dalla ditta esecutrice dei lavori, da redigere in fase esecutiva. Il documento dovrà prevedere l'individuazione delle caratteristiche dei micropali per il sostegno dei carichi provenienti dalle strutture di progetto, secondo le caratteristiche di carico definite dal progettista incaricato e secondo quanto indicato dal modello geologico-geotecnico proposto in questo elaborato.

Vista la particolare tecnologia scelta e consigliata per l'esecuzione dei pali di fondazione, rimane ben inteso che, qualora ci fosse necessità di monitorare le attività di perforazione, sarà compito dell'impresa incaricata controllare le attività in corso d'opera.

Sarà cura della ditta esecutrice l'eventuale messa in opera di pali pilota con relativi collaudi mediante prove di carico. Per la definizione delle normative più idonee da utilizzare per la tipologia di opera di progetto si rimanda al Progettista delle strutture di fondazione.

Per le strutture di fondazione esistenti, si può ipotizzare che il terreno di fondazione, abbia in gran parte esaurito i cedimenti e il consolidamento, per effetto del carico del fabbricato antico esistente. Tuttavia si ritiene opportuno operare un miglioramento sismico delle strutture di fondazioni esistenti, tramite realizzazione di micropali, soprattutto alla luce della possibile presenza di cavità legate fenomeno degli "occhi pollini" che potrebbero indurre in qualsiasi momento fenomeni di cedimento e/o crollo.

In funzione dell'individuazione di tali cavità e in relazione all'eventuale progettazione di fondazioni profonde, si prescrive fortemente, un'integrazione delle indagini presentate in questo Studio Geologico, mediante la realizzazione di sondaggi geognostici e geotecnici a carotaggio continuo con esecuzione in foro di prove SPT ed eventuale posa permanente di un piezometro. A queste indagini, di natura diretta ma puntuale, si consiglia di affiancare prospezione geofisiche con array relativamente lunghi di tipo geoelettriche, georadar e sismica a rifrazione, con acquisizione ed elaborazione dei dati mediante metodo tomografico, in modo tale da dettagliare arealmente la discontinuità stratigrafica rilevata.

6. SISMICITÀ DELL'AREA E AZIONE SISMICA

6.1. Inquadramento sismotettonico

Da un punto di vista strutturale il territorio di Monza ricade nell'area padana e lungo il bordo sudalpino centrale, i lineamenti tettonici sono riconducibili a diversi sistemi regionali che generano complessi campi tensionali.

Nel settore settentrionale della pianura è presente il sistema di sovrascorrimenti S-vergenti che costituiscono la continuazione in pianura delle Prealpi Lombarde. Nella fascia meridionale si ha invece un pronunciato sistema di embricazione N-vergente che costituisce l'avanfossa essenzialmente pliocenica dell'Appennino settentrionale.

I due sistemi entrano in collisione nella parte mediana della pianura; il fronte settentrionale è inquadrabile all'interno dei sistemi di deformazione del Miocene medio-superiore, quello meridionale è essenzialmente pliocenico. A partire dalla fine del Pleistocene inf. entrambi i margini del Bacino Padano sono in sollevamento in seguito alla formazione di un bacino flessurale più simmetrico.

La localizzazione dell'attività sismica nelle Prealpi si concentra lungo il margine della pianura e nelle fasce immediatamente adiacenti la zona pedemontana. In particolare la corrispondenza e la connessione tra le strutture geologiche e le zone sismicamente attive dimostrerebbero come siano ancora in atto movimenti tettonici connessi all'orogenesi alpina. Molti autori ritengono infatti che la maggior parte delle superfici tettoniche segnalate nella letteratura geologica rivestano un'elevata e significativa importanza nel quadro sismotettonico generale.

6.2. Sismicità locale

L'attività sismica storica del territorio rappresenta la naturale continuazione di quella pliocenica e quaternaria e risulta correlata alla collocazione, delle aree di studio, tra zone sismogenetiche riferibili, da una parte al fronte alpino e dall'altra al fronte appenninico, sepolti al di sotto della coltre fluvioglaciale-alluvionale della Pianura Padana. Storicamente, nella porzione del basso Garda, si risente di effetti macroscopici in funzione della relativa vicinanza alle aree epicentrali dei forti terremoti storici, che colpiscono le provincie di Brescia e Verona. Alcuni sismi recenti, con le massime intensità storiche, si sono risentiti, per la relativa vicinanza con l'area sismogenetica del Reggiano-Ferrarese-Parmense e dell'edificio appenninico sepolto al di sotto delle coltri quaternarie dei depositi di pianura.

