

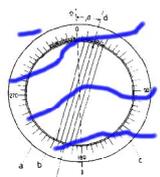
# COMUNE DI SIZIANO

PROVINCIA DI PAVIA

Piazza Giacomo Negri 1 – 27010 SIZIANO (PV)

## COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12 RELAZIONE TECNICA

visto: la committenza (Codice)	visto: Alberto Pagano, <i>dott. geologo</i>
.....	.....
	i rilevatori: Alberto Pagano, <i>geofisico</i>
	Data: <b>Dicembre 2009</b>



*geofisica ambientale idrogeologica – dott. Alberto Pagano*  
*Ordine dei Geologi della Lombardia N. 721 – Dottorato di Ricerca in Geofisica Applicata*

C.na Monsufax, 1 – 27050 CASEI GEROLA (PV), ITALY  
Tel., Fax: ++39.0383.61436  
C.f.: PGNLRT67M08G388K; P.I.: 01819160183

e-mail: bertimagnet@alice.it

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

**COMUNE DI SIZIANO**  
**PROVINCIA DI PAVIA**  
Piazza Giacomo Negri 1 – 27010 SIZIANO (PV)

**COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL  
TERRITORIO  
DEL COMUNE DI SIZIANO,  
IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12**

## RELAZIONE TECNICA

### **Indice**

1. PREMESSA.....	5
1.1 ARTICOLAZIONE DEL LAVORO.....	5
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	6
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	7
4. INQUADRAMENTO CLIMATOLOGICO.....	16
4.1 PLUVIOMETRIA, REGIME PLUVIOMETRICO, VENTI.....	17
4.2 TERMOMETRIA E REGIME TERMICO.....	18
5. INTRODUZIONE AI SUOLI E CARATTERI GEOPEDOLOGICI.....	19
5.1 I SUOLI DEL TERRITORIO DI SIZIANO.....	20
6. ACQUE SUPERFICIALI.....	22
7. FENOMENI DI ESONDAZIONE FLUVIALE DEI CORSI D'ACQUA E CONSIDERAZIONI SUL RISCHIO.....	23
8. VINCOLISTICA, DISTANZE DAI CORSI D'ACQUA.....	24
9. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA.....	25
9.1 QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	31
9.2 POTENZIALITÀ E VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI.....	34
10. INQUADRAMENTO LITOLOGICO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO.....	35
11. ZONAZIONE SISMICA NAZIONALE ED INQUADRAMENTO DEL COMUNE DI SIZIANO.....	37
11.1 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO PER IL COMUNE DI SIZIANO.....	41
11.1.1 COMUNE DI SIZIANO - 1° LIVELLO.....	43
11.1.2 COMUNE DI SIZIANO - 2° LIVELLO.....	44
11.2 INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR AI FINI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA COMUNALE.....	45
11.2.1 UBICAZIONE DELLE INDAGINI.....	50
11.2.2 INDAGINE DI SISMICA PASSIVA NEL COMUNE DI SIZIANO.....	51
11.3 VERIFICA DEGLI EFFETTI DI SITO IN RELAZIONE ALL'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEL COMUNE DI SIZIANO.....	54
11.4 EFFETTI MORFOLOGICI PREVEDIBILI NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO.....	56
11.5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLA ZONAZIONE SISMICA COMUNALE.....	57
11.6 GLOSSARIO PER I TEMI DELLA GEOFISICA.....	58
12. SINTESI DELLA RICERCA.....	60
13. NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE PER LE COSTRUZIONI DEL TERRITORIO COMUNALE DI SIZIANO (PV) – CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA E RIFLESSI SULLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE.....	61
13.1 FATTIBILITÀ.....	62
13.2 NORME TECNICHE DI PREVENZIONE ANTISISMICA PER LE NUOVE COSTRUZIONI DEL COMUNE DI SIZIANO 64	
13.2.1 3° LIVELLO.....	66
13.3 CLASSE 1 - FATTIBILITÀ SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI.....	70
13.4 CLASSE 2 - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI.....	71
13.5 CLASSE 3 - FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI.....	72
13.6 CLASSE 4 - FATTIBILITÀ CON GRAVI LIMITAZIONI.....	75

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI
DATA Dicembre 2009	GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12

## Figure

FIGURA 1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL COMUNE DI SIZIANO (PV). [ATLANTE STRADALE D'ITALIA, TOURING CLUB ITALIANO, 2000].....	7
FIGURA 2 - STRUTTURA DEL SOTTOSUOLO DELLA PIANURA PADANA NELLA ZONA DEL COMUNE DI SIZIANO. ESTRATTO DA: ANELLI-GORZA-GROPPI-RIVA, 1994 – <i>SUBSURFACE WELL DATA IN THE NORTHERN APPENNINES (ITALY)</i> – MEM. SOC. GEOL. IT.....	8
FIGURA 3 - SOTTOAMBIENTI E DEPOSITI FLUVIALI. A. CORSO A CANALI INTRECCIATI. B. CORSO MEANDRIFORME. (ALLEN, 1965 E 1970). <i>TAGLIO DI MEANDRO, DIVERSIONE O AVULSIONE</i> . (RICCI LUCCHI, 1980).....	9
FIGURA 4 - RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DELLA STRUTTURA DELLA PIANURA PADANA (A. PAGANO). A: <i>ALLUVIONI RECENTI ED ATTUALI (OLOCENE)</i> ; B: <i>FLUVIALE RECENTE (WURM)</i> ; C: <i>FLUVIALE MEDIO (RISS)</i> ; D: <i>FLUVIALE ANTICO (MINDEL)</i> ; E: <i>FLUVIALE BASALE (GUNZ)</i> .....	9
FIGURA 5 - EVOLUZIONE DEL F. PO DAL 12° SECOLO AD OGGI. (BRAGA, GERVASONI, 1989, <i>HISTORICAL CHANGE OF LARGE ALLUVIAL RIVERS: WESTERN EUROPE</i> , ED. G. E. PETTS).....	10
FIGURA 6 - TOPOGRAFIA RISALENTE AL 1922 DEL TERRITORIO DI SIZIANO. [I.G.M.I.; MODIFICATA].....	11
FIGURA 7 – CARTA GEOLOGICA D'ITALIA, F° 59 PAVIA, SCALA 1: 100.000.....	14
FIGURA 8 - SCHEMA CRONOLOGICO CLIMATOLOGICO DELL'AREA DEL SUB – ATLANTICO. [PANIZZA, 1990; MODIFICATA].....	17
FIGURA 9 - <i>PIOVOSITÀ MEDIA ANNUA</i> REGISTRATA NEL PERIODO 1958 – 2001 (ISTITUTO TECNICO AGRARIO C. GALLINI – VOGHERA).....	17
FIGURA 10 - <i>TEMPERATURA MASSIMA - MINIMA</i> REGISTRATA NEL PERIODO 1958 – 2001 (ISTITUTO TECNICO AGRARIO C. GALLINI – VOGHERA).....	19
FIGURA 11 - ESCURSIONE PLURIENNALE DEL LIVELLO DI SOGGIACENZA DELLA FALDA FREATICA SUPERFICIALE IN LOCALITÀ LIMITROFE AL TERRITORIO DI SIZIANO.....	26
FIGURA 12 - STRATIGRAFIA DI UN POZZO AD USO IDROPOTABILE DEL COMUNE DI SIZIANO.....	27
FIGURA 13 - MORFOLOGIA DELLA SOGGIACENZA DELLA FALDA LOMBARDA. DA: <i>ACQUE DA POZZI. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE PRINCIPALI DI ALCUNE ZONE DELLA PIANURA LOMBARDA</i> . REGIONE LOMBARDA, 1985.....	29
FIGURA 14 - MORFOLOGIA DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA DELLA FALDA LOMBARDA. DA: <i>ACQUE DA POZZI. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE PRINCIPALI DI ALCUNE ZONE DELLA PIANURA LOMBARDA</i> . REGIONE LOMBARDA, 1985.....	30
FIGURA 15 - POTENZE SPETTRALI DI ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE VERTICALE DEI MICROTREMORI (A DESTRA) REGISTRATE IN 75 OSSERVATORI SISMICI DISTRIBUITI SU TUTTO IL GLOBO TERRESTRE (PETERSON, 1993).....	46
FIGURA 16 - MODELLI STANDARD DEL RUMORE SISMICO MASSIMO (IN VERDE) E MINIMO (IN BLU) PER LA TERRA. GLI SPETTRI DI POTENZA SONO ESPRESSI IN TERMINI DI ACCELERAZIONE E SONO RELATIVI ALLA COMPONENTE VERTICALE DEL MOTO.....	47
FIGURA 17 - MODELLO DI SUOLO COSTITUITO DA DUE STRATI A DIVERSE VELOCITÀ DELLE ONDE SISMICHE E DENSITÀ.....	48
FIGURA 18. - LETTURA DEI GRAFICI H/V NEL DOMINIO AMPIEZZA-FREQUENZA E AMPIEZZA-PROFONDITÀ.....	49
FIGURA 19. – CASISTICA GENERALE. IL MASSIMO DI ORIGINE STRATIGRAFICA NELLA CURVA H/V È DATO GENERALMENTE DA UN MINIMO NELLA COMPONENTE VERTICALE, CON O SENZA MASSIMO NELLE COMPONENTI ORIZZONTALI (5 HZ NEL CASO IN FIGURA) SEGUITI DA UN MASSIMO SU TUTTE E TRE LE COMPONENTI AD UNA FREQUENZA ALL'INCIRCA DOPPIA (10 HZ NEL CASO IN FIGURA).....	50
FIGURA 20 - CONFRONTO TRA LE CURVE H/V REGISTRATE IN SIZIANO, SITO P1, SITO P3.....	51
FIGURA 21 - CURVA H/V, SITO P1 (MEDIA IN ROSSO, DEVIAZIONE STANDARD IN NERO).....	52
FIGURA 22 - SPETTRI MEDI DELLE SINGOLE COMPONENTI DEL MOTO.....	52
FIGURA 23 - CURVA H/V SPERIMENTALE (ROSSO) E TEORICA (BLU).....	52
FIGURA 24 - MODELLO DI PROFILO DELLE ONDE DI TAGLIO ORIZZONTALI VS PROPOSTO PER IL SITO.....	54

