COMUNE DI OGGIONO

PIAZZA GARIBALDI 14, OGGIONO (LC)

AGGIORNAMENTO ALLO STUDIO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO DELLA VARIANTE AL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

"APPROFONDIMENTO SISMICO DI II LIVELLO"

Marzo 2017

geosferA studio associato di geologia

Studio Associato di Geologia
Sede legale: via Rossini 18, 21100 Varese

Dott Geol. F. Tomasi **Dott. Geol. A. Strini**

SOMMARIO

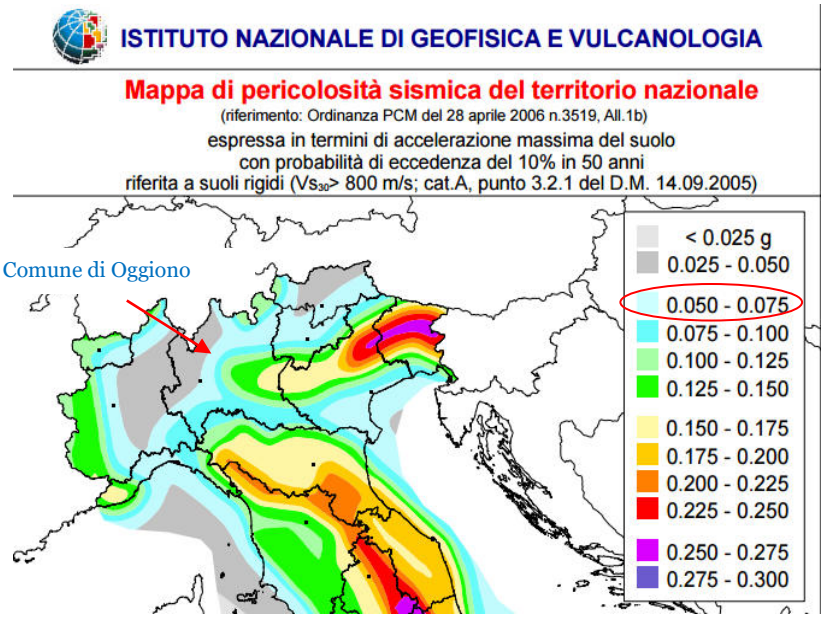
1. INTRODUZIONE 3
2. ANALISI DELLA SISMICITA' DEL TERRITORIO 7
2.1. Sismologia storica e macrosismica 7
2.2. Sorgenti sismogenetiche 9
3. PERICOLOSITA' SISMICA 10
3.1. Pericolosità sismica di base 10
3.2. Pericolosità sismica locale 13
4. RISPOSTA SISMICA LOCALE PER IL TERRITORIO DI OGGIONO 16
4.1. Approfondimento di I livello 16
4.2. Approfondimento di II livello 18
4.2.1. Introduzione 18
4.2.2. Procedura semplificata di II livello per amplificazioni litologiche: scenari Z4 20
4.2.3. Metodologia di indagine: Multichannel Analysis of Surfaces Waves (M.A.S.W.) 22
4.2.4. Parco del Peslago 23
4.2.4.1. Scheda di valutazione di riferimento 26
4.2.4.2. Curva T-Fa 27
4.2.4.3. Calcolo del Periodo proprio del sito (T) 28
4.2.4.4. Fattore di Amplificazione (Fa) 28
4.2.5. Parco del Municipio 29
4.2.5.1. Scheda di valutazione di riferimento 33
4.2.5.2. Curva T-Fa 34
4.2.5.3. Calcolo del Periodo proprio del sito (T) 35
4.2.5.4. Fattore di amplificazione (Fa) 36
4.2.6. Località Trescano 37
4.2.6.1. Scheda di valutazione di riferimento 40
4.2.6.2. Curva T-Fa 41
4.2.6.3. Calcolo del Periodo proprio del sito (T) 43

4.2.6.4. Fattore di Amplificazione (Fa) 43
4.2.7. Vecchio Lavatoio 45
4.2.7.1. Scheda di valutazione di riferimento 48
4.2.7.2. Curva T-Fa 49
4.2.7.3. Calcolo del Periodo proprio del sito (T) 50
4.2.7.4. Fattore di amplificazione (Fa) 50
4.2.8. Darsena 52
4.2.8.1. Scheda di valutazione di riferimento 56
4.2.8.2. Curva T-Fa 57
4.2.8.3. Calcolo del Periodo proprio del sito (T) 58
4.2.8.4. Fattore di Amplificazione (Fa) 58
4.2.9. Campo sportivo e torrente Gandaloglio 60
4.2.10. Approfondimento sismico di II livello area "REX" 61
4.2.11. Valutazione del grado di protezione 62
4.2.12. Analisi dei risultati 63
5. SINTESI 64
6. PROPOSTA DI MODIFICA ALLE NORME GEOLOGICHE DI PIANO 65

1. INTRODUZIONE

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 si è avviato in Italia un processo per la stima della pericolosità sismica, stabilendo una nuova classificazione sismica del territorio nazionale. La nuova classificazione, che in parte utilizza e aggiorna la classificazione proposta nel 1998 dal Gruppo di Lavoro istituito dal Servizio Sismico Nazionale, è articolata in 4 zone, ciascuna contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.
Questa iniziativa ha poi portato alla realizzazione della Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04) che, con l'emanazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006, è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale.

In ottemperanza all'art. 2 della O.P.C.M. 3274/2003, Regione Lombardia, con D.G.R. n. VII/14964 del 7 novembre 2003, ha provveduto alla classificazione sismica del proprio territorio. Secondo tale classificazione (Allegato A alla D.G.R. n. VII/14964 del 7 novembre 2003) il Comune di Oggiono è stato classificato in **Zona Sismica 4** (sismicità molto bassa), identificato da un valore di ag<0,05g.

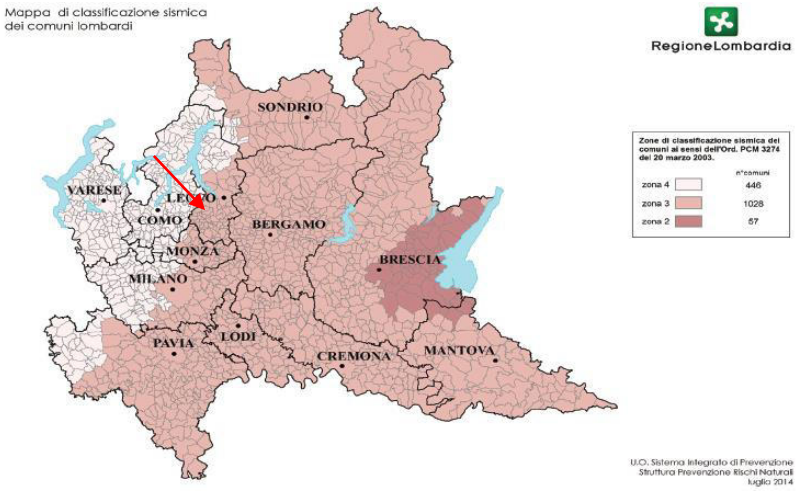


Come si evince dalla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. n. 3519/2006 All. 1b), il Comune di Oggiono ricade in un intervallo di valori di a_g (accelerazione sismica orizzontale massima del suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni e riferita a suoli rigidi) compresi tra **0,05g e 0,075g**, ponendolo di fatto in **Zona Sismica 3** e non in Zona

Sismica 4, come si evince dalla tabella riportata nella O.P.C.M. 3274/2003.

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a_g/g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-015	0,15
4	<0,05	0,05

Il 16 aprile 2016 è entrata in vigore la D.G.R. n. X/2129 dell'11 luglio 2014 con la quale Regione Lombardia ha provveduto alla determinazione di un livello di classificazione sismica maggiormente cautelativo rispetto a quello vigente, riclassificando il proprio territorio dal punto di vista sismico coerentemente con la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, anche in funzione del riordino delle disposizioni della normativa regionale in materia di vigilanza e controllo sulle costruzioni in zona sismica.



Pertanto a seguito della nuova classificazione sismica il Comune di Oggiono (indicato dalla freccia rossa nella figura accanto) è passato ufficialmente dalla Zona Sismica 4 (sismicità molto bassa) alla **Zona Sismica 3** (sismicità bassa), con valore di a_g pari a 0,055299g.

A seguito di tale riclassificazione l'Amministrazione comunale di Oggiono ha deciso di aggiornare il vigente studio di valutazione sismica locale, ottemperando alle disposizioni della D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011, con un'analisi di II livello negli scenari di pericolosità

sismica locale, individuati attraverso il I livello, suscettibili di amplificazioni sismiche litologiche interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.
Le disposizioni regionali (Allegato 5 "*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei P.G.T.*" alla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011) infatti prevedono che i comuni sono tenuti a valutare la risposta sismica locale secondo tre livelli di approfondimento: in fase di pianificazione sono previsti un I livello, qualitativo, con riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche sia di dati esistenti e un II livello, semi-quantitativo, con caratterizzazione degli effetti di amplificazione attesi negli scenari individuati al I livello, fornendo la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa). In fase di progettazione è previsto un III livello, quantitativo, di approfondimento, eventualmente prescritto nelle norme geologiche di piano.

In base a quanto sopra esposto l'Amministrazione comunale di Oggiono ha dato incarico allo scrivente studio geoSFerA, con determinazione del Responsabile del Governo del Territorio, Edilizia e Urbanistica n. 1037 del 29 novembre 2016, di aggiornare il vigente studio geologico relativamente all'aspetto di pericolosità sismica locale, in particolare redigendo uno studio di approfondimento sismico di II livello esteso al territorio comunale.

Ai fini della redazione del presente studio si è proceduto come segue:

1. è stata analizzata la sismicità storica del territorio;
2. si è recepita la zonazione di pericolosità sismica locale di I livello presente nello studio della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del vigente Piano di Governo del Territorio e si è presa visione della verifica di II livello eseguita per l'area "REX" di via Milano (redatto dal dott. geol. Egidio De Maron nell'aprile 2012);
3. sono state raccolte le stratigrafie dei pozzi esistenti nel Comune di Oggiono e nei comuni limitrofi per una fascia prossima al confine comunale;
4. sono stati analizzati i dati geologici e geologico tecnici pregressi eseguiti in territorio comunale;

5. ad integrazione dei dati geologico-stratigrafici preesistenti è stata eseguita una campagna di indagine geofisica M.A.S.W. Le indagini geofisiche sono state ubicate considerando le aree omogenee di pericolosità sismica locale di I livello suscettibili di amplificazioni litologiche;
6. sulla base dei risultati ottenuti dall'applicazione del II livello dei criteri regionali sono state individuate le zone nelle quali il valore soglia comunale, riferito al livello di sicurezza prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni risulta inferiore e superiore al valore del Fattore di amplificazione atteso;
7. sulla base della campagna di indagine geofisica svolta, finalizzata alla raccolta dei dati richiesti per l'applicazione del II livello previsto dai criteri regionali, il quale permette di individuare aree omogenee dal punto di vista delle amplificazioni attese e le relative sismostratigrafie di riferimento è stata redatta la carta dei fattori di amplificazione di II livello;

2. ANALISI DELLA SISMICITA' DEL TERRITORIO

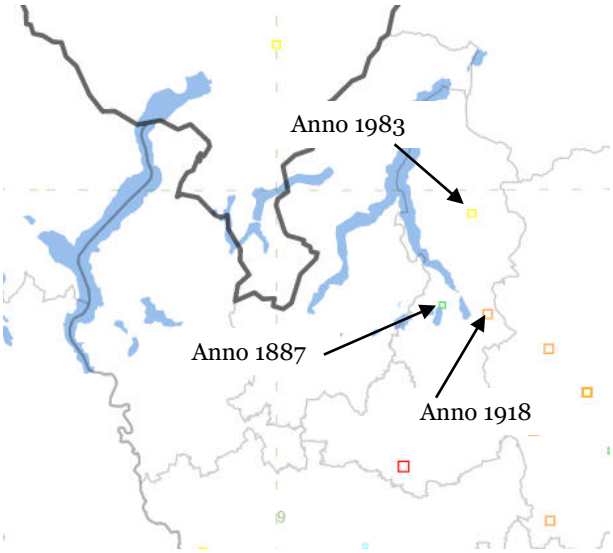
Le generali caratteristiche geologiche del territorio lombardo non sono così "drammatiche" come in altre regioni italiane, tant'è che in generale il livello di pericolosità sismica è basso o molto basso, con la sola eccezione della zona del lago di Garda.

La sismicità maggiore sembra concentrarsi nella fascia prealpina orientale. Un discreto livello di sismicità è presente anche nelle zone dell'Oltrepò, mentre una modesta attività è presente in Alta Valtellina e nel Mantovano. Ulteriori zone sismiche, prossime al territorio regionale, sono individuabili in Emilia, nel Veronese e in Engadina.

Gli epicentri dei terremoti storici per il settore lombardo sono prevalentemente concentrati in una fascia allungata in direzione E-W lungo il margine pedemontano, in corrispondenza dell'asse Bergamo-Brescia-lago di Garda. La parte più meridionale della regione risente della sismicità di origine appenninica, comprensiva dell'area dell'Oltrepò pavese.

2.1. Sismologia storica e macrosismica

La storia sismica locale del territorio lecchese è deducibile dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani [CPTI15; *Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*] che abbraccia una finestra temporale di osservazioni macrosismiche e strumentali dall'anno 1000 all'anno 2014.



In passato la provincia di Lecco è stata sede di 3 eventi sismici; l'evento più antico risale al 1887 a cui è associata un'intensità epicentrale (Io) pari al V grado della scala Mercalli e una magnitudo momento (Mw derivata dal parametro sismologico momento sismico che equivale al prodotto tra area di faglia, dislocazione e resistenza delle rocce) pari a 3,97.

Il secondo evento sismico catalogato risale al 1918 a cui è associata un'intensità epicentrale (Io) pari al VI grado della scala Mercalli e una magnitudo momento (Mw) pari a 4,95. Nel 1983 si registra infine un evento sismico con area epicentrale situata in Valsassina a cui è stata attribuita una magnitudo momento (Mw) pari a 4,27.

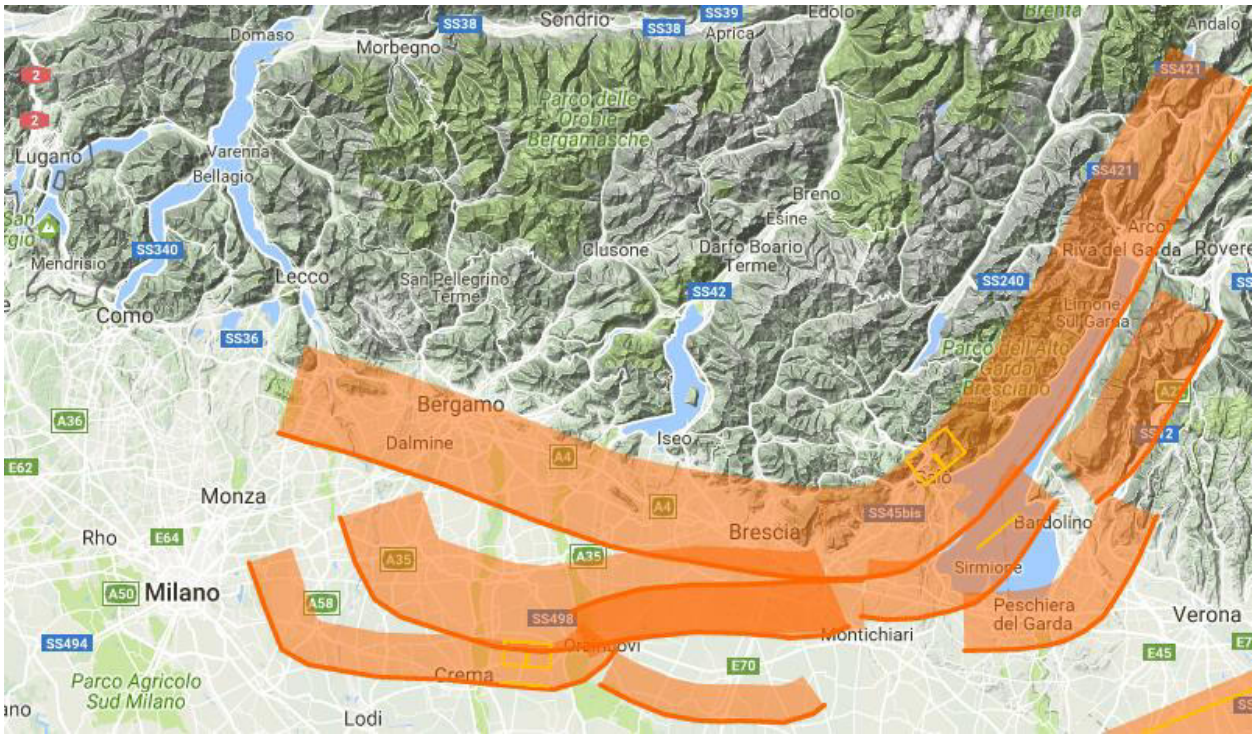
Le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti (osservazioni macrosismiche) nel Comune di Oggiono sono però collocate al di fuori del territorio provinciale. Tali informazioni sono state ricavate dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano [DBMI15; *Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*]. Tale database fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo sia a terremoti italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia) nella finestra temporale 1000-2014.
Nella figura seguente sono riportati i tre eventi sismici che hanno prodotto, in passato, risentimenti in Comune di Oggiono, in riferimento ai quali al Comune di Oggiono è stata associata una intensità macrosismiche del III grado della scala Mercalli.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	1905	04	29	01	46	4	Haute-Savoie, Vallorcine	267	7-8	5.10
3	1991	11	20	01	54	1	Grigioni, Vaz	468	6	4.70
3	2003	04	11	09	26	5	Valle Scrivia	78	6-7	4.81

Per quanto concerne gli aspetti di sismologia storica pertanto, dalla consultazione dei cataloghi sismici redatti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità sismica, risulta che l'area del lecchese è stata sede in passato di eventi sismici piuttosto sporadici e di intensità massima rilevata dell'ordine del V-VI grado della scala Mercalli. Gli eventi sismici che hanno fatto registrare risentimenti in Oggiono sono altrettanto sporadici e localizzati a diverse centinaia di chilometri di distanza.