Gli eventi sismici storici sono consultabili nel Catalogo Parametrico dei Terremoti (CPTI11 <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>) e sono assegnati mediante l'individuazione della "Zonazione sismogenetica ZS9 (Fig. 12) – App. 2 al Rapporto Conclusivo – Marzo 2004" a cura di C. Meletti e G. Valensise (Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica - OPCM 3274/2003 - INGV).

L'area, secondo il modello sismotettonico riassunto nella *zonazione sismogenetica ZS9*, non ricade in zona sismogenetica ma le vicine aree sismogenetiche dell'arco alpino (903-907-906) e dell'Appennino settentrionale (911-913) hanno prodotto una certa influenza sul territorio. La maggior parte dei sismi, avvenuti in un intorno significativo di Monza, ricadono peraltro nelle aree sismogenetiche 907 e 911.

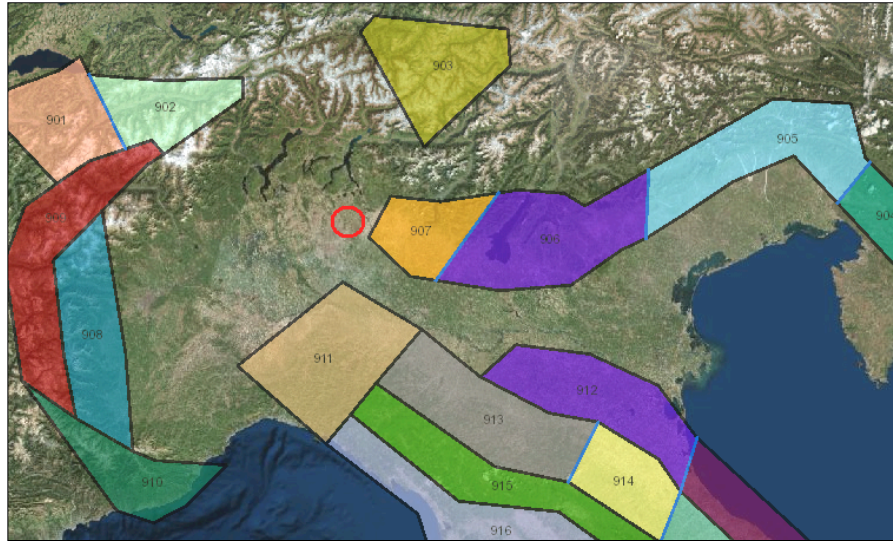


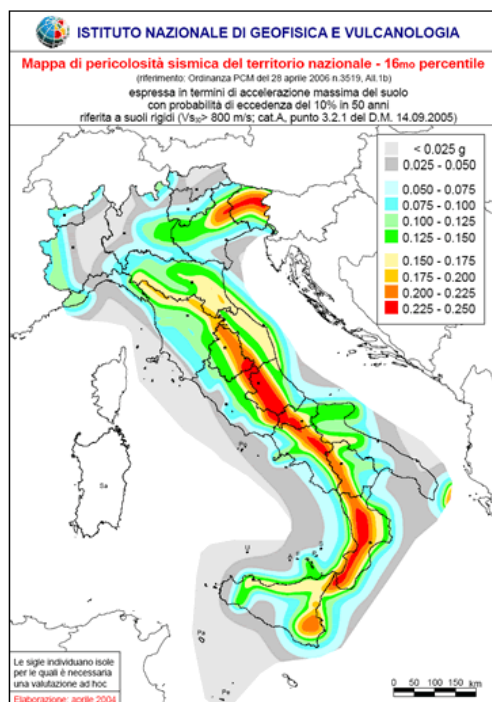
Fig. 12 - Schema Zonazione Sismogenetica ZS9 con ubicazione dell'area d'indagine (tratta dal Geoportale del Ministero dell'Ambiente).

Per la zona sismogenetica alpina 907, il terremoto di magnitudo più elevata ($M > 5$), avvenuto in epoca antica, è segnalato a Monza (1396 → $M = 5.27$); nel secolo scorso i terremoti che hanno fatto segnare i valori di magnitudo più elevati sono stati con epicentro nel Lecchese (1918 → $M = 4.86$) ed a Trezzano sull'Adda (1979 → $M = 4.80$).