## Tabella

TABELLA 1 - PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI. (I, II, III, IIIA = PRIMI STRATI DEL SOTTOSUOLO INDAGATI, 7 M TOTALI).....	36
TABELLA 2 - ZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE E RIFERIMENTO PER IL COMUNE DI SIZIANO.....	39
TABELLA 3 - SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE INDIVIDUATI PER IL TERRITORIO DI SIZIANO (PV).....	43
TABELLA 4 – CLASSI DI PERICOLOSITÀ PER OGNI SCENARIO DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE DEL COMUNE DI SIZIANO (PV).....	44
TABELLA 5 – LIVELLI DI ATTENDIBILITÀ (IN GRASSETTO = COMUNE DI SIZIANO) VALUTATI PER LA STIMA DEL RISCHIO SISMICO E DELLE AMPLIFICAZIONI DI SITO PER IL TERRITORIO DI SIZIANO (PV).....	45
TABELLA 6 – VALUTAZIONE SESAME 2005 DELLE MISURE DI SISMICA PASSIVA EFFETTUATE IN SIZIANO.....	53
TABELLA 7 – QUADRO RIASSUNTIVO DELLE FREQUENZE DI RISONANZA SIGNIFICATIVE NEL TERRITORIO COMUNALE DI SIZIANO E CORRELAZIONE CON LE ALTEZZE DEGLI EDIFICI RELATIVAMENTE PIÙ VULNERABILI.....	55

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

TABELLA 8 – VALUTAZIONE PERIODO DI RISONANZA T – FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DI SITO FA PER IL SITO DI MISURA GEOFISICA DEL TERRITORIO COMUNALE DI SIZIANO.....	55
TABELLA 9 – REGIONE LOMBARDIA, BANCA DATI VALORI SOGLIE_LOMB.XLS PER IL COMUNE DI SIZIANO.....	56
TABELLA 10 - COMUNE DI SIZIANO - FASCIA DI VULNERABILITÀ PER DOPPIA RISONANZA TERRENO-STRUTTURA	57
TABELLA 11 – INQUADRAMENTO DELLA CATEGORIA DI SUOLO PREVALENTE DEL COMUNE DI SIZIANO, AI SENSI O.P.C.M. N. 3274/2003.....	58

### ***Allegati***

#### SEZIONE IDROGEOLOGICA

### ***Tavole***

- TAV. 1. CARTA GEOLITOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E DELLA PERICOLOSITA' SISMICA  
(Scala 1: 5.000)
- TAV. 2. CARTA IDROGEOLOGICA E DEL RETICOLO IDROGRAFICO (Scala 1: 5.000)
- TAV. 3. CARTA DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA, GEOPEDOLOGICA (Scala 1: 5.000)
- TAV. 4. CARTA DEI VINCOLI (Scala 1: 5.000)
- TAV. 5. CARTA DI SINTESI (Scala 1: 5.000)
- TAV. 6. CARTA DI FATTIBILITA' (Scala 1: 5.000)

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

## 1. PREMESSA

Il presente lavoro è stato realizzato ai sensi della L.R. 12/2005 “Criteri ed Indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di Governo del Territorio”. Esso aggiorna ed integra lo STUDIO DI CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA PER LA PREDISPOSIZIONE DEL PIANO REGOLATORE GENERALE DEL COMUNE DI SIZIANO (PV) [ D.G.R. Lombardia 7/6645 - D.G.R. Lombardia 5/36147 – L.R. Lombardia 41/97; D.G.R 6/37918 ], Novembre 2001.

Inoltre, il presente lavoro integra lo studio geologico di supporto al Piano Regolatore Generale secondo la nuova normativa in tema di antisismica prevista dalla Regione Lombardia, in attuazione dell’art. 57 della L.R. 12/2005.

Il precedente *STUDIO DI CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA* è già stato approvato ed è in dotazione alle NTA del Comune. Il presente lavoro a revisione, comprende ed integra il precedente studio geologico.

Si fa presente, infine, che il professionista incaricato conserva i diritti d’autore sul lavoro presentato, elaborati cartografici compresi e che la committenza può utilizzare gli stessi una sola volta e soltanto per lo specifico fine per il quale essi sono stati eseguiti.

### 1.1 ARTICOLAZIONE DEL LAVORO

Nelle prima fase dello studio si è proceduto alla raccolta ed alla valutazione dei dati geologici già disponibili in seguito a precedenti lavori eseguiti sul territorio comunale.

Per quanto concerne la redazione delle carte dei dissesti, è stata eseguita una elaborazione dei dati presenti nelle carte geomorfologiche e dei processi geomorfici in atto successivamente rivisti e corretti secondo la legenda uniformata al *Piano Stralcio per l’assetto idrogeologico del Bacino del fiume Po* [P.A.I.].

Dal confronto delle diverse carte tematiche redatte, scaturiscono la *sintesi* del rischio geologico e conseguentemente la *fattibilità geologica* e delle azioni di piano – alla scala 1:5.000 - riviste e corrette in funzione delle nuove disposizioni nazionali e regionali vigenti.

Le deliberazioni n. 5/36147 del 18 maggio 1993, n. 6/37918 del 6 agosto 1998 e n. 7/6645 del 29 ottobre 2001 hanno costituito gli indirizzi tecnici per gli studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici generali dei comuni, secondo quanto stabilito dalla

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

L.R. 24 novembre 1997, n. 41, abrogata dalla L.R. 11 marzo 2005, n. 12 “Legge per il governo del territorio”.

La D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005 ha definito gli indirizzi tecnici per gli studi geologici comunali, che sono aggiornati con D. G. R. 28 maggio 2008 – n. 8/7374, integrati a seguito dell’approvazione del D.M. 14 Gennaio 2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni” entrato in vigore il 1 Luglio 2009.