2.2. Sorgenti sismogenetiche

Dalla consultazione della banca dati delle singole sorgenti sismogenetiche (*Database of Individual Seismogenetic Sources, DISS version 3.2*), redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia in considerazione a sorgenti per terremoti con Magnitudo maggiore di 5.5 in Italia e aree circostanti, il territorio di Oggiono non rientra in alcuna zona sismogenetica (figura sottostante).



In prossimità del territorio comunale, qualche chilometro a Sud Est, è presente il margine occidentale della sorgente sismogenetica composita denominata *Western S-Alps internal thrust*. Questa sorgente sismogenetica si estende ad Ovest del lago di Garda tra le città di Brescia (a Est) e Bergamo (a Ovest) e appartiene a al fronte interno del sistema di faglie inverse delle Alpi Giudicarie. Questo fronte è localmente un arco interno Sud-vergente, una rampa di sistemi meridionali di faglie compressive delle Alpi. I cataloghi storici e strumentali [Boschi et al, 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al, 2006; Guidoboni et al, 2007] mostrano solo una distribuzione sparsa della sismicità lungo l'attacco della parte frontale del thrust. In particolare

gli eventi sismici, dai cataloghi storici, mostrano magnitudo Mw compresa tra 4,6 e 5,0, che possono essere stati generati da sorgenti sismogenetiche appartenenti a questa sorgente composita. Nella tabella di seguito si riportano i parametri che caratterizzano tale struttura sismogenetica.

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	5.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	12.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	265...295	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	25...35	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assigned on the basis of conservative criteria.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP;EJ=EXPERT JUDGEMENT;

3. PERICOLOSITA' SISMICA

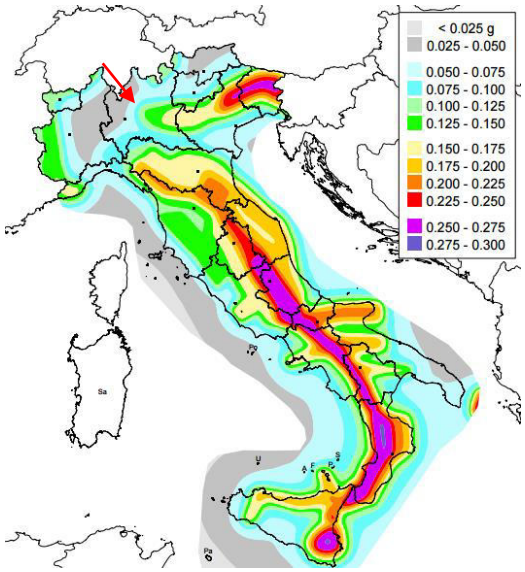
3.1. Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base è la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). La pericolosità sismica di base calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in un determinato periodo di tempo, i valori dei parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento).

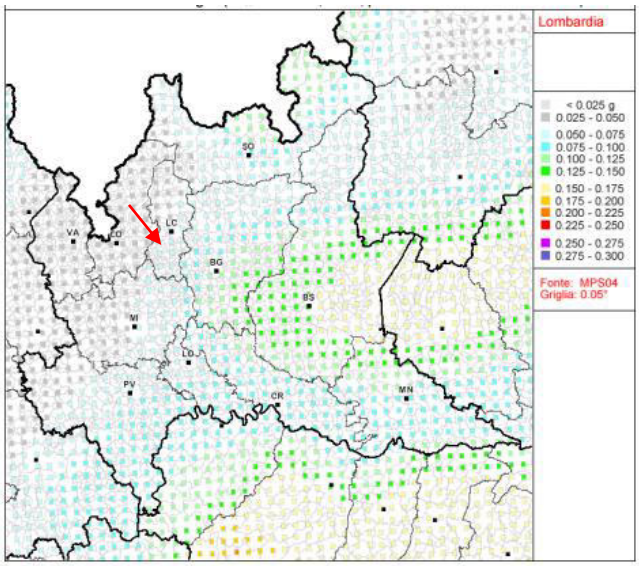
In seguito all'emanazione della O.P.C.M. n. 3274/2003 è stata prodotta, dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, una nuova versione della Mappa della Pericolosità Sismica del territorio nazionale. La mappa riporta il valore dell'accelerazione orizzontale massima "a_g" che ha la probabilità di essere superato almeno una volta nei prossimi 50 anni; tale valore di

probabilità, che corrisponde ad un periodo di ritorno di 475 anni, è assunto come riferimento dalla normativa sismica vigente.

Nella figura seguente si riporta un estratto della mappa di pericolosità sismica relativa alla Regione Lombardia, da cui si ricava che per il territorio di Oggiono il valore di a_g atteso risulta compreso tra **0,050g** e **0,075g**.



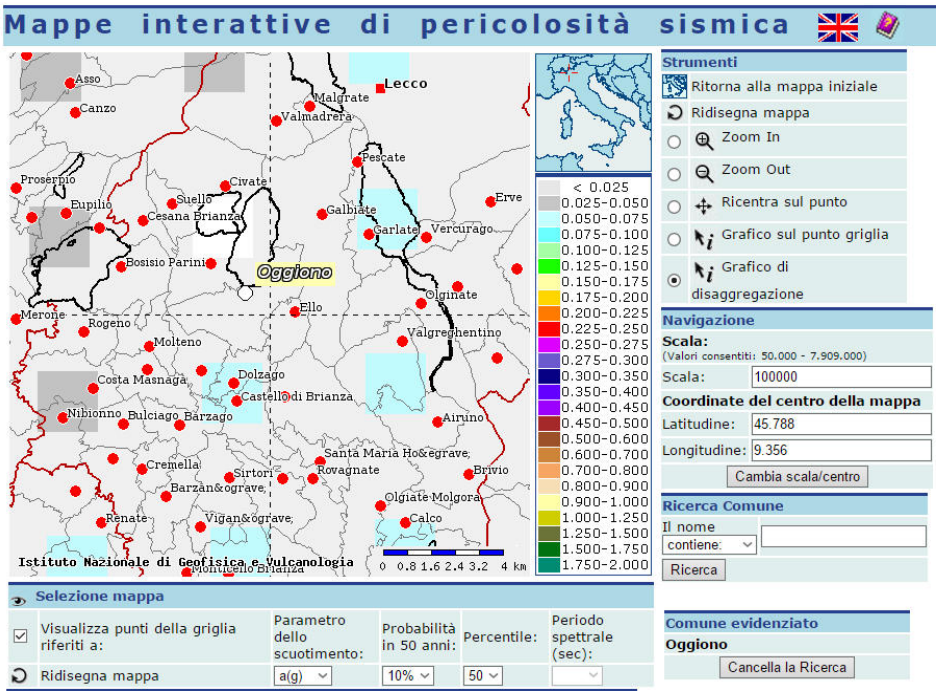
Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (All. 1b, O.P.C.M. n. 3519/2006). Il Comune di Oggiono è indicato con la freccia rossa



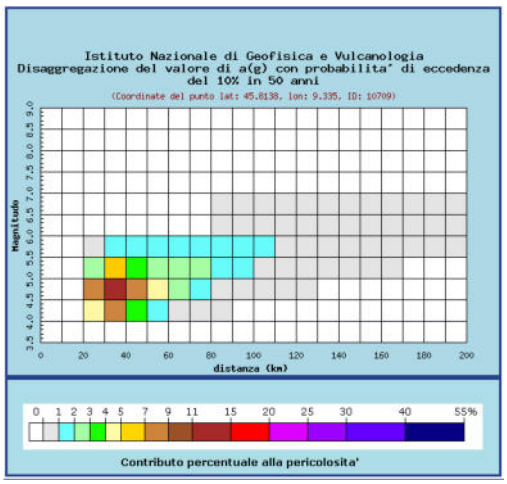
Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale (All. 1b, O.P.C.M. n. 3519/2006); Regione Lombardia. Il Comune di Oggiono è indicato con la freccia rossa

Dalla consultazione delle mappe interattive di pericolosità sismica (reperibili sul sito http://esse1-gis.mi.ingv.it) è anche possibile ricavare il contributo percentuale delle diverse coppie di dati magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità sismica di base.

Individuato il riquadro corrispondente al valore di a_g più vicino al Comune di Oggiono, si ricavano i dati di disaggregazione.



Mappa interattiva di pericolosità sismica per il comune di Oggiono



Disaggregazione, grafico dei contributi alla pericolosità per intervalli di magnitudo e distanza epicentrale

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.8138, lon: 9.335, ID: 10709)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	4.990	7.380	2.860	0.744	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	8.040	13.200	5.950	1.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	3.900	7.380	3.980	1.350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	1.850	4.110	2.690	1.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.945	2.940	2.710	1.430	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.305	1.710	2.100	1.270	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.030	0.788	1.600	1.330	0.401	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.296	1.130	1.180	0.500	0.077	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.086	0.846	1.170	0.485	0.069	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.016	0.499	0.926	0.388	0.055	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.001	0.229	0.619	0.295	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.086	0.386	0.240	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.027	0.232	0.206	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.011	0.168	0.165	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.002	0.096	0.115	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.052	0.079	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.054	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.049	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000

Disaggregazione, tabella dei contributi alla pericolosità per intervalli di magnitudo e distanza epicentrale

Per l'ambito in studio si ha che il contributo percentuale medio alla pericolosità sismica si ha per terremoti di magnitudo 4,970 alla distanza di 52,7 km.

In ottemperanza all'art. 2 della O.P.C.M. 3274/2003, Regione Lombardia, con D.G.R. n. VII/14964 del 7 novembre 2003, ha provveduto alla classificazione sismica del proprio territorio. Secondo tale classificazione (Allegato A alla D.G.R. n. VII/14964 del 7 novembre 2003) il Comune di Oggiono è stato classificato in **Zona Sismica 4** (sismicità molto bassa), identificato da un valore di ag<0,05g.

Con D.G.R. n. X/2129 del 11 luglio 2014 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia", Regione Lombardia procede alla determinazione di un livello di classificazione sismica maggiormente cautelativo rispetto a quello vigente e all'aggiornamento della classificazione del territorio lombardo, anche in funzione del riordino della normativa regionale in materia di vigilanza e controllo sulle costruzioni in zona sismica. Nell'Allegato A della D.G.R. viene fornito "l'elenco dei comuni lombardi con indicazione delle relative zone sismiche e dell'accelerazione massima (A_{gmax}) presente all'interno del territorio comunale (O.P.C.M 3519/06 e D.M. 14/01/08)".

Il comune di Oggiono viene riclassificato in **Zona Sismica 3** (sismicità bassa) con $\mathbf{A_{gmax}}$ pari a **0,055299g**.

3.2. Pericolosità sismica locale

Quanto sopra esposto rappresenta la pericolosità sismica di base senza però considerare alcuna modificazione che può subire il moto del suolo causata dal contesto geologico e geomorfologico di un'area, cioè senza modificazioni dovute ad effetti locali.

Va tuttavia fatto osservare come le locali condizioni geologiche e geomorfologiche possano influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei terreni e dei materiali coinvolti; pertanto, gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione dei possibili effetti locali, distinguibili in due grandi gruppi: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità (o effetti cosismici).

Mentre gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente tale nei confronti delle sollecitazioni sismiche (esempio i versanti, le frane quiescenti, ecc.), gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese. Quest'ultimi sono rappresentati dall'insieme di modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le strutture locali. Gli effetti di sito si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nella stessa area:

- effetti di *amplificazione topografica*: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto. Se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (bedrock) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi, l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione (difficilmente separabile) tra l'effetto topografico e quello litologico di seguito descritto;
- effetti di *amplificazione litologica*: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche. Tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

In Regione Lombardia la metodologia per l'approfondimento e la valutazione dell'amplificazione sismica locale è riportata in Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616 "*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei P.G.T.*". La metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio crescente, da applicarsi in funzione della zonazione sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale. Solo i primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione; il terzo livello di approfondimento è obbligatorio in fase di progettazione sia quando con il secondo livello si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale sia per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di amplificazione morfologica e/o litologica sia per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazioni.

I livelli di approfondimento sono di seguito sinteticamente definiti:

I livello: riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento) sia di dati esistenti. Questo livello è obbligatorio per tutti i comuni e prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale sono riportate le diverse situazioni tipo (Tabella 1 dell'Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616) in grado di determinare gli effetti sismici locali.

II livello: caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di Pericolosità Sismica Locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa). Questo livello è obbligatorio, per i comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il I livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (Z3 e Z4 Tabella 1 dell'Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

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

Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazioni (Z1 e Z2 Tabella 1 dell'Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616) non è prevista l'applicazione del II livello di approfondimento, ma il passaggio diretto a quello di III livello.

III livello: definisce gli effetti di amplificazione tramite indagini e analisi più approfondite.

4. RISPOSTA SISMICA LOCALE PER IL TERRITORIO DI OGGIONO

Il vigente P.G.T. di Oggiono, approvato con Delibera di Consiglio Comunale n.83 del 16/12/2003, è dotato di uno studio relativo alla Pericolosità Sismica Locale di I Livello esteso a tutto il territorio comunale e uno studio di II livello specifico per l'area "REX" di via Milano. I contenuti di tali analisi sono riportati nello Studio per la Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del vigente Piano di Governo del Territorio, redatto dal dott. Geologo Egidio De Maron (aggiornamento aprile 2012).

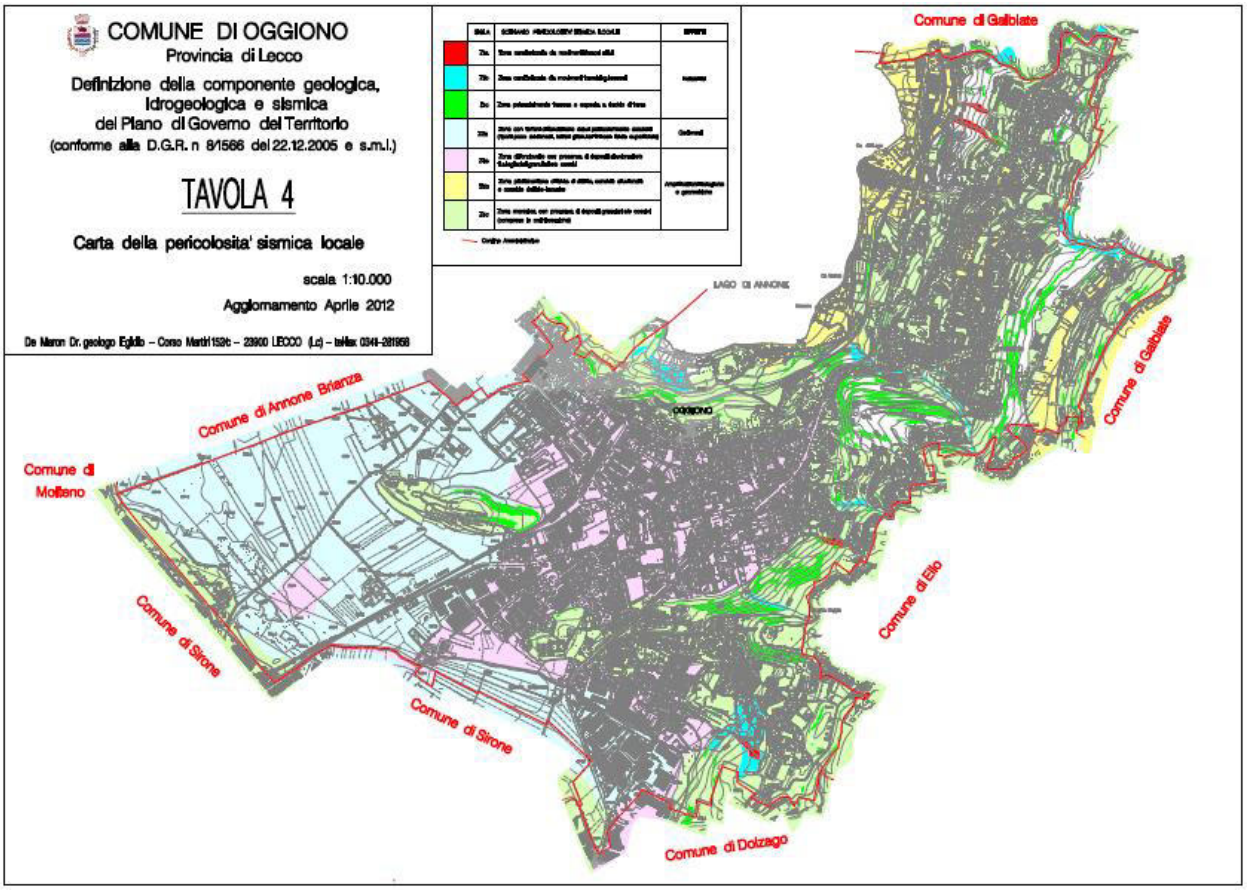
La recente riclassificazione sismica del territorio lombardo con passaggio, per il Comune di Oggiono, dalla Zona Sismica 4 alla Zona Sismica 3, ha reso necessario aggiornare lo studio relativo alla Pericolosità Sismica Locale con un approfondimento di II livello per le aree potenzialmente soggette ad effetti di amplificazioni litologiche interferenti con l'urbanizzato.