Per la zona sismogenetica appenninica settentrionale 911, i terremoti di magnitudo più elevata ($M > 5$), avvenuti in epoca antica, sono con epicentro in Valle Scrivia (1541 → $M = 5.43$), a Parma (1738 → $M = 5.31$), a Piacenza (1786 → $M = 5.18$), in Valle dello Staffora (1828 → $M = 5.55$); nel secolo scorso il terremoto che ha fatto segnare il valore di magnitudo più elevato è avvenuto con epicentro nel Lodigiano (1951 → $M = 5.09$).

6.3. Normativa sismica vigente

Con l'Ordinanza n°3274 del 20/03/03 si introducono metodologie in cui è previsto che il moto sismico è caratterizzato anche dalle condizioni locali. Tale approccio è previsto anche dall'Eurocodice 8 (EC8) che stabilisce le regole per il progetto e la costruzione di strutture in zona sismica per i paesi membri della Comunità Europea. Secondo l'EC8, come anche secondo l'OPCM n. 3274, i territori nazionali vengono suddivisi in zone sismiche in funzione della pericolosità locale, descritta in termini di accelerazione orizzontale massima attesa alla superficie di un sito rigido di riferimento (a_g).



I valori di accelerazione massima fissati dall'ordinanza per le zone 1, 2, 3 e 4 (rispettivamente 0,35g – 0,25g – 0,15g – 0,05g) recepiscono la proposta del G.N.D.T. (1985) e risultano maggiori di quelli della precedente normativa. La norma richiedeva quindi alle Regioni di eseguire la valutazione di a_g sul proprio territorio, a partire dalla “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” (Fig. 13) allegata all'Ordinanza 3519/2006 e quindi di assegnare i comuni ad una delle zone della nuova classificazione.

Fig. 13 - Mappa di pericolosità sismica secondo l'OPCM n. 3519 del 28/4/2006.

Con il Testo Unico (D.M. 14/01/08), entrato in vigore con la L.77/2009 di conversione del DL 39/2009 (Decreto “Abruzzo”), è divenuto vigente l'obbligo di eseguire la progettazione in prospettiva sismica in tutte le aree classificate in zona sismica. In particolare, con l'Allegato A sono state adottate definitivamente le stime di pericolosità sismica del progetto S1 già comprese nella citata Ordinanza 3519/2006. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale sulla base di 4 zone sismiche. Il concetto di zona sismica comunale tuttavia mantiene una funzione prevalentemente amministrativa così come chiarito, dalla DGR Lombardia 9/2616/2011 e come regolamentato dalle recenti normative regionali in termini di nuova classificazione sismica (D.G.R. 11 Luglio 2014 – n. X/2129) e di normative di indirizzo per la vigilanza sulle costruzioni in zona sismica (LR 33/2015, e DGR 5001/2016).

Accedendo al link <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, si possono scaricare i dati di pericolosità sismica e di a_g per diverse frequenze annuali di superamento, relativamente ai 10751 punti di una griglia in cui è stato diviso il territorio nazionale (Fig. 14). Per qualsiasi punto del territorio Italiano è quindi possibile calcolare i parametri di azione sismica grazie a formule di interpolazione definite nella Circolare esplicativa 617/09.