La cartografia impiegata per la redazione del presente studio e per la restituzione degli elaborati grafici è sulla base dell’aerofotogrammetria comunale, scala 1: 5000.

Questa scelta di scala è ritenuta idonea in quanto i fenomeni naturali che hanno agito o che agiscono nell’area studiata, interessano ampie superfici e non si manifestano in modo puntiforme.

Per quanto riguarda il reperimento dei dati, sono state consultate pubblicazioni scientifiche e d’archivio (presso Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Pavia, Amministrazione Provinciale di Pavia, pubblicazioni scientifiche, studi applicativi di carattere analogo, indagini locali rese disponibili dall’Amministrazione Comunale e dalla Regione Lombardia) inerenti sia l’area di studio che quelle limitrofe al territorio comunale; da queste sono state tratte informazioni sulla geologia e sulle caratteristiche territoriali dell’area.

---

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il territorio comunale di SIZIANO<sup>1</sup> si estende per una superficie di 11.8 km<sup>2</sup> e comprende, nella Regione Lombardia, parte della porzione centro-settentrionale della Pianura Padana.

L’ambito comunale è costituito dal centro principale di SIZIANO, dalle frazioni Casatico, Campomorto, Gnignano e da sporadiche casine, distribuite sul territorio.

Dal punto di vista geografico, il territorio occupa il settore nord orientale della Provincia di Pavia. In particolare, per quanto riguarda la rete stradale<sup>2</sup>, il centro abitato è interessato dalla SP 205 – *Vigentina* con senso nord-sud. Con senso est-ovest, a nord del centro si

---

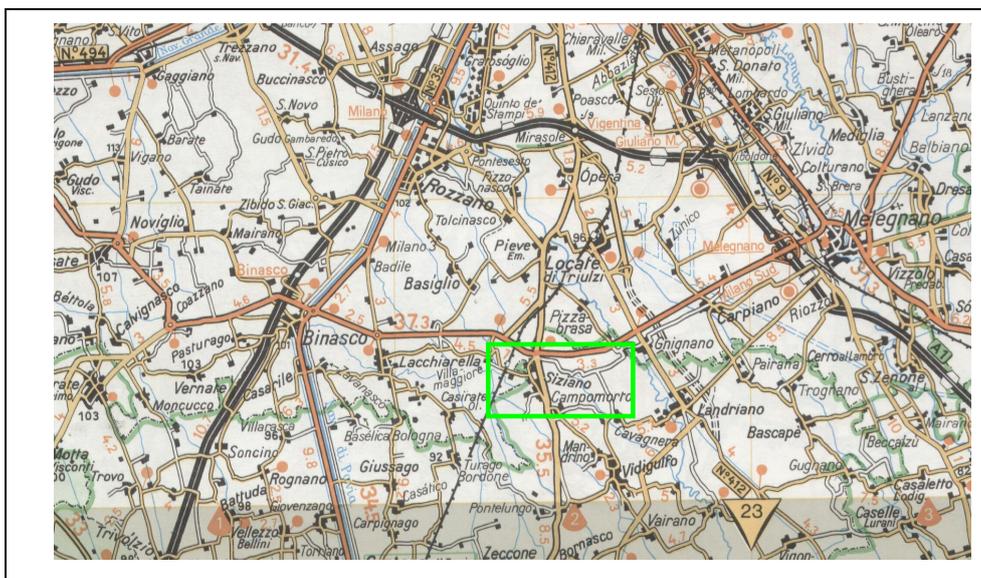
<sup>1</sup> “(Centro (1291 abitanti, detti Sizianesi; comune di 11.8 km<sup>2</sup> con 2290 abitanti) in provincia di Pavia (a 16 km), posto a 93 m s.m. Fabbricazione di seggiole, turaccioli, lime. Stazione ferroviaria a Villamaggiore (a 1 km) sulla linea Milano-Genova”, [Dizionario Enciclopedico Italiano - G. Treccani, 1963].

<sup>2</sup> Amministrazione Provinciale di Pavia, Carta Tecnica della Viabilità, 1991.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO,
DATA Dicembre 2009	IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12

trova la SP 40 Binasco-Melegnano; a sud-est del paese si trovano invece la SP 154 Vidigulfo-Cavagnera-Siziano e la SP 50 Zibido al Lambro-Campomorto con direzione Pontelungo.

I confini amministrativi del territorio comunale risultano :  
 Nord, Nord-Ovest : Comuni di Binasco, Opera (Provincia di Milano);  
 Est : Comune di Landriano PV, Comune di Vidigulfo PV;  
 Sud: Comune di Vidigulfo PV.



**Figura 1** - Inquadramento geografico del Comune di Sizio (PV). [Atlante Stradale d'Italia, Touring Club Italiano, 2000]

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

TAV. 1. CARTA GEOLITOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E DELLA PERICOLOSITA' SISMICA  
(Scala 1: 5.000)

Il territorio comunale di SIZIANO si trova inserito nel contesto geologico evolutivo della Pianura Padana.

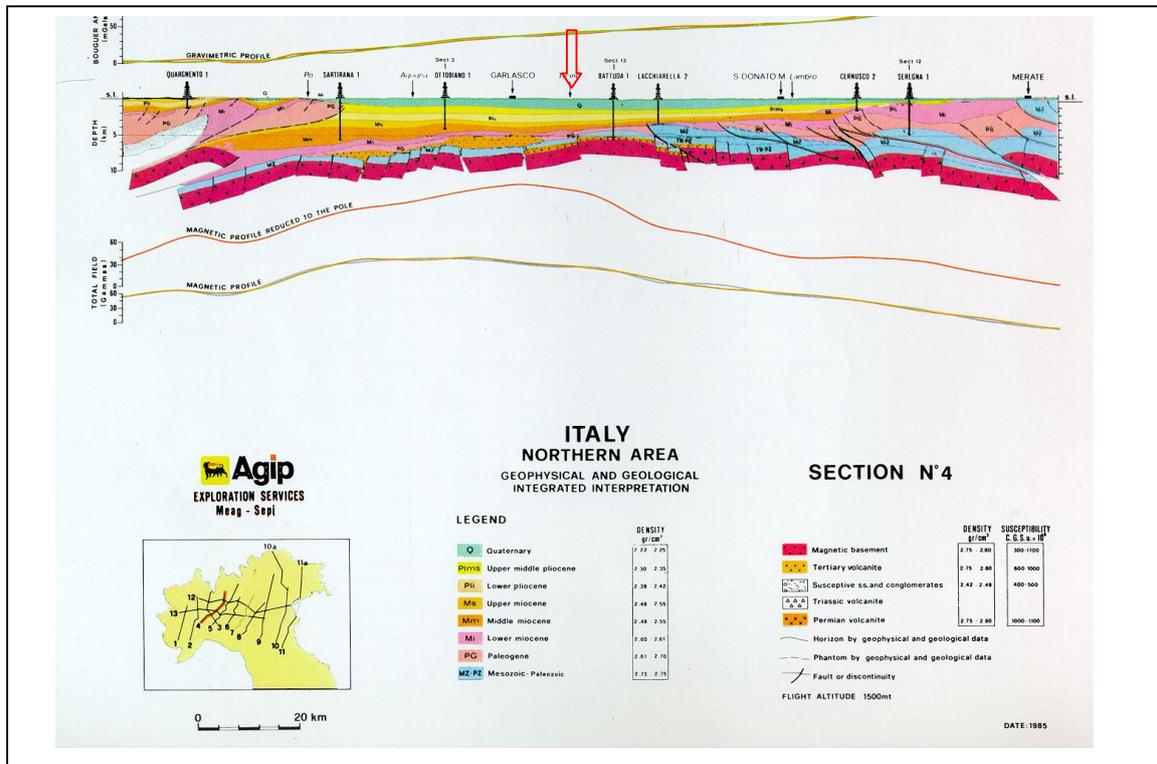
Intense mutazioni climatiche dal *Pleistocene inferiore* (circa 1,8 milioni di anni fa), hanno movimentato la Pianura ed hanno caratterizzato la natura e la struttura dei depositi alluvionali in cui si trova modellata (Fig. 2, 3, 4, 5). La nota dominante del *Pleistocene* è infatti identificata dal ripetuto alternarsi di climi freddi (glaciazioni) e climi temperati. L'alternarsi delle condizioni climatiche è responsabile della periodica espansione e del successivo ritiro dei ghiacciai alpini.