4.1. Approfondimento di I livello

Non essendo oggetto di modifica sono stati recepiti i risultati dell'approfondimento di I livello contenuti nello Studio per la Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio, redatto dal dott. Geologo Egidio De Maron (aggiornamento aprile 2012).

L'analisi ha permesso l'individuazione di zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati esistenti. La suddivisione in zone è avvenuta seguendo una suddivisione in situazioni tipo denominate **scenario di pericolosità sismica locale**, (Tabella 1, Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616). Come risultato finale è stata prodotta una cartografia specifica (Tavola 4 - *Carta della Pericolosità Sismica Locale*, Componente Geologica, Idrogeologica e

Sismica del Piano di Governo del Territorio; aggiornamento aprile 2012) nella quale sono state riportate le perimetrazioni areali e lineari delle diverse situazioni tipo.



Carta della Pericolosità Sismica Locale (Tavola 4, Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del vigente Piano di Governo del Territorio; aggiornamento aprile 2012

L'analisi territoriale effettuata ha permesso di riconoscere e zonare i seguenti scenari di pericolosità sismica locale: **Z1a – Z1b – Z1c – Z2a – Z4a – Z4b – Z4c.**

Nessuno scenario di amplificazione morfologica (Z3) è stato individuato in tale studio.

4.2. Approfondimento di II livello

4.2.1. Introduzione

L'analisi sismica di II livello prevede una caratterizzazione semi quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrate nella prima fase di analisi (di cui come detto se ne recepiscono i risultati) e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di amplificazione (Fa).

Ricadendo in Zona Sismica 3 (secondo la nuova classificazione sismica regionale) per il Comune di Oggiono è obbligatorio l'approfondimento di II livello nelle aree suscettibili di amplificazioni sismiche litologiche (Z4) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree ad espansione urbanistica.

L'approfondimento sismico di II livello è stato eseguito mediante indagine sismica di tipo M.A.S.W., integrata con dati geologico-stratigrafici e geotecnici disponibili.

Inoltre l'analisi ha tenuto in considerazione i risultati del precedente approfondimento sismico di II livello effettuato per l'area "REX" di via Milano.

L'indagine sismica, di supporto al presente studio, è stata eseguita individuando cinque aree campione rappresentative, distribuite nella porzione urbanizzata del territorio comunale, delle aree omogenee di pericolosità sismica locale di I livello potenzialmente soggette ad effetti di amplificazioni litologiche (Z4).
Tali aree, come da cartografia allegata, sono così denominate:
Parco del Peslago: ubicata nella parte meridionale del territorio comunale, tra la via Peslago a Ovest e la via Don Gottifredi a Sud. L'area è compresa nello scenario di Pericolosità Sismica Locale **Z4a** (definita come *Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi*; Tabella 1, Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616);
Parco del Municipio: ubicata nei pressi del Municipio, tra la via Monte Grappa a Sud e la via 1° Maggio a Nord. L'area è compresa nello scenario di Pericolosità Sismica Locale **Z4a** (definita

come *Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi*; Tabella 1, Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616);

Località Trescano: ubicata nella parte meridionale del territorio comunale, a Est di via Trescano. L'area è compresa nello scenario di Pericolosità Sismica Locale **Z4c** (definita come *Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi [compresi le coltri loessiche]*; Tabella 1, Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616);

Vecchio Lavatoio: ubicata nella parte centrale del territorio, lungo la via Bagnolo all'altezza del vecchio Lavatoio. L'area è compresa nello scenario di Pericolosità Sismica Locale **Z4c** (definita come *Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi [compresi le coltri loessiche]*; Tabella 1, Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616);

Darsena: ubicata in prossimità della sponda del lago di Annone, in località Darsena. L'area è compresa nello scenario di Pericolosità Sismica Locale **Z4b** (definita come *Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre*; Tabella 1, Allegato 5 alla D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616).

Il II livello di approfondimento non è stato eseguito per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da cedimenti (Z2a) e da instabilità (Z1a, Z1b, Z1c), in quanto la normativa prevede direttamente il passaggio all'analisi di III livello da applicarsi in fase progettuale.
Sono però state eseguite due stese sismiche in ambito di scenario Z2a, una in prossimità del campo sportivo e una in vicinanza del torrente Gandaloglio-linea ferroviaria, con il solo scopo di determinare il parametro Vs_{30} e la relativa categoria di sottosuolo media rappresentativa dell'area.

Si ricorda che quanto esposto nei paragrafi seguenti è da intendersi come una prima stima del Fattore di amplificazione sismica e che le analisi qui eseguite non sostituiscono le indagini sito specifiche relative al progetto definitivo delle opere (es. calcolo delle Vs_{30} a partire dal piano di posa delle fondazioni etc.).

4.2.2. Procedura semplificata di II livello per amplificazioni litologiche: scenari Z4

La procedura adottata per l'analisi di II livello fa riferimento a quanto riportato nell'Allegato 5 alla predetta D.G.R. IX/2616. Sinteticamente, la procedura di II livello prevede la verifica della validità dei valori soglia di accelerazione indicati dalla normativa nazionale mediante un approccio semi quantitativo che fornisce un valore di Fattore di amplificazione (Fa).
I valori di Fa sono riferiti a due periodi, a loro volta caratteristici di tipologie differenti di costruzioni scelte in base a quelle più diffuse in Regione Lombardia. Per strutture basse, regolari e piuttosto rigide si deve considerare il Fattore di amplificazione relativo a un periodo di 0,1-0,5 secondi, mentre per strutture più alte e flessibili si considera il Fattore di amplificazione calcolato relativo a un periodo di 0,5-1,5 secondi.
La procedura prevede che venga determinato il profilo delle velocità delle onde sismiche nel sottosuolo fino al raggiungimento del bedrock simico (pari a una velocità ≥ 800 m/s).
In tutti gli approfondimenti del presente lavoro, i profili di velocità delle onde sismiche nel sottosuolo sono stati eseguiti mediante la metodologia M.A.S.W., ottenuti durante un'apposita campagna di indagine effettuata nel mese di gennaio-febbraio 2017.

In base alla litologia prevalente nel sito si possono utilizzare le schede di valutazione predisposte nell'Allegato 5 alla D.G.R. IX/2616, in cui sono identificate le schede per le seguenti litologie:

- litologia ghiaiosa
- litologia limoso argillosa Tipo 1
- litologia limoso argillosa Tipo 2
- litologia limoso sabbiosa Tipo 1
- litologia limoso sabbiosa Tipo 2
- litologia sabbiosa

Individuata la scheda se ne determina la validità confrontando il profilo di velocità delle onde sismiche nel sottosuolo con l'apposito grafico. Si inizierà a confrontarlo con la scheda tipo 1; nel caso in cui il profilo non rientrasse nel campo di validità per velocità minori di 600 m/s si verificherà se esso ricade in quello della scheda 2 e così via.

Nel caso in cui esista la scheda per la litologia considerata ma il profilo non rientra nel campo di validità, si potrà usare una scheda prevista per litologia diverse che presenti un andamento delle Vs simile a quelle riscontrate nell'indagine. Parimenti qualora non esista una scheda per la litologia considerata, si potrà usare una scheda che presenti il profilo delle Vs simile a quello riscontrato nell'indagine.

Una matrice di valutazione, presente in ogni scheda, consente di scegliere, in funzione della profondità e della velocità dello strato superficiale, la curva più appropriata (identificata da numero e colore) per la determinazione di Fa.

Il valore di Fa viene determinato in base all'andamento della curva e al valore del periodo proprio del sito T, definito considerando tutta la stratigrafia fino al raggiungimento della velocità di 800 m/s. La definizione del periodo proprio è dato dalla formula:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

ove *hi* e *Vsi* sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Il valore di Fa così determinato, per i periodi di 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s viene confrontato con i valori soglia predisposti da Regione Lombardia, considerando la categoria di suolo corrispondente.

Per tutte le aree indagate la categoria di suolo è stata determinata sia valutando i dati bibliografici esistenti riguardanti la litologia e le caratteristiche geotecniche dei terreni sia mediante il calcolo delle Vs_{30} utilizzando i dati raccolti durante la campagna di indagine sismica effettuata per l'analisi di II livello.

La Vs_{30} è stata determinata secondo quanto indicato dal D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche sulle costruzioni" ed è così definita:

$$Vs,30 = \frac{30}{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}$$

dove H_i e Vs_i indicano lo spessore e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei primi 30 m di profondità.

Per il Comune di Oggiono i valori soglia di riferimento calcolati, predisposti da Regione Lombardia, sono:

	Categoria di suolo			
Intervallo	**B**	**C**	**D**	**E**
0,1-0,5 s	1,4	1,8	2,2	2,0
0,5-1,5 s	1,7	2,4	4,2	3,1

4.2.3.Metodologia di indagine: Multichannel Analysis of Surfaces Waves (M.A.S.W.)

La prova M.A.S.W., utilizzata nel presente studio, permette di determinare l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh, che rappresentano più di due terzi dell'energia sismica generata nel corso di una prova.
La procedura M.A.S.W. può sintetizzarsi in tre stadi distinti:
1. acquisizione dei dati di campo rappresentati dalle onde superficiali;
2. costruzione della curva di dispersione (il grafico della velocita di fase rispetto alla frequenza);
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale che descrive la variazione di Vs con la profondità.

Per ottenere un profilo della velocita delle onde sismiche di taglio (Vs) bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Le onde di superficie sono state generate tramite una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico posta ad una distanza compresa tra 5 metri e 10 metri (offset minimo) dai geofoni esterni dello stendimento effettuando più energizzazioni; per la registrazione sono stati utilizzati geofoni verticali da 4,5 Hz collegati ad un sismografo GEA24 a 24 canali della PASI.
L'analisi delle onde superficiali e stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare di 24 geofoni con spaziatura pari a 3 o 2 metri, scelta a seconda dell'estensione delle aree di indagine.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.
Per ottenere il profilo verticale della Vs dalla curva di dispersione viene stimato un valore di densità del terreno e del coefficiente di Poisson sulla base della tipologia dei materiali attraversati e della presenza di falda.

4.2.4. Parco del Peslago

Il sito di indagine simica è ubicato nella parte meridionale del territorio comunale, tra la via Peslago a Ovest e la via Don Gottifredi a Sud; l'area si presenta sub pianeggiante e ad uso parchi e giardini (fonte: DUSAF IV – uso del suolo 2012).
È stata realizzata una stesa sismica lineare a 24 geofoni equidistanziati tra loro di 3 metri, per una lunghezza totale di 69 metri. Le energizzazioni sono state eseguite alle due estremità dello stendimento, a distanza di 5 e 10 metri dal primo geofono.

Parco del Peslago: traccia stesa sismica M.A.S.W. (in arancione) con indicata la posizione del primo (G1) e ultimo (G24) geofono. Il pallino verde indica la posizione di sondaggi con stratigrafia

L'area ricade nello scenario **Z4a** di Pericolosità Sismica Locale di I livello (cfr Tavola 4 Carta di Pericolosità Sismica Locale, Definizione della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio, aggiornamento aprile 2012; dott. geol. E. De Maron).

Dal punto di vista geologico, riferendosi al Foglio 097 Vimercate della Carta Geologica d'Italia, l'area è caratterizzata da depositi appartenenti al Sintema di Cantù in facies glaciale, genericamente costituiti da diamicton in genere massivi e a supporto di matrice sabbioso limosa.

Nelle immediate vicinanze dell'area non sono presenti indagini geognostiche; la più prossima si trova a circa 500 metri a Sud Sud Ovest, ubicata in Comune di Sirone. Si tratta di un sondaggio geognostico la cui stratigrafia è reperibile dalla Banca Dati Geologica di Sottosuolo di Regione Lombardia (codice identificativo: B5D162789485).
La stratigrafia mostra uno strato superficiale di spessore di 9 metri costituito da sabbia e silt; al di sotto, fino a 15 metri di profondità, si passa a sabbia fine e argilla e dai 15 ai 54 metri silt e argilla. Dai 54 metri di profondità è stato identificato il substrato roccioso.
Di seguito si riporta la stratigrafia di dettaglio:

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	9	9	SABBIA E SILT	S MZ
2	9	15	6	SABBIA FINE E ARGILLA	S4 A
3	15	54	39	SILT E ARGILLA	MZ A
4	54	58	4	ROCCE CARBONATICHE	BZ

L'analisi sismica ha permesso poi la costruzione di un modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità. Dall'inversione delle curve di dispersione ricavate dallo stendimento sismico si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Strato	Profondità (m)		Spessore (m)	Vs (m/s)
	da	a		
1	0,0	4,2	4,2	188
2	4,2	6,4	2,2	365
3	6,4	11,4	4,9	488
4	11,4	15,4	4,1	275
6	15,4	18,5	3,1	346
7	18,5	30,5	12	746

Profilo di velocità delle onde S.

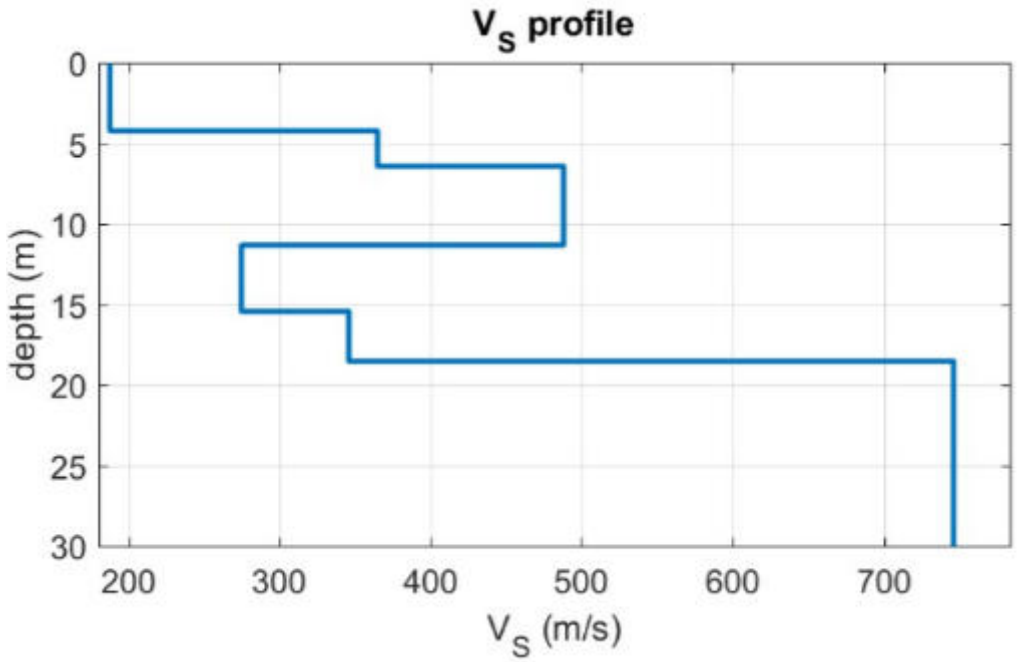
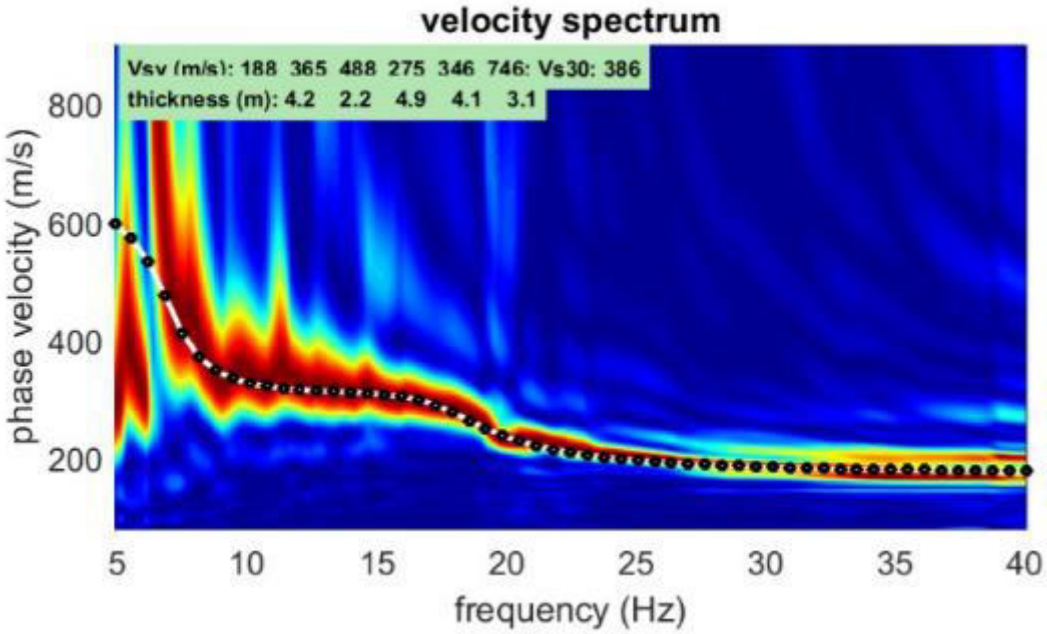


Grafico del profilo di velocità delle onde S.