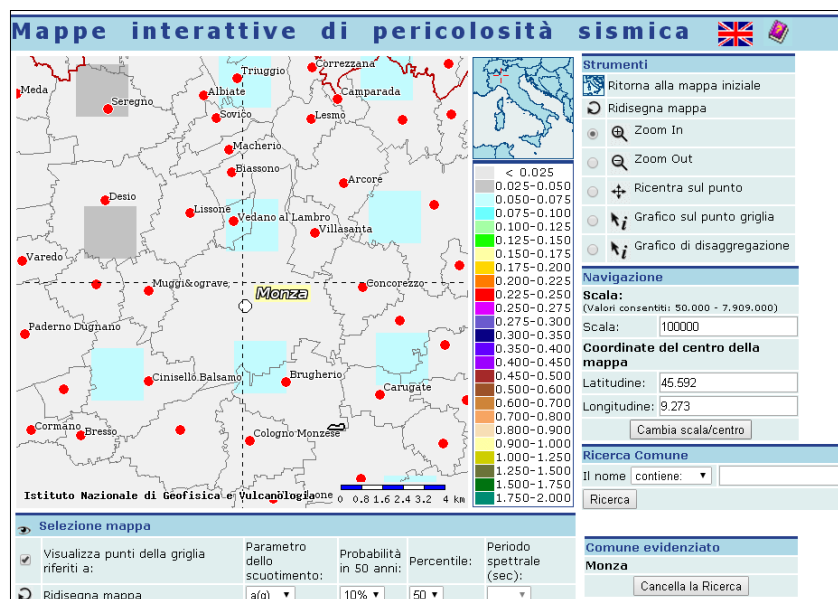


Fig. 14 - Individuazione del sito di indagine e dei relativi nodi di interesse.
<http://esse1.gis.mi.ingv.it/>

La redazione della “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” (espressa come accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) allegata all’O.P.C.M. n. 3519/2006 indica però che il comune di Monza risulta interessato da una fascia con accelerazione sismica a_g compresa tra 0,050g e 0,075g (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) riferibile quindi a una Zona sismica 3.

La D.G.R. 11 Luglio 2014 – n. X/2129 che ha aggiornamento recentemente le zone sismiche in Regione Lombardia, ha lasciato tutto il territorio del Comune di Monza in Zona sismica 3 e ha indicato un valore di $a_{g,max}$ pari a 0,0586g.

6.4. Risposta Sismica Locale

Per la valutazione dell’Azione Sismica sono stati utilizzati i metodi semplificati previsti dal D.M. 14/01/08. In questo paragrafo si forniscono quindi, per quanto di pertinenza del Geologo, i dati inerenti la Risposta Sismica e la Pericolosità Sismica del Sito e i parametri sismici normativi (Fase 1 e parzialmente Fase 2).

Sulla base dei risultati ottenuti dall’indagine diretta (Prospezione sismica MASW e HVSR), e dallo studio delle caratteristiche geomorfologiche del sito in esame, è stato possibile stimare la Categoria di Sottosuolo e la Categoria Topografica, che potranno essere utilizzate per la stima dell’Azione Sismica e più in generale per la progettazione delle opere.

Mediante il foglio elettronico excel “Spettri-NTC (ver. 1.0.3)” è stato possibile definire gli Spettri di Risposta Elastici ed i Parametri di Pericolosità Sismica utilizzabili per il sito di progetto sulla base dei risultati del progetto S1 – INGV. Per la definizione degli Spettri di Risposta Elastici di progetto, relativi ai

vari Stati Limite, è necessaria la conoscenza e la scelta di parametri progettuali di competenza dei Tecnici Progettisti dell'opera di progetto.

È stata infine presa in esame la stabilità del sito nei confronti della liquefazione, come richiesto al paragrafo 7.11.3.4 del D.M. 14/01/08.

Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica

Viene di seguito eseguita la classificazione dei terreni di fondazione secondo quanto previsto dalle norme tecniche allegate al D.M. 14/01/08 ed in particolare tenendo conto di quanto indicato nelle *Tabelle 3.2.II* (Categorie di sottosuolo) e *3.2.III* (Categorie aggiuntive di sottosuolo), allegate al testo unico.

Il valore di $V_{S,30}$ è stato stimato utilizzando l'espressione 3.2.1 del D.M. 14/01/08:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \text{ [m/s]}$$

Secondo il D.M.14/01/08, quindi, e tenuto conto dei risultati dell'indagine sismica MASW eseguita all'interno del sito di progetto, è stato calcolato un valore di $V_{S,30}$ pari a 272 m/s e quindi il sito di progetto ricadrebbe in una **categoria di sottosuolo "C"**.

Dal punto di vista della Pericolosità Sismica Locale l'area è stata classificata nell' nello Studio della *Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del del P.G.T (Rea srl - Dott. Geol. D. D'Alessio, entro lo scenario di pericolosità sismica Z2 definita per le aree in cui sono previsti cedimenti e precisamente come "Zona Terrazzata, a depositi fluvioglaciali e fluviali alterati, con coperture loessiche generalmente inferiori al metro. Presenza di cavità (occhi pollini) e piccole falde sospese"* (Tav. 1b - Aggiornamento Ottobre 2007).