PROGETTO

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI  
GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO,  
IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12

DATA

Dicembre 2009



**Figura 2** - Struttura del sottosuolo della Pianura Padana nella zona del Comune di SIZIANO. Estratto da: ANELLI-GORZA-GROPPI-RIVA, 1994 – *Subsurface well data in the northern Appennines (Italy)* – Mem. Soc. Geol. It.

Dal punto di vista morfologico, ciascuna fase di espansione dei ghiacciai (fase *anaglaciale*) corrisponde ad un periodo di generale deposizione di materiale detritico da parte dei corsi d'acqua, materiale proveniente dalla "demolizione" dei rilievi e quindi di "costruzione" di una pianura alluvionale.

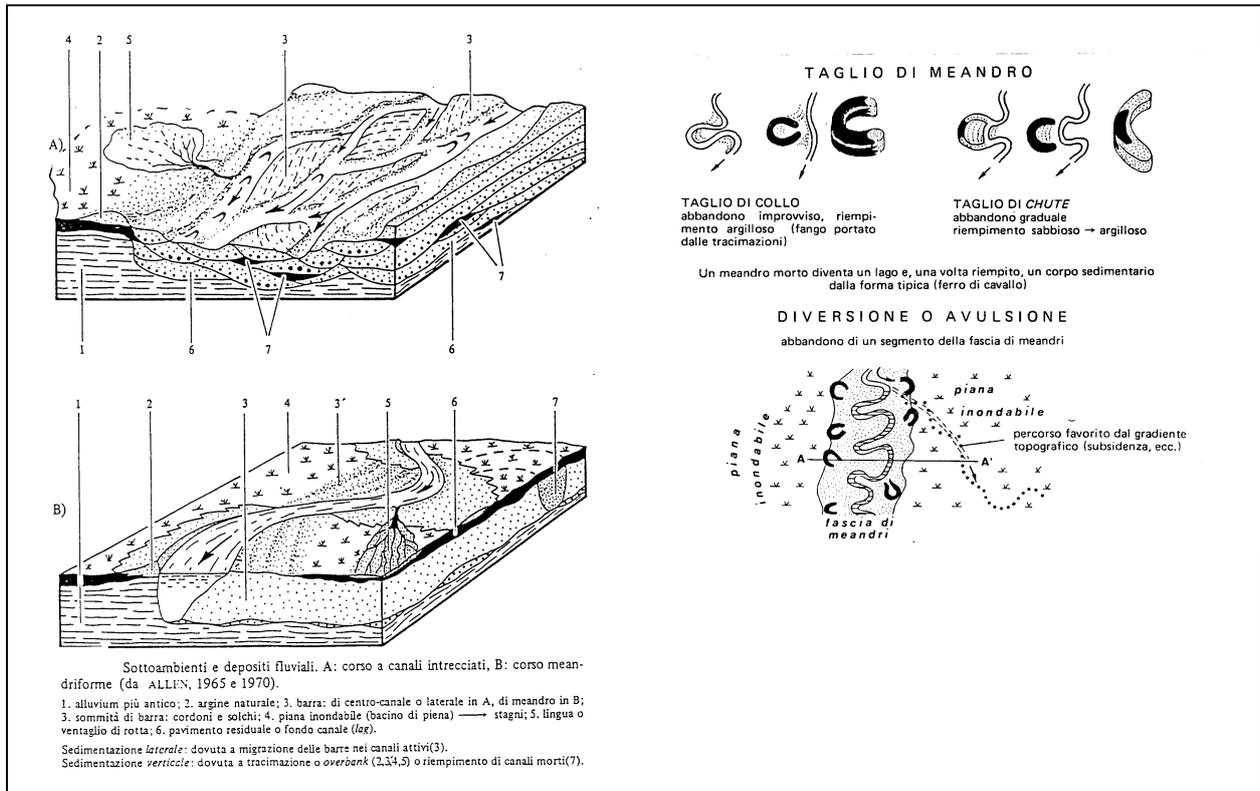
A ciascuna fase di ritiro dei ghiacciai (fase *cataglaciale* ed *interglaciale*) corrisponde invece un momento di generale erosione, da parte dei corsi d'acqua superficiali, degli stessi depositi alluvionali che erano state precedentemente depositi (Fig. 3, 4).

Così, l'alveo viene a trovarsi a quota inferiore rispetto a quella della pianura circostante. Un gradino o scarpata, denominato "*terrazzo fluviale*", separa il nuovo solco che è stato scavato e si è ampliato lateralmente (*divagazioni* fluviali). I nuovi depositi saranno nuovamente erosi ed incisi durante la successiva fase glaciale.

Al quadro sopra delineato corrisponde schematicamente la struttura geologica dei depositi alluvionali della Pianura Padana. I depositi più antichi (*Fluviale Gunz*) sono

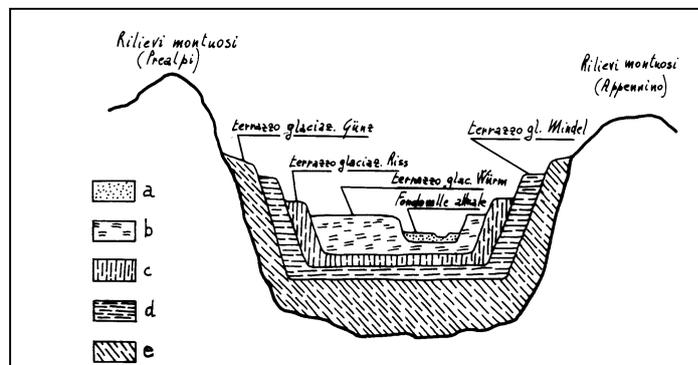
PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

presenti al margine della pianura (in prossimità dei rilievi) e costituiscono i terrazzi più elevati rispetto alla quota attuale di fondovalle.

