

COMUNE DI CALVENZANO

**COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA
DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

in attuazione dell'Art. 57 L.R. 11 marzo 2005, n.12



**ADEGUAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL P.G.T.**

ai sensi della D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008

INDICE

1. COMPONENTE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE	2
1.1. Premessa	2
1.2. Terremoto di riferimento (imput sismico)	4
1.3. Analisi di primo livello	11
1.3.1. Metodologia analisi di primo livello	11
1.3.2. Risultati analisi di primo livello	12
1.4. Analisi di secondo livello	17
1.4.1. Metodologia analisi di secondo livello	17
1.4.2. Risultati analisi di secondo livello	22
1.5. Prescrizioni analisi sismica	26
2. ADEGUAMENTO CARTOGRAFIA ED ELABORATI GRAFICI COMPONENTE GEOLOGICA	29
2.1. Carta dei vincoli	29
2.2. Norme di fattibilità e carta di fattibilità delle azioni di piano	32

Proprietà degli elaborati

Gli elaborati dello studio resteranno di proprietà piena ed assoluta dell'Amministrazione comunale, fatti salvi i diritti d'autore (proprietà intellettuale – D.P.R. 184 del 12/04/2006) del professionista.

Bergamo, maggio 2009

Dott. Geol. Carlo Pedrali
O.G.L. 860

1

COMUNE DI CALVENZANO
COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PGT
in attuazione dell'Art. 57 L.R. 11 marzo 2005, n.12

Analisi della pericolosità sismica locale
ai sensi della D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008

1. COMPONENTE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

1.1. Premessa

La D.G.R. n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57 comma 1 della l.r. dell’11/03/2005 n.12” e la successiva D.G.R. n. 8/7374 del 28/05/2008, stabiliscono l’indispensabilità, per i Comuni di dotarsi di uno studio geologico che affronti tutti gli aspetti legati al territorio compreso quello della valutazione della pericolosità sismica locale.

Il comune di Calvenzano è già provvisto di componente geologica del territorio comunale “**Relazione Geologica Tecnica (L.R. 41/97)**” redatta in prima istanza nel giugno 2000 ai sensi della L.R. 41/97. Il documento ha ottenuto in data 03/09/2002 parere favorevole dalla competente struttura regionale con nota Z1.2002.38001.

La metodologia proposta per la valutazione della pericolosità sismica locale è descritta nell’**Allegato 5** alle delibere regionali sopracitate; essa consente di affrontare una prima valutazione degli effetti di sito e della amplificazione sismica locale.

La metodologia regionale prevede 3 livelli di studio a crescente grado di approfondimento, si passa rispettivamente dal 1° livello, dove ci si limita all’individuazione delle aree potenzialmente sensibili dal punto di vista dell’aspetto sismico, al 2° e 3° livello, dove viene effettuata una valutazione dell’effetto di amplificazione sismica (risposta sismica locale) in corrispondenza delle aree sensibili individuate nella prima fase d’indagine; la valutazione del fattore di amplificazione è di tipo semi-quantitativo per il secondo livello e di tipo quantitativo per il terzo.

Nel caso del comune di **Calvenzano**, comune classificato in **zona sismica 4** (pericolosità sismica di base secondo O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003), la normativa regionale prevede in fase di pianificazione, l’effettuazione del **1° livello** d’indagine in corrispondenza di tutto il territorio comunale (individuazione delle aree sensibili potenzialmente soggette a fenomeni di amplificazione sismica oppure a fenomeni indotti dall’evento - effetti cosismici). Tali aree sono riportate sulla **tavola n.1** allegata allo studio.

L’effettuazione del successivo **2° livello** di approfondimento per i comuni classificati in zona sismica 4 è discrezionale; tuttavia l’Amministrazione Comunale ha ritenuto utile effettuare verifiche

di secondo livello in corrispondenza di **tre** siti campione. I risultati ottenuti sono riportati sulla carta di **tavola n.2.**

Le verifiche di secondo livello si sono limitate alle aree edificate o di prossima edificazione, che l'analisi di primo livello aveva identificato come aree instabili per effetto di un input sismico oppure (**come nel caso in questione**) stabili ma soggette a possibili fenomeni di amplificazione topografica e morfologica tali da indurre danni agli edifici esistenti.

Per i comuni già dotati di studio geologico ai sensi della ex-l.r. 41/97, la delibera regionale sopra citata, prevede l'esclusiva valutazione della pericolosità sismica locale ad integrazione allo studio esistente.

La componente geologica idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio costituisce, nel suo complesso, una parte importante del Piano di Governo del Territorio, in particolare:

- il presente adeguamento dovrà essere inserito, assieme alla Componente geologica redatta ai sensi della L.R. 41/97, nel "**Documento di Piano**" che ha lo scopo di contenere tutti gli elementi conoscitivi del territorio comunale;
- la parte relativa alle fasi di sintesi/valutazione e di proposta della Componente geologica (**carta di sintesi, carta dei vincoli - tavola n.3, anno 2009, norme e prescrizioni geologiche di attuazione e Carta di fattibilità delle Azioni di Piano adeguamento + tavola n.4 anno 2009**), dovrà essere inserita, assieme alle **norme**, alle **prescrizioni** e alla **Carta di Pericolosità Sismica Locale**, nel "**Piano delle Regole**", che ha il compito una volta individuate le aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica, di individuare le norme e le prescrizioni a cui le medesime sono assoggettate, indirizzando così le future scelte di pianificazione urbanistica.

Lo studio in questione, mira quindi esclusivamente ad una prima valutazione della pericolosità sismica locale che rappresenta uno dei tre fattori indispensabili per la valutazione del rischio sismico.

Rischio = Valore Esposto * (Pericolosità * Vulnerabilità)

dove:

- Pericolosità (hazard) è la probabilità che il sito di studio ha di essere epicentro di un terremoto di una data magnitudo in un certo intervallo di tempo;

- Valore Esposto è il valore dell'insieme di persone e di cose presenti nell'area di studio;
- Vulnerabilità indica la capacità di resistenza all'imput sismico delle strutture esistenti. La vulnerabilità è la variabile più difficilmente quantificabile. Gli elementi fondamentali che condizionano la vulnerabilità sono principalmente l'instabilità dei suoli (frane e fenomeni di liquefazione) e gli effetti di sito e, secondariamente, la qualità intrinseca dell'edificio. Per effetti di sito si intende le possibili amplificazioni locali (fenomeni di risonanza dei terreni e di doppia risonanza terreno-edifici) delle onde sismiche dovute principalmente a condizioni locali di tipo geologico-geotecnico e di tipo topografico.

Lo studio in questione rappresenta quindi il punto di partenza per gli eventuali e successivi aggiornamenti che si potranno attuare ogni qual volta saranno individuate nuove aree di espansione urbanistica.

1.2. Terremoto di riferimento (imput sismico)

Per effettuare valutazioni relativamente agli effetti indotti da un sisma in un'area, occorre ipotizzare il verificarsi di un evento sismico con caratteristiche tali da essere statisticamente rappresentativo di quanto si è verificato in passato nell'area stessa e nel suo immediato intorno, occorre pertanto individuare il cosiddetto “**terremoto di riferimento**”.

Di seguito si allega un estratto dal Catalogo dei principali eventi sismici verificatisi in bergamasca e nelle vicinanze (fino ad esempio a 100 km di distanza da Calvenzano) a partire dal 217 a.C. e fino al 2002 d.C.

Estratto dal Catalogo degli eventi sismici CPT104, maggio 2004 (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani; <http://emidius.mi.ingv.it/CPT104/>)

Legenda

Codice CPTI04	descrizione	contenuto	Codice CPTI99	descrizione
N	numero d'ordine del record		N	numero d'ordine del record
Tr	tipo di record	DI: parametri calcolati da dati di base macrosismici; CP: parametri adottati da cataloghi parametrici	Tr	tipo di record
Anno	tempo origine: anno		Anno	tempo origine: anno
Me	tempo origine: mese		Me	tempo origine: mese
Gi	tempo origine: giorno		Gi	tempo origine: giorno
Or	tempo origine: ora		Or	tempo origine: ora
Mi	tempo origine: minuto		Mi	tempo origine: minuto
Se	tempo origine: secondo		Se	tempo origine: secondo
AE	denominazione dell'area dei massimi effetti		AE	denominazione dell'area dei massimi effetti
Rt	codice dell'elaborato di riferimento	vedi tabella 1	Rt	codice dell'elaborato di riferimento
Np	numero dei dati puntuali di intensità disponibili		Np	numero dei dati puntuali di intensità disponibili
Imx	intensità massima x 10 (scala MCS)		Imx	intensità massima x 10 (scala MCS)
Io	intensità epicentrale x 10 (scala MCS)		Io	intensità epicentrale x 10 (scala MCS)
TI	codice di determinazione di Io	M: valore assegnato manualmente	TI	codice di determinazione di Io
Lat	localizzazione epicentrale: latitudine in gradi sessagesimali-decimali		Lat	localizzazione epicentrale: latitudine in gradi sessagesimali-decimali
Lon	localizzazione epicentrale: longitudine in gradi sessagesimali-decimali		Lon	localizzazione epicentrale: longitudine in gradi sessagesimali-decimali
TL	codice di localizzazione	A: localizzazione macrosismica automatica M: localizzazione macrosismica manuale S: localizzazione strumentale	TL	codice di localizzazione
--			Me	Magnitudo equivalente
--			De	Errore associato alla stima di Me
--			Mm	Magnitudo macrosismica (calibrata a Ms)
--			Dm	Errore associato alla stima di Mm
--			Tm	Codice di determinazione di Mm
--			Ms	magnitudo calcolata sulle onde di superficie
--			Ds	errore associato alla stima di Ms
--			Ts	codice di determinazione di Ms
Maw	Magnitudo momento		--	
Daw	Errore associato alla stima di Maw		--	
TW	codice di determinazione di Maw	O valore osservato	--	
Mas	Magnitudo calcolata sulle onde di superficie	fino al 1980 coincide con Ma di CPTI99	Ma	Magnitudo media (calibrata a Ms)
Das	Errore associato alla stima di Mas	fino al 1980 coincide con Da di CPTI99	Da	Errore associato alla stima di Ma
TS	Codice di determinazione delle magnitudo per la zona etnea	En: valore per il calcolo del quale è stata usata la relazione Io/Mm di Azzaro e Barbano (1997)	--	
Msp	Magnitudo da utilizzare in combinazione con la relazione di attenuazione di Sabetta e Pugliese (1996)	per $M_s > 5.5$: $M_{sp} = M_s$ per $M_s \leq 5.5$: $M_{sp} = (M_s + 0.584) / 1.079$	--	
Dsp	Errore associato alla stima di Msp		--	
ZS9	Zona sorgente di ZS9 cui l'evento è assegnato		--	
TZ	Codice di assegnazione alla zona sorgente	G: assegnazione geografica A: assegnazione ponderata cautelativa	--	
Ncft	Numero progressivo dei record nel catalogo CFTI2		Ncft	Numero progressivo dei record nel catalogo CFTI2
Nnt	Numero d'ordine dei record nel catalogo NT4.1.1		Nnt	Numero d'ordine dei record nel catalogo NT4.1.1
Ncpt	Numero d'ordine del record nel catalogo CPTI99		--	

CPTI04 - Risultato dell'interrogazione per parametri

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (45.52, 9.7) e raggio 100 km

M	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Mp	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Mep	Dep	ES	TE	Mcft	Mnt	Mcpt
27	DI	1065	3	27	6			Brescia	CFTI	6	80	70	M	45.55	10.22	A	5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	907	G	90	248	27
43	DI	1197						Brescia	CFTI	8	65	65		45.55	10.22	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	907	G	107		43
47	DI	1222	12	25	11			Basso bresciano	CFTI	40	90	85	M	45.48	10.68	A	6.05	0.13		6.05	0.13		6.05	0.13	906	G	109	249	47
59	DI	1276	7	28	18	30		Italia settent.	CFTI	10	55	60		45.08	9.55	A	5.11	0.12		4.71	0.18		4.91	0.17	911	G	119	516	59
74	DI	1303	3	22	23			PIACENZA	DOM	1	55	55		45.052	9.693	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	911	G		517	74
113	DI	1383	7	24	20			PARMA	DOM	7	55	55		45.058	9.915	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	911	A		597	113
121	DI	1396	11	26				Monza	CFTI	2	75	75		45.58	9.27	A	5.37	0.30		5.10	0.45		5.27	0.42	907	A	168	281	121
130	DI	1409	11	15	11	15		Parma	CFTI	5	70	60	M	44.8	10.33	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G	173	598	130
144	DI	1438	6	11	20			Farmense	CFTI	12	80	80		44.85	10.23	A	5.62	0.17		5.47	0.26		5.61	0.26	913	G	181	599	144
159	DI	1465	4	6	21	30		VERONA	DOM	11	55	55		45.12	10.661	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19				238	159
165	DI	1471						BRESCIA	DOM	1	55	55		45.544	10.214	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	907	G		250	165
212	CP	1512	2	8				CHIAVENNA	VGL91		60			46.3	9.367	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36				2008	212
219	DI	1521	1	26	10	30		BRESCIANO	DOM	1	60			45.55	10.217	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	907	G		251	219
221	DI	1522	10	5	8			CREMONA	DOM	7	55	55		45.136	10.024	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19				2011	221
235	CP	1540	9	1				BRESCIA	POS85		60			45.533	10.217	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	907	G		252	235
264	DI	1572	6	4	22			PARMA	DOM	8	70	70		44.851	10.422	A	5.13	0.23		4.74	0.34		4.93	0.32	913	A		604	264
271	CP	1576	9	26	6			BERGAMO	POS85		60			45.667	9.667	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	907	G		282	271
284	DI	1593	3	8				BERGAMO	DOM	1	65	65		45.694	9.67	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	907	G		283	284
302	DI	1606	8	22				BERGAMO	DOM	1	65	65		45.694	9.67	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	907	G		284	302
322	CP	1623	2	20				CHIESA	VGL91		60			46.3	9.767	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	903	G		2014	322
333	DI	1628	11	4	15	15		PARMA	DOM	8	70	70		44.801	10.329	A	5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	913	G		608	333
346	DI	1642	6	13	22			BERGAMO	DOM	1	65	65		45.694	9.67	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	907	G		285	346
365	DI	1661	3	12				Montecchcio	CFTI	8	75	70		45.73	10.07	A	5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	907	G	261	286	365
411	DI	1693	7	6	9	15		GOITO	DOM	13	70	70		45.28	10.644	A	5.27	0.14		4.95	0.21		5.13	0.19	906	G		254	411
501	DI	1732	2	27				PARMA	DOM	1	60	60		44.801	10.329	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		611	501
511	DI	1738	11	5	30			PARMA	DOM	10	70	70		44.906	10.028	A	5.40	0.20		5.15	0.30		5.31	0.28	913	G		612	511
556	DI	1759	5	26	1	30		PAVIA	DOM	2	60	60		44.804	9.029	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	911	G		521	556
583	CP	1771	8	15				SARNICO	POS85		60			45.667	10	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	907	G		287	583
589	DI	1774	3	4				PARMA	DOM	2	60	60		44.801	10.329	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		613	589
620	DI	1781	9	10				CARAVAGGIO	DOM	1	65	65		45.497	9.644	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	907	G		288	620
631	DI	1783	7	28				VAL DI LEDRO	DOM	4	65	65		45.878	10.808	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	906	G		255	631
647	DI	1786	4	7				PIACENZA	DOM	8	70	65		45.298	9.595	A	5.31	0.16		5.01	0.24		5.18	0.22	911	A		522	647
686	DI	1799	5	29	19			CASTENEDOLO	DOM	12	65	65		45.403	10.271	A	5.06	0.18		4.64	0.27		4.84	0.25	906	G		256	686
694	DI	1802	5	12	9	30		Valle dell'Oglio	CFTI	66	85	80		45.42	9.85	A	5.67	0.09		5.54	0.13		5.54	0.13	907	G	355	289	694
714	DI	1810	5	1				MALCESINE	DOM	1	60	60		45.764	10.809	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	906	G		257	714
761	DI	1826	6	24	12	15		SALO'	DOM	19	55	55		45.6	10.517	M	4.74	0.11		4.16	0.17		4.40	0.16	906	G		258	761
776	DI	1828	10	9	2	20		Valle dello Staffora	CFTI	105	80	75		44.82	9.05	A	5.67	0.08		5.55	0.12		5.55	0.12	911	G	375	523	776
780	DI	1829	9	6	19	30		CREMONA	DOM	2	65	65		45.136	10.024	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45				2034	780
827	CP	1839	8	9	8	45		BAGNOLO MELLA	POS85		60			45.5	10.167	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	907	G		259	827
877	DI	1851	8	3				GIUDICARIE	DOM	15	60	60		45.938	10.561	A	4.96	0.17		4.49	0.26		4.70	0.24				260	877
950	DI	1866	8	11	23			MONTE BALDO	DOM	33	70	70		45.727	10.783	A	5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	906	G		261	950
956	DI	1868	2	20	20			GARDA OR.	DOM	3	65	60		45.709	10.774	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	906	G		262	956
957	DI	1868	5	22	21			ROVERETO	DOM	8	55	55		45.888	10.869	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19				241	957
1005	DI	1876	4	29	10	49		Monte Baldo	CFTI	25	75	70		45.75	10.78	A	4.99	0.13		4.53	0.19		4.74	0.18	906	G	424	263	1005
1021	DI	1877	10	1	7	27		MALCESINE	DOM	4	70	65		45.764	10.809	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	906	G		264	1021
1040	DI	1879	2	14				GARGNANO	DOM	6	55	55		45.607	10.536	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	906	G		265	1040
1076	DI	1882	2	27	6	30		ROVETTA	DOM	37	65	65		45.878	9.926	A	4.96	0.13		4.49	0.20		4.70	0.19	907	A		290	1076
1082	DI	1882	9	18	19	25		Monte Baldo	CFTI	7	70	70		45.72	10.77	A	5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	906	G	433	1082	
1099	DI	1884	9	12				FONTOGLIO	DOM	24	60	60		45.57	9.856	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	907	G		291	1099
1103	DI	1885	2	26	20	48		SCANDIANO	DOM	78	60	60		45.208	10.169	A	5.22	0.10		4.88	0.15		5.06	0.14				622	1103
1124	DI	1886	10	15	2	20		COLLECCHIO	DOM	44	60	60		44.75	10.366	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		623	1124
1131	CP	1887	5	20	4	12		OGGIONO	POS85		55			45.833	9.4	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19				301	1131
1171	DI	1891	6	15				PESCHIERA	DOM	35	60	60		45.43	10.767	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	906	G		266	1171
1180	DI	1891	12	22				SONDRIO	DOM	7	55	55		46.139	9.829	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	903	A		2050	1180
1181	DI	1892	1	5				GARDA OCC.	DOM	100	75	65		45.591	10.482	A	4.96	0.12		4.49	0.18		4.70	0.17	906	G		267	1181
1217	DI	1894	11	27																									