Al contrario la Tav. 6b allegata alla Variante del P.G.T. in fase di adozione (Studio Geologico redatto da Idrogea Servizi S.r.l. – Marzo 2016), pone il territorio su cui insiste la Villa Reale e il parco in zona Z4a definita come *"Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi"*.

Come previsto dalle Norme di Piano, in questa fase transitoria è dovere considerare, tra i due, lo scenario peggiorativo e vale dire la **zona sismica Z2**.

Per tale scenario è stata già predisposta una campagna d'indagine sito specifica (vedi Cap. 3) mediante la quale applicare uno studio di 3° livello, secondo le procedure indicate nel paragrafo 2.3.2 dell'All.5 della D.G.R. 9/2616 del 2011. A tal proposito è stata richiesta una campagna d'indagine integrativa volta a definire in maniera dettagliata i volumi dei terreni superficiali particolarmente scadenti, in modo tale da rendere eseguibile la progettazione di opere fondazionali profonde.

Inoltre, per la determinazione del potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione, sono state considerate le "circostanze di esclusione" dalla verifica alla liquefazione elencate al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 14/01/2008 (vedi paragrafi successivi).

Le indagini fin'ora eseguite hanno constatato la presenza di materiale di alterazione o in alternativa di materiali di riporto antichi che confermano a pieno lo scenario di pericolosità sismica Z2.

Per quanto concerne le caratteristiche geomorfologiche facendo riferimento alla tabella 3.2.IV del D.M.2008 e analizzando la cartografia dell'area di studio a scale da 1:5.000 a 1:10.000, si ritiene che il sito di progetto è inserito in contesto da collinare a subpianeggiante con inclinazione media $< 15^\circ$. Si potrà dunque tenere conto di una **categoria topografica T1**, alla quale, secondo quanto riportato nella Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/08, corrisponde un coefficiente topografico **S_T pari a 1,0**.

■ **Pericolosità Sismica del Sito (parametri di riferimento)**

Attraverso il programma Spettri-NTC ver.1.0.3, con l'inserimento delle coordinate geografiche (**Longitudine: 9.273001 – Latitudine: 45.591507**), sono stati stimati per il sito di progetto, per varie frequenze annuali di superamento, i valori dei parametri sismici normativi (a_g , F_0 e T_C^*) relativi alla Pericolosità Sismica.

Per il calcolo dei valori sismici normativi dell'azione di progetto sono stati utilizzati i parametri di seguito riassunti. Salvo diverse indicazioni fornite dal tecnico progettista è stata considerata l'opera in **Classe d'Uso II** con vita utile 50 anni.

Categoria di sottosuolo	C			
Categoria Topografica	T1			
Fattore di amplificazione morfologica S_T	1,0			
Classe d'uso dell'edificio	II			
Vita Nominale della costruzione (in anni) - V_N	50			
Coefficiente d'uso della costruzione - C_U	1,0			
Periodo di Riferimento per la costruzione (in anni) T_R	SLO 30	SLD 50	SLV 475	SLC 975

Parametri di input per la determinazione dell'azione di progetto.

Vengono di seguito riportati i valori dei parametri sismici normativi (a_g , F_0 e T_C^*) relativi alla pericolosità sismica, calcolati secondo la strategia di progettazione ordinaria.

Valori dei parametri a_g, F_0, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL				
SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,020	2,557	0,160
SLD	50	0,025	2,551	0,193
SLV	475	0,054	2,625	0,280
SLC	975	0,067	2,648	0,296

Si allegano inoltre gli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL e i diagrammi con la variabilità dei valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R associati a ciascun SL (**Fig. 15**).