Curva di inversione e dispersione

Non avendo raggiunto il bedrock sismico (Vs≥800 m/s) è stato elaborato un opportuno gradiente delle Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da permettere il raggiungimento di 800 m/s.
Il bedrock sismico è stato raggiunto quindi alla profondità di 32,0 m, delimitando uno strato di 1,5 m di spessore e una Vs pari a 802 m/s (calcolata come media pesata dei valori di Vs dello strato).

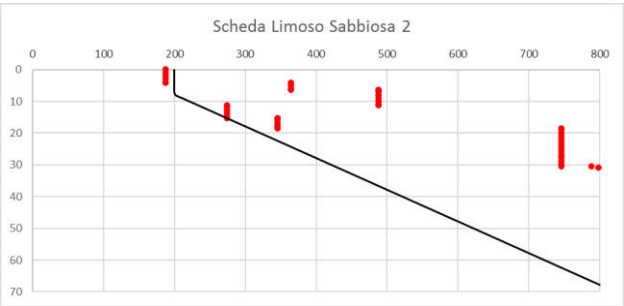
In base alla stratigrafia sismica è stato calcolato il valore di Vs_{30} che risulta pari a 386 m/s, a cui corrisponde una Categoria di sottosuolo **B** (tabella 3.2 II, D.M. 14/01/2008).

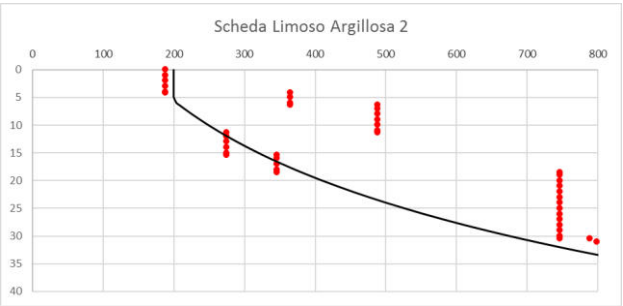
4.2.4.1. Scheda di valutazione di riferimento

Come già in precedenza richiamato, la Regione Lombardia propone una procedura semplificata per la valutazione dei Fattori di amplificazione per lo scenario Z4. La normativa propone infatti una serie di schede di valutazione che correlano il Fattore di amplificazione con il periodo proprio del sito T, calcolato sulla base dei dati geofisici ottenuti dalle analisi sismiche.

Riferendosi agli unici dati litologici prossimi all'area si ipotizza che la litologia prevalente presente nel sito sia costituita da alternanze di limi, argille e sabbie; questo fa ricadere la scelta sulla scheda di valutazione limoso-argillosa o limoso-sabbiosa.

A questo punto è stata verificata la validità delle schede di valutazione individuate con l'andamento dei valori di Vs con la profondità.





Essendo in presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità è stata utilizzata la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile

a quella riscontrata nell'indagine, accettando anche i casi in cui i valori di Vs escono da campo di validità a causa dell'inversione.

In base a queste considerazioni e al profilo delle Vs la scelta è quella di riferirsi alla **scheda di valutazione Limoso Argillosa di Tipo 2**.

4.2.4.2. Curva T-Fa

In funzione della profondità e della curva delle velocità Vs dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, è stata scelta la curva più appropriata per la valutazione del valore del Fattore di amplificazione (Fa).
Come strato superficiale è stato considerato lo spessore di 6,4 metri di materiali presenti subito al di sotto del piano campagna, a cui corrisponde una velocità media pari a 249 m/s; con questi valori la scelta è ricaduta sulla curva 2 (verde) del grafico T-Fa.

Profondità primo strato (m)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
200				2	1	1														
250				2	2	2	2	1	1	1										
300				3	3	3	3	2	2	2	2	1								
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3							
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Matrice per la scelta della curva più appropriata per il calcolo del Fattore di Amplificazione per la Scheda Limoso Argillosa Tipo 2.

4.2.4.3. Calcolo del Periodo proprio del sito (T)

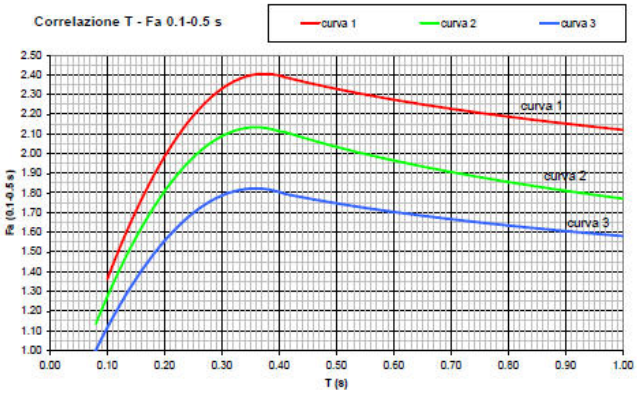
Il calcolo di T considera tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s con la seguente formula:

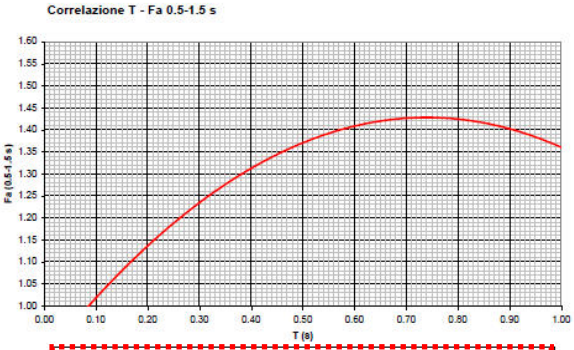
$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

L'indagine sismica non ha raggiunto velocità comparabili con quelle del substrato sismico (Vs>800 m/s), pertanto è stato elaborato un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da permettere il raggiungimento di 800 m/s.
Il bedrock sismico è stato raggiunto quindi alla profondità di 32,0 m, delimitando uno strato di 1,5 m di spessore e una Vs pari a 802 m/s (calcolata come media pesata dei valori di Vs dello strato).
Sulla base della stratigrafia sismica completa è stato calcolato un valore del *periodo proprio del sito pari a 0,25 s.*

4.2.4.4. Fattore di Amplificazione (Fa)

Il calcolo del Fattore di Amplificazione, per i due periodi tipici 0,1-0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e 0,5-1,5 s (strutture più alte e più flessibili), è stato effettuato dall'applicazione delle formule o dalla lettura del grafico, considerando la curva T-Fa scelta e il periodo proprio del sito calcolato.





$$Fa_{0.5-1.5} = -T^2 + 1.48T + 0.88$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

In relazione alla Scheda di valutazione Limoso Argillosa Tipo 2 i valori di Fa calcolati per i relativi periodi sono:

Fa (0,1-0,5 s) **2,1**

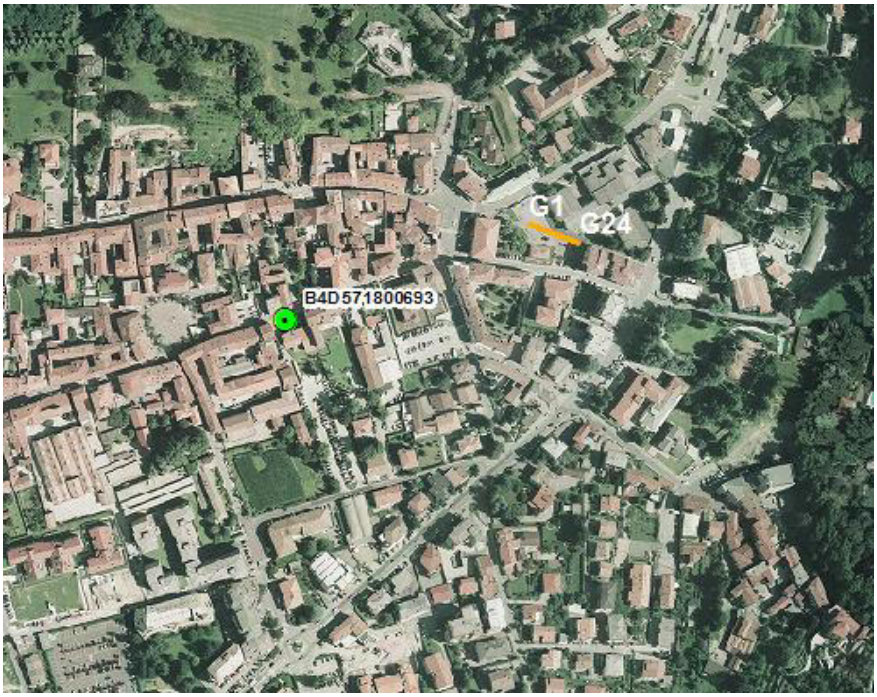
Fa (0,5-1,5 s) **1,3**

<u>Il valore di Fa ottenuto tiene in considerazione una variabilità di +0,1, così come indicato nell'Allegato 5 alla D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011.</u>

4.2.5. Parco del Municipio

Il sito di indagine sismica è ubicato nei pressi del Municipio, tra la via Monte Grappa a Sud e la via 1° Maggio a Nord; l'area si presenta pianeggiante e ad uso impianti di servizi pubblici e privati (fonte: DUSAF IV – uso del suolo 2012).

È stata realizzata una stesa sismica lineare a 24 geofoni equidistanziati tra loro di 2 metri, per una lunghezza totale di 46 metri. Le energizzazioni sono state eseguite alle due estremità dello stendimento, a distanza di 5 metri dal primo geofono.



Parco del Municipio: traccia stesa sismica M.A.S.W. (in arancione) con indicata la posizione del primo (G1) e ultimo (G24) geofono. Il pallino verde indica la posizione di sondaggi con stratigrafia

L'area ricade nello scenario **Z4a** di Pericolosità Sismica Locale di I livello (cfr Tavola 4 Carta di Pericolosità Sismica Locale, Definizione della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio, aggiornamento aprile 2012; dott. geol. E. De Maron).

Dal punto di vista geologico, riferendosi al Foglio 097 Vimercate della Carta Geologica d'Italia, l'area è caratterizzata da depositi appartenenti al Sintema di Cantù in facies di conoide mista, genericamente costituiti da ghiaie da fini a medie mal selezionate; ghiaie a supporto di clasti con intercalazioni di livelli più fini a supporto di matrice. Matrice sabbiosa da fine a grossolana.

Nelle immediate vicinanze dell'area, a circa 200 m a Ovest, è presente un sondaggio geognostico, la cui stratigrafia è reperibile dalla Banca Dati Geologica di Sottosuolo di Regione Lombardia (codice identificativo: B5D571800693).
Di seguito si riporta la stratigrafia di dettaglio:

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	4	4	TERRENO DI RIPORTO	ZR
2	4	12	8	GHIAIA E SABBIA	G S
3	12	15	3	SABBIA ARGILLOSA	S A
4	15	21	6	LIMO ARGILLOSO	L A
5	21	23	2	ARGILLA COMPATTA	A
6	23	24	1	SABBIA COMPATTA	S
7	24	28	4	SABBIA E GHIAIA COMPATTA	S G
8	28	30	2	GHIAIA E SABBIA	G S
9	30	36	6	GHIAIA	G
10	36	38	2	SABBIA PURA	S
11	38	44	6	ARGILLA	A
12	44	45	1	ARENARIA	S
13	45	60	15	LIMO ARGILLOSO	L A

L'analisi sismica ha permesso poi la costruzione di un modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità. Dall'inversione delle curve di dispersione ricavate dallo stendimento sismico si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Strato	Profondità (m)		Spessore (m)	Vs (m/s)
	da	a		
1	0,0	3,6	3,6	218
2	3,6	12,6	9	396
3	12,6	14,4	1,8	327
4	14,4	25,4	11	604
5	25,4	29,5	4,1	764
6	29,5	36,3	6,8	530
7	26,3	42,3	6	680

Profilo di velocità delle onde S.

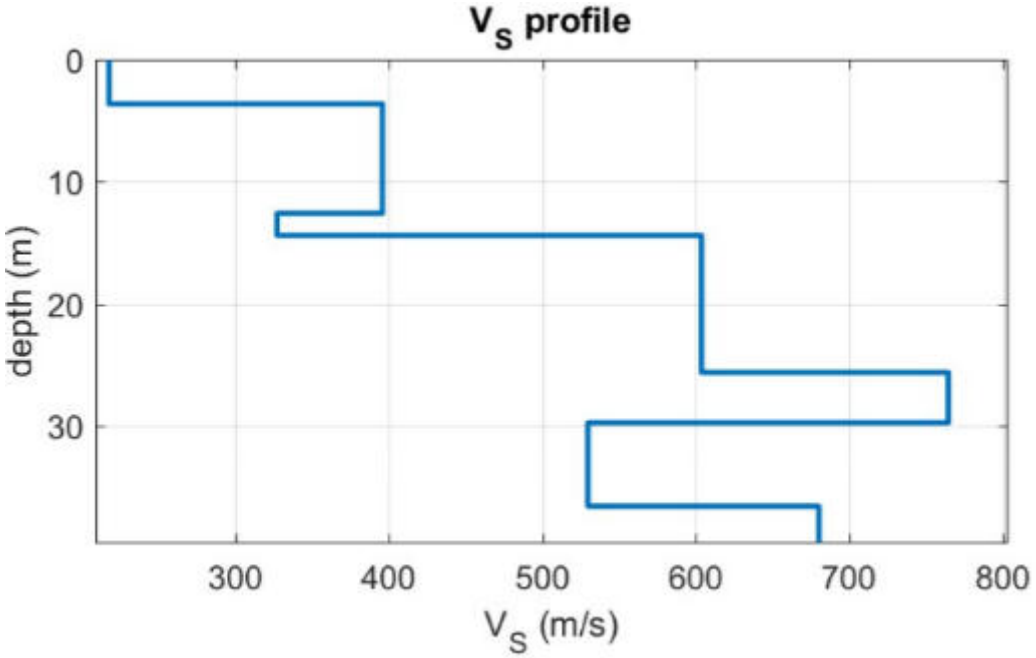
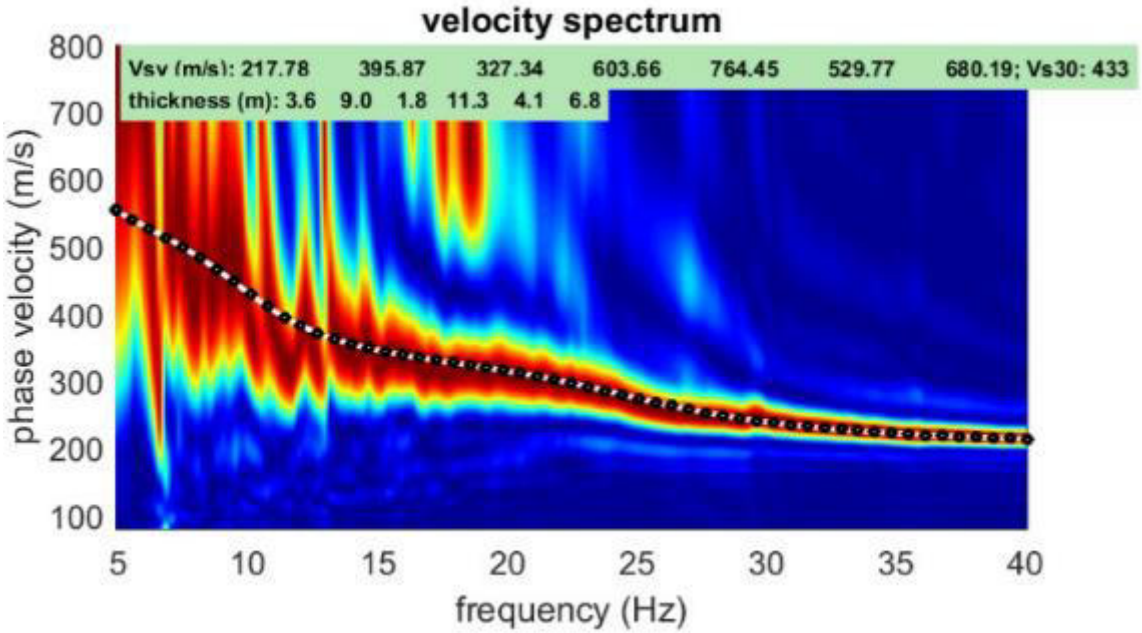


Grafico del profilo di velocità delle onde S.



Curva di inversione e dispersione

Non avendo raggiunto il bedrock sismico (Vs≥800 m/s) è stato elaborato un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da permettere il raggiungimento di 800 m/s.
Il bedrock sismico è stato raggiunto quindi alla profondità di 53,0 metri, delimitando uno strato di 10,7 metri di spessore e una Vs pari a 766 m/s (calcolata come media pesata dei valori di Vs dello strato).