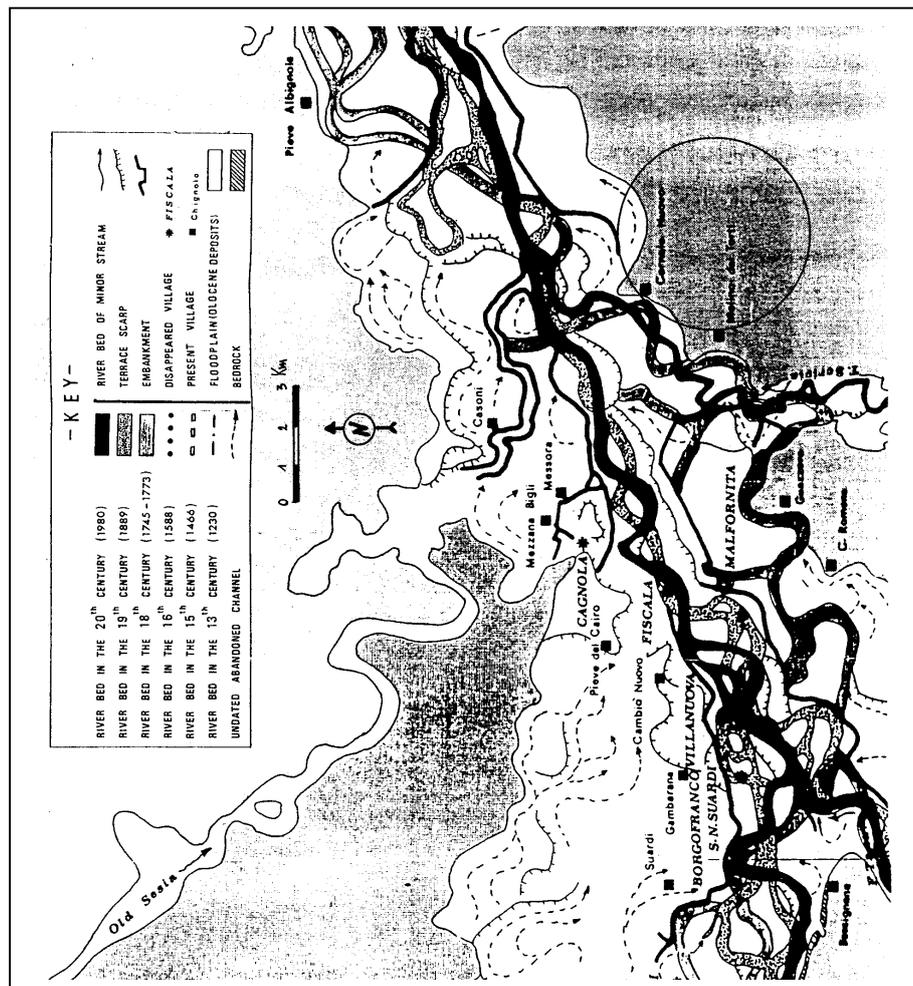


**Figura 3** - Sottoambienti e depositi fluviali. A. corso a canali intrecciati. B: corso meandriforme. (ALLEN, 1965 e 1970). *Taglio di meandro, diversione o avulsione.* (RICCI LUCCHI, 1980).

L'evoluzione geomorfologica esprime il concetto di "terrazzi inscatolati" o di "valle a cassetta", termini con cui viene comunemente indicata la struttura della Pianura Padana (Fig. 4).



**Figura 4** - Rappresentazione schematica della struttura della Pianura padana (A. Pagano). a: alluvioni recenti ed attuali (Olocene); b: Fluviale recente (Wurm); c: Fluviale medio (Riss); d: Fluviale antico (Mindel); e: Fluviale basale (Gunz).



**Figura 5** - Evoluzione del F. Po dal 12° secolo ad oggi. (Braga, Gervasoni, 1989, *Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe*, Ed. G. E. Petts).

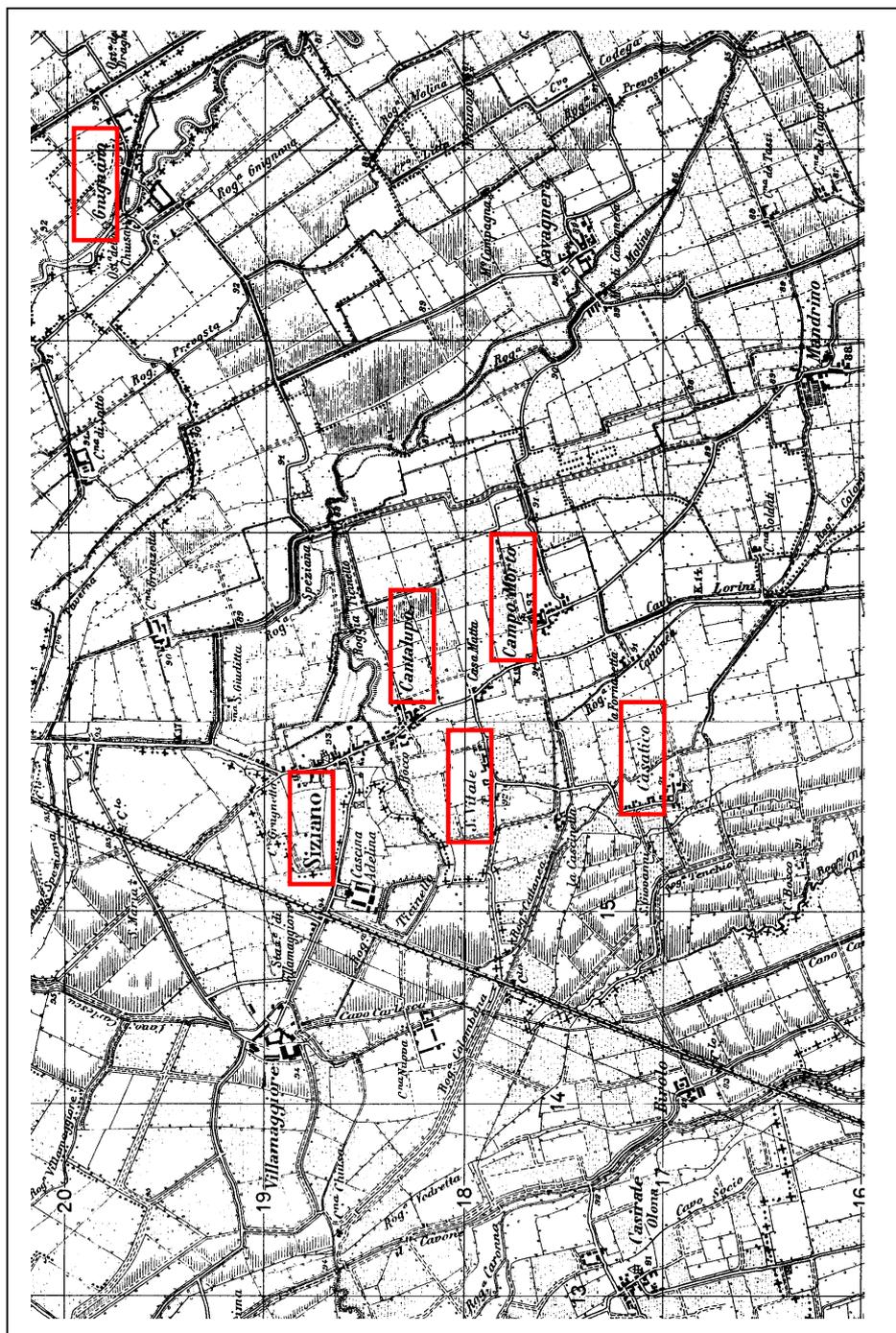
Il territorio comunale di SIZIANO si inserisce in questo contesto geologico evolutivo in tempi relativamente recenti. Dal punto di vista morfologico, si trova all'interno di un'ampia superficie di terrazzo fluviale, il Piano Generale della Pianura Padana. Ovvero nella fase di generale deposizione dell'ultima glaciazione (*Wurm*) e della successiva fase cataglaciale ed interglaciale (alluvioni *postglaciali*).

E' stato realizzato uno studio fotointerpretativo del territorio comunale e delle aree adiacenti che ha permesso di produrre la carta dei lineamenti geomorfologici allegata.

Per la redazione di tale cartografia è stata adottata la metodologia suggerita da CASTIGLIONI *et al.* (1986) ormai ampiamente in uso per le aree di pianura.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Dal punto di vista morfologico il territorio comunale è rappresentato da un paesaggio pianeggiante che si estende tra i fiumi Ticino ad ovest e Adda ad est e che degrada con regolarità verso sud-est.



**Figura 6** - Topografia risalente al 1922 del territorio di SIZIANO. [I.G.M.I.; modificata].

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Questi terreni sono stati depositati nella fase di colmamento fluviale – fluvioglaciale che ha interessato la pianura padana in corrispondenza dell’ultima fase glaciale (Pleistocene Superiore).

L’evoluzione morfologica postglaciale che ha interessato questo settore di pianura, è legata ancora prevalentemente a processi di origine fluviale.

La drastica riduzione della portata dei fiumi che si è verificata al termine della fase di fusione delle masse glaciali, ha determinato la perdita d’importanza di alcune direttrici naturali di drenaggio. Nel caso di incisioni di secondaria importanza, si sono così verificati fenomeni sia di abbandono dell’originario tracciato sia di *cattura* da parte delle aste fluviali principali. E’ il caso del Lambro Meridionale che occupa l’incisione un tempo riferibile al dominio dell’Olona.

All’altezza di Milano, i fiumi perdono d’identità e la riacquistano solamente a valle dell’allineamento dei fontanili in corrispondenza del limite meridionale del territorio provinciale. E’ il caso questo del Cavo Ticinazzo individuabile solamente a partire dall’estremità sudorientale del territorio comunale.