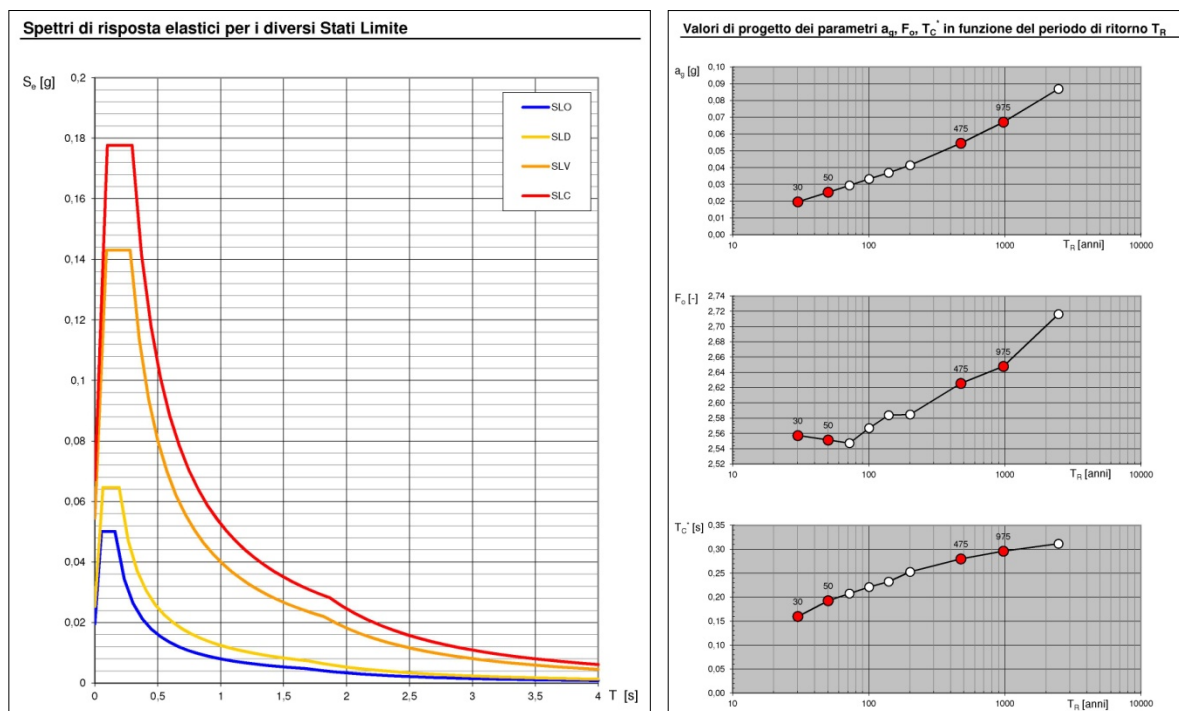


Fig. 15 - Spettri di risposta elastici e diagrammi di variabilità di a_g , F_0 e T_c^* .

■ Amplificazione Stratigrafica (S_s)

L'influenza del profilo sismostratigrafico sulla risposta sismica locale è stata valutata con riferimento alla categoria di sottosuolo. Per l'intervento di progetto e per le verifiche allo Stato Limite di Danno (SLD) ed allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), si riportano i seguenti valori di *coefficiente di amplificazione stratigrafica* (S_s) e di *coefficiente in funzione della categoria di sottosuolo* (C_c). Questi sono stati calcolati in funzione di F_0 e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite dalla Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/08.

Categoria di sottosuolo C					
SLD	S_s	1,500	SLV	S_s	1,500
	C_c	1,808		C_c	1,599

■ Stabilità del sito nei confronti della liquefazione

Il *fenomeno della liquefazione* è governato dalla generazione e dall'accumulo di eccessi di pressione interstiziale, in occasione di un terremoto, in sabbie e sabbie limose, saturate e poco addensate. I dati sperimentali di letteratura mettono in evidenza che l'incremento della pressione interstiziale avviene in risposta alle sollecitazioni cicliche tangenziali a cui un elemento di volume di terreno è sottoposto in condizioni non drenate durante lo scuotimento sismico. Per tale elemento di volume, il valore finale della pressione interstiziale è funzione delle caratteristiche del moto sismico, cioè ampiezza, contenuto in frequenza e numero di cicli, ovvero durata.

Per la determinazione del potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione, sono state considerate le “*circostanze di esclusione*” dalla verifica alla liquefazione elencate al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 14/01/2008. Secondo il suddetto punto del D.M. 14/01/2008 (articolo 7.11.3.4.2 “Esclusione della verifica a liquefazione”) è possibile non effettuare la verifica alla liquefazione quando si manifesta, in ordine, almeno una delle seguenti condizioni:

comma 1. eventi sismici attesi di Magnitudo M inferiore a 5;

comma 2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g.

comma 3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

comma 4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N_1) $60 \leq 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove (N_1) 60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della esistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

comma 5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a), allegata al D.M. 14/01/2008) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) (D.M. 14/01/2008) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (Fig. 16).