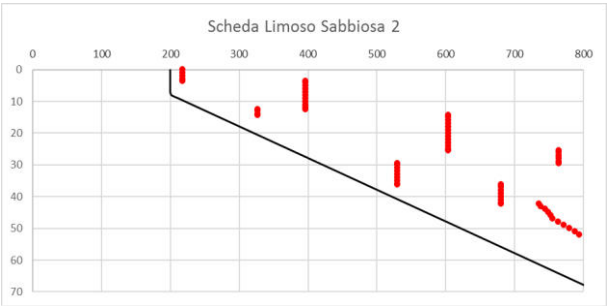
In base alla stratigrafia sismica è stato calcolato il valore di Vs_{30} che risulta pari a 433 m/s, a cui corrisponde una Categoria di sottosuolo **B** (tabella 3.2 II, D.M. 14/01/2008).

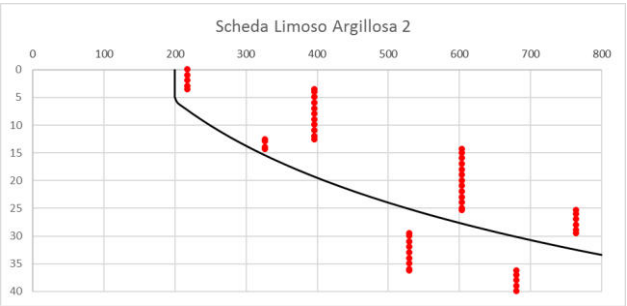
4.2.5.1. Scheda di valutazione di riferimento

Come già in precedenza richiamato, la Regione Lombardia propone una procedura semplificata per la valutazione dei Fattori di Amplificazione per lo scenario Z4. La normativa propone infatti una serie di schede di valutazione che correlano il Fattore di Amplificazione con il periodo proprio del sito T, calcolato sulla base dei dati geofisici ottenuti dalle analisi sismiche.

Riferendosi agli unici dati litologici prossimi all'area si ipotizza che la litologia prevalente presente nel sito sia costituita da alternanze di sabbie, limi e argille con intercalazioni ghiaiose; questo fa ricadere la scelta sulla scheda di valutazione limoso-argillosa o limoso-sabbiosa.

A questo punto è stata verificata la validità delle schede di valutazione individuate con l'andamento dei valori di Vs con la profondità.





Essendo in presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità è stata utilizzata la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile

a quella riscontrata nell'indagine, accettando anche i casi in cui i valori di Vs escono da campo di validità a causa dell'inversione. L'andamento delle Vs con la profondità si adatta però bene ad entrambe le schede di valutazione individuate, anche compatibilmente con il quadro geologico stratigrafico di riferimento.

Pertanto si è optato di fare riferimento, per la determinazione del Fattore di amplificazione, ad entrambe le schede di valutazione, **Limoso Sabbiosa di Tipo 2** e **Limoso Argillosa di Tipo 2**.

4.2.5.2. Curva T-Fa

In funzione della profondità e della curva delle velocità Vs dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, è stata scelta la curva più appropriata per la valutazione del valore del Fattore di Amplificazione (Fa).
Come strato superficiale è stato considerato lo spessore di 12,6 metri di materiali presenti subito al di sotto del piano campagna, a cui corrisponde una velocità media pari a 345 m/s; con questi valori la scelta è ricaduta sulla curva 3 (blu) del grafico T-Fa, per entrambe le ipotesi.

Profondità primo strato (m)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
200				2	1	1														
250				2	2	2	2	1	1	1										
300				3	3	3	3	2	2	2	2	1								
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3							
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Matrice per la scelta della curva più appropriata per il calcolo del Fattore di Amplificazione per la Scheda Limoso Argillosa Tipo 2.

Velocità primo strato (m/s) \ Profondità primo strato (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40	50	60
200				1	1	1	1	1	1	1												
250				2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1							
300				3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2						
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Matrice per la scelta della curva più appropriata per il calcolo del Fattore di Amplificazione per la Scheda Limoso Sabbiosa Tipo 2.

4.2.5.3. Calcolo del Periodo proprio del sito (T)

Il calcolo di T considera tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s con la seguente formula:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

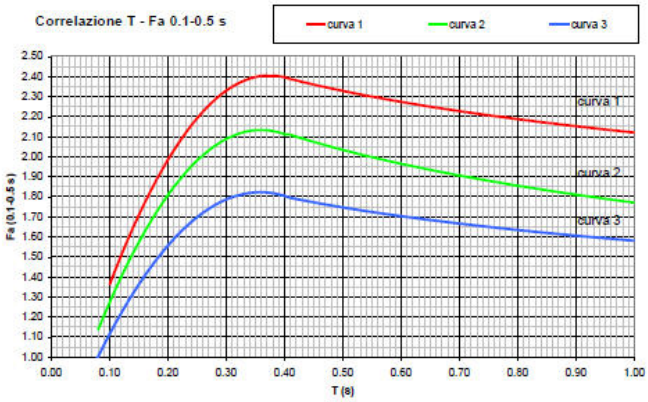
L'indagine sismica non ha raggiunto velocità comparabili con quelle del substrato sismico (Vs>800 m/s), pertanto è stato elaborato un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da permettere il raggiungimento di 800 m/s.

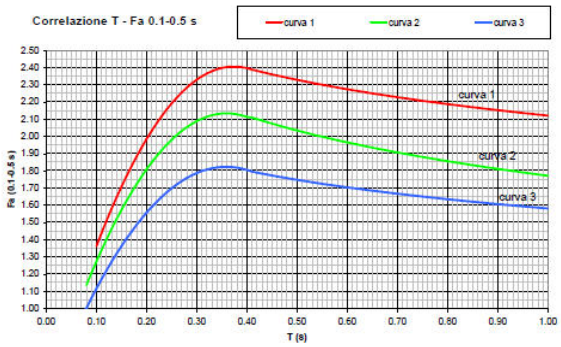
Il bedrock sismico è stato raggiunto quindi alla profondità di 53,0 m, delimitando uno strato di 10,7 m di spessore e una Vs pari a 766 m/s (calcolata come media pesata dei valori di Vs dello strato).

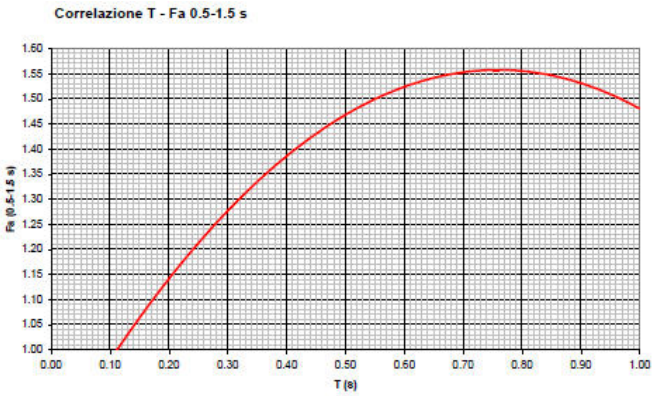
Sulla base della stratigrafia sismica completa è stato calcolato un valore del *periodo proprio del sito pari a 0,37 s*.

4.2.5.4. Fattore di amplificazione (Fa)

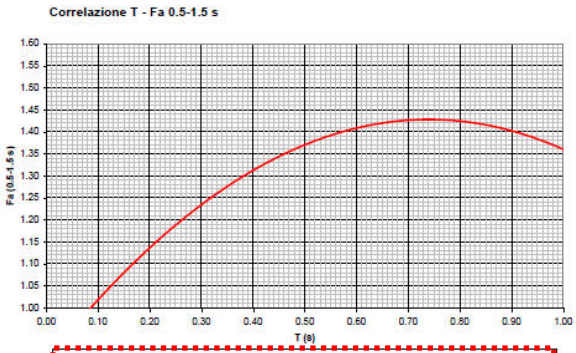
Il calcolo del Fattore di amplificazione, per i due periodi tipici 0,1-0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e 0,5-1,5 s (strutture più alte e più flessibili), è stato effettuato dall'applicazione delle formule o dalla lettura del grafico, considerando la curva T-Fa scelta e il periodo proprio del sito calcolato.







$$Fa_{0.5\ 1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$



$$Fa_{0.5-1.5} = -T^2 + 1.48T + 0.88$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

Scheda di valutazione Limoso Sabbiosa Tipo 2

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

Scheda di valutazione Limoso Argillosa Tipo 2

In relazione alla Scheda di valutazione Limoso Argillosa Tipo 2 i valori di Fa calcolati per i relativi periodi sono:

Fa (0,1-0,5 s) **1,9**

Fa (0,5-1,5 s) **1,4**

In relazione alla Scheda di valutazione Limoso Sabbiosa Tipo 2 i valori di Fa calcolati per i relativi periodi sono:

Fa (0,1-0,5 s) **1,9**

Fa (0,5-1,5 s) **1,5**

Il valore di Fa ottenuto tiene in considerazione una variabilità di +0,1, così come indicato nell'Allegato 5 alla d.g.r. IX/2616 del 30 novembre 2011.

4.2.6. Località Trescano

Il sito di indagine sismica è ubicato in località Trescano, nella porzione Sud orientale del territorio comunale; l'area si presenta pianeggiante e inserita nel tessuto urbano rado e nucleiforme (fonte: DUSAF IV – uso del suolo 2012).

È stata realizzata una stesa sismica lineare a 24 geofoni equidistanziati tra loro di 2 metri, per una lunghezza totale di 46 metri. Le energizzazioni sono state eseguite alle due estremità dello stendimento, a distanza di 5 e 10 metri dal primo geofono.

Località Trescano: traccia stesa sismica M.A.S.W. (in arancione) con indicata la posizione del primo (G1) e ultimo (G24) geofono.

L'area ricade nello scenario **Z4c** di Pericolosità Sismica Locale di I livello (cfr Tavola 4 Carta di Pericolosità Sismica Locale, Definizione della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio, aggiornamento aprile 2012; dott. geol. E. De Maron).

Dal punto di vista geologico, riferendosi al Foglio 097 Vimercate della Carta Geologica d'Italia, l'area è caratterizzata da depositi appartenenti al Sintema di Cantù in facies glaciale indifferenziato, genericamente costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice sabbioso limosa o clastico. Tali depositi ricoprono il substrato roccioso, con spessori variabili tra 3 e 15 metri, localmente il substrato roccioso risulta anche affiorante.

L'analisi sismica ha permesso la costruzione di un modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità. Dall'inversione delle curve di dispersione ricavate dallo stendimento

sismico si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Strato	Profondità (m)		Spessore (m)	Vs (m/s)
	da	a		
1	0,0	2,7	2,7	118
2	2,7	5,8	3,1	246
3	5,8	10,1	4,3	353
4	10,1	13,6	3,5	370
5	13,6	∞	∞	1070

Profilo di velocità delle onde S.

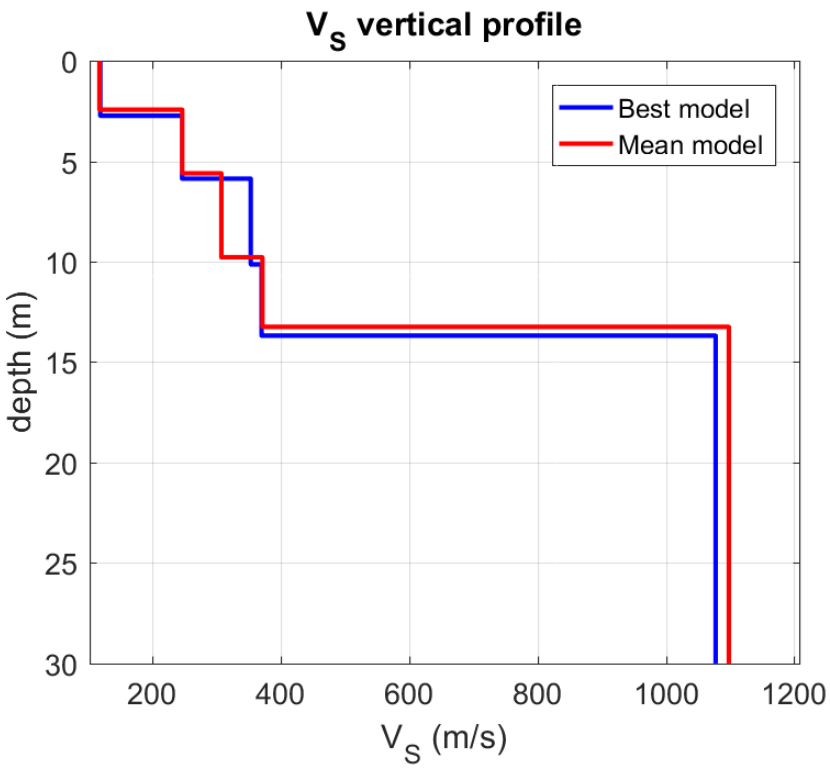
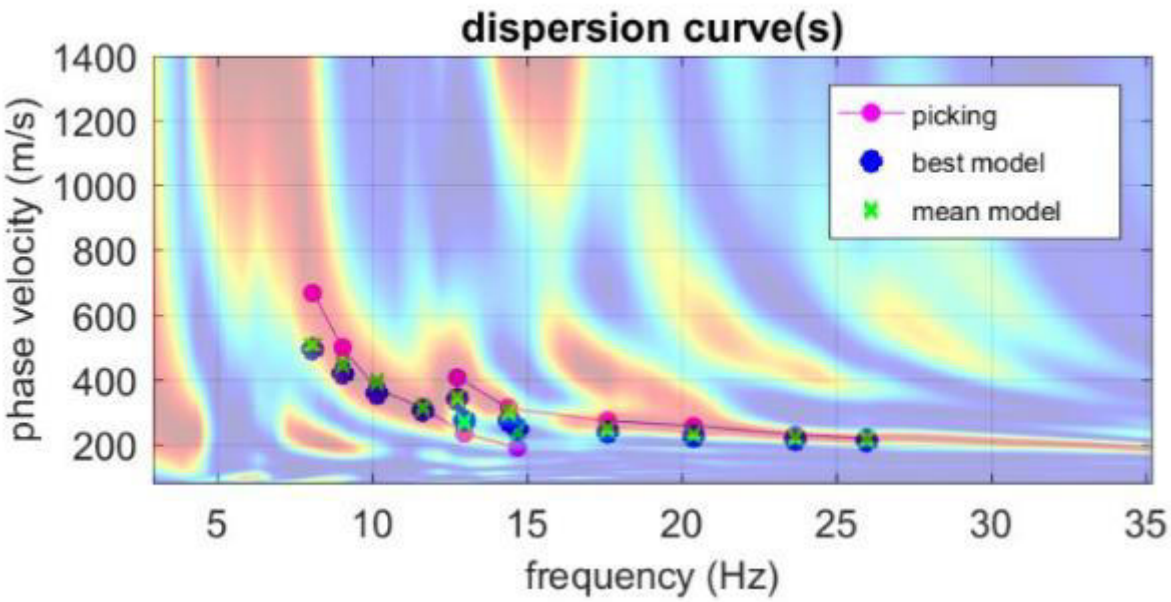


Grafico del profilo di velocità delle onde S.



Curva di inversione e dispersione

Dall'analisi della dispersione delle onde sismiche di taglio si può ragionevolmente presupporre che il substrato roccioso si trovi ad una profondità di 13,6 metri dal piano di indagine, in corrispondenza di un brusco aumento delle Vs.

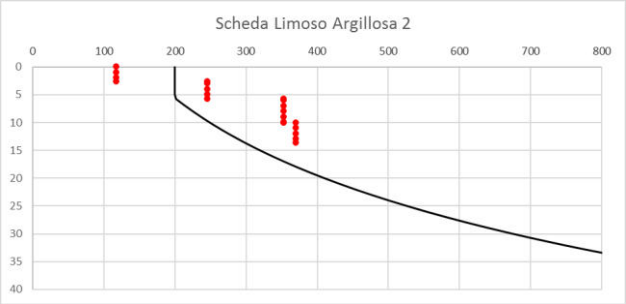
In base alla stratigrafia sismica è stato calcolato il valore di Vs_{30} che risulta pari a 415 m/s, a cui corrisponde una Categoria di sottosuolo **B** (tabella 3.2 II, D.M. 14/01/2008).

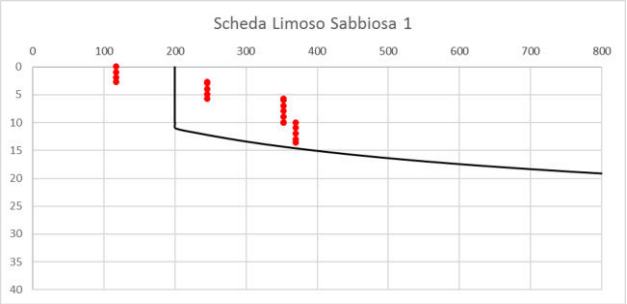
4.2.6.1. Scheda di valutazione di riferimento

Come già in precedenza richiamato, la Regione Lombardia propone una procedura semplificata per la valutazione dei Fattori di Amplificazione per lo scenario Z4. La normativa propone infatti una serie di schede di valutazione che correlano il Fattore di Amplificazione con il periodo proprio del sito T, calcolato sulla base dei dati geofisici ottenuti dalle analisi sismiche.