Un evento sismico viene comunemente rappresentato mediante grafici che prendono il nome di spettro di risposta o di accelerogramma, essi rappresentano l'oscillazione del suolo in ampiezza, frequenza e durata dell'evento sismico. L'individuazione del **terremoto di riferimento** è già stata effettuata dal Politecnico di Milano (per conto della Regione Lombardia) per tutti i comuni della Lombardia.

Per il territorio di Calvenzano si può fare riferimento alla banca dati regionale per acquisire gli accelerogrammi relativi all'evento significativo per il territorio comunale con vari tempi di ritorno.

Nella banca dati regionale sono disponibili rispettivamente:

- 6 accelerogrammi sintetici relativi ad eventi caratterizzati da un periodo di ritorno di 475 anni e riferiti alla categoria di suolo tipo A (bedrock o bedrock-like). Essi sono compatibili con il valore di a_{max} atteso nell'area;
- 6 accelerogrammi sintetici relativi ad eventi caratterizzati da un periodo di ritorno di 975 anni, riferiti alla categoria di suolo tipo A e compatibili con il valore di a_{max} atteso nell'area;
- i valori di soglia (S) relativi ad ogni comune lombardo valutati, in riferimento allo spettro di normativa, per i due intervalli di vibrazione rappresentativi delle tipologie costruttive più diffuse nella regione (periodo fondamentale di oscillazione $0,1 \leq T \leq 0,5$ sec e $0,5 \leq T \leq 1,5$ sec il primo riguarda gli edifici più bassi e regolari mentre il secondo riguarda gli edifici oltre i 5 piani) e per ogni categoria di sottosuolo. Essi sono contenuti nel file **soglie_lomb.xls**. Tali valori di soglia devono essere confrontati con il valore del Fattore di Amplificazione (f.a.) determinato effettuando le analisi di secondo livello o di terzo livello;

COMUNE	Intervallo di periodo T in sec	Valori soglia per cat. Sottosuolo			
		B	C	D	E
Calvenzano	0.1 - 0.5	1,4	1,9	2,2	2,0

COMUNE	Intervallo di periodo T in sec	Valori soglia per cat. Sottosuolo			
		B	C	D	E
Calvenzano	0.5 - 1.5	1,7	2,4	4,2	3,1

Tabella n. 1 Valori di soglia aggiornati al 28/05/2008 (Regione Lombardia).

- i valori del modulo di taglio normalizzato (G/Go) e del rapporto di smorzamento (D) in funzione dell'entità della deformazione (γ) (vedi il file: **curve_lomb.xls**) per vari tipi di terreno.

La normativa tecnica nazionale indica come rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica, lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%. Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione $T \leq 4$ sec ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

***Dott. Geol. Pedrali Carlo, via Borfuro n.2, 24122 Bergamo
Tel. 035/235559; Cell. 340/2392258***

La recente normativa nazionale (Norme tecniche costruzioni D.M. 14/01/2008; tabella n.1) fornisce inoltre i parametri di spettro di risposta elastico relativi ad ogni località del territorio italiano. Di seguito sono riportati i dati relativi al comune di Calvenzano nei 3 punti oggetto d'indagine sismica (per normali edifici residenziali).

Comune di Calvenzano Da Spettri - NTC (vers. 1.0.3) Consiglio Superiore Lavori Pubblici per edifici con Vn=50 anni e Cu=1
--

Sito A Scuola infanzia	lat	45,499	long	9,602
	Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività (SLO)	30	0,029	2,458	0,198
Danno (SLD)	50	0,037	2,498	0,215
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,101	2,446	0,275
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,132	2,462	0,282

Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)
30	0,029	2,458	0,198
50	0,037	2,498	0,215
72	0,044	2,471	0,229
101	0,052	2,460	0,241
140	0,060	2,471	0,257
201	0,070	2,458	0,265
475	0,101	2,446	0,275
975	0,132	2,462	0,282
2475	0,181	2,510	0,290

Sito B Scuola media	lat	45,496	long	9,599
	Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività (SLO)	30	0,029	2,459	0,198
Danno (SLD)	50	0,037	2,499	0,215
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,100	2,448	0,275
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,132	2,462	0,282

Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)
30	0,029	2,459	0,198
50	0,037	2,499	0,215
72	0,044	2,473	0,229
101	0,052	2,461	0,241
140	0,060	2,473	0,257
201	0,070	2,460	0,265
475	0,100	2,448	0,275
975	0,132	2,462	0,282
2475	0,181	2,510	0,290

Sito C Struttura Polivalente	lat	45,493	long	9,597
	Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività (SLO)	30	0,029	2,461	0,198
Danno (SLD)	50	0,037	2,500	0,215
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,099	2,453	0,276
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,130	2,463	0,283

Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)
30	0,029	2,461	0,198
50	0,037	2,500	0,215
72	0,044	2,480	0,228
101	0,051	2,463	0,241
140	0,059	2,478	0,257
201	0,069	2,465	0,265
475	0,099	2,453	0,276
975	0,130	2,463	0,283
2475	0,178	2,510	0,290

Tabella n. 2 Parametri di spettro (NTC). Con Tr= tempo di ritorno; ag=accelerazione orizzontale massima in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido orizzontale; Fo= valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, ha valore minimo pari a 2,2; T_c* = periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale .

Un evento sismico può indurre oltre a fenomeni di amplificazione sismica locale, effetti collaterali d'instabilità (**fenomeni cosismici**) quali: **frane, crolli e liquefazioni**.

I **fenomeni di amplificazione sismica** (effetti di sito – definizione risposta sismica locale) sono generati dall'interazione delle onde sismiche con la situazione morfologico-litologico-stratigrafica locale. Durante la propagazione della sollecitazione dinamica dal “bedrock” verso la superficie, si verificano una serie di modifiche del moto sismico originario (terremoto di riferimento – input sismico in corrispondenza del bedrock), in termini di ampiezza, durata e contenuto in frequenza. Tali modificazioni inducono talora effetti di superficie tali da risultare inaspettatamente più elevati rispetto all'energia rilasciata alla sorgente (ipocentro). Tale fenomeno prende il nome di amplificazione sismica.

E' possibile riconoscere due tipologie di amplificazione sismica, una legata alla conformazione topografica superficiale, l'altra legata alla sequenza litostratigrafia del sottosuolo:

- **fenomeni di amplificazione sismica locale legati alla topografia:** si verificano in terreni stabili quando sono presenti morfologie superficiali più o meno articolate e/o irregolarità topografiche in generale. Queste particolari condizioni geometriche favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche sulla superficie topografica a causa di fenomeni di riflessione in corrispondenza della superficie libera e dell'interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto; il tutto determina la conseguente amplificazione locale degli effetti. Tali condizioni si verificano in corrispondenza ad esempio di: creste, crinali o scarpate morfologiche;
- **fenomeni di amplificazione sismica locale legati alla litologia:** si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia, etc..) oppure laddove sono presenti profili stratigrafici costituiti da litologie con forti contrasti di impedenza ($\rho \cdot V_s$) o terreni di copertura che presentano marcate differenze di proprietà meccaniche con il sottostante bedrock.

Si possono così generare fenomeni d'intrappolamento delle onde all'interno dei depositi con esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse in superficie (amplificazione).

Oltre a questo fenomeno si possono verificare anche fenomeni di risonanza a causa della similitudine tra il periodo del moto sismico incidente e il periodo fondamentale di vibrazione del terreno.

1.3. Analisi di primo livello

1.3.1. Metodologia analisi di primo livello

La verifica di 1° livello consiste nell'esaminare dal punto di vista geo-litologico, geomorfologico e geotecnico il territorio comunale, consultando la cartografia e la documentazione bibliografica disponibile. Lo scopo è quello di accertare l'esistenza o meno di scenari come quelli riassunti nella sottostante tabella allegata alla normativa regionale ed attribuire tali scenari di pericolosità sismica alle zone omogenee individuate, sia che si tratti di zone potenzialmente soggette a fenomeni d'instabilità o che si tratti di zone soggette a possibili fenomeni di amplificazione sismica locale.

<i>Sigla</i>	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	<i>EFFETTI</i>
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili ecc.) Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	topografiche
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Tabella n.3 Scenari di pericolosità sismica locale

Per ogni scenario di pericolosità sismica locale così individuato (tabella n.3) la normativa regionale prevede la sua ubicazione e delimitazione sulla carta della pericolosità sismica locale (PSL, vedi **tavola 1** estesa a tutto il territorio comunale), e il confronto con la carta di Fattibilità geologica delle Azioni di Piano aggiornata (**Tavola n.4, 2009**) contenuta nel presente studio.

La carta della pericolosità sismica locale rappresenta il punto di partenza attuale e futuro per le

analisi di livello superiore.

Il riconoscimento degli scenari consente di definire per ogni area omogenea identificata, la necessità o meno dell'effettuazione del successivo livello d'indagine.

Secondo quanto previsto dalla normativa regionale per i comuni ricadenti in zona 4, le verifiche di 2° livello appaiono obbligatorie, in **fase pianificatoria** nelle zone a PSL Z3 e Z4, per gli edifici strategici e rilevanti (cfr. l'elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n.19904/03).

In **fase progettuale** le verifiche di 3° livello, risultano obbligatorie nelle zone Z3 e Z4 laddove le verifiche di 2° livello hanno accertato che il valore del fattore di amplificazione (F_a) calcolato, risulta superiore al valore di soglia fornito dalla regione Lombardia ($F_a > S$) per la categoria di sottosuolo in questione, oltre che per le zone PSL Z1, Z2 e Z5 (sempre per gli edifici strategici e rilevanti).

1.3.2. Risultati analisi di primo livello

Come detto sopra, la carta di Pericolosità Sismica Locale del comune di Calvenzano, prodotta in scala 1:5000 (tavola n.1), individua e delimita le zone omogenee che possono essere sede di fenomeni d'instabilità o soggette ad effetti di amplificazione sismica per i quali si rende necessaria la verifica di secondo e/o di terzo livello.

Nel caso del territorio comunale di Calvenzano sono state individuate le seguenti zone:

- **Zone Z2:** corrispondono alle aree dove sono presenti terreni suscettibili di cedimenti-assesamenti elevati in seguito ad un evento sismico.
Relativamente al fenomeno della liquefazione si riprende quanto riportato nelle Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 14/01/2008 al “Capitolo 7.11.3.4.2 ***Esclusione della verifica a liquefazione***”.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo **M inferiore a 5**;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) **minori di 0,1g**;
3. profondità media stagionale della falda **superiore a 15 m** dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{eIN} > 180$, dove: $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{eIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 7.11.1.a nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in figura 7.11.1.b nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Quando le condizioni n.1 e 2 non risultino soddisfatte, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni di esclusione 3, 4 e 5.

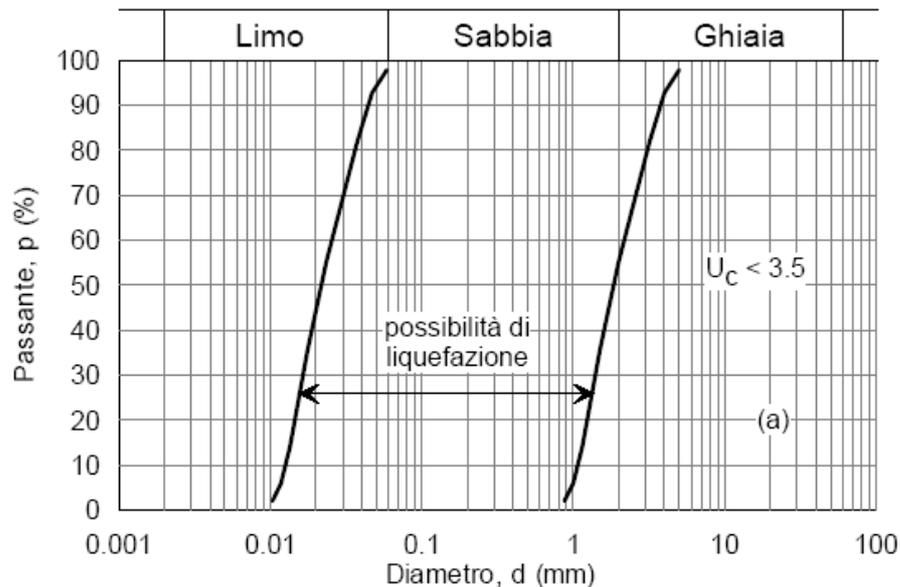


Figura n.1 (7.11.1.a)

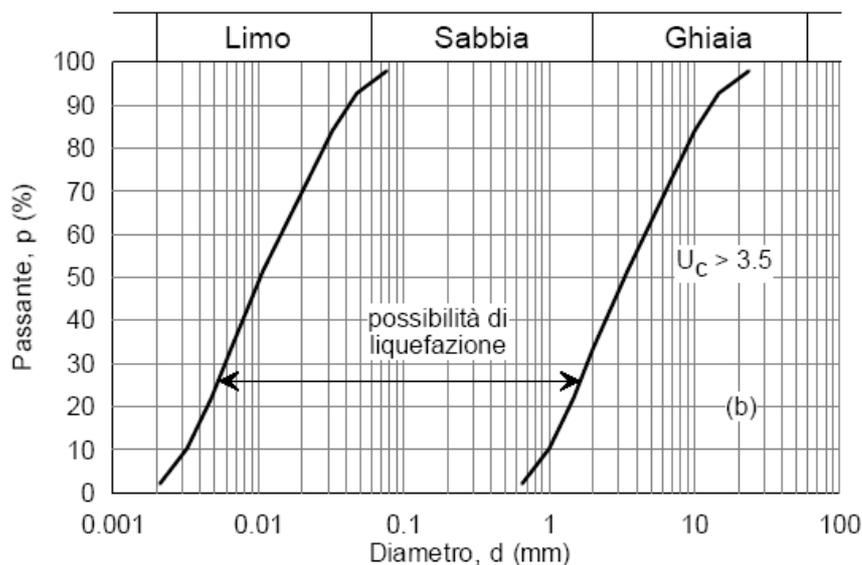


Figura n.2 (7.11.1.b)

Quando ad esempio **nessuna** delle condizioni sopra esposte risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità alle quali sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità d'interesse.