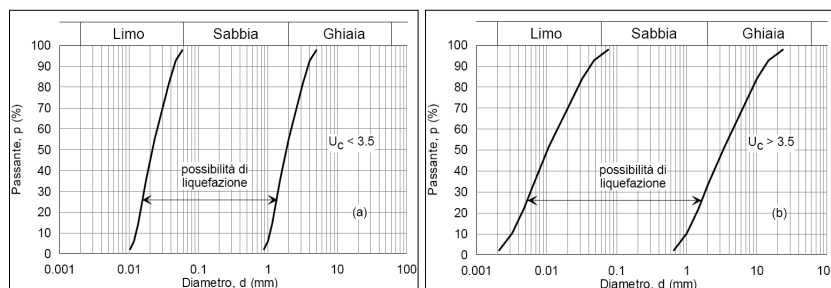


Fig. 16 - Tabella di Fig. 7.11.1 allegata al D.M. 14/01/2008.

Per un'analisi a liquefazione convenzionale con i metodi semplificati, è necessario selezionare quindi comunque un singolo valore di magnitudo. L'approccio prevalente nella pratica ingegneristica è quello di scegliere la magnitudo che si ritiene rappresentativa dello scenario sismico considerato. Allo stato attuale, comunque, non esistono criteri condivisi per la scelta di tale valore e generalmente si opta per quello più cautelativo.

Per la magnitudo del sito d'interesse è stata stimata una **Magnitudo di riferimento M=4,93** mediante l'operazione di “*Disaggregazione della Pericolosità Sismica*” (Progetto DPC-INGV-S1 2007); tale metodo permette di valutare la magnitudo attesa e distanza di un evento sismico, in funzione del sisma che maggiormente contribuisce alla pericolosità dell'area oggetto di studio. Si specifica inoltre, che il valore di magnitudo con contributo in percentuale maggiore (distanza 20-40 Km) è compreso tra $M=4,5$ e $M=5,0$. Visto il valore di Magnitudo di riferimento molto prossimo a quello previsto di soglia per l'esclusione dal comma 1, si procede alla verifica delle condizioni del *comma 2*. Il parametro dell'accelerazione sismica

orizzontale (a_{gmax}) viene ricavato dalla caratterizzazione sismica del sito in esame e nello specifico dai parametri riferiti allo Stato Limite Ultimo SLV (relativo alla categoria "C"), mediante la seguente relazione:
 $a_{g\ max} = a_g \times S_s \times S_t$. Riepilogando i parametri utilizzati sono i seguenti:

a_g	0,054 g
S_s	1,5
S_t	1,0

Il valore complessivo di accelerazione sismica orizzontale è risultato essere pari a 0,081 g e quindi inferiore a quello di esclusione indicato dal comma 2 (0,1g).

Si ritiene pertanto, ai sensi del D.M. 14/01/08, il sito d'interesse soggetto ad esclusione alla verifica alla liquefazione.

7. FATTIBILITÀ DELL'OPERA DI PROGETTO E CONCLUSIONI

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del DM 14/01/2008 e contempla i requisiti urbanistici e normativi di rilevanza geologica ivi prescritti, costituendo documento idoneo per il rilascio della concessione edilizia sulla base del progetto ad esso allegato. Lo studio inoltre è stato condotto secondo le normative regionali vigenti e considerando la **D.G.R. 30 Novembre 2011 – n. IX/2616** “*Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio*”.

Dall'analisi dello Studio dell' “*Aggiornamento della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio*” di Monza (Cooperativa REA S.c.r.l. – Ottobre 2013 e s.m.i.) e del nuovo Studio Geologico comunale in fase di adozione (Idrogea Servizi S.r.l. nel Marzo 2016) è stato verificato che il sito di progetto ricade, secondo il vecchio Studio Geologico, tutt'ora vigente, nella **Classe di Fattibilità 3** con consistenti limitazioni d'uso (Tav. 13b - Carta della Fattibilità Geologica - Ottobre 2005).

Secondo il nuovo Studio Geologico in fase di adozione invece il sito ricadrebbe in **Classe di Fattibilità 2** con modeste limitazioni d'uso (Tav. 10 - Carta della Fattibilità Geologica – Marzo 2016).