Riferendosi ai pochi dati litologici si ipotizza che la litologia prevalente presente nel sito sia costituita da sabbie limose con clasti.

A questo punto è stata verificata la validità delle schede di valutazione individuate con l'andamento dei valori di Vs con la profondità.





L'andamento delle Vs con la profondità (in questo ambito fino alla profondità di 13,6 m, oltre la quale si ipotizza la presenza di substrato roccioso con Vs>800 m/s), anche in relazione all'eterogeneità delle litologie presenti, è similare sia alla scheda di valutazione **Limoso Argillosa di Tipo 2** sia alla scheda di valutazione **Limoso Sabbiosa di Tipo 1**. Pertanto si è scelto di adottarle entrambe per il calcolo del Fattore di amplificazione (Fa).

4.2.6.2. Curva T-Fa

In funzione della profondità e della curva delle velocità Vs dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, è stata scelta la curva più appropriata per la valutazione del valore del Fattore di amplificazione (Fa).

Come strato superficiale è stato considerato lo spessore di 10,1 metri di materiali presenti subito al di sotto del piano campagna, a cui corrisponde una velocità media pari a 257 m/s; con questi valori la scelta è ricaduta sulla curva 2 (verde) del grafico T-Fa, per le due schede di valutazione considerate.

Profondità primo strato (m)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
200				2	1	1														
250				2	2	2	2	1	1	1										
300				3	3	3	3	2	2	2	2	1								
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3							
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Matrice per la scelta della curva più appropriata per il calcolo del Fattore di Amplificazione per la Scheda Limoso Argillosa Tipo 2.

Profondità primo strato (m)

Velocità primo strato (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
200				1	1	1	1	1	1	1	1	1						
250				2	2	2	2	2	2	1	1	1						
300				2	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2				
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Matrice per la scelta della curva più appropriata per il calcolo del Fattore di Amplificazione per la Scheda Limoso sabbiosa Tipo 1.

4.2.6.3. Calcolo del Periodo proprio del sito (T)

Il calcolo di T considera tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s con la seguente formula:

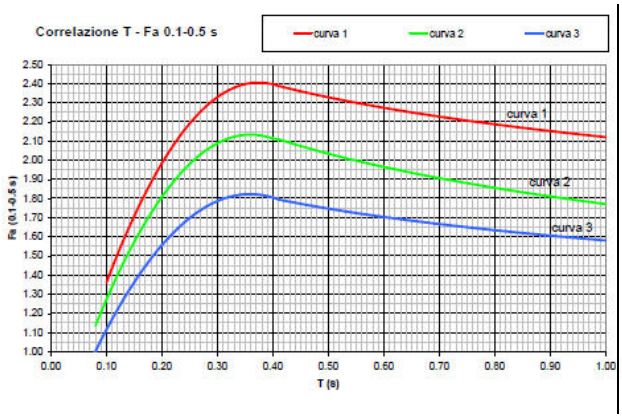
$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

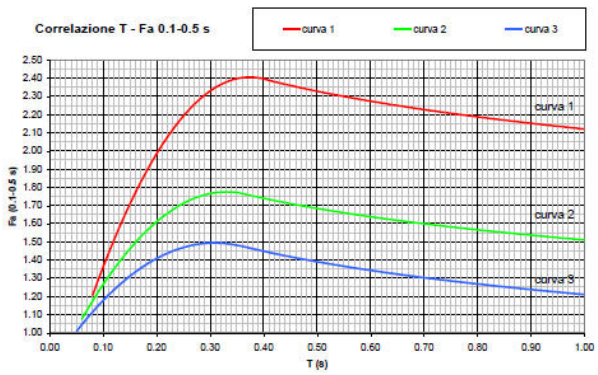
Il bedrock sismico (in questo ambito presumibilmente il substrato roccioso) è stato raggiunto alla profondità di 13,6 m.

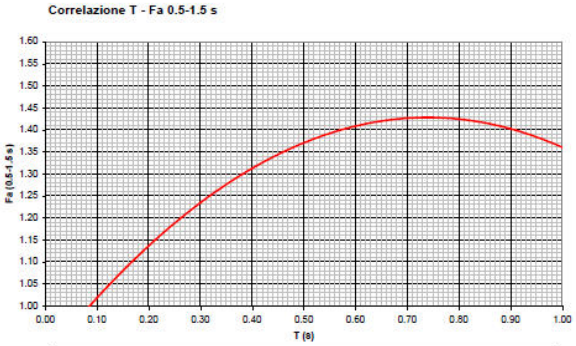
Sulla base della stratigrafia sismica completa è stato calcolato un valore del *periodo proprio del sito pari a 0,19 s.*

4.2.6.4. Fattore di Amplificazione (Fa)

Il calcolo del Fattore di Amplificazione, per i due periodi tipici 0,1-0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e 0,5-1,5 s (strutture più alte e più flessibili), è stato effettuato dall'applicazione delle formule o dalla lettura del grafico, considerando le curva T-Fa scelte e il periodo proprio del sito calcolato.



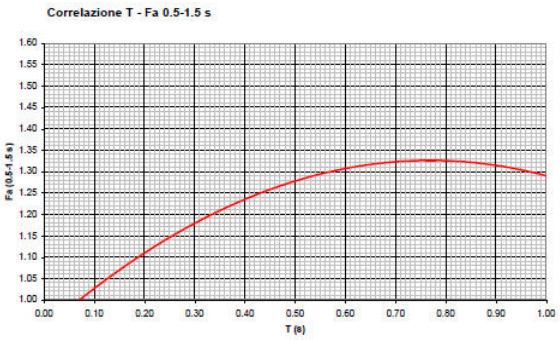




$$Fa_{0.5-1.5} = -T^2 + 1.48T + 0.88$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

Scheda di valutazione Limoso Argillosa Tipo 2



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.67T^2 + 1.03T + 0.93$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$

Scheda di valutazione Limoso Sabbiosa Tipo 1

In relazione alla Scheda di valutazione Limoso Argillosa Tipo 2 i valori di Fa calcolati per i relativi periodi sono:

Fa (0,1-0,5 s) **1,9**

Fa (0,5-1,5 s) **1,2**

In relazione invece alla Scheda di valutazione Limoso Sabbiosa Tipo 1 i valori di Fa calcolati per i relativi periodi sono:

Fa (0,1-0,5 s) **1,7**

Fa (0,5-1,5 s) **1,2**

Il valore di Fa ottenuto tiene in considerazione una variabilità di +0,1, così come indicato nell'Allegato 5 alla d.g.r. IX/2616 del 30 novembre 2011.

4.2.7. Vecchio Lavatoio

Il sito di indagine sismica è ubicato in prossimità del vecchio lavatoio, nella parte centro occidentale del territorio comunale, verso la sponda del lago di Annone; l'area è posizionata sulle pendici del versante che scende a lago e caratterizzata da boschi di latifoglie a densità media-alto (fonte: DUSAF IV – uso del suolo 2012).

È stata realizzata una stesa sismica lineare a 24 geofoni equidistanziati tra loro di 2 metri, per una lunghezza totale di 46 metri. Le energizzazioni sono state eseguite alle due estremità dello stendimento, a distanza di 5 e 10 metri dal primo geofono.

Vecchio Lavatoio: traccia stesa sismica M.A.S.W. (in arancione) con indicata la posizione del primo (G1) e ultimo (G24) geofono. Il pallino verde indica la posizione di sondaggi con stratigrafia

L'area ricade nello scenario **Z4c** di Pericolosità Sismica Locale di I livello (cfr Tavola 4 Carta di Pericolosità Sismica Locale, Definizione della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio, aggiornamento aprile 2012; dott. geol. E. De Maron).

Dal punto di vista geologico, riferendosi al Foglio 097 Vimercate della Carta Geologica d'Italia, l'area è caratterizzata da depositi appartenenti al Sintema di Cantù in facies glaciale indifferenziato, genericamente costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice sabbioso limosa o clastico.

Nelle immediate vicinanze del sito di indagine, secondo la Banca Dati di Sottosuolo di Regione Lombardia, sono disponibili dati stratigrafici di un sondaggio. Questa riporta la presenza di ghiaie e sabbie con argilla fino a 9,5 metri di profondità; al di sotto sono presenti conglomerati e dai 12 metri si rileva la presenza di substrato roccioso. Di seguito la stratigrafia:

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	9,5	9,5	GHIAIA E SABBIA CON ARGILLA	G S A
2	9,5	12,1	2,6	CONGLOMERATO DURISSIMO	G
3	12,1	25,7	13,6	ROCCIA FRATTURATA	BZ
4	25,7	82,6	56,9	SCISTI CARBONIOSI CON PASSAGGI DI QUARZO	BZ

L'analisi sismica ha permesso poi la ricostruzione di un modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità. Dall'inversione delle curve di dispersione ricavate dallo stendimento sismico si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Strato	Profondità (m)		Spessore (m)	Vs (m/s)
	da	a		
1	0,0	3,1	3,1	168
2	3,1	4,8	1,7	336
3	4,8	12,3	7,5	349
4	12,3	14,5	2,2	550
5	14,5	∞	∞	1000

Profilo di velocità delle onde S.

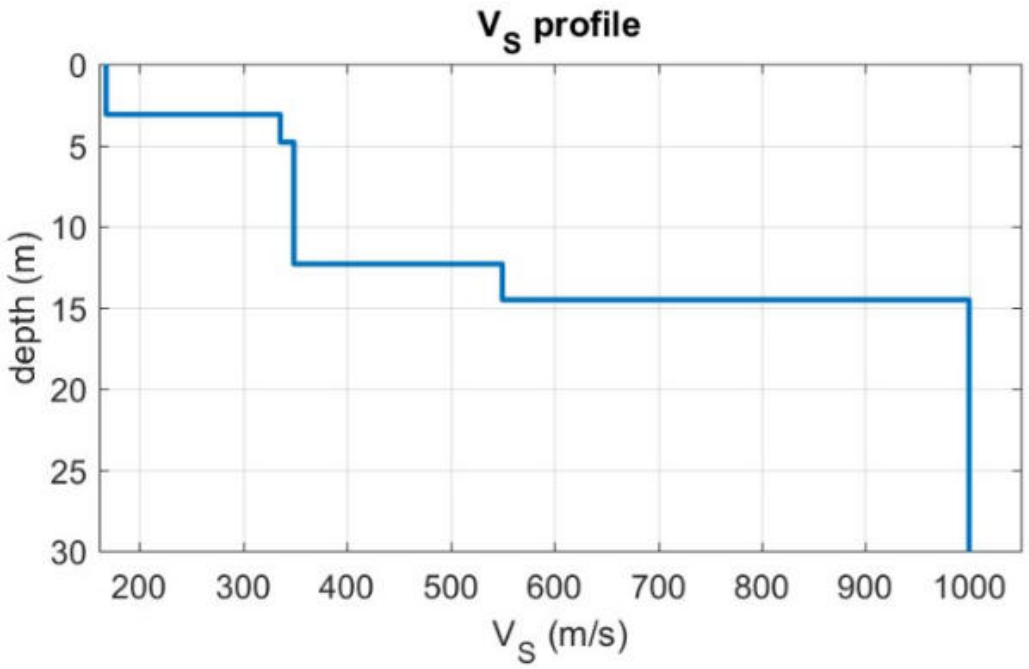
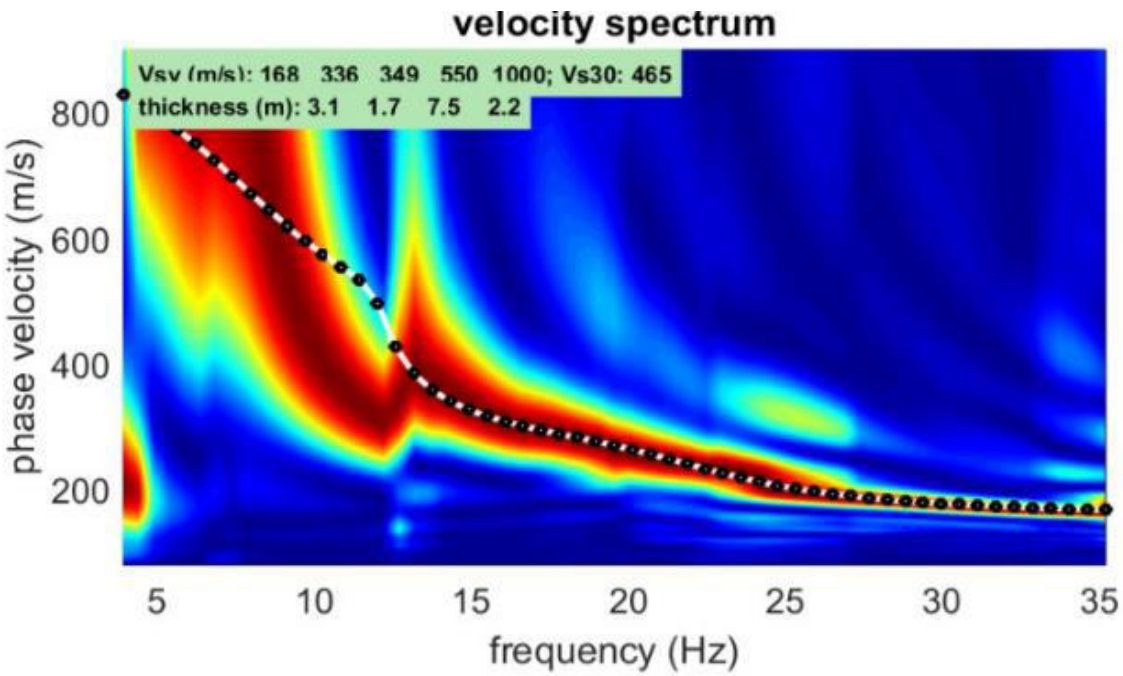


Grafico del profilo di velocità delle onde S.



Curva di inversione e dispersione

Dall'analisi della dispersione delle onde sismiche di taglio si può ragionevolmente presupporre che il substrato roccioso si trovi ad una profondità di 14,5 metri dal piano di indagine, in corrispondenza di un brusco aumento delle Vs, anche compatibilmente con la successione stratigrafica prossima al sito di indagine sismica.

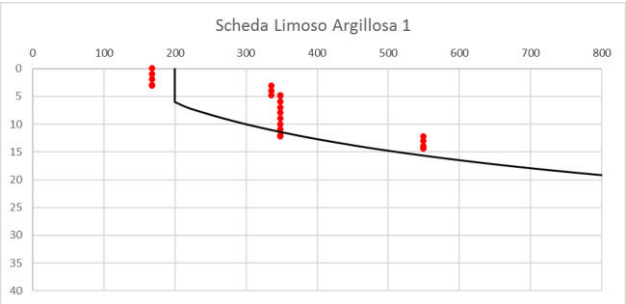
In base alla stratigrafia sismica è stato calcolato il valore di Vs_{30} che risulta pari a 465 m/s, a cui corrisponde una Categoria di sottosuolo **B** (tabella 3.2 II, D.M. 14/01/2008).

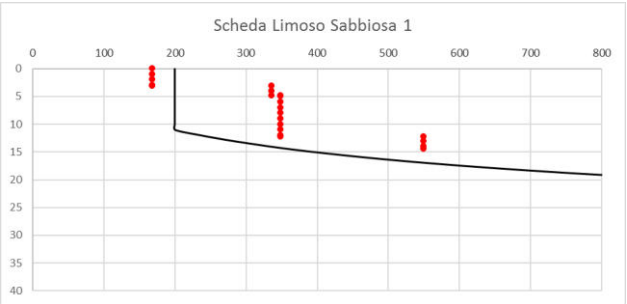
4.2.7.1. Scheda di valutazione di riferimento

Come già in precedenza richiamato, la Regione Lombardia propone una procedura semplificata per la valutazione dei Fattori di Amplificazione per lo scenario Z4. La normativa propone infatti una serie di schede di valutazione che correlano il Fattore di Amplificazione con il periodo proprio del sito T, calcolato sulla base dei dati geofisici ottenuti dalle analisi sismiche.

Riferendosi ai pochi dati litologici si ipotizza che la litologia prevalente presente nel sito sia costituita da sabbie limose con clasti.

A questo punto è stata verificata la validità delle schede di valutazione individuate con l'andamento dei valori di Vs con la profondità.





L'andamento delle Vs con la profondità (in questo ambito fino alla profondità di 14,5 m, oltre la quale si ipotizza la presenza di substrato roccioso con Vs>800 m/s), anche in relazione all'eterogeneità delle litologie presenti, è similare sia alla Scheda di Valutazione Limoso Argillosa di Tipo 1 sia alla Scheda di Valutazione Limoso Sabbiosa Tipo 1. Pertanto si è scelto di adottarle entrambe per il calcolo del Fattore di Amplificazione (Fa).

4.2.7.2. Curva T-Fa

In funzione della profondità e della curva delle velocità Vs dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, è stata scelta la curva più appropriata per la valutazione del valore del Fattore di Amplificazione (Fa).

Come strato superficiale è stato considerato lo spessore di 4,8 metri di materiali presenti subito al di sotto del piano campagna, a cui corrisponde una velocità media pari a 228 m/s; con questi valori la scelta è ricaduta sulla curva 2 (verde) del grafico T-Fa, per le due schede di valutazione considerate.