L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

Se si analizza la situazione del comune di Calvenzano considerando esclusivamente i fattori litologici-idrogeologici predisponenti, prescindendo quindi dalle caratteristiche di magnitudo e di durata del sisma, in base alle poche informazioni stratigrafiche disponibili **non può escludersi la possibilità dell'insorgenza del fenomeno di liquefazione** durante una sollecitazione sismica particolarmente intensa (sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie). La normativa regionale prevede valutazioni specifiche con analisi di 3° livello in fase progettuale (la normativa regionale indica a titolo esemplificativo la procedura di Crespellari del 1991. "La liquefazione del terreno in condizioni sismiche").

Tuttavia l'esame delle informazioni stratigrafiche disponibili, non ha evidenziato entro i primi 15 metri di sottosuolo, l'esistenza di frequenti e/o **spessi** livelli/lenti di sabbie da pulite a limose sature.

A conferma di ciò sono state raccolte le curve granulometriche relative a campioni effettuati per indagini geognostiche. Il loro andamento è stato confrontato con il fuso granulometrico (cfr. 2 linee rosse grosse) fornito dalle NTC (per $U_c > 3,5$). **Come è possibile notare la maggior parte dei campioni esce da tali limiti.**

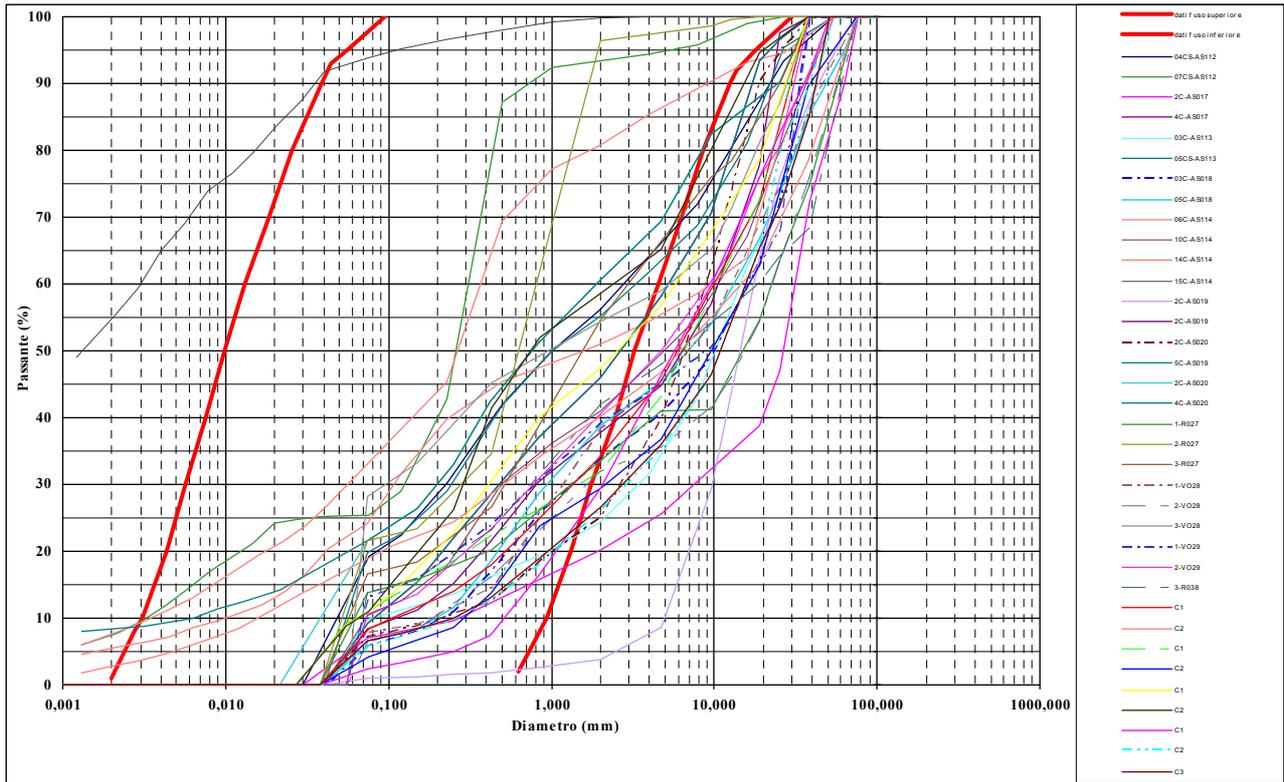


Figura n.3 Curve granulometriche di terreni presenti nel territorio comunale.

Ricadono in **zona Z2** anche le aree oggetto in passato di attività estrattive locali, le cui depressioni create dall'escavazione sono state successivamente colmate con terreni di riporto di varia natura. La loro originaria localizzazione, per quanto è stato possibile accertare, è stata riportata in carta.

- **Zone Z4a:** sono le zone di fondovalle/pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.

Nel caso di Calvenzano vale per tutta la superficie comunale; in corrispondenza di tutto il territorio comunale infatti, al di sotto di una copertura ridotta e di un primo strato di alterazione che raggiungono complessivamente uno spessore massimo di 3 metri a partire dal piano campagna, sono presenti ovunque terreni granulari (ghiaie e sabbie, ghiaie sabbiose a diverso grado di addensamento) sino a profondità superiori alla quindicina di metri. Tuttavia si è voluto distinguere **tre "aree tipo"** diverse tra loro per quanto riguarda le caratteristiche granulometriche (grado di alterazione e presenza o meno di depositi fini) dei terreni più superficiali compresi tra il p.c. e i primi 3 metri: **Zona a prevalente componente ghiaioso – (sabbiosa):**

Queste zone coincidono con la porzione occidentale del territorio comunale sino all'abitato. In queste aree non esistono particolari problematiche a parte l'eventuale presenza, in profondità, di livelli o di lenti di sabbie ghiaiose che dovrà essere accertata in fase esecutiva;

- **Zona a prevalente componente sabbioso ghiaiosa-(limosa):**

Queste zone coincidono con la porzione più orientale del territorio comunale. Laddove le indagini geognostiche pongono in evidenza, a partire dalla superficie, la

prevalenza della frazione sabbiosa (limosa) su quella ghiaiosa, si ritiene opportuno l'approfondimento della quota d'imposta delle fondazioni sino a raggiungere le sottostanti ghiaie e sabbie più addensate;

- **Zona a prevalente componente limoso argilloso sabbiosa:**

L'area dove prevalgono tali litologia, in relazione ai dati a disposizione è ristretta e confinata in corrispondenza della zona delle scuole elementari - medie. Non si è a conoscenza di altre situazioni simili, nell'ambito del territorio comunale.

In tale zona è importante l'approfondimento del piano di imposta delle fondazioni al di sotto di tali orizzonti fini. Tali terreni, durante un evento sismico particolarmente intenso, potrebbero essere soggetti a importanti fenomeni di assestamento e/o di cedimento legati all'insorgere di fenomeni di liquefazione.

Per le aree a pericolosità sismica locale (PSL) di tipo Z4 interferenti con l'urbanizzato e/o con aree di prevista espansione urbanistica (siti campione), si è proceduto ad effettuare l'ulteriore approfondimento previsto dalla procedura regionale (analisi di secondo livello).

1.4. Analisi di secondo livello

1.4.1. Metodologia analisi di secondo livello

La procedura messa a punto dalla Regione Lombardia che verrà in seguito utilizzata, fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

La verifica di secondo livello, con valutazione semiquantitativa del valore di amplificazione sismica attesa in corrispondenza del sito in esame avviene attraverso l'utilizzo di schede relative agli “**effetti morfologici**” e agli “**effetti litologici**” opportunamente predisposte dal Politecnico di Milano (allegato 5 alla D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008) per conto della Regione Lombardia.

Più precisamente sono state predisposte:

- scheda effetti morfologici – Scarpate – Scenario Z3a;
- scheda effetti morfologici – Creste – Scenario Z3b;
- scheda effetti litologici – Scenario Z4a - Litologia Ghiaiosa;
- scheda effetti litologici – Scenario Z4a - Litologia Sabbiosa;
- scheda effetti litologici – Scenario Z4a - Litologia Limoso-Sabbiosa Tipo 1 e Tipo 2;
- scheda effetti litologici – Scenario Z4a - Litologia Limoso-Argillosa Tipo 1 e Tipo 2;

Per il caso di Calvenzano, territorio pianeggiante privo di scarpate morfologiche o rilievi, le schede utilizzate sono esclusivamente quelle che riguardano gli effetti litologici. Per individuare la “scheda effetti litologici” più adatta ai terreni presenti, è necessario disporre:

- delle caratteristiche granulometriche e delle proprietà indice dei terreni presenti nel sottosuolo in esame. Tali caratteristiche devono essere confrontate con quelle indicate nelle schede disponibili ;
- del profilo della velocità delle onde di taglio V_s (m/s) con la profondità z (m) determinato sperimentalmente. Quest'ultimo deve essere sovrapposto e confrontato con il grafico omonimo riportato sulla scheda scelta. Più precisamente occorre verificare che il profilo sperimentale cada nel **campo di validità** delimitato dalla curva di riferimento V_s/z riportata sulla scheda scelta, per valori di V_s inferiori a 600 m/s;
- nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata, ma l'andamento delle V_s con la profondità non ricada nel capo di validità della scheda in esame, dovrà essere scelta un'altra scheda che presenti un andamento delle V_s con la profondità, più simile a quella sperimentale riconosciuta nel sito d'indagine.

Il valore del fattore di amplificazione, determinato mediante l'uso delle schede più appropriate al caso, deve essere confrontato con il **valore di Soglia** fornito dalla Regione Lombardia per il comune in questione (vedi tabella n. 1) Tale confronto consente di valutare il grado di protezione raggiunto utilizzando i parametri di normativa per la zona sismica in questione.

Il grado di precisione della metodologia di valutazione del fattore di amplificazione **f.a**, attraverso la procedura regionale, consente di determinare un numero approssimato alla prima cifra decimale (errore del +0,1); ciò è legato ad un certo grado di incertezza insito nella procedura di tipo semplificato.

Il **valore di soglia (S)** rappresenta quindi il numero limite oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta non sufficientemente cautelativo nei riguardi dell'amplificazione sismica realmente presente nel sito di studio.

Si possono presentare quindi due situazioni:

- laddove il valore di F_a determinato tramite scheda, risulta **inferiore** al valore di soglia corrispondente, la spettro di normativa è da considerarsi sufficientemente cautelativo e tale da poter comprendere gli effetti di amplificazione sismica locale.
Si applicano quindi i parametri di spettro forniti dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M. 14/01/2008) per la categoria di sottosuolo accertata;
- laddove il valore di F_a determinato risulta **superiore** al valore di soglia corrispondente, lo spettro di normativa è da considerarsi insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale, quindi in fase di progettazione edilizia è necessario effettuare o le analisi più approfondite di 3° livello o, in alternativa, utilizzare i parametri dello spettro della normativa nazionale caratteristici della categoria di sottosuolo più scadente. Lo spettro di norma da utilizzare in questo caso deve essere individuato scegliendo, in base al valore del $f.a.$ determinato, tra le diverse possibilità di seguito elencate:
 - anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C. Nel caso tuttavia in cui il valore di soglia fornito fosse ancora inferiore al valore fattore di amplificazione determinato, si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
 - nello stesso modo, anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
 - nello stesso modo, anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Al termine della analisi di secondo livello, in relazione ai risultati ottenuti dalle verifiche, sulla cartografia di tavola n.2 (carta del grado di pericolosità sismica) è stata riportata l'ubicazione dei siti campione scelti fra quelli individuati sulla carta di pericolosità sismica locale (tavola n.1), distinguendo tra i casi ove è avvenuto il supero del valore di soglia (indicati in rosso) e quelli ove

*Dott. Geol. Pedrali Carlo, via Borfuro n.2, 24122 Bergamo
Tel. 035/235559; Cell. 340/2392258*

non si è verificato (indicati in verde), rispettivamente per i due intervalli di periodo di vibrazione considerati.

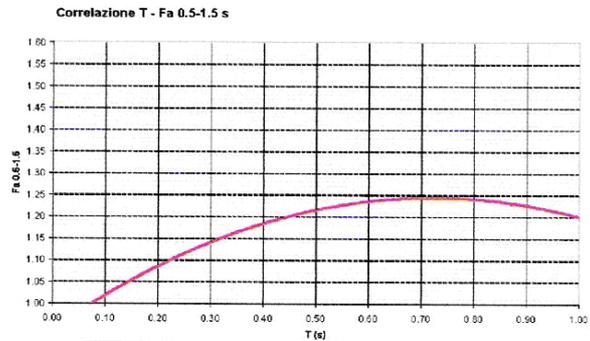
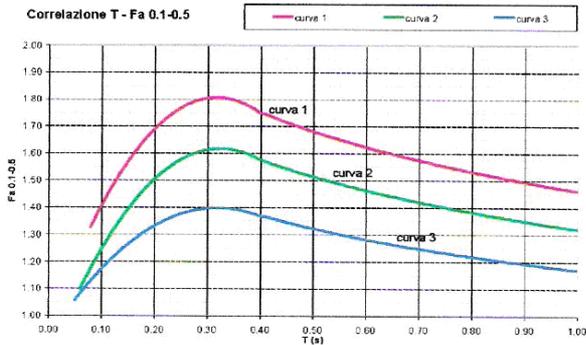
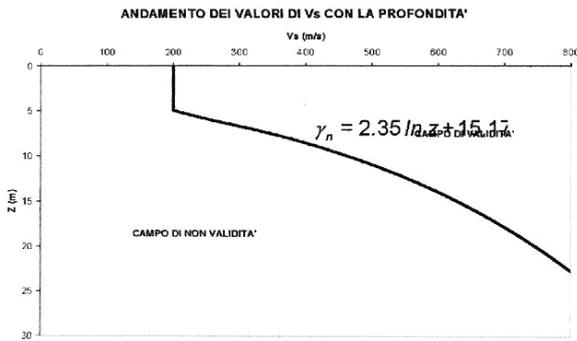
Per intervalli di periodo diversi da quelli considerati, sono necessarie indagini più specifiche.