Nel considerare la classe peggiorativa (classe 2) si specifica che l'area di progetto ricade anche nella sottoclasse 3.1 (zona di rispetto dei punti di captazione) e nella sottoclasse 3.6 definita come Aree con presenza di cavità sottosuperficiali a distribuzione casuale (“occhi pollini” o “nespolini”) e zone di debolezza del substrato geologico alterato (Tav. 13b - C2 - Carta della Fattibilità Geologica - Ottobre 2005).

Nel presente studio geologico, a riguardo di quest'ultimo scenario di Fattibilità Geologica, è stata valutata quindi la compatibilità dell'intervento con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area, con particolare attenzione alla caratterizzazione geotecnica ed idrogeologica dei terreni di fondazione e verificando la stabilità dell'area in oggetto.

Nello specifico nell'area in esame sono state prescritte, per questa classe di Fattibilità Geologica e per le corrispondenti limitazioni previste, scelte progettuali che assicurino la stabilità dei luoghi evitando l'inschinarsi di cedimenti del terreno di fondazione.

Si ritiene infatti che, sia gli interventi di ristrutturazione e modifica delle strutture siano da accompagnare precauzionalmente alla realizzazione di micropali di fondazione. Si è consigliato inoltre un approfondimento delle indagini in sito per l'individuazione di eventuali cavità all'interno dei terreni di fondazione stessi.

Allo scopo di indagare tutte le problematiche che possono insorgere alla presenza di litologie con basse proprietà geotecniche, nel presente elaborato tecnico è stata eseguita, come detto, una caratterizzazione geotecnica mediante indagini in sito. Dai risultati ottenuti si specifica che gli interventi di progetto, se eseguiti secondo le modalità realizzative prescritte, sono compatibili con lo scenario fattibilità generale previsto per l'area oggetto di studio (**Classe 3**).

Nello stesso Studio Geologico comunale si segnala la presenza, presso l'area di progetto, di **Normative di vincolo** correlate al tema ambientale per quanto riguarda il Parco Regionale Valle del Lambro (*Ambito del Parco Reale di Monza (art. 2) - Ambiti proposti dal Piano Territoriale del Parco Valle del Lambro*) e legate, in parte del lotto in oggetto, alla salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile, dei Pozzi (zona di rispetto 200 m).

Il lotto di progetto ricade nella zona di rispetto per la quale le opere di progetto previste figurano in alcun modo in quelle vietate al comma 4 dell'art. 94 del D. Lgs. 152/2006, che ne regola la gestione.

Sulla base del modello geologico-geotecnico definito (Cap. 4), è stata identificata l'unità_a caratteristiche geotecniche idonea alla posa delle nuove eventuali strutture di fondazioni profonde e sono state fornite le prescrizioni inerenti le modalità progettuali da adottare.

In particolare alla luce delle considerazioni geologico-geotecnico fatte è stata prescritta l'esecuzione di fondazioni profonde mediante micropali idoneamente intestati entro i depositi a buone caratteristiche geotecniche dell'Unità geotecnica FG (Cap. 5).

Considerando infine un certo grado di imprevedibilità intrinseco delle formazioni geologiche, si rimanda al progettista l'onere di verificare, in fase esecutiva, la rispondenza tra quanto previsto (mediante indagine per punti) e quanto effettivamente verrà riscontrato al di sotto del nuovo dado di fondazione, adottando in caso idonee soluzioni progettuali.

Sulla base del quadro normativo fornito e delle caratteristiche geologico-geotecniche ed idrogeologiche, dell'area in oggetto, gli interventi di progetto di ristrutturazione e realizzazione di un nuovo plinto di fondazione, se eseguiti secondo le indicazioni e le prescrizioni riportate nel presente studio, risultano compatibili con la destinazione d'uso prevista.

Il presente elaborato è inoltre conforme a quanto previsto dalle nuove normative regionali in materia di vigilanza sulle costruzioni in zone sismiche (**L.R. 33/2015, D.G.R. 5001/2016**) e aggiornamento della classificazione sismica regionale (**DGR 2129/2014**).

In merito alla nuova procedura di "deposito del progetto" (zona sismica 3), si allega la modulistica riportante i dati anagrafici, il Modulo 9 di dichiarazione/asseverazione del Geologo e il Modulo 10 di dichiarazione/asseverazione dell'estensore della Relazione Geotecnica.

Desenzano del Garda, 25 Luglio 2016

Dott. Geol. Luigi Renna