Velocità primo strato (m/s) \ Profondità primo strato (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18
200				1	1	1								
250				2	2	1								
300				2	2	2	2	2	2	2				
350				3	3	3	2	2	2	2	2			
400				3	3	3	3	3	3	3	3			
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3		
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3		
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Matrice per la scelta della curva più appropriata per il calcolo del Fattore di Amplificazione per la Scheda Limoso Argillosa Tipo 1.

Velocità primo strato (m/s) \ Profondità primo strato (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
200				1	1	1	1	1	1	1	1	1						
250				2	2	2	2	2	2	1	1	1						
300				2	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2				
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Matrice per la scelta della curva più appropriata per il calcolo del Fattore di Amplificazione per la Scheda Limoso Sabbiosa Tipo 1.

4.2.7.3. Calcolo del Periodo proprio del sito (T)

Il calcolo di T considera tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s con la seguente formula:

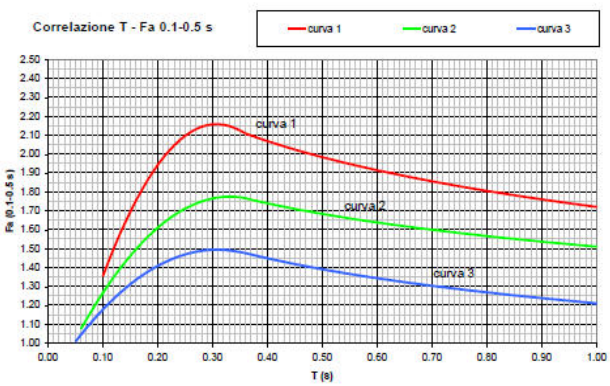
$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

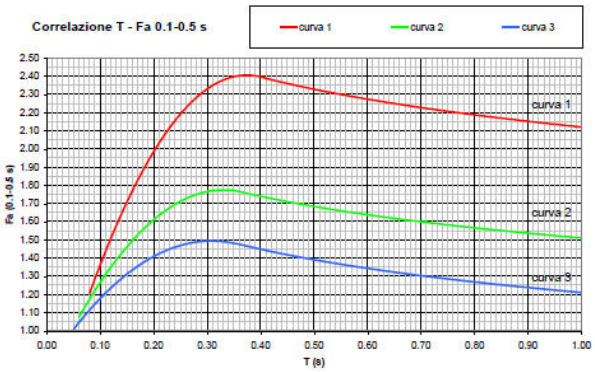
Il bedrock sismico (in questo ambito presumibilmente il substrato roccioso) è stato raggiunto alla profondità di 14,5 m.

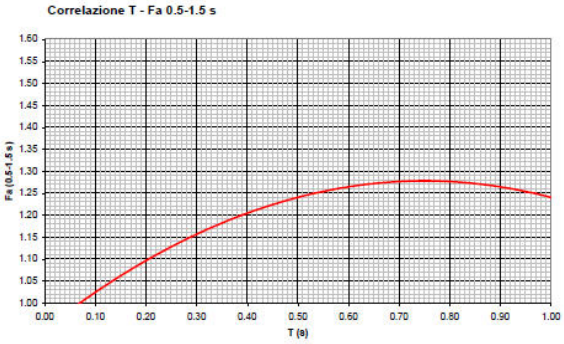
Sulla base della stratigrafia sismica completa è stato calcolato un valore del *periodo proprio del sito pari a 0,17 s*.

4.2.7.4. Fattore di amplificazione (Fa)

Il calcolo del Fattore di amplificazione, per i due periodi tipici 0,1-0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e 0,5-1,5 s (strutture più alte e più flessibili), è stato effettuato dall'applicazione delle formule o dalla lettura del grafico, considerando le curva T-Fa scelte e il periodo proprio del sito calcolato.



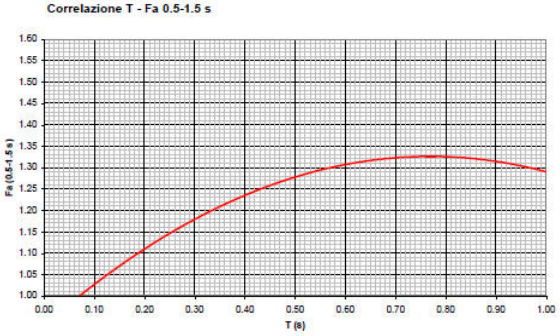




$$Fa_{0.5-1.5} = -0.6T^2 + 0.9T + 0.94$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -18.7T^2 + 11.5T + 0.39$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.72 - 0.38LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$

Scheda di valutazione Limoso Argillosa Tipo 1



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.67T^2 + 1.03T + 0.93$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$

Scheda di valutazione Limoso Sabbiosa Tipo 1

In relazione alla Scheda di valutazione Limoso Argillosa Tipo 1 i valori di Fa calcolati per i relativi periodi sono:

Fa (0,1-0,5 s) **1,6**

Fa (0,5-1,5 s) **1,2**

In relazione invece alla Scheda di valutazione Limoso Sabbiosa Tipo 1 i valori di Fa calcolati per i relativi periodi sono:

Fa (0,1-0,5 s) **1,6**

Fa (0,5-1,5 s) **1,2**

Il valore di Fa ottenuto tiene in considerazione una variabilità di +0,1, così come indicato nell'Allegato 5 alla d.g.r. IX/2616 del 30 novembre 2011.

4.2.8.Darsena

Il sito di indagine sismica è ubicato nella parte settentrionale del territorio comunale in prossimità della sponda lacustre (Darsena), tra la via Bagnolo a Sud e il lago di Annone a Nord; l'area si presenta pianeggiante e ad uso prati (fonte: DUSAF IV – uso del suolo 2012).

È stata realizzata una stesa sismica lineare a 24 geofoni equidistanziati tra loro di 3 metri, per una lunghezza totale di 69 metri. Le energizzazioni sono state eseguite alle due estremità dello stendimento, a distanza di 5, 10 e 20 metri dal primo geofono.

Darsena: traccia stesa sismica M.A.S.W. (in arancione) con indicata la posizione del primo (G1) e ultimo (G24) geofono. Il pallino verde indica la posizione di sondaggi con stratigrafia

L'area ricade nello scenario **Z4b** di Pericolosità Sismica Locale di I livello (cfr Tavola 4 Carta di Pericolosità Sismica Locale, Definizione della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio, aggiornamento aprile 2012; dott. geol. E. De Maron).

Dal punto di vista geologico, riferendosi al Foglio 097 Vimercate della Carta Geologica d'Italia, l'area è caratterizzata, superficialmente, da depositi appartenenti al Sintema del Po (Unità Postglaciale) in facies di conoide mista, genericamente costituiti da ghiaie a supporto clastico, sabbie e limi da massivi a laminati; a questi si intercalano depositi lacustri costituiti da limi e argille.

Nelle immediate vicinanze dell'area sono presenti due sondaggi geognostici, di cui è disponibile la stratigrafia (Banca Dati Geologica di Sottosuolo di Regione Lombardia, codici identificativi: B4D574951519, B4D574541543). I due sondaggi mostrano una prevalente componente a granulometria fini data da alternanze di sabbie limose e argille. Pur trovandosi a poca distanza l'una dall'altra mostrano però una differenza granulometrica nei primi 10 metri di profondità; in B4D574951519 sono presenti ghiaie, mentre in B4D574541543 sabbie limose con ciottoli.
In considerazione del contesto deposizionale in cui ci si trova è presumibile considerare la prevalente presenza di materiali fini già a partire dal piano campagna.
Inoltre in B4D574951519 è stato individuato il substrato roccioso a partire da 51 metri di profondità, mentre in B4D574541543 il substrato roccioso non è stato raggiunto (considerando che la massima profondità raggiunta dal sondaggio è di 55 metri).
Di seguito si riportano le stratigrafie di dettaglio rispettivamente di B4D574541543 e B4D574951519.

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	3,5	3,5	SABBIA LIMOSA ARGILLOSA GRIGIO NOCCIOLA CON GHIAIA E CIOTTOLI POLIGENICI	S L A G
2	3,5	4	0,5	SABBIA LIMOSA NOCCIOLA CON GHIAIA	S L G
3	4	10	6	SABBIA LIMOSA NOCCIOLA	S L
4	10	15	5	ARGILLA LIMOSA GRIGIA VARVATA	A L
5	15	32,5	17,5	ARGILLA LIMOSA COMPATTA GRIGIA CON GHIAIA E CIOTTOLI POLIGENICI	A L G GC
6	32,5	33	0,5	ARGILLA LIMOSA COMPATTA GRIGIA CON GHIAIA E CIOTTOLI POLIGENICI	A L G GC
7	33	35	2	SABBIA,GHIAIA E CIOTTOLI POLIGENICI SUBARROTONDATI	S G GC
8	35	38	3	ARGILLA MARRONE CON GHIAIA FINE	A G4
9	38	50,2	12,2	GHIAIA, CIOTTOLI POLIGENICI ARROTONDATI CON LOCALI CEMENTAZIONI	G GC
10	50,2	52,5	2,3	TROVANTI CON SABBIA E GHIAIA E SUBORDINATI CIOTTOLI SUBANGOLARI	GB S G GC
11	52,5	55	2,5	TROVANTI CON ARGILLA LIMOSA-SABBIOSA GRIGIA SOVRACONSOLIDATA E POCA GHIAIA	GB A L G

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	2,5	2,5	MATERIALE DI RIPORTO	ZR
2	2,5	10,5	8	GHIAIA CON ACQUA	G
3	10,5	11,5	1	ARGILLA GIALLA	A
4	11,5	12,5	1	GHIAIA	G
5	12,5	20	7,5	ARGILLA LIMOSA	A L
6	20	35	15	ARGILLA GRIGIA	A
7	35	44	9	GHIAIA E SABBIA CON ACQUA	G S
8	44	47,5	3,5	ARGILLA E CIOTTOLI	A GC
9	47,5	51	3,5	TROVANTI CON GHIAIA E ARGILLA	GB G A
10	51	55	4	ROCCIA MARNOSA	BM

L'analisi sismica ha permesso poi la costruzione di un modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, compatibile con il quadro stratigrafico locale. Dall'inversione delle curve di dispersione ricavate dallo stendimento sismico si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Strato	Profondità (m)		Spessore (m)	Vs (m/s)
	da	a		
1	0,0	6,4	6,4	130
2	6,4	10,7	4,3	210
3	10,7	14,9	4,2	348
4	14,9	32,9	18	384
6	32,9	38,9	6	531

Profilo di velocità delle onde S.

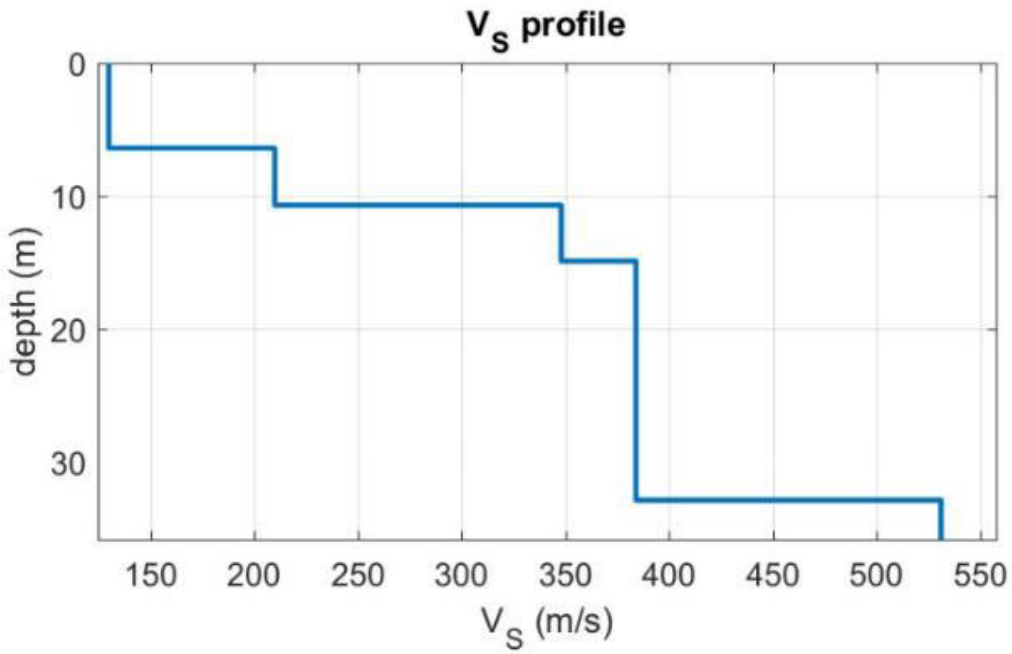
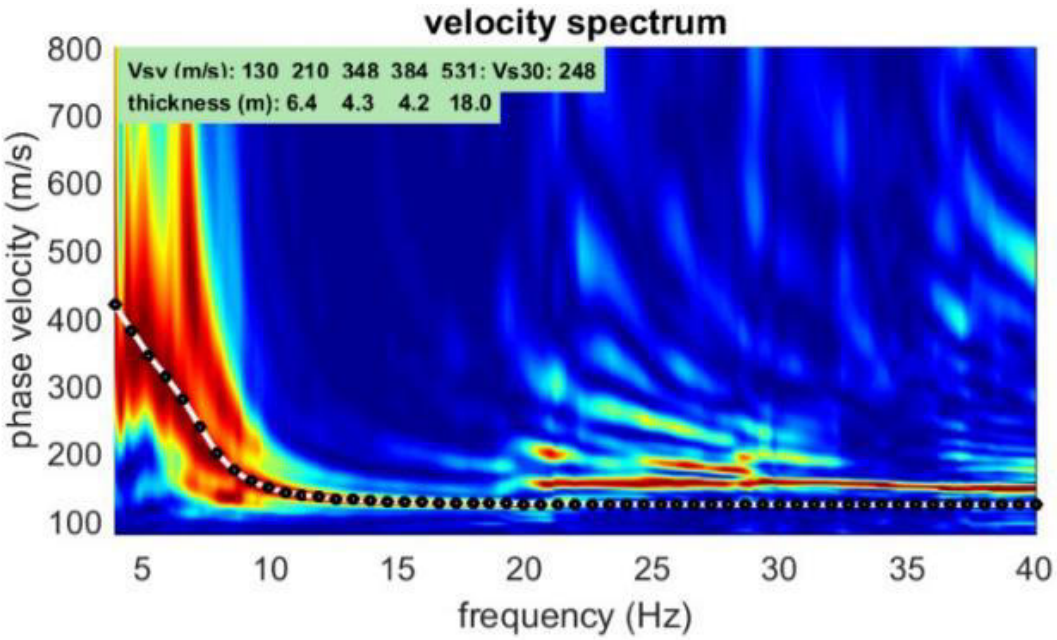


Grafico del profilo di velocità delle onde S.



Curva di inversione e dispersione

Non avendo raggiunto il bedrock sismico (Vs≥800 m/s) è stato elaborato un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da permettere il raggiungimento di 800 m/s.
Il bedrock sismico è stato raggiunto quindi alla profondità di 70,0 m, delimitando uno strato di 31,1 m di spessore e una Vs pari a 672 m/s (calcolata come media pesata dei valori di Vs dello strato).

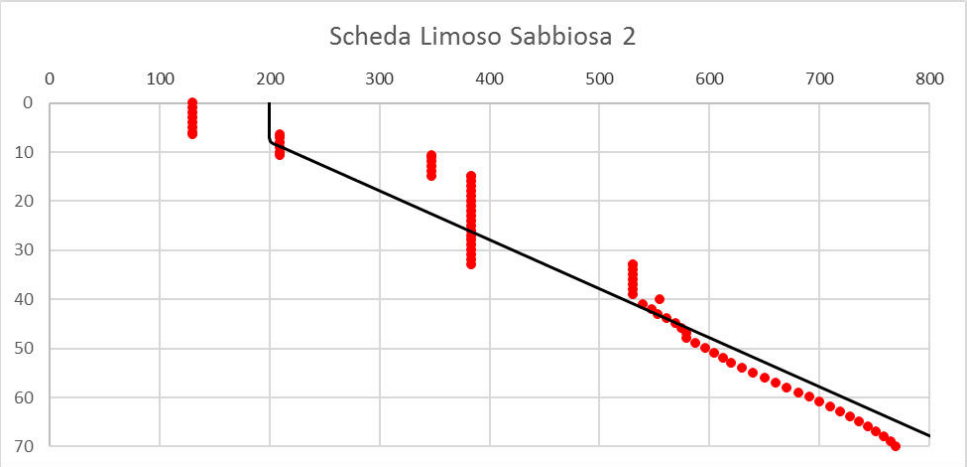
In base alla stratigrafia sismica è stato calcolato il valore di Vs_{30} che risulta pari a 248 m/s, a cui corrisponde una Categoria di sottosuolo **C** (tabella 3.2 II, D.M. 14/01/2008).

4.2.8.1. Scheda di valutazione di riferimento

Come già in precedenza richiamato, la Regione Lombardia propone una procedura semplificata per la valutazione dei Fattori di Amplificazione per lo scenario Z4. La normativa propone infatti una serie di schede di valutazione che correlano il Fattore di Amplificazione con il periodo proprio del sito T, calcolato sulla base dei dati geofisici ottenuti dalle analisi sismiche.