SCHEDA EFFETTI LITOLOGICI – SCENARIO Z4a – LITOLOGIA GHIAIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
Da ghiaie e ciottoli con blocchi a ghiaie e sabbie limose debolmente argillose passando per ghiaie con sabbie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie con limo debolmente sabbiose e sabbie con ghiaie

NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Frazione ghiaiosa superiore al 35%
Frequenti clasti con $D_{max} > 20$ cm
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 65%
Matrice limoso - argillosa fino ad un massimo del 30% con frazione argillosa subordinata (fino al 5%)
Presenza di eventuali trovanti con $D > 50$ cm



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.58T^2 + 0.84T + 0.94$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.5T^2 + 5.4T + 0.95$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.46 - 0.32LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.4T^2 + 4.8T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.32 - 0.28LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.17 - 0.22LnT$

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

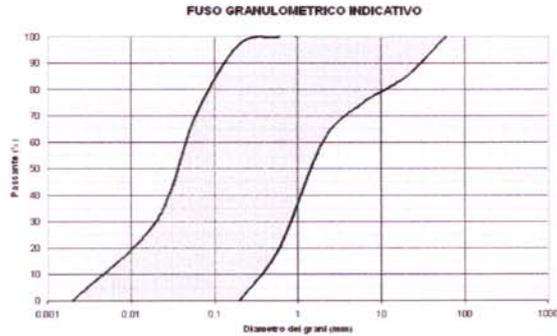
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

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

NOTE:

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



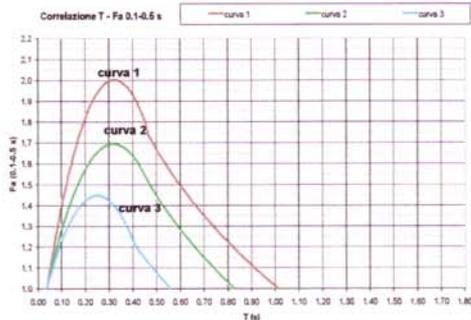
Profondità primo strato (m)	Profondità primo strato (m)																					
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200	2	1-2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA								
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA							
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA					
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA				
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA		
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA		

ove
la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1

CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5-12 m



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

Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -0.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

1.4.2. Risultati analisi di secondo livello

Occorre premettere che gli approfondimenti di 2° e 3° livello **non devono essere effettuati** in quelle aree che per situazione geologica, geomorfologica ed ambientale, o perché sottoposte a particolare vincolo normativo, **siano già state considerate inedificabili (classe di fattibilità 4)**. Inoltre per le aree a pericolosità sismica locale (PSL) Z1, Z2 e Z5 non è prevista l'analisi di 2° livello ma si passa direttamente all'analisi di 3° livello da attuarsi in fase progettuale.

Per quanto riguarda quindi le zone **Z4a** individuate in corrispondenza del comune di Calvenzano, si è proceduto ad effettuare analisi di secondo livello in tre siti campione.

Per la valutazione dei fattori di amplificazione (Fa) relativi agli effetti litologici, nel caso specifico di Calvenzano, è stata utilizzata la “**Scheda - Litologia Sabbiosa**” di recente introduzione.

La scelta dell'utilizzo nelle valutazioni del f.a. di tale scheda, è motivata dal fatto che, anche se, dal punto di vista granulometrico, i campioni di terreno prelevati a diversa profondità e sottoposti a classificazione granulometrica (in relazione alla documentazione bibliografica disponibile) rientrano per la maggior parte nel fuso delle “**ghiaie tipo**” indicato nell'allegato 5 della normativa regionale, il gradiente Vs/z disegna una curva che non rientra completamente nel campo di validità del grafico proposto dalla normativa per questi litotipi.

1.4.2.1. Verifica di secondo livello - effetti litologici

Per poter procedere alla verifica di secondo livello, relativamente agli aspetti legati alla litologia, in relazione a quanto indicato nella procedura regionale di tipo semplificato, si è proceduto:

- ad acquisire le informazioni disponibili di carattere stratigrafico, quali stratigrafie di sondaggi e pozzi della zona;
- ad acquisire i risultati delle indagini geognostiche effettuate in zona;
- a recuperare le analisi di laboratorio effettuate su campioni di terreno prelevati in zona;
- ad effettuare 3 indagini sismiche di tipo indiretto sia di tipo attivo (MASW) che di tipo passivo (Microtremori) ubicate, in accordo con l'ufficio tecnico comunale, in corrispondenza dell'area edificata.

In corrispondenza del territorio comunale di Calvenzano non sono disponibili indagini sismiche di tipo tradizionale a rifrazione o di tipo diretto come ad esempio Down Hole e Cross Hole.

I dati così acquisiti hanno consentito di completare il quadro delle informazioni richieste dalle schede degli effetti litologici e di poter affermare che i terreni oggetto di verifica e presenti nel territorio di Calvenzano, al di sopra del cosiddetto bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s), sono inquadrabili dal punto di vista del comportamento sismico generale come terreni a comportamento granulare e si pongono al limite tra la **categoria di sottosuolo B (Sito A e sito B) e sottosuolo C (Sito C)** come evidenziato nell'allegato 2 alla relazione.

Le informazioni acquisite hanno consentito di ricostruire modelli semplificati di sottosuolo, rappresentativi della sequenza stratigrafica in corrispondenza dei siti d'indagine geofisica. Nell'impossibilità di effettuare indagini geognostiche ad hoc, sono stati utilizzati preferibilmente dati stratigrafici derivanti da pozzi o da sondaggi. Si ritiene pertanto che l'attendibilità del dato sia da discreta a buona.

Di seguito sono riportati i valori dei parametri adottati per i 3 modelli interpretativi locali.

Sito A (zona scuola prima infanzia - nord est abitato)

strati	profondità (m)	litologia prevalente	N_{spt}	Dr (%)	ϕ m (°)	Valori parametri geotecnici		E' m (MPa)	Eed m (kg/cmq)
						Cu m (kg/cmq)	c' m (kg/cmq)		
strato A	0-1,8/2,7	sabbia e limo ghiaiosi	3 - 8	25 - 35	29 - 30	0,26 - 0,36	0,00	6 - 7	50 - 60
strato B	1,8/2,7->10	ghiaia e sabbia	>20	35 - 70	41	-	0,00	44 - 50	-

Sito B (zona scuole elementari e medie – zona centro abitato)

strati	profondità (m)	litologia prevalente	N_{spt}	Dr (%)	ϕ m (°)	Valori parametri geotecnici		E' m (MPa)	Eed m (kg/cmq)
						Cu m (kg/cmq)	c' m (kg/cmq)		
strato A	0-1,8/2,4	limo con sabbia ghiaioso	1 - 6	15 - 35	21 - 24	0,12 - 0,25	0,00	3 - 5	23 - 47
strato B	1,8/2,4->10	ghiaia e sabbia	>15	35 - 70	39 - 43	-	0,00	42 - 55	-
strato C	a div. prof.tà	lenti sabbiose intercalate	3 - 9	20 - 35	31 - 32	-	0,00	9 - 11	-

Sito C (zona centro polifunzionale – zona centro ovest abitato)

strati	profondità (m)	litologia prevalente	N_{spt}	Dr (%)	ϕ m (°)	Valori parametri geotecnici		E' m (MPa)	Eed m (kg/cmq)
						Cu m (kg/cmq)	c' m (kg/cmq)		
strato A	0-1,8/2,7	sabbia fine limoso ghiaiosa	5 - 12	30 - 40	24 - 30	0,00	0,00	5 - 10	-
strato B	1,8/2,7->12,6	ghiaia e sabbia	>15	40 - 80	39 - 41	0,00	0,00	38 - 50	-

Tabelle n.4, 5 e 6 Proprietà geotecniche dei terreni individuati.

Ad ogni modello stratigrafico-geotecnico interpretativo è stato associato, in relazione ai dati a disposizione e ai risultati ottenuti con le indagini sismiche, un modello geofisico (litologia/velocità onde di taglio/profondità) di cui gli elementi salienti sono riportati nell'allegato n.1.

Per ogni sito è stato calcolato il valore del periodo fondamentale di risonanza del terreno (**To**) (vedi formula [2] riportata nell'allegato 2) partendo dal valore di velocità delle onde di taglio e di spessore

di ciascun strato individuato dal modello geofisico ricostruito.

Punto di verifica	Periodo fondamentale (To)
Zona A	0,5225 sec
Zona B	0,564 sec
Zona C	0,615 sec

Tabella n. 7 Stima del valore del periodo di vibrazione fondamentale dei terreni studiati.

In relazione ai dati bibliografici resisi disponibili (soprattutto in funzione delle caratteristiche stratigrafiche, delle caratteristiche granulometriche e delle proprietà indice dei terreni), all'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità e dello spessore del primo strato significativo a partire dalla superficie, è stato possibile valutare il valore di F.a. che caratterizza tali sequenze.

I valori di F.a. così ottenuti e riportati nella tabella sottostante, sono stati confrontati con il valore di **soglia regionale**:

Punto di verifica	0,1-0,5 sec		0,5-1,5 sec	
	Fa abaco	Soglia in (f) cat. sottosuolo	Fa abaco	Soglia in (f) cat. Sottosuolo
Zona A	1,40	1,4 + 0,1	1,87	1,7 + 0,1
Zona B	1,33	1,4 + 0,1	1,92	1,7 + 0,1
Zona C	1,26	1,9 + 0,1	1,97	2,4 + 0,1

Tabella n. 8 Confronto tra i Valori di Soglia, riferiti alla relativa categoria di sottosuolo (Regione Lombardia -vedi tabella n.1) e quelli ottenuti attraverso l'uso delle schede effetti litologici.

La tabella sopra consente, attraverso la **verifica** della condizione **FA<(S+0,1)** come illustrato nel paragrafo precedente, di valutare il grado di protezione offerto dall'applicazione dei parametri stabiliti dalla normativa nazionale per la relativa categoria di sottosuolo di appartenenza.

Le analisi condotte dimostrano che in tutte e tre le zone campione individuate, i valori di F.a. stimati risultano inferiori al valore di soglia (riferito alla categoria di sottosuolo di appartenenza) per l'intervallo di periodi compreso tra 0,1 e 0,5 secondi (Sito A al limite). Ciò comporta che l'applicazione dei parametri di spettro di normativa, offre un adeguato grado di protezione.

Così non accade per l'intervallo di periodi compreso tra 0,5 e 1,5 secondi, dove sia per il **sito A** che per il **sito B** non risulta "verificata" la condizione $Fa < S$; per il **sito C** invece la condizione $Fa < S$

***Dott. Geol. Pedrali Carlo, via Borfuro n.2, 24122 Bergamo
Tel. 035/235559; Cell. 340/2392258***

risulta verificata. Limitatamente alle aree indagate con l'analisi di 2° livello dove non risulta soddisfatta la condizioni $Fa < S$ (Sito A e Sito B) secondo quanto stabilito dalla normativa regionale, c'è l'obbligo di effettuare analisi di 3° livello in fase di progettazione esecutiva oppure, in alternativa, è possibile adottare i parametri di normativa relativi alla categoria di sottosuolo C.

Tali aree sono state delimitate sulla Carta della Classe di Pericolosità Sismica Locale (tavola n.2).

1.5. Prescrizioni analisi sismica

Per il comune di Calvenzano sono state prodotte due cartografie in scala 1:5000, la “**Carta della pericolosità sismica locale**” (tavola n.1 - verifica di 1° livello) che individua le zone omogenee da assoggettare a verifica di 2° o di 3° livello (nel caso di edifici strategici o rilevanti) e la “**Carta della classe di pericolosità sismica locale**” (tavola n.2) con individuate le aree ove è stato effettuato l’approfondimento di 2° livello.

Il presente documento assieme alla *Relazione Geologico Tecnica (L.R. 41/97)* ” redatta in prima istanza nel giugno 2000, devono essere inseriti integralmente nel **Documento di Piano** del Piano di Governo del Territorio (l.r.12/2005, art.8 comma 1, lettera c)) laddove si definisce l’assetto geologico, idrogeologico e sismico ai sensi dell’art.57 comma 1, lettera a).

Nel **Piano delle Regole** del Piano di Governo del Territorio (l.r.12/2005, art.8 comma 1, lettera d) deve essere contenuto quanto previsto nell’art.57 comma 1 lettera b) e in particolare l’individuazione delle aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica, nonché le norme e le prescrizioni a cui le medesime sono assoggettate.

Pertanto vi saranno comprese: la carta dei vincoli (tavola n.3, maggio 2009), la carta di sintesi (tavola 7, giugno 2000), la carta di fattibilità geologica delle azioni di Piano (tavola 4, maggio 2009) e le relative **norme di fattibilità** aggiornate (maggio 2009), le “**Prescrizioni analisi sismica**” della componente sismica unitamente alla **Carta di Pericolosità Sismica Locale** (tavola n.1).

Per il comune di Calvenzano, classificato in zona sismica 4 (bassa sismicità) le verifiche di secondo livello, in fase pianificatoria sono richieste esclusivamente per edifici di tipo strategico o rilevante. Nulla toglie che l’Amministrazione comunale possa richiederlo anche per altre tipologie di edifici.

Come indicato nella normativa regionale, per le zone omogenee **Z2**, il livello di approfondimento da effettuare in fase di progettazione, è il terzo (3° livello).

Considerando le premesse sopra, le **prescrizioni** relative alle zone omogenee individuate sono diverse in relazione allo scenario di pericolosità sismica locale correlato e più precisamente:

1. in generale i progetti relativi a future edificazioni dovranno tenere attentamente in

considerazione oltre alle caratteristiche geologiche dell'area di edificazione, anche la situazione stratigrafica-geomorfologica-idrogeologica circostante;

2. per le zone a PSL **Z2** – “Zone con terreni fini saturi”, soggette potenzialmente a possibili fenomeni di liquefazione indotti da eventi sismici; anche se in corrispondenza del territorio comunale, sulla base dei dati disponibili, non sono emerse particolari situazioni favorevoli all'insorgere di tale fenomeno, si ritiene necessario, come indicato nella normativa, l'accertamento, in fase di progettazione, delle proprietà dei terreni e la determinazione della relativa suscettibilità alla liquefazione (analisi di 3° livello);
3. per le zone omogenee **Z4a** – “Aree di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi”, nel caso di edifici strategici o rilevanti, si devono effettuare in fase di pianificazione, verifiche di **2° livello** attraverso l'impiego delle schede e degli abachi allegati alla normativa regionale relativamente agli effetti litologici.

L'utilizzo della metodologia regionale per la stima del valore del fattore di amplificazione (F_a calcolato) da confrontare con il valore di Soglia fornito da Regione Lombardia per il comune di Calvenzano ($F_a \text{ calcolato} \leq F_a \text{ atteso}$ cioè al valore di soglia $S+0,1$), limitatamente alle aree sottoposte all'approfondimento di 2° livello, ha fornito i seguenti risultati ai quali si allegano le relative prescrizioni:

- ⇒ in tutte e tre le zone campione individuate, i valori di F_a stimati risultano inferiori (anche se di poco vedi Sito A) al valore di soglia (**verificata** la condizione $F_a < S$ riferito alla categoria di sottosuolo di appartenenza) per l'intervallo di periodi compreso tra 0,1 e 0,5 secondi, questo comporta che l'applicazione dei parametri di spettro di normativa, offre un sufficiente grado di protezione;
- ⇒ nel caso dell'intervallo di periodi compreso tra 0,5 e 1,5 secondi, dove sia per il **sito A** che il **sito B**, “**non è verificata**” la condizione $F_a < S$, sarà necessario effettuare un'analisi di 3° livello oppure in alternativa è consentito adottare i parametri di normativa relativi alla categoria di sottosuolo C.

Pertanto come è stato fatto per queste aree campione (zone Z4a), in futuro, sulle nuove aree di possibile espansione urbanistica (in **fase di pianificazione** per edifici strategici o rilevanti,) sarà necessario effettuare indagini di secondo livello.

Solamente nel caso in cui risulterà che il **F.a. calcolato** con la procedura regionale **sia maggiore dell'F.a. atteso (valore di soglia S+0,1)**, nella successiva **fase edificatoria - progettuale**, occorrerà effettuare analisi di 3° livello oppure, in alternativa, si potranno adottare i parametri di spettro di normativa caratteristici della tipologia di sottosuolo il cui valore di soglia sia superiore al valore di F.a. calcolato con la procedura semplificata regionale.