In corrispondenza di questo settore della pianura, l’intervento antropico finalizzato all’irrigazione dei campi, ha determinato con il trascorrere del tempo profonde modificazioni sia per quanto riguarda la direzione naturale di drenaggio delle acque che la regolamentazione delle stesse. Il Naviglio di Pavia risulta essere il principale canale artificiale della zona . Le altre rogge o canali possiedono sponde in gran parte naturali e seguono spesso i tracciati di originarie incisioni naturali.

L’omogeneità morfologica della pianura in corrispondenza del territorio comunale di SIZIANO è legata alla presenza di un’unica unità fisiografica principale che caratterizza il paesaggio e che prende il nome di Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P.). Essa costituisce gran parte della pianura milanese che si estende a valle del Pianalto ferrettizzato. L’incisione invece di rilievo di tale piano per il territorio in esame è costituita da quella operata recentemente dal Fiume Lambro Meridionale.

L’unità fisiografica del Livello Fondamentale della Pianura s’identifica come una superficie caratterizzata da omogeneità di forme del paesaggio. Essa risponde perciò a criteri propriamente geomorfologici ed è caratterizzata dalle seguenti proprietà:

⇒ superficie riconosciuta sulla base di discontinuità che la delimitano dalle adiacenti;

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

- ⇒ il limite dell'unità è costituito da superfici sia d'erosione sia d'aggradazione. I corpi sedimentari delimitati da queste superfici possono presentare caratteristiche litologiche, tessiturali, fisiche, chimiche, paleontologiche proprie sia verticalmente che orizzontalmente;
- ⇒ definibili in base ad un'area tipo;
- ⇒ l'interpretazione genetica non è un criterio che può essere utilizzato per definire l'unità stessa, ma può facilitare nell'individuazione dei suoi limiti.

Oltre alle specifiche proprietà del L.F.d.P., in generale i criteri adottati per la distinzione delle diverse unità fisiografiche nella pianura padana sono:

- ⇒ geomorfologico: l'assenza di corsi d'acqua di una certa importanza su gran parte del territorio in questione, ha determinato la conservazione, nelle zone pianeggianti, delle forme e delle caratteristiche ereditate al termine del periodo glaciale;
- ⇒ il grado di alterazione dei depositi e il grado di sviluppo del processo pedogenetico: le caratteristiche dei suoli e quelle dei depositi fluvioglaciali risultano direttamente collegate alle diverse unità fisiografiche;
- ⇒ la presenza di loess: spesso è utilizzata per la distinzione dei terrazzi prewurmiani;
- ⇒ i rapporti stratigrafici: possono essere utilizzati anche se spesso risultano di scarso aiuto. I depositi delle diverse unità fisiografiche risultano più spesso in contatto laterale che stratigraficamente sovrapposti.

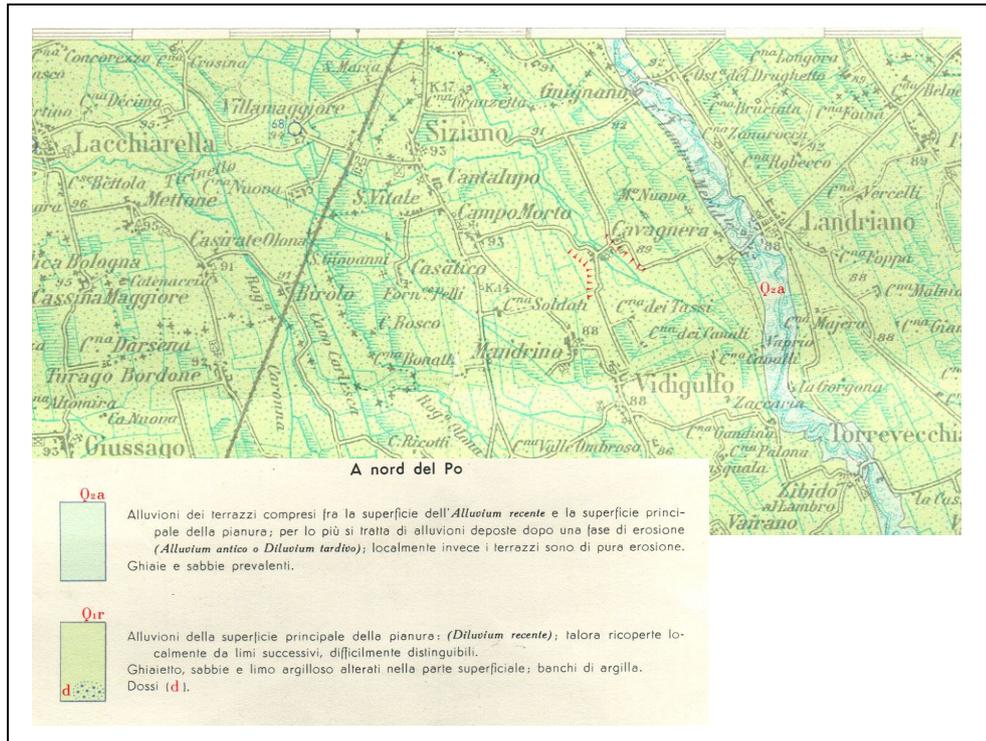
In corrispondenza della zona di studio la superficie tabulare che caratterizza l'unità del Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P.), degrada dolcemente verso sud-est, con gradienti massimi di circa 1.0-1.4‰.

L'ambiente di deposizione è riferibile, nella porzione più settentrionale della pianura caratterizzata da gradienti più elevati, a corsi d'acqua pluricursali (*braided*), a basso indice di sinuosità ed elevata energia. Verso sud, la riduzione del gradiente topografico ha favorito l'evoluzione degli alvei verso una tipica configurazione a *meandri*.

Le depressioni riconosciute sul L.F.d.P. sono riconducibili alle incisioni operate da antichi corsi d'acqua che hanno divagato su tale superficie (reticolo idrografico fossile) a partire dall'ultima fase glaciale. Infatti, al termine della fase di deglaciazione, le grandi paleofiumare ridussero gradualmente la loro portata liquida e ancora più sensibilmente

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

quella solida. Il reticolo fluviale si adattò quindi al diverso regime climatico e idrico ed in conseguenza di ciò si determinò la notevole riduzione di ampiezza delle zone d'influenza fluviale, l'inizio della fase di erosione con l'incisione della pianura appena abbandonata e l'innescò del processo pedogenetico sulle aree non più interessate dall'attività fluviale.



**Figura 7** – Carta Geologica d'Italia, F° 59 Pavia, scala 1: 100.000.

La redazione della Tav. 1. CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA, rappresentata insieme con i dati geologici, illustra i concetti sopra esposti. Essa è derivata da una prima fase di analisi fotointerpretativa, finalizzata all'individuazione dei principali lineamenti geomorfologici (orli di scarpata, cambi di pendio, zone soggette ad erosione, ecc....), seguita a complemento dall'analisi delle cartografie predisposte nell'ambito del Piano Territoriale Paesistico Regionale (*Boll. Uff. Reg. Lombardia n. 20, Milano, Edizione speciale del 21 Maggio 1998*) integrate poi dalle verifiche e dalle osservazioni effettuate in campagna.

I canoni e le unità di paesaggio che contraddistinguono il territorio comunale, appartengono al paesaggio denominato della *fascia della Bassa Pianura* (BP), delle *fascie fluviali*.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Si riportano di seguito, ritenendole significative per lo scopo, alcune perifrasi di descrizione di tale paesaggio, così come reperite sullo stesso Piano Territoriale Paesistico.