Riferendosi ai dati litologici prossimi all'area si ipotizza che la litologia prevalente presente nel sito sia costituita da alternanze di limi, argille e sabbie; questo fa ricadere la scelta sulla scheda di valutazione limoso-argillosa o limoso-sabbiosa.

A questo punto è stata verificata la validità delle schede di valutazione individuate con l'andamento dei valori di Vs con la profondità.



In base al profilo delle Vs la schelta è quella di riferirsi alla **scheda di valutazione Limoso Sabbiosa di Tipo 2**, più simile al profilo sismico individuato.

4.2.8.2. Curva T-Fa

In funzione della profondità e della curva delle velocità Vs dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, è stata scelta la curva più appropriata per la valutazione del valore del Fattore di amplificazione (Fa).

Come strato superficiale è stato considerato lo spessore di 14,9 metri di materiali presenti subito al di sotto del piano campagna, a cui corrisponde una velocità media pari a 214,5 m/s; con questi valori la scelta è ricaduta sulla curva 1 (rossa) del grafico T-Fa.

Profondità primo strato (m)

Velocità primo strato (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40	50	60
200				1	1	1	1	1	1	1												
250				2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1							
300				3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2						
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Matrice per la scelta della curva più appropriata per il calcolo del Fattore di Amplificazione per la Scheda Limoso Sabbiosa Tipo 2.

4.2.8.3. Calcolo del Periodo proprio del sito (T)

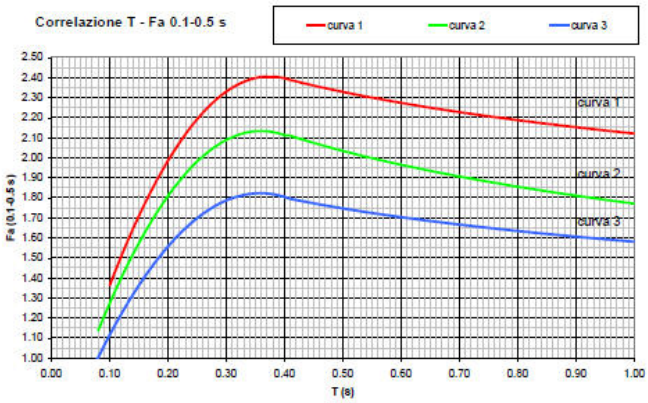
Il calcolo di T considera tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s con la seguente formula:

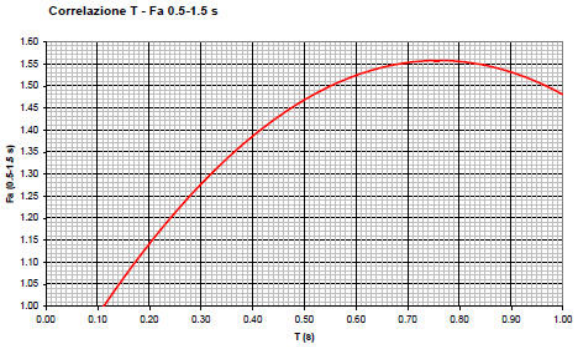
$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

L'indagine sismica non ha raggiunto velocità comparabili con quelle del substrato sismico (Vs>800 m/s), pertanto è stato elaborato un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da permettere il raggiungimento di 800 m/s.
Il bedrock sismico è stato raggiunto quindi alla profondità di 70,0 m, delimitando uno strato di 31,1 m di spessore e una Vs pari a 672 m/s (calcolata come media pesata dei valori di Vs dello strato).
Sulla base della stratigrafia sismica completa è stato calcolato un valore del *periodo proprio del sito pari a 0,57 s*.

4.2.8.4. Fattore di Amplificazione (Fa)

Il calcolo del Fattore di Amplificazione, per i due periodi tipici 0,1-0,5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e 0,5-1,5 s (strutture più alte e più flessibili), è stato effettuato dall'applicazione delle formule o dalla lettura del grafico, considerando la curva T-Fa scelta e il periodo proprio del sito calcolato.





$$Fa_{0.5\ 1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

In relazione alla Scheda di valutazione Limoso Sabbiosa Tipo 2 i valori di Fa calcolati per i relativi periodi sono:

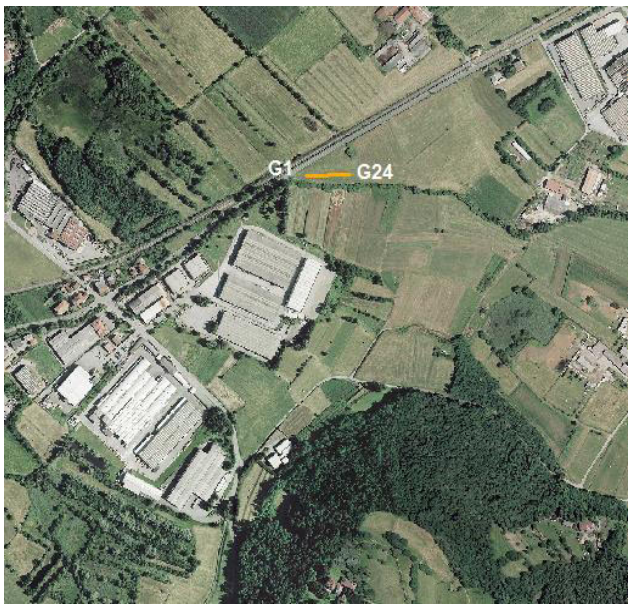
Fa (0,1-0,5 s) **2,4**

Fa (0,5-1,5 s) **1,6**

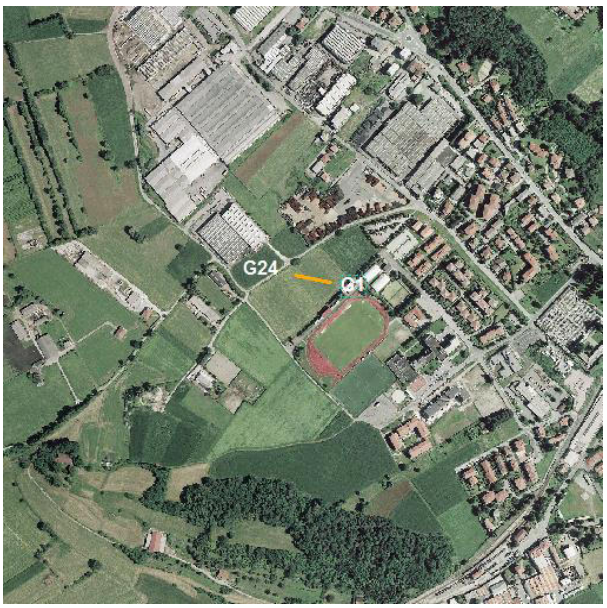
Il valore di Fa ottenuto tiene in considerazione una variabilità di +0,1, così come indicato nell'Allegato 5 alla d.g.r. IX/2616 del 30 novembre 2011.

4.2.9. Campo sportivo e torrente Gandaloglio

Come accennato in precedenza sono state eseguite altre due indagini geofisiche, una nelle vicinanze del campo sportivo e una in prossimità della sponda idrografica destra del Gandaloglio poco distante dal confine il Comune di Sirone. L'indagine ha qui avuto lo scopo di definire solo un valore medio rappresentativo del parametro Vs_{30} e della relativa categoria di sottosuolo. Questo perché la porzione di territorio comunale compresa tra la linea ferroviaria e il confine comunale con Annone Brianza appartiene allo scenario di Pericolosità Sismica Locale Z2, per il quale è previsto il diretto passaggio ad approfondimenti di III livello in fase progettuale, esulando dallo scopo del presente studio.



Torrente Gandaloglio: traccia stesa sismica M.A.S.W. (in arancione) con indicata la posizione del primo (G1) e ultimo (G24) geofono.



Campo sportivo: traccia stesa sismica M.A.S.W. (in arancione) con indicata la posizione del primo (G1) e ultimo (G24) geofono.

La determinazione del parametro Vs30 è stata ottenuta mediante la realizzazione di due stese sismiche a 24 geofoni equidistanziati di 3 metri, per una lunghezza di 69 metri. Le energizzazioni sono state eseguite alle due estremità dello stendimento, a distanza di 5 e 10 metri dal primo geofono.

In base alla stratigrafia sismica ottenuta è stato calcolato un valore di Vs_{30} che risulta variabile tra 242 m/s (torrente Gandaloglio) e 265 m/s (campo sportivo), a cui corrisponde una Categoria di sottosuolo **C** (tabella 3.2 II, D.M. 14/01/2008).

4.2.10. Approfondimento sismico di II livello area "REX"

Per completezza di analisi si riportano sinteticamente i risultati dell'approfondimento sismico di II livello realizzato per l'area REX di via Milano, contenuto nello studio della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del vigente Piano di Governo del Territorio (dott. geol. E. De Maron, aggiornamento aprile 2012).

L'area REX era stata individuata quale possibile ambito strategico di interesse comunale, rientrante nello scenario di Pericolosità Sismica Locale Z4a.

Le caratteristiche litologiche e geotecniche, individuate sulla base di indagini geotecniche pregresse, fanno rientrare i depositi in sito nella categoria di sottosuolo C con un valore di Vs media del primo strato pari a 196 m/s.

Per la verifica del Fattore di amplificazione è stata qui utilizzata la Scheda Litologica Sabbiosa, che meglio si avvicina alle caratteristiche litologiche del sito. Il volere di Fa calcolato per il periodo 0,1-0,5 s è pari a **1,62** (valore soglia comunale per terreni di categoria C pari a 1,8), mentre il valore di Fa per il periodo di 0,5-1,5 è pari invece a **1,66** (valore soglia comunale per terreni di categoria C pari a 2,4). Questo fa sì che i valori di Fa calcolati risultino inferiori al valore soglia comunale e che quindi la normativa sismica nazionale è sufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici locali.

4.2.11. Valutazione del grado di protezione

La valutazione del grado di protezione è stata effettuata confrontando i valori di Fa ottenuti con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune della regione e per le diverse categorie di suolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s.

Il parametro calcolato per ciascun comune della regione rappresenta il valore soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa nazionale risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

I valori soglia calcolati da Regione Lombardia per il Comune di Oggiono sono riportati nella tabella seguente:

	Valori soglia			
Categoria di Suolo	**B**	**C**	**D**	**E**
Periodo 0,1-0,5	1,4	1,8	2,2	2,0
Periodo 0,5-1,5	1,7	2,4	4,2	3,1

Di seguito vengono confrontati i valori di Fa calcolati con i valori soglia definiti da Regione Lombardia per il Comune di Oggiono, evidenziando in rosso il valore che supera la soglia corrispondente.

Parco del Peslago	**Valori soglia**	**Fa calcolati**
Categoria di Suolo	**B (Vs_{30}=386m/s)**	
Periodo 0,1-0,5	1,4	**2,1**
Periodo 0,5-1,5	1,7	**1,3**

Parco del Municipio	**Valori soglia**	**Fa calcolati**
Categoria di Suolo	**B (Vs_{30}=433m/s)**	
Periodo 0,1-0,5	1,4	**1,9**
Periodo 0,5-1,5	1,7	**1,5-1,4**

Località Trescano	**Valori soglia**	**Fa calcolati**
Categoria di Suolo	**B (Vs_{30}=417m/s)**	
Periodo 0,1-0,5	1,4	**1,9-1,7**
Periodo 0,5-1,5	1,7	**1,2**

Vecchio Lavatoio	**Valori soglia**	**Fa calcolati**
Categoria di Suolo	**B (Vs_{30}=465m/s)**	
Periodo 0,1-0,5	1,4	**1,6**
Periodo 0,5-1,5	1,7	**1,2**

Darsena	**Valori soglia**	**Fa calcolati**
Categoria di Suolo	**C (Vs_{30}=248m/s)**	
Periodo 0,1-0,5	1,8	**2,4**
Periodo 0,5-1,5	2,4	**1,6**

4.2.12. Analisi dei risultati

L'analisi di II livello ha permesso di definire, per ciascuna area campione, il valore del Fattore di amplificazione Fa per gli intervalli di periodo 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s, riferiti rispettivamente a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e a strutture più alte e più flessibili. Dal confronto con il corrispondente valore soglia regionale emerge quanto segue:

1. Per lo scenario Z4 di pericolosità sismica locale, interferente con l'urbanizzato e/o con le aree ad espansione urbanistica, per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s, il valore di Fa calcolato risulta sempre **superiore** al valore soglia regionale per la relativa categoria di sottosuolo. Pertanto la normativa nazionale **non è sufficiente** a tenere in considerazione i possibili effetti litologici di amplificazione locale.
2. Per lo scenario Z4 di pericolosità sismica locale, interferente con l'urbanizzato e/o con le aree ad espansione urbanistica, per l'intervallo di periodo 0,5-1,5 s, il valore di Fa calcolato risulta sempre **inferiore** al valore soglia regionale per la relativa categoria di sottosuolo. Pertanto la normativa nazionale è **sufficiente** a tenere in considerazioni i possibili effetti litologici di amplificazione locale.

5. SINTESI

A seguito della riclassificazione sismica del territorio regionale, con passaggio del Comune di Oggiono dalla zona sismica 4 alla zona sismica 3, si è reso necessario predisporre uno studio di approfondimento sismico esteso a tutto il territorio comunale negli ambiti di Pericolosità Sismica Locale potenzialmente soggetti ad amplificazioni litologiche.
Seguendo le direttive di Regione Lombardia è stato quindi realizzato uno studio di approfondimento sismico di II livello in termini di Fattore di amplificazione.

A completamento di un'analisi storica sulla sismicità del territorio e di dati geologico stratigrafici disponibili sul territorio è stata eseguita una campagna di indagine sismica con metodologia M.A.S.W. su aree campione rappresentative dello Scenario di Pericolosità Sismica (PSL I Livello) Z4.

I risultati dello studio mostrano che, per lo scenario Z4 (categorie Z4a e Z4c) il Fattore di amplificazione per periodo 0,1-0,5 risulta variabile tra 1,6 e 2,1 mentre per il periodo 0,5-1,5 il Fattore di amplificazione risulta variabile tra 1,2 e 1,5. Dalle stratigrafie sismiche si ricava anche che per tali ambiti la categoria si sottosuolo sia la B. Pertanto confrontando i valori calcolati con quelli soglia comunali relativi alla categoria di suolo B, si ricava che la normativa nazionale **non è sufficiente** a tenere in considerazione i possibili effetti litologici di amplificazione locale per strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide. La normativa nazionale è però **sufficiente** a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica per strutture più alte e più flessibili.

Per lo scenario Z4 (categoria Z4b) i risultati sono i medesimi, considerando una categoria di sottosuolo C e Fa con periodo 0,1-0,5 pari a 2,4 e Fa con periodo 0,5-1,5 pari a 1,6.

6. PROPOSTA DI MODIFICA ALLE NORME GEOLOGICHE DI PIANO

Alla luce di quanto emerso nel presente studio si propone di seguito una modifica/integrazione alle Norme Geologiche di Piano attualmente vigenti in ambito di progettazione sismica.

Avendo rilevato che, per strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, la normativa nazionale non risulta sufficiente a tenere in considerazione gli effetti litologici di amplificazione sismica locale, in fase di progettazione edilizia si dovrà effettuare un'analisi più approfondita (Allegato 5 D.G.R. n. IX/2016 par. 2.3 – 3° livello). I risultati dell'analisi di III livello dovranno essere utilizzati al fine di ottimizzare l'opera e gli eventuali interventi di mitigazione della pericolosità.

In alternativa è consentito utilizzare lo spettro di normativa caratteristico della categoria di suolo superiore, secondo il seguente schema:

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

Ai lavori relativi a opere pubbliche o private localizzate nelle zone dichiarate sismiche, comprese le varianti influenti sulla struttura che introducano modifiche tali da rendere l'opera stessa, in tutto o in parte, strutturalmente diversa dall'originale o che siano in grado di incidere sul comportamento sismico complessivo della stessa, di cui all'art. 93, comma 1, del D.P.R. 380/2001, si dovranno applicare, ai sensi della D.G.R. n. X/2015, le linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica, ai sensi degli artt. 3, comma 1 e 13 della L.R. 33/2015.

Prima dell'avvio dei lavori, essendo il Comune di Oggiono in zona sismica 3, si dovrà obbligatoriamente depositare tutta la documentazione relativa al progetto. Le istanze dovranno essere presentate compilando una modulistica on-line, attraverso un sistema informativo

appositamente dedicato. Per il primo anno, dall'entrata in vigore (30 marzo 2016) della normativa, sarà possibile, in alternativa al sistema informativo, presentare le istanze anche in formato cartaceo.

L'Amministrazione comunale dovrà effettuare sia un controllo sistematico degli interventi relativi a opere o edifici pubblici o, in genere, edifici destinati a servizi pubblici essenziali, ovvero progetti relativi ad opere comunque di particolare rilevanza sociale o destinate allo svolgimento di attività, che possono risultare, in caso di evento sismico, pericolose per la collettività sia un controllo "a campione" su tutti gli altri tipi di edifici.

Varese, marzo 2017

GeoSFerA

Studio Associato di Geologia

Dott. Geol. Ferruccio Tomasi Dott. Geol. Andrea Strini