In questi casi lo spettro di norma da attribuire deve essere individuato scegliendo tra le diverse possibilità di seguito elencate:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C. Nel caso tuttavia in cui il valore di soglia fornito fosse ancora inferiore al fattore di amplificazione determinato, si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- nello stesso modo, anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- nello stesso modo, anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

2. ADEGUAMENTO CARTOGRAFIA ED ELABORATI GRAFICI COMPONENTE GEOLOGICA

Per quanto riguarda i dati e la cartografia esistente, i nuovi elementi acquisiti non hanno determinato la necessità del rifacimento della cartografia d'inquadramento e della carta di sintesi (tavola 7 anno 2000), mentre hanno richiesto la stesura della carta dei vincoli (tavola 3) ed il rifacimento della carta di fattibilità delle azioni di piano (tavola 4, ex tavola 8 dell'anno 2000) secondo quanto indicato dalla D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008.

2.1. Carta dei vincoli

Sulla carta dei vincoli (tavola 3, anno 2009) sono state riportate le limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle normative in vigore di contenuto prettamente idraulico, idrogeologico e/o ambientale-paesaggistico.

In corrispondenza del territorio di Calvenzano sono presenti:

- ⇒ i vincoli di polizia idraulica sul reticolo idrografico principale, minore e consortile;
- ⇒ le aree di salvaguardia attorno alle captazioni ad uso idropotabile.

Vincoli di polizia idraulica relativi al reticolo idrico comunale.

Per quanto riguarda il reticolo idrografico comunale, vale quanto disposto dalla normativa. In particolare si fa riferimento al R.D. 523/1904 per i corsi d'acqua e al R.D. 368/1904 per i canali e le altre opere di bonifica, oltre alle successive disposizioni regionali in materia.

Su tali "acque pubbliche" valgono infatti le disposizioni riportate sullo **Studio per la definizione del reticolo idrico minore**" (ai sensi della D.G.R. 7/7868 del 25/01/2002 e successive) sottoposto al parere vincolante della competente Sede Territoriale della Regione Lombardia, che ha dato esito positivo.

Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile

Attorno alle opere di captazione ad uso idropotabile, sono presenti le aree di salvaguardia stabilite dal DPR 236/88, confermate dal D.lgs. n.152/1999 e riprese dal D.lgs. n.258/2000, Art. 5 comma 4;

integrate dalle disposizioni regionali in materia (D.G.R. n. 6/15137 del 27 giugno 1996).

Per i due pozzi comunali destinati ad uso idropotabile si specifica quanto segue :

- il pozzo di via Donizetti è dotato di zona di tutela assoluta e di zona di rispetto ridelimitata con criterio temporale;
- il pozzo di via Milano dotato di zona di tutela assoluta e di zona di rispetto ridelimitata con criterio idrogeologico coincidente con la zona di tutela assoluta in quanto l'acquifero captato è isolato e protetto superficiale.

Zona di tutela assoluta: è costituita dall'area immediatamente circostante le captazioni o le derivazioni; essa deve avere un'estensione, in caso di acque sotterranee e ove possibile, anche per le acque superficiali, di almeno 10 metri di raggio dal punto di captazione. Tale area deve essere adeguatamente protetta e adibita esclusivamente a opere di captazione o presa e a infrastrutture di servizio.

Zona di rispetto: è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta. Tale zona è da sottoporre a vincoli e a destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata. Può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata in relazione alla tipologia dell'opera di presa o captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa.

La normativa stabilisce che nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a) dispersione di fanghi ed acque reflue, anche se depurati;
- b) accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- c) spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- d) dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali e strade;
- e) aree cimiteriali;
- f) apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- g) apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione della estrazione ed alla protezione delle caratteristiche

30

quali-quantitative della risorsa idrica;

h) gestione di rifiuti;

i) stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;

l) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;

m) pozzi perdenti;

n) pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. E' comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.

Per gli insediamenti o le attività, preesistenti, ove possibile e comunque ad eccezione delle aree cimiteriali, sono adottate le misure per il loro allontanamento: in ogni caso deve essere garantita la loro messa in sicurezza. Le regioni e le province autonome disciplinano, all'interno delle zone di rispetto, le seguenti strutture od attività:

a) fognature;

b) edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione;

c) opere viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio;

d) le pratiche agronomiche e i contenuti dei piani di utilizzazione di cui alla lettera c) del comma 5.

Per quanto riguarda inoltre la disciplina delle strutture o delle attività all'interno delle **zone di rispetto e di tutela assoluta**, occorre fare riferimento alla normativa regionale, la **DGR n.7/12693 del 10 aprile 2003 “Direttive per la disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto, art.21 comma 6 del D.lgs.152/99 e s.m.”**.

Per quanto riguarda il pozzo di via Donizetti, la zona di rispetto è stata ridelimitata con criterio temporale, mentre per quanto riguarda il pozzo di via Milano, la zona di rispetto coincide con quella di tutela assoluta in quanto l'acquifero captato risulta idrogeologicamente isolato e protetto.

2.2. Norme di fattibilità e carta di fattibilità delle azioni di piano

Rispetto alla cartografia prodotta in passato (tavola n.8: Carta della fattibilità geologica per le azioni di Piano, giugno 2000), la normativa attuale D.G.R. n.8/1566 del 22/12/2005 e la più recente D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008, indicano di non rappresentare sulla Carta di fattibilità i vincoli derivanti dalla definizione del reticolo idrico minore e le aree di salvaguardia stabilite attorno alle captazioni ad uso idropotabile.

Pertanto l'attuale Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano (tavola 4, anno 2009) fornisce indicazioni esclusivamente alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio derivanti dall'individuazione di elementi di pericolosità.

Per tale motivo la possibilità di cambiamento di destinazione d'uso di ogni particella del territorio comunale, deve essere accertata oltre che sulla carta della fattibilità anche dalla consultazione della carta dei vincoli, dove sono rappresentate le limitazioni derivanti dalla normativa in vigore.

La normativa regionale stabilisce quattro classi di fattibilità geologica per le azioni di Piano:

1. Fattibilità senza particolari limitazioni (colore bianco);
2. Fattibilità con modeste limitazioni (colore giallo);
3. Fattibilità con consistenti limitazioni (colore arancione);
4. Fattibilità con gravi limitazioni (colore rosso).

Le **Norme Geologiche di Attuazione** rappresentano una serie di indicazioni di natura **prescrittiva** per attuare: interventi urbanistici; studi e indagini; approfondimenti per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio, progettare eventuali sistemi di monitoraggio necessari a controllare fenomeni in atto o potenziali; per la stesura di piani di Protezione Civile.

Alle classi di fattibilità individuate devono essere sovrapposti gli ambiti soggetti ad amplificazione sismica locale (tavola 1) che non concorrono a definire la classe di fattibilità, ma ai quali è associata una specifica normativa che si concretizza nelle fasi attuative delle previsioni del PGT (vedi il capitolo **“Prescrizioni pericolosità sismica locale”**).

Per la stesura della **Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano (tavola 4)**, si è proceduto attribuendo un valore di classe di fattibilità a ciascun poligono, omogeneo per pericolosità/vulnerabilità

geologica, individuato precedentemente sulla **carta di sintesi o della pericolosità** (tavola n.7 giugno 2000 e vedi tabella n.9 qui di seguito allegata) e seguendo le indicazioni della normativa, le diverse classi/sottoclassi di fattibilità geologica sono state distinte mediante sigle e colori diversi.

Tabella 1 - Classi di ingresso

Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti		Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico	
Aree soggette a crolli di massi (distacco e accumulo). Da definire in base all'estensione della falda di detrito e alla distanza raggiunta dai massi secondo dati storici (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli)	4	Aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabili (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20-50 anni), con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido	4
Aree interessate da distacco e rotolamento di blocchi provenienti da depositi superficiali (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli)	4	Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua, tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche	3
Aree di frana attiva (scivolamenti; colate ed espansioni laterali)	4	Aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici tenendo conto delle criticità derivanti da punti di debolezza delle strutture di contenimento quali tratti di sponde in erosione, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti, sezioni di deflusso insufficienti anche a causa della presenza di depositi di materiale vario in alveo o in sua prossimità ecc.	4
Aree di frana quiescente (scivolamenti; colate ed espansioni laterali)	4	Aree già allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali nelle quali non siano state realizzate opere di difesa e quando non è stato possibile definire un tempo di ritorno	4
Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti, soffi-flusso)	4	Aree soggette ad esondazioni lacuali	3
Aree a pericolosità potenziale per grandi frane complesse (comprendenti di aree di distacco ed accumulo)	4	Aree protette da interventi di difesa dalle esondazioni efficaci ed efficienti, dei quali sia stato verificato il corretto dimensionamento secondo l'allegato 3 (con portate solido-liquide aventi tempo di ritorno almeno centennale)	3
Aree in erosione accelerata (calanchi, ruscellamento in depositi superficiali o rocce deboli)	4	Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette da interventi di difesa	4
Aree interessate da trasporto in massa e flusso di detrito su conoide	4*	Aree adiacenti a corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e per la realizzazione di interventi di difesa	4
Aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata e stimata o calcolata area di influenza	4	Aree potenzialmente interessate da flussi di detrito in corrispondenza dei conoidi pedemontani di raccordo collina-pianura	3
Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza	3	Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche	
Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche geotecniche dei terreni	3	Aree di possibile ristagno, torbose e paludose	3
Aree di percorsi potenziali di colate in detrito e terreno	4*	Aree prevalentemente limo-argillose con limitata capacità portante (riportare gli spessori)	3
Aree a pericolosità potenziale legate alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprensive delle aree di possibile accumulo (aree di influenza)	3	Aree con consistenti disomogeneità tessiture verticali e laterali (indicare le ampiezze)	3
Aree interessate da valanghe già avvenute	4	Aree con riporti di materiale, aree colmate	3
Aree a probabile localizzazione di valanghe potenziali	4	Aree ricadenti all'interno delle fasce fluviali	
Aree protette da interventi di difesa efficaci ed efficienti	3		
Aree estrattive attive o dismesse non ancora recuperate, comprendendo una fascia di rispetto da valutare in base alle condizioni di stabilità dell'area	3		
Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico			
Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile e/o del primo acquifero	3		
Aree con emergenze idriche diffuse (fontanili, sorgenti, aree con emergenza della falda)	4		
Aree a bassa soggiacenza della falda o con presenza di falde sospese	3		
Aree interessate da carsismo profondo (caratterizzate da inghiottitoi e doline)	4		
		Classe	Norme
		4	
Fascia A all'esterno dei centri edificati		3	Consentiti solo gli interventi previsti dagli artt. 30, 36, 38-bis, 38-ter, 39 e 41 delle N.d.A. del PAI
Fascia B all'esterno dei centri edificati			
Fasce A e B all'interno dei centri edificati	Da attribuire sulla scorta degli studi idraulici per la valutazione del rischio realizzati con il metodo approfondito di cui all'Allegato 4		Fino ad avvenuta valutazione delle condizioni di rischio si applicano anche all'interno dei centri edificati le norme riguardanti le fasce A e B
Territori di fascia C delimitati con segno grafico indicato come «limite e progetto tra la fascia B e la Fascia C»	Da attribuire sulla scorta degli studi idraulici per la valutazione del rischio realizzati con il metodo approfondito di cui all'Allegato 4		Fino ad avvenuta valutazione delle condizioni di rischio si applicano le norme riguardanti la fascia B fino al limite esterno della fascia C
Fascia C	Da attribuire in base alle problematiche riscontrate		Da definire nell'ambito dello studio, fermo restando quanto stabilito dall'art. 31 delle N.d.A. del PAI

Tabella n.9. Classi di ingresso. Tipologia di pericolosità ➡ attribuzione **classe di fattibilità**.

Qualora in una stessa area si verifichi la concomitanza di più problematiche, sul poligono che la

individua, sono state indicate le classi di fattibilità relative a tutti gli elementi di pericolosità e/o di vulnerabilità presenti .

Si precisa inoltre che, qualora nella stessa area siano state indicate più classi/sottoclassi, si deve considerare indicativa ai fini della possibilità di realizzare nuove edificazioni, quella più restrittiva, pur eseguendo tutte le indagini indicate per le altre problematiche geologiche individuate.

Per ciascuna problematica individuata, nei successivi paragrafi, vengono indicate le indagini specifiche che si devono affrontare, con diverso grado di dettaglio a secondo della classe di appartenenza; cio' allo scopo di stabilire la compatibilità dell'intervento previsto rispetto al tipo di problematica presente nell'area.

La valutazione di compatibilità geologica s.l. di ogni intervento edificatorio dovrà costituire parte integrante della documentazione tecnica di progetto necessaria per l'ottenimento della Concessione Edilizia o di ogni altro atto ad essa assimilabile, comprese le autodichiarazioni (DIA).

Definire aree caratterizzate da "**fattibilità con limitazioni di vario grado**" significa **perciò stabilire che ogni cambiamento di destinazione d'uso** (es: nuove edificazioni, ristrutturazioni comportanti significativi ampliamenti o aumenti del carico insediativo, oppure con incrementi di carico in fondazione, nuove infrastrutture, l'effettuazione di scavi estesi in grado di modificare la geometria e la stabilità del piano campagna circostante) **potrà essere attuato solamente dopo aver verificato la sua compatibilità rispetto al tipo e all'entità delle problematiche individuate.**

In questo quadro deve essere tenuta in considerazione anche la funzione dell'opera che si andrà a realizzare (es: opera o infrastruttura a carattere pubblico o privato).

Si ricorda che i dati riportati nel presente studio, redatto ai sensi della normativa vigente, non devono essere in alcun modo considerati sostitutivi delle indagini geognostiche e della documentazione geologico-tecnica prescritte dal D.M. 14 gennaio 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) per la fase esecutiva.

Le classi di fattibilità risultano pertanto così definite:

Classe 1– Fattibilità senza particolari limitazioni

In questa classe, indicata in **bianco** sulla cartografia, ricadono le aree per le quali lo studio non ha individuato specifiche problematiche di carattere geologico, di conseguenza non vi sono particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso delle particelle. In questo caso deve essere applicato quanto prescritto dal D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Nel caso specifico di Calvenzano, ricade in questa classe, la parte settentrionale del territorio comunale. I suoli presenti in quest'area possiedono spessore contenuto che ne consente l'asportazione durante l'effettuazione di uno scavo per la realizzazione di un edificio; inoltre i terreni sottostanti possiedono generalmente buone caratteristiche geotecniche.

Classe 2 – Fattibilità con modeste limitazioni

In questa classe, indicata in **giallo** sulla cartografia, ricadono le aree nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica di destinazione d'uso dei terreni; per superare le quali si rende necessario realizzare approfondimenti di carattere geologico-tecnico, idraulico o idrogeologico o l'adozione di accorgimenti tecnico-costruttivi finalizzati al superamento delle problematiche senza che sia necessaria la realizzazione di opere di difesa.

Le indagini dovranno analizzare, sulla base della tipologia d'intervento previsto, i mutui rapporti con le caratteristiche del sito in modo da individuare le soluzioni tecnico-costruttive più adatte.

L'entità, la tipologia e il grado di dettaglio delle suddette indagini, saranno valutate sulla base dell'intervento in programma e a discrezione del professionista incaricato.

Le relazioni specialistiche relative ai diversi ambiti di pericolosità individuati, devono essere effettuate preliminarmente ad ogni intervento edificatorio sia che si tratti di nuovi insediamenti singoli che in ambito di P.A., di P.L. o di P.I.P., P.I.I.. L'area di studio dovrà estendersi ad un intorno significativo rispetto a quello dell'intervento edificatorio proposto.

Si ricorda che gli studi su indicati non devono essere considerati in alcun modo sostitutivi delle

indagini geognostiche e della documentazione geologico-tecnica prescritte dalla normativa sulle costruzioni.

Sottoclasse 2a: aree con problematiche di tipo geologico-geotecnico.

In questa sottoclasse ricade tutta l'area pianeggiante o subpianeggiante, corrispondente al L.F.d.P. e costituita da depositi fluvioglaciali recenti dove la superficie freatica è posta ad una profondità inferiore ai 6 metri. Tale valore di soggiacenza tiene in considerazione del fatto che la campagna di misura dei livelli della falda freatica è stata condotta in un periodo di magra, con livelli sensibilmente inferiori (2-3 metri) rispetto al livello freatico medio.