*“La bassa pianura si fa iniziare dalla linea delle risorgive che da Magenta-Corbetta, passando per Milano, ..... attraversa longitudinalmente l'intera Lombardia. Il paesaggio lungo tale linea dall'alta alla bassa pianura non è percepibile a prima vista : la presenza delle risorgive, con cui inizia naturalmente la pianura umida, che l'uomo ha attrezzato con un esteso sistema irriguo, introduce però una maggiore presenza di verde, oltre agli elementi che si legano a un'agricoltura più ricca e diversamente organizzata. Oggi l'irrigazione supera verso l'alta pianura i confini naturali che vivevano in passato ed anche questo attenua la discriminazione percepibile tra le due parti.*

*Gli elementi che tradizionalmente stavano ad indicare la specificità del paesaggio basso-lombardo erano diversi un tempo : in primo luogo va posta l'organizzazione agricola basata sulla grande cascina, la minor densità umana, il senso pieno della campagna, la presenza delle piantate che animano gli scenari, il carattere geometrico del disegno dei campi, la rettilineità delle strade, dei filari, dei canali irrigatori, ecc., la regolare distribuzione dei centri abitati, che si annunciano nel paesaggio con le cuspidi dei campanili. Oggi vi sono aggiunti i serbatoi idrici sopraelevati e, in qualche senso, i silos e gli edifici multipiani intorno ai centri maggiori.*

*Le riconversioni del paesaggio basso-lombardo degli ultimi decenni riguardano la diversa organizzazione agricola. Diversamente che nell'alta pianura non è molto diffuso qui il fenomeno dell'agricoltura part-time, che si lega per solito alla presenza dell'industria. Qui è ancora agricoltura piena, è attività produttiva specializzata, spesso avanzatissima nelle sue tecniche, nelle sue forme di meccanizzazione. Può sorprendere tuttavia come questa trasformazione dei modi di produzione, legata alla riduzione estrema della manodopera, abbia ancora le sue basi nelle vecchie cascine di un tempo, le grandi corti che in passato accoglievano decine e decine di famiglie impegnate in aziende di diverse centinaia di ettari. Oggi quelle infrastrutture, spesso di notevole impegno architettonico, che associavano casa padronale, chiesa, case dei lavoratori, sono state in parte riconvertite, utilizzate come magazzini, come depositi per le macchine o in parte abbandonate. Ma i perni dei territori rurali sono ancora oggi questi grossi insediamenti agricoli acquattati nel verde, resi malinconici oggi rispetto ad un tempo dalla perdita delle presenze umane, delle loro voci, sostituite dal rumore insistente dei trattori, e quindi divenuti strettamente centri di produzione, come indicano le nuove infrastrutture di cui spesso si sono attrezzate (stalle, porcilaie, silos, magazzini, ecc.).*

*Il paesaggio intorno alle cascine, non di rado raggiungibile attraverso viali alberati, si dispiega con una presenza di alberi che varia da zona a zona e, si può dire, da azienda ad azienda. Ciò anche perché oggi si tende ad ampliare, in funzione della meccanizzazione, le superfici coltivate, e quindi ad eliminare le piantate che nei secoli passati cingevano fittamente ogni particella coltivata, ponendosi ai bordi delle cavedagne o lungo i canali di irrigazione, associando alberi diversi, dal pioppo, al salice, al frassino, alla farnia, ecc. Oggi l'albero dominante quasi dovunque è il pioppo d'impianto, talora disposto in macchie geometriche, il cui legno è destinato all'industria dei compensati. Il pioppo (*Populus nigra*) spesso persiste isolato in mezzo ai campi e la sua presenza sopperisce oggi, in modi non di rado maestosi, alla carenza d'alberi nelle campagne, ormai sempre più destinate alla maiscoltura per l'allevamento.”*

*Si deve inoltre tenere conto “del sistema irrigatorio non solo come fattore di vitalità e di ricchezza, oltre che di quell'opulenza propria del paesaggio, ma anche come riferimento storico, in senso cattaneo ricordando le ricerche dello studio ottocentesco sulla tenacia e l'impegno che sono costati per realizzarlo.”*

Al fine di fornire un preliminare inquadramento dell'area è stata redatta la CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA. E' stata utilizzata, come base, la CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (scala 1: 100.000), provvedendo successivamente ad effettuare un rilievo di controllo e verifica direttamente sul terreno.

Considerato l'inquadramento geologico regionale descritto e sulla base dei rilievi effettuati si evince che il territorio comunale risulta totalmente impostato su alluvioni limoso-argillose, datate *Olocene-Pleistocene superiore*.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Il territorio comunale si trova cartograficamente rappresentato nel FOGLIO n°59 della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA.

Nella cartografia geologica si individuano i seguenti litotipi:

- Q2a "Alluvioni dei terrazzi compresi fra la superficie dell' *Alluvium recente* e la superficie principale della pianura; per lo più si tratta di alluvioni deposte dopo una fase di erosione (*Alluvium antico* o *Diluvium tardivo*); localmente invece i terrazzi sono di pura erosione. Ghiaie e sabbie prevalenti."

A tale zona corrisponde la fascia terrazzata adiacente al Fiume Lambro Meridionale con buona parte della Frazione di Gnignano.

- Q1r "Alluvioni della superficie principale della pianura: (*Diluvium recente*); talora ricoperte localmente da limi successivi, difficilmente distinguibili.

Ghiaietto, sabbie e limo argilloso alterati nella parte superficiale; banchi di argilla. Dossi (d)."

A questa unità geolitologica corrisponde la quasi totalità del territorio comunale di SIZIANO.

---

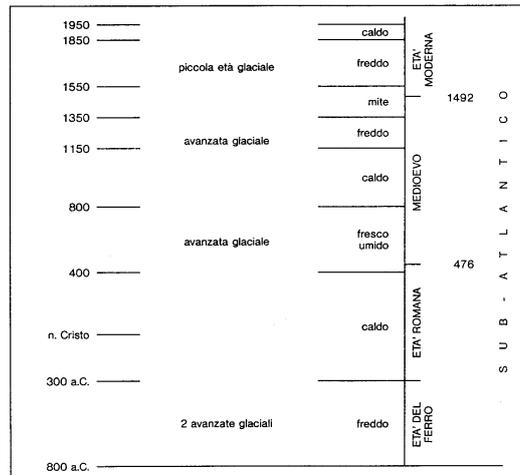
#### 4. INQUADRAMENTO CLIMATOLOGICO

Questa parte di Pianura Padana, a clima *temperato sub-continentale* nella classificazione dei climi di *Koppen*, è caratterizzata da inverni rigidi ed estati calde, poiché si assiste in generale ad una scarsa circolazione delle masse d'aria a causa della barriera orografica alpina che impedisce la libera circolazione delle perturbazioni atlantiche, nord-occidentali, originando inverni con nebbia.

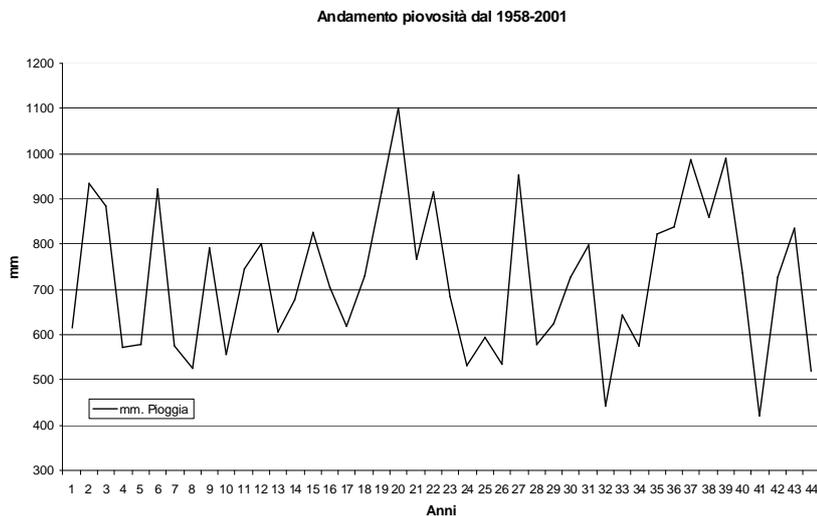
Le precipitazioni atmosferiche aumentano in primavera, associandosi alle perturbazioni atlantiche quelle mediterranee. Durante il periodo estivo prevale un regime di pressioni livellate, ma con un certo contributo di attività temporalesche a causa degli elevati localizzati gradienti di pressione atmosferica che si generano per forte riscaldamento di masse d'aria sulla superficie topografica. In questo periodo la combinazione di temperature ed umidità elevate origina condizioni di caldo *afoso*.