In questa zona si possono generare situazioni meno favorevoli per quanto riguarda l'aspetto geotecnico a causa della ridotta profondità della superficie della falda; i terreni presenti possiedono tuttavia discrete caratteristiche geologico – geotecniche. In tali zone si dovrà tenere in considerazione i seguenti elementi:

- ⇒ la riduzione della capacità portante dei terreni, per la presenza della falda;
- ⇒ la necessità di dover realizzare opere di impermeabilizzazione nel caso siano previsti dei piani interrati;
- ⇒ vista l'estrema vulnerabilità dell'acquifero superficiale e la ridotta soggiacenza della superficie della falda, l'adozione di particolari attenzioni nel caso si debbano realizzare serbatoi e tubazioni interrate per lo stoccaggio di sostanze inquinanti;
- ⇒ appare limitata la possibilità di realizzare pozzi disperdenti per acque meteoriche;
- ⇒ evitare la realizzazione di pozzi perdenti di acque nere.

Classe 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni

La classe 3, indicata in **arancione** sulla cartografia, comprende le zone in cui sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso dei terreni, a causa delle condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate.

Rispetto alle aree in classe due, quelle rientranti nella terza classe di fattibilità, presentano anche una maggiore diffusione ed estensione del dissesto o delle potenziali attitudini ad esso.

In questa classe sono comprese generalmente: aree acclivi potenzialmente soggette all'influenza di fenomeni di dissesto, aree soggette a fenomeni alluvionali con eventuale trasporto in massa, terreni dotati di scadenti caratteristiche geotecniche, le aree molto vulnerabili dal punto di vista della qualità delle acque e le aree inquinate.

L'utilizzo di queste zone sarà pertanto subordinato all'esecuzione di indagini dettagliate mirate all'acquisizione di una maggiore conoscenza geologico-tecnica, idrogeologica o idraulica dell'area direttamente coinvolta e del suo intorno.

Tale approfondimento tecnico dovrà essere attuato attraverso l'effettuazione di relazioni specialistiche che considerino tutti gli ambiti di pericolosità individuati e valutino la compatibilità dell'intervento edificatorio oltre alla portata massima che esso potrà avere.

Gli studi (rilievi di campagna, indagini geognostiche, prove di laboratorio, verifiche idrauliche e di stabilità, etc.) devono essere effettuati preliminarmente alla pianificazione e alla progettazione di ogni intervento edificatorio sia che si tratti di nuovi insediamenti singoli che in ambito di P.A., di P.L., di P.I.P. o di P.I.I.. Le relazioni prodotte dovranno essere consegnate congiuntamente alla restante documentazione, in sede di presentazione dei P.A. (**l.r..12/05 art.14**) o in sede di richiesta di permesso di costruire (**l.r..12/05 art.38**). Si ricorda che gli approfondimenti indicati non devono essere considerati in alcun modo sostitutivi delle indagini geognostiche e della documentazione geologico-tecnica prescritte dalla normativa sulle costruzioni.

Il risultato delle indagini condotte consentirà quindi in fase esecutiva di valutare gli interventi specifici o le opere di protezione/difesa, attive e/o passive indispensabili al superamento della condizione di rischio.

Gli interventi di sistemazione o di protezione dovranno tener presente anche il contesto ambientale riducendo il loro impatto sul territorio; pertanto ad esempio gli interventi di bonifica idraulica dovranno essere eseguiti, ove possibile, con tecniche di bioingegneria forestale.

Sottoclasse 3a: aree con problematiche di tipo geologico-geotecnico.

In questa sottoclasse è stata inserita la zona delle scuole elementari-medie; in quest'area indagini effettuate in passato hanno evidenziato la presenza di terreni fini sino alla profondità massima di 6 metri. Più recentemente, indagini effettuate dal sottoscritto nella porzione est dell'area, hanno evidenziato la presenza di tali litologie fini sino ad una profondità più contenuta di circa 3 metri.

Nella stessa sottoclasse ricadono anche tutte le zone dove in passato si sono sviluppate cave di sabbia e ghiaia che sono state successivamente adibite a discariche e riempite di materiali di riporto di diversa tipologia.

In queste zone i terreni possono risultare mediocri o scadenti dal punto di vista geologico – geotecnico, con caratteristiche geotecniche variabili notevolmente da punto a punto (terreni disomogenei).

Pertanto nel caso si preveda di modificare la destinazione d'uso di queste aree, si dovranno effettuare accurate indagini mirate sia alla determinazione delle caratteristiche geotecniche che alla determinazione della tipologia dei materiali di riempimento (in relazione alla eventuale necessità di bonifica dell'area). **La determinazione della tipologia dei materiali di riporto si ritiene comunque indispensabile.**

In tali zone si dovrà tenere in considerazione i seguenti elementi:

- ⇒ la riduzione della capacità portante dei terreni con possibile ricorso a fondazioni di tipo indiretto;
- ⇒ la presenza di cedimenti elevati per la consolidazione dei terreni di riporto,
- ⇒ l'eventuale necessità di mantenere costantemente drenato lo scavo dalle acque di falda;
- ⇒ l'eventuale sostegno delle pareti di scavo;

Sottoclasse 3c: aree con problematiche di tipo idrogeologico.

Rientrano in questa sottoclasse le aree a vulnerabilità elevata (PTCP tavola d1-3 Carta degli elementi di criticità in ambito di pianura), pianeggianti o poco acclivi con soggiacenza della falda freatica inferiore ai 6 metri.

In queste aree, vista la limitata soggiacenza della falda e la frequente assenza di una spessa copertura pedogenetica, gli interventi antropici quali ad esempio: insediamenti agricoli; insediamenti industriali giudicati pericolosi, la trivellazione di nuovi pozzi, la realizzazione di serbatoi interrati, etc..., dovranno tenere in considerazione tali aspetti per non alterare le condizioni chimico-fisiche delle acque presenti nel sottosuolo. I pozzi perdenti esistenti nelle aree colettate al sistema fognario dovranno essere chiusi o servire esclusivamente alla dispersione di acque

meteoriche.

Tale aspetto è evidenziato anche nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale che classifica tali aree come: “*Ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono essere assoggettati a puntuale verifica di compatibilità geologica ed idraulica (Art. 44)*” (vedi PTCP Tavola e1_1.n).

In questa zona, vista la presenza della zona industriale del comune, si raccomandano le seguenti accortezze:

- ⇒ la ridotta soggiacenza della superficie della falda unita ad un’elevata permeabilità dei terreni che si traducono in un’elevata vulnerabilità dell’acquifero superficiale, richiedono l’adozione di particolari attenzioni, come nel caso di serbatoi e di tubazioni sia superficiali che interrate per il trasporto/stoccaggio di sostanze inquinanti, con l’adozione di controlli periodici della loro perfetta tenuta;
- ⇒ il censimento ed il controllo costante degli scarichi esistenti sia che si tratti di scarichi superficiali che nei primi strati del suolo/sottosuolo;
- ⇒ la verifica del completo collettamento degli scarichi esistenti (non di natura meteorica) in fognatura.

Inoltre in questa sottoclasse ricadono anche le antiche zone di cava che sono state successivamente adibite a discariche e riempite di **materiali non inerti**. Per alcune di queste sono conosciute le tipologie dei materiali di riempimento secondo quanto riportato sulla “*tavola n.6*” dell’Indagine idrogeologica del territorio di Treviglio e di Caravaggio (Comprensorio n.12)” condotta dallo Studio Idrogeotecnico (Ghezzi. A. Giugno 1980).

Pertanto nel caso si preveda di modificare la destinazione d’uso di queste aree, si dovrà accertare preventivamente e in maniera accurata la natura dei materiali di riempimento e nel caso sia necessario, effettuare la bonifica dell’area.

Non è stato possibile accertare e delimitare con sicurezza l’area in corrispondenza della quale sono stati accumulati gli scarti di prefabbricati in calcestruzzo derivanti dall’attività della fabbrica “AV strutture” (segnalazione dell’ufficio tecnico comunale), anche tale area ricadrà in classe 3c.

Classe 4 – Fattibilità con gravi limitazioni

In questa classe, indicata in **rosso**, ricadono tutte quelle aree per le quali l'elevata situazione di pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni alla modifica di destinazione d'uso.

In queste aree dovrà pertanto essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere di consolidamento o di sistemazione idrogeologica mirate alla messa in sicurezza dei siti.

La normativa regionale stabilisce che per gli edifici esistenti siano consentiti esclusivamente interventi di demolizione senza ricostruzione, la manutenzione ordinaria e straordinaria, il restauro, il risanamento conservativo, così come definiti dall'art. 27 comma 1, lettere a), b) e c) della Legge 12/05, senza aumento di superficie o volume, senza aumento del carico insediativo e con interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio.

Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica.

In tali aree dovranno essere predisposti idonei piani di protezione civile e/o sistemi di monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico potranno essere realizzate, solo se non altrimenti localizzabili, previa verifica mediante apposita relazione geologico-geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave pericolosità esistente.

In corrispondenza del territorio comunale di Calvenzano non sono presenti aree che ricadono in classe 4.

Maggio 2009

Dott. Geol. Pedrali Carlo
O.G.L. 860

*Dott. Geol. Pedrali Carlo, via Borfuro n.2, 24122 Bergamo
Tel. 035/235559; Cell. 340/2392258*

Allegato n. 1

Indagini geofisiche

1. Cenni introduttivi

In accordo con l'Ufficio Tecnico Comunale sono stati individuati in corrispondenza del territorio comunale **tre** siti ove effettuare indagini geofisiche di tipo indiretto. Lo scopo delle indagini era quello di affrontare la verifica di secondo livello secondo quanto previsto dalla normativa regionale. La normativa prevede la ricostruzione dell'andamento del valore della velocità delle onde di taglio nel sottosuolo (V_s) sino al raggiungimento, per quanto possibile, del bedrock sismico (terreni con $V_s \geq 800$ m/s).

L'ubicazione dei siti d'indagine è stata condizionata dall'attuale sviluppo dell'edificato e ha tenuto conto delle aree di più prossima previsione di espansione urbanistica. I siti d'indagine sono stati localizzati e identificati sulla carta di tavola n.1.

Per ognuna delle aree investigate sono state effettuate indagini indirette sia di tipo passivo (metodo dei Microtremori) che di tipo attivo (metodo MASW- Multi Channel Analysis Surface Waves).

I due metodi si basano sulla registrazione delle onde di superficie (onde di Rayleigh) e l'analisi del fenomeno della dispersione delle stesse nei primi strati di terreno.

Il metodo dei Microtremori sfrutta il rumore "naturale" di fondo registrabile da una catena di geofoni, viceversa il metodo MASW registra le vibrazioni indotte artificialmente da una sorgente "attiva" rappresentata da una massa battente o da un cannoncino in corrispondenza della stessa catena di geofoni verticali.

I due metodi, grazie all'impiego di un software dedicato, vengono utilizzati congiuntamente incrementando così l'affidabilità del modello interpretativo finale del sottosuolo.

Le registrazioni in campo consentono di calcolare l'andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza ($V(\text{fase})/\text{frequenza}$); successivamente, attraverso un'elaborazione per "step", si ricava l'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità a partire dalla superficie.

Il modello d'interpretazione si basa sul presupposto teorico ideale della presenza nel sottosuolo di strati orizzontali continui e sovrapposti di spessore costante.

Il risultato al quale si giunge è rappresentato da un profilo verticale dell'andamento medio del

valore della velocità delle onde di taglio in funzione della profondità localizzabile all'incirca nella zona centrale della linea sismica.

Il modello teorico che si può ottenere non è univoco è quindi necessario confrontarlo e tararlo con le conoscenze geologiche del sito (ad esempio: sondaggi meccanici o prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi, indagini a rifrazione) onde poter passare all'identificazione di un modello reale definitivo.

2. Modalità esecutive indagini e risultati

La registrazione delle onde di superficie avviene con l'impiego di una classica strumentazione per l'effettuazione di indagini sismiche a rifrazione; viene utilizzato preferibilmente un sismografo ad elevata dinamica, con geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz).

Nella fattispecie per le misure è stato utilizzato un sismografo GEODE a 24 bits e 24 canali.

Per quanto concerne invece la configurazione geometrica delle linee sismiche, laddove era disponibile sufficiente spazio, sono state realizzate due catene geofoniche intersecatesi all'incirca a 90°; per ognuna di esse sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza variabile da 4 a 5 metri.

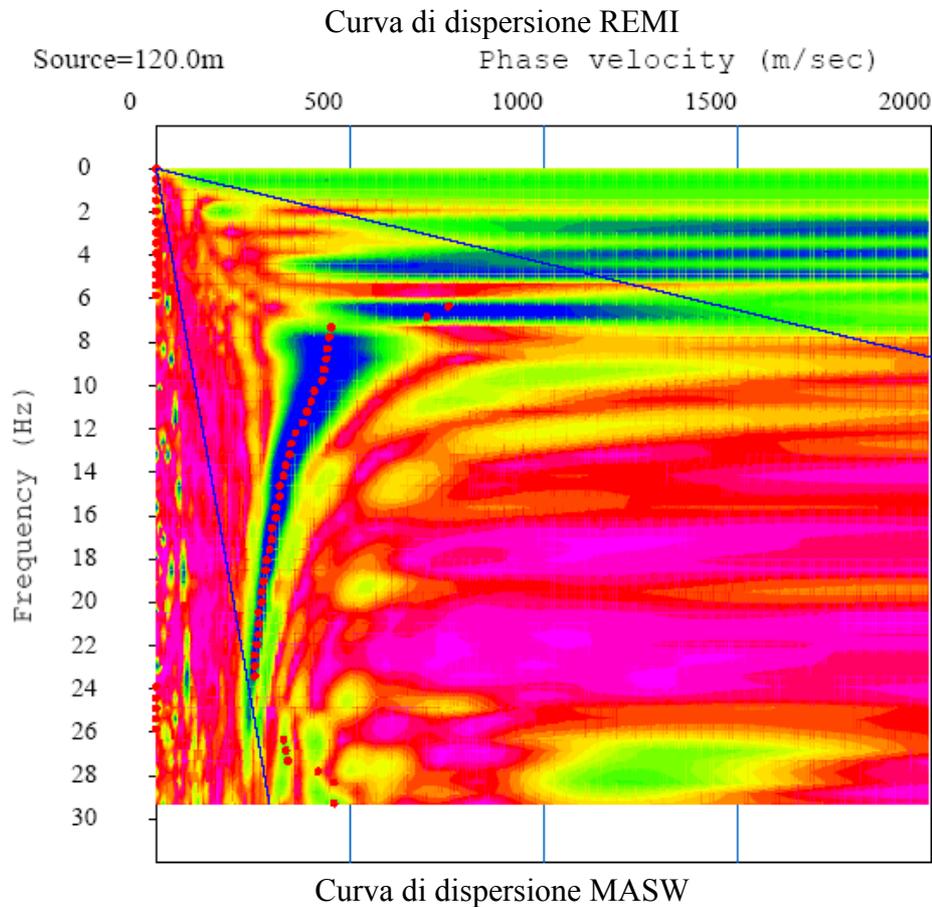
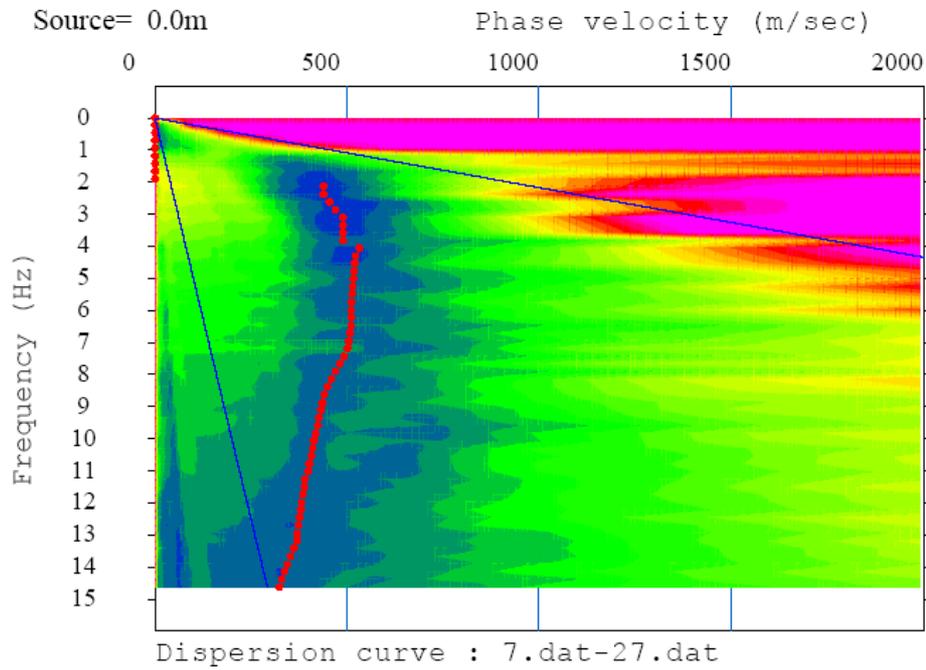
Per quanto riguarda il metodo dei Microtremori, per ogni catena, sono state effettuate almeno 20 registrazioni, mentre per il metodo MASW sono state effettuate 3/4 registrazioni per ognuno dei punti di scoppio situati esternamente alla linea.

I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati con un software dedicato che ha reso possibile la ricostruzione, per ogni sito, di un profilo di Vs/profondità sufficientemente attendibile.

Di seguito vengono illustrati i risultati sperimentali relativi ai siti campione che hanno consentito di condurre le verifiche di 2° livello descritte in relazione.

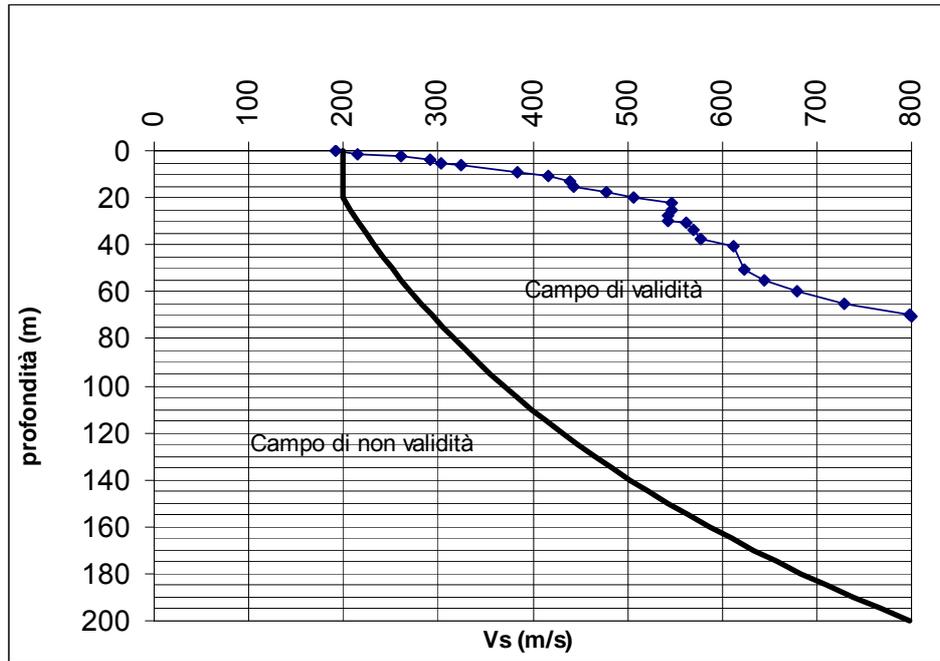
I profili delle onde Vs con la profondità riportati, sono stati ottenuti sovrapponendo i risultati ottenuti con entrambe le tecniche d'investigazione.

SITO A (Scuola prima infanzia, via Sorde)



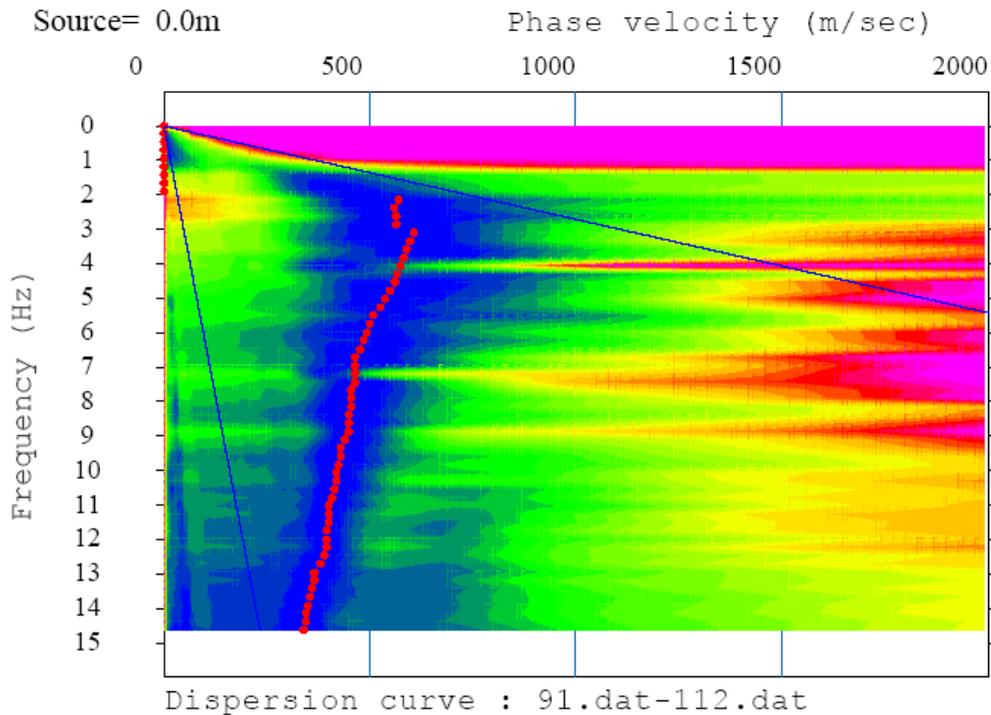
Profondità sommità strato Z (m)	Velocità onde di taglio (m/s)
0,00	192,49
1,16	215,31
2,44	260,82
3,86	291,79
5,40	303,37
6,50	324,98
8,88	383,82
10,81	417,21
12,87	439,27
15,05	443,41
17,37	478,28
19,81	507,09
22,39	546,06
25,09	547,20
27,92	543,25
30,00	543,25
30,88	561,45
33,96	570,66
37,18	577,89
40,53	611,45
50,95	623,62
<i>55,00</i>	<i>644,62</i>
<i>60,00</i>	<i>680,06</i>
<i>65,00</i>	<i>729,95</i>
<i>70,00</i>	<i>797,80</i>
<i>70,14</i>	<i>799,99</i>

Profilo interpretativo più rappresentativo,
in rosso la parte di dati estrapolati per raggiungere gli 800 m/s

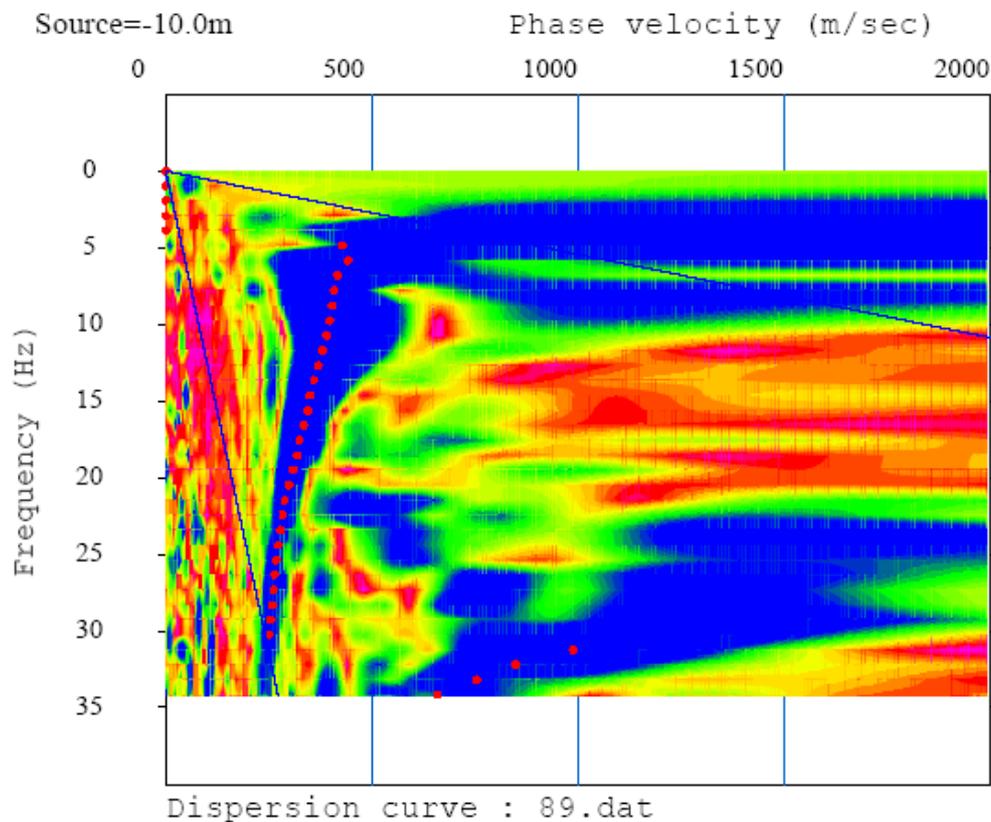


Tratto dalla scheda effetti litologici valida per le sabbie

SITO B (Scuole Elementari –Medie Dante Alighieri)



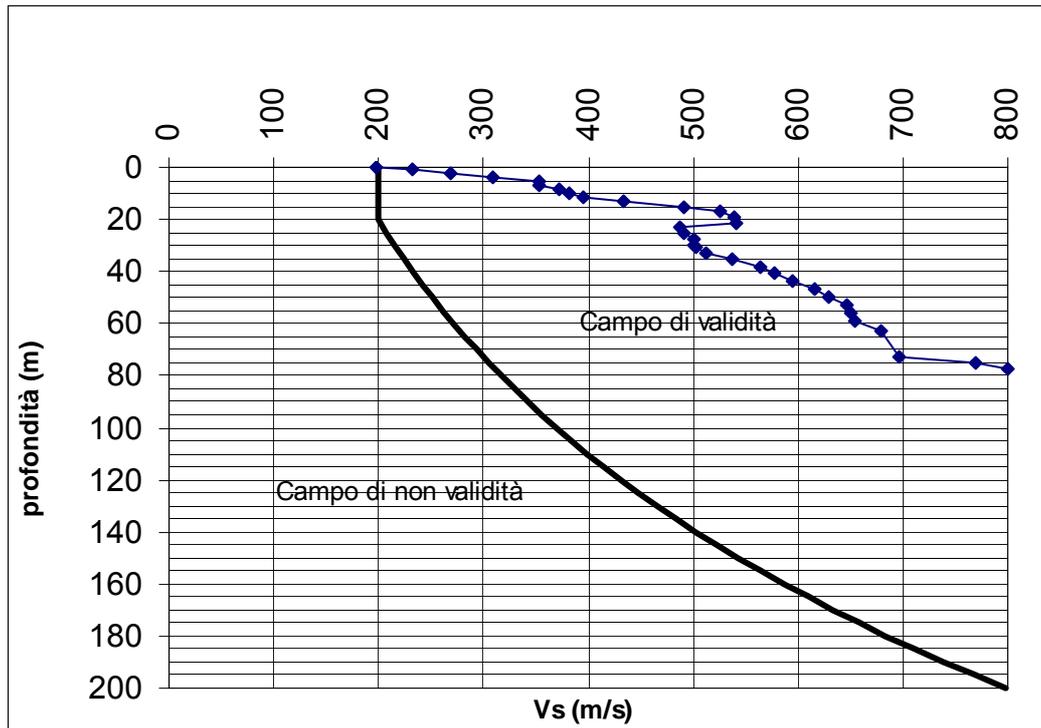
Curva di dispersione REMI



Curva di dispersione MASW

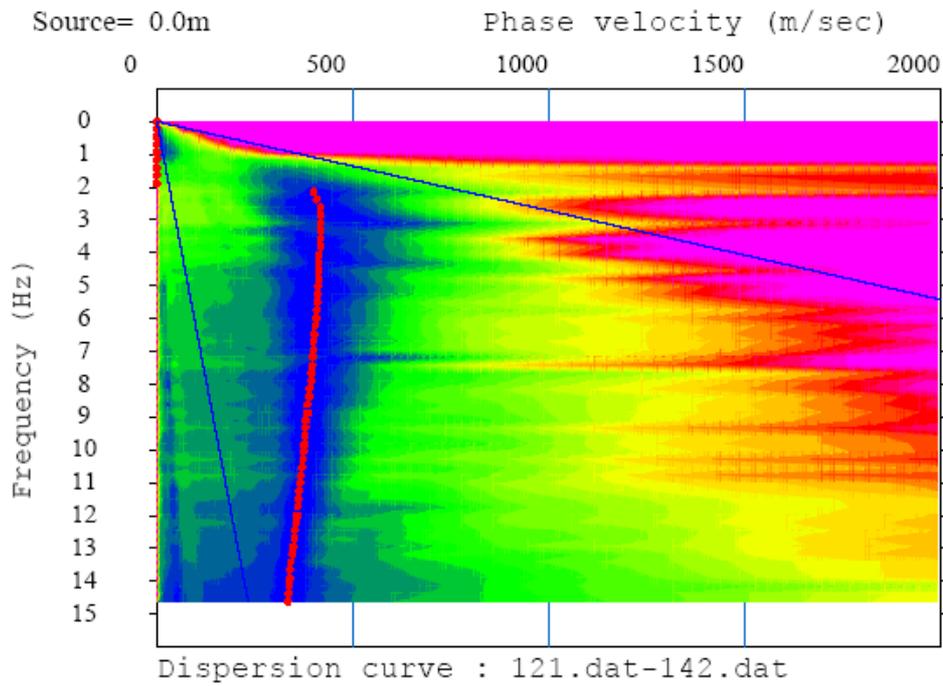
Profondità sommità strato Z (m)	Velocità onde di taglio (m/s)
0,00	197,55
1,14	231,42
2,36	268,20
3,66	308,16
5,04	353,21
7,20	353,59
8,05	372,42
9,67	382,24
11,38	394,27
13,17	432,98
15,04	491,92
16,99	526,61
19,02	540,04
21,13	540,98
23,33	487,94
25,60	491,44
27,96	501,36
30,00	501,36
30,40	502,50
32,92	511,65
35,52	536,91
38,20	564,96
40,97	577,85
43,81	593,99
46,74	616,05
49,74	630,03
52,83	646,35
56,00	650,85
59,25	653,47
62,59	679,52
72,83	696,48
75,00	768,44
77,20	800,08

Profilo interpretativo più rappresentativo,
in rosso la parte di dati estrapolati per raggiungere gli 800 m/s

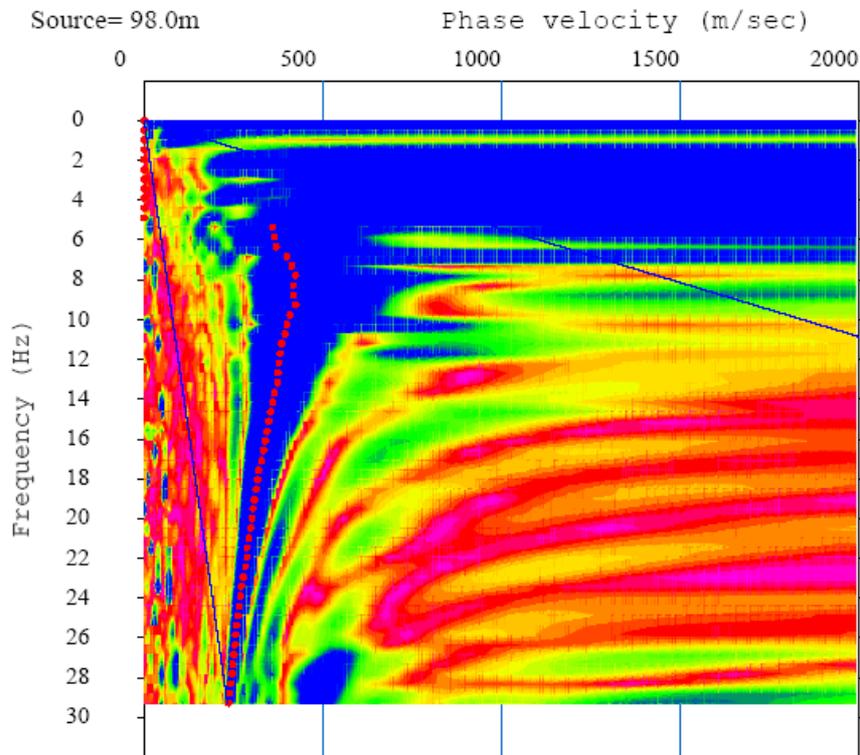


Tratto dalla scheda effetti litologici valida per le sabbie

SITO C (Centro Polifunzionale)



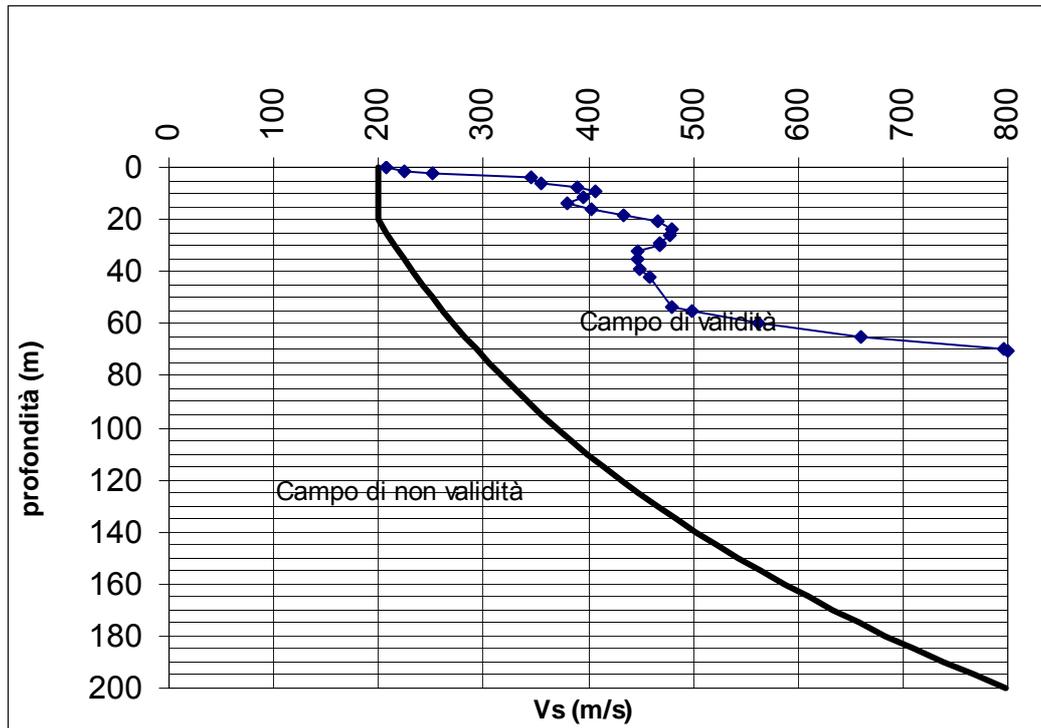
Curva di dispersione REMI



Curva di dispersione MASW

Profondità sommità strato Z (m)	Velocità onde di taglio (m/s)
0,00	206,36
1,21	224,19
2,56	251,95
4,04	344,82
6,50	355,69
7,40	389,56
9,28	407,33
11,30	395,75
13,45	379,02
15,74	401,95
18,16	434,17
20,72	466,85
23,41	480,13
26,23	478,34
29,19	467,44
30,00	467,44
32,28	447,11
35,51	447,02
38,87	449,19
42,37	458,14
53,27	480,13
<i>55,00</i>	<i>499,12</i>
<i>60,00</i>	<i>562,58</i>
<i>65,00</i>	<i>659,39</i>
<i>70,00</i>	<i>795,84</i>
<i>70,13</i>	<i>800,00</i>

Profilo interpretativo più rappresentativo,
in rosso la parte di dati estrapolati per raggiungere gli 800 m/s



Tratto dalla scheda effetti litologici valida per le sabbie

Allegato n.2

Definizione della categoria sismica del sottosuolo di fondazione

Per il comune di Calvenzano (cod. ISTAT: 03016020), la cartografia della pericolosità di base (vedi Albarello et alii, 2001; CD-ROM Rischio Sismico 2001 con aggiornamento classificazione sismica al 2003) indica i seguenti parametri di accelerazione convenzionale massima (Pga atteso) rispettivamente per tempi di ritorno di T=475 anni e T=975 anni.

PGA_475S	PGA_975S
0,10890	0,14235

Tali valori sono stati quindi ripresi ed aggiornati dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008 – vedi tabella n.1) che forniscono accelerazioni e relative forme spettrali per la valutazione delle azioni sismiche di progetto (per vari tempi di ritorno) di ogni sito in funzione della sua longitudine e della sua latitudine (vedi tabella n.2 in relazione). Tali valori sono riportati sulle schede di classificazione relative ai siti d'indagine e di seguito allegate.

Per la valutazione della categoria sismica del suolo di fondazione è necessario il calcolo del valore di $V_{s,30}$ che è stato ottenuto mediante la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{(i=1, N)} h_i / V_{si}} \quad [1]$$

Il valore del periodo fondamentale di vibrazione del terreno è stato calcolato mediante la seguente espressione:

$$T_0 = \frac{4 * \sum_{(i=1, N)} h_i}{\sum_{(i=1, N)} (V_{si} * h_i) / (\sum_{(i=1, N)} h_i)} \quad [2]$$

dove: h_i e V_{si} indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}\%$,) dello strato i-esimo per il totale degli N strati riconosciuti nei primi 30 metri di sottosuolo a partire dalla superficie per la prima formula e considerando tutta la successione stratigrafica sino al raggiungimento del bedrock-like, per la seconda formula.

Le tabelle sottostanti indicano la categoria di sottosuolo ed i parametri dello spettro di risposta elastico di normativa. Come è possibile constatare, in base ai valori di V_s desunti dalle indagini geofisiche effettuate, il terreno rientra nella **categoria B** per due dei tre siti d'indagine (sito A e sito B), mentre per la zona C, il sottosuolo rientra nella **categoria C**.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D. M. 14/01/2008)	
Località:	Calvenzano Sito A
Metodo di indagine:	RE.MI.+ MASW
Strumentazione utilizzata:	Sismografo Geode, 24 canali, 24 bits
Metodo di energizzazione:	Rumore naturale + mazza da 5 kg
Geometria dello stendimento:	lineare con 24 geofoni - interasse 5 m

VELOCITA' SISMICA ONDE DI TAGLIO Vs30 (m/s)	377,1
Dati i risultati, il sito in esame risulta rispondere alla categoria di suolo di tipo: (si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori di ag e del coeff. S _s)	B

Classificazione sismica della zona	4
---	----------

Vita nominale (V _N)	50	
Classe d'uso / (C _U)	2	1
Periodo di riferimento (V _R)	(V _R =C _U •V _N)	50
Probabilità di superamento (P _{VR})	allo	SLC 0,05
Periodo di ritorno (T _{VR}), valori 30≤T _{VR} ≤2475ann	T _{VR} =-V _R /(ln(1-P _{VR}))	975

vedi tabella n.1 (allegato b) - Tr (anni)	30	50	101	475	975	2475
accel. orizz.le max di norma per il sito in questione ag (in frazioni di g (m/sq)/ 9,	0,029	0,037	0,052	0,101	0,132	0,181
val. max del fattore ampl.ne spettro in accel.ne orizz.le F _o (-)	2,458	2,498	2,460	2,446	2,462	2,510
periodo di inizio tratto a vel.tà costante spettro in accel.ne orizz.le T _c * (sec)	0,198	0,215	0,241	0,275	0,282	0,290

Categorie di sottosuolo		coefficienti spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	
		S _s	C _c
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V _{s30} > 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	1	1
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s oppure di N _{spt30} >50 o Cu ₃₀ >250 kPa	1,0≤1,4-0,4•F _o •(a _g /g)≤1,2	1,1•(T _c *) ^{-0,2}
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s oppure di 15<N _{spt30} <50 o 70<Cu ₃₀ <250 kPa.	1,0≤1,7-0,6•F _o •(a _g /g)≤1,5	1,05•(T _c *) ^{-0,33}
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} <180 m/s oppure di N _{spt30} <15 o Cu ₃₀ <70 kPa.	0,9≤2,4-1,5•F _o •(a _g /g)≤1,8	1,25•(T _c *) ^{-0,5}
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D con spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con Vs30>800 m/s)	1,0≤2,0-1,1•F _o •(a _g /g)≤1,6	1,15•(T _c *) ^{-0,4}
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V _{s30} <100 m/s (oppure con 10<Cu ₃₀ <20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	necessarie specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche	
S2	Deposito di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.		

con S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica e C_c = coefficiente in funzione della categoria del sottosuolo

COMUNE DI CALVENZANO
COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PGT
in attuazione dell'Art. 57 L.R. 11 marzo 2005, n.12

Adeguamento della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT
ai sensi della D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008

CLASSIFICAZIONE DEL SITO secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D. M. 14/01/2008)	
Località:	Calvenzano Sito B
Metodo di indagine:	RE.MI.+ MASW
Strumentazione utilizzata:	Sismografo Geode, 24 canali, 24 bits
Metodo di energizzazione:	Rumore naturale + mazza da 5 kg
Geometria dello stendimento:	lineare con 24 geofoni - interasse 4 m

VELOCITA' SISMICA ONDE DI TAGLIO Vs30 (m/s)	391,3
Dati i risultati, il sito in esame risulta rispondere alla categoria di suolo di tipo: (si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori di ag e del coeff. S _s)	B

Classificazione sismica della zona	4
---	----------

Vita nominale (V _N)	50	
Classe d'uso / (C _U)	2	1
Periodo di riferimento (V _R)	(V _R =C _U •V _N)	50
Probabilità di superamento (P _{VR})	allo	SLC , 0,05
Periodo di ritorno (T _{VR}), valori 30≤T _{VR} ≤2475ann	T _{VR} =-V _R /(ln(1-P _{VR}))	975

vedi tabella n.1 (allegato b) - Tr (anni)	30	50	101	475	975	2475
accel. orizz.le max di norma per il sito in questione ag (in frazioni di g (m/sq)/ 9,8)	0,029	0,037	0,052	0,100	0,132	0,181
val. max del fattore ampl.ne spettro in accel.ne orizz.le F ₀ (-)	2,459	2,499	2,461	2,448	2,462	2,510
periodo di inizio tratto a vel.tà costante spettro in accel.ne orizz.le T _c * (sec)	0,198	0,215	0,241	0,275	0,282	0,290

Categorie di sottosuolo		coefficienti spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	
		S _s	C _c
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V _{s30} > 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	1	1
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s oppure di N _{spt30} >50 o Cu ₃₀ >250 kPa	1,0≤1,4-0,4•F ₀ •(a _g /g)≤1,2	1,1•(T _c *) ^{-0,2}
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s oppure di 15<N _{spt30} <50 o 70<Cu ₃₀ <250 kPa.	1,0≤1,7-0,6•F ₀ •(a _g /g)≤1,5	1,05•(T _c *) ^{-0,33}
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} <180 m/s oppure di N _{spt30} <15 o Cu ₃₀ <70 kPa.	0,9≤2,4-1,5•F ₀ •(a _g /g)≤1,8	1,25•(T _c *) ^{-0,5}
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D con spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con Vs30>800 m/s)	1,0≤2,0-1,1•F ₀ •(a _g /g)≤1,6	1,15•(T _c *) ^{-0,4}
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V _{s30} <100 m/s (oppure con 10<Cu ₃₀ <20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	necessarie specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche	
S2	Deposito di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.		

con S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica e C_c = coefficiente in funzione della categoria del sottosuolo

CLASSIFICAZIONE DEL SITO secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D. M. 14/01/2008)						
Località:	Calvenzano Sito C					
Metodo di indagine:	RE.MI.+ MASW					
Strumentazione utilizzata:	Sismografo Geode, 24 canali, 24 bits					
Metodo di energizzazione:	Rumore naturale + mazza da 5 kg					
Geometria dello stendimento:	lineare con 24 geofoni - interasse 4 m					
VELOCITA' SISMICA ONDE DI TAGLIO Vs30 (m/s)			352,8			
Dati i risultati, il sito in esame risulta rispondere alla categoria di suolo di tipo: (si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori di ag e del coeff. S _s)			C			
Classificazione sismica della zona			4			
Vita nominale (V _N)	50					
Classe d'uso / (C _U)	2	1				
Periodo di riferimento (V _R)	(V _R =C _U •V _N)	50				
Probabilità di superamento (P _{VR})	allo	SLC	0,05			
Periodo di ritorno (T _{VR}), valori 30≤T _{VR} ≤2475ann	T _{VR} =-V _R /(ln(1-P _{VR}))		975			
<i>vedi tabella n.1 (allegato b) - Tr (anni)</i>						
	30	50	101	475	975	2475
accel. orizz.le max di norma per il sito in questione ag (in frazioni di g (m/sq)/ 9,8)	0,029	0,037	0,051	0,099	0,130	0,178
val. max del fattore ampl.ne spettro in accel.ne orizz.le F _o (-)	2,461	2,500	2,463	2,453	2,463	2,510
periodo di inizio tratto a vel.tà costante spettro in accel.ne orizz.le T _c * (sec)	0,198	0,215	0,241	0,276	0,283	0,290
Categorie di sottosuolo		coefficienti spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali				
		S _s	C _c			
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di V _{s30} > 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	1	1			
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s oppure di N _{spt30} >50 o Cu ₃₀ >250 kPa	1,0≤1,4-0,4•F _o •(a _g /g)≤1,2	1,1•(T _c *) ^{-0,2}			
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s oppure di 15<N _{spt30} <50 o 70<Cu ₃₀ <250 kPa.	1,0≤1,7-0,6•F _o •(a _g /g)≤1,5	1,05•(T _c *) ^{-0,33}			
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s30} <180 m/s oppure di N _{spt30} <15 o Cu ₃₀ <70 kPa.	0,9≤2,4-1,5•F _o •(a _g /g)≤1,8	1,25•(T _c *) ^{-0,5}			
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D con spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con Vs30>800 m/s)	1,0≤2,0-1,1•F _o •(a _g /g)≤1,6	1,15•(T _c *) ^{-0,4}			
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di V _{s30} <100 m/s (oppure con 10<Cu ₃₀ <20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	necessarie specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche				
S2	Deposito di terreni suscettibili a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.					

con S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica e C_c = coefficiente in funzione della categoria del sottosuolo

Figura n. 3 Schede riassuntive classificazione del terreno secondo normativa nazionale.

COMUNE DI CALVENZANO
COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PGT
in attuazione dell'Art. 57 L.R. 11 marzo 2005, n.12

Adeguamento della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT
ai sensi della D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008

*Dott. Geol. Pedrali Carlo, via Borfuro n.2, 24122 Bergamo
Tel. 035/235559; Cell. 340/2392258*

COMUNE DI CALVENZANO
COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PGT
in attuazione dell'Art. 57 L.R. 11 marzo 2005, n.12

Adeguamento della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT
ai sensi della D.G.R. 8/7374 del 28/05/2008