In autunno si torna nuovamente ai massimi della piovosità locale, prevalendo gli influssi dei cicloni mediterranei.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	



**Figura 8** - Schema cronologico climatologico dell'area del Sub – Atlantico. [PANIZZA, 1990; modificata].



**Figura 9** - Piovosità media annua registrata nel periodo 1958 – 2001 (Istituto Tecnico Agrario C. Gallini – Voghera).

#### 4.1 PLUVIOMETRIA, REGIME PLUVIOMETRICO, VENTI

In Fig. 9 è illustrato l'andamento della piovosità media annua negli ultimi decenni. Il valore medio della piovosità annua (anni 1917-78) è di 697,44 mm. Appare evidente il picco di piovosità in corrispondenza dell'anno 1976-77 con 1102,2 mm di pioggia. Subordinati si trovano quelli corrispondenti al 1959, al 1963, ed al 1984. Picchi di aridità sono avvenuti negli anni 1962, 1965, 1981, 1983 con massimo nel 1989.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Gli eventi meteorologici, invece, che possono dare luogo a criticità con rischio di alluvionamento accadono in corrispondenza di intense piovosità giornaliere, con incrementi anche del 25% della piovosità media totale annua.

La *rosa dei venti* tende a disporsi lungo le direzioni prevalenti di sud-ovest. In particolare si registra una maggiore frequenza dei venti dal settore sud-ovest (28-30%), subordinatamente da da est e nord est (meno del 25 %), molto ridotti gli eventi per il settore nord-ovest e leggermente più alti per il settore ovest (meno del 10%).

La velocità del vento risulta maggiore nei mesi primaverili (spesso oltre i  $2 \text{ ms}^{-1}$ ) quando si raggiungono i valori massimi (al limite da 5 a  $8 \text{ ms}^{-1}$ , ma raramente al di sopra di  $5 \text{ ms}^{-1}$ ). Le calme prevalgono in inverno ed in estate, mentre in autunno si hanno situazioni medie.

---

#### 4.2 TERMOMETRIA E REGIME TERMICO

Il territorio comunale di SIZIANO, come la maggior parte di questo settore della Pianura Padana, è caratterizzato da un clima complessivamente temperato, con temperatura media annua di  $12,5^{\circ}\text{C}$ . Nel semestre caldo (aprile-settembre) la temperatura media è di  $19,2^{\circ}\text{C}$ .

L'area del Comune si trova nella parte della provincia caratterizzata da una bassa pianura umida; la tipologia climatica è stata definita attraverso i dati pluviometrici della stazione di Baggio ed i dati termometrici dell'Osservatorio Meteorologico di Brera Milano.

L'area è caratterizzata durante l'anno da tre differenti periodi di piovosità, collocandosi tra le isoiete 900-1000 mm/anno. Da gennaio a maggio si registrano abbondanti precipitazioni che superano l'evapotraspirazione sia del suolo sia della vegetazione; pertanto si raggiunge un livello di *surplus idrico* del bilancio idrico del suolo (secondo il modello di Thornthwaite, 1957). Nei mesi estivi, da giugno a settembre, si hanno scarse precipitazioni pertanto è accumulato un *deficit idrico*; questo viene poi reintegrato nel mese di ottobre fino ad ottenere un secondo surplus tra novembre e dicembre.

L'andamento delle temperature cresce regolarmente da gennaio, mese più freddo (min.  $2.9^{\circ}\text{C}$ ) fino a raggiungere temperature massime nel mese di luglio (max  $24.0^{\circ}\text{C}$ ) per poi decrescere nuovamente; l'escursione termica annua è di  $11.2^{\circ}\text{C}$ .

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Temperature Massime e Minime del periodo 1958-2001

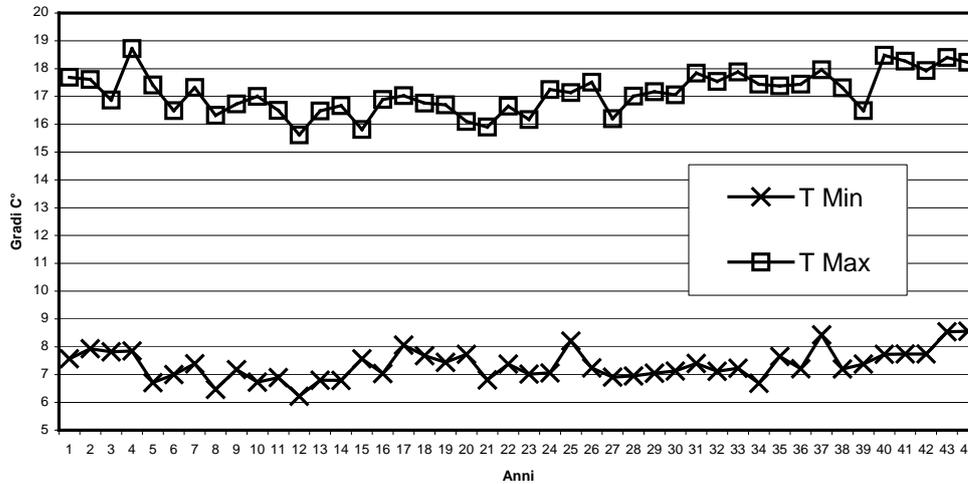


Figura 10 - Temperatura massima - minima registrata nel periodo 1958 – 2001 (Istituto Tecnico Agrario C. Gallini – Voghera).

## 5. INTRODUZIONE AI SUOLI E CARATTERI GEOPEDOLOGICI

TAV. 3. CARTA DI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA, GEOPEDOLOGICA (Scala 1: 5.000)

Per suolo si intende il prodotto di un insieme di fattori interagenti secondo una funzione empirica (JENNY, 1941) che vede il suolo al primo termine e i fattori di stato (*clima, roccia, morfologia, biota, uomo, tempo ed elementi non definiti*) al secondo termine:

$$S = f(cl, r, m, b, u, t, \dots)$$

Le tipologie di suolo del territorio comunale di SIZIANO sono caratterizzate da suoli con drenaggio difficile o impedito per la presenza di *sottorizzonti* saturati d'acqua per un certo periodo dell'anno. Tale fenomeno è legato alla presenza di consistenti depositi impermeabili superficiali, elemento tipico di queste porzioni della Pianura Padana.

Le classificazioni pedologiche e le varie definizioni si riferiscono generalmente a tre sistemi di classificazione, internazionalmente riconosciuti, che sono: *Soil Taxonomy* (1990), *Classificazione Francese CPCS* (1967) e la *legenda FAO* (1988). Per comodità di comprensione nel caso specifico è stata utilizzata la nomenclatura proposta per la *legenda FAO* (risulta da una semplificazione della *Soil Taxonomy*), la quale suddivide in 26 unità fondamentali il sistema principale, suddivise a loro volta in 106 unità pedologiche cartografiche.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Per la caratterizzazione dei suoli si è utilizzata la carta pedologica de “I SUOLI DEL PARCO AGRICOLO SUD MILANO” e “PIANURA PAVESE CENTRALE” a cura dell’ERSAL – Regione Lombardia.

Nel presente lavoro pertanto sono descritte le varie tipologie di suolo secondo la metodologia adottata dalla suddetta cartografia. Lo studio pedologico eseguito dall’ERSAL segue la classificazione americana Soil Taxonomy USDA, 1975; edizione 1994 e FAO-UNESCO, 1990.

Si possono individuare sistemi e sottosistemi che raggruppano aree geneticamente omogenee. I sottosistemi sono suddivisi a loro volta in unità di paesaggio individuata dall’attuale morfologia di superficie; in ogni unità si individuano differenti *unità cartografiche* (u.c.) distinte per il tipo di substrato, lo spessore degli orizzonti e la tessitura del suolo. Un’*unità cartografica* è un’area delineata con contorno definito nominata per contenuto pedologico. Rappresenta *consociazioni* (aree dominate da una sola unità tassonomica) e *complessi* (aree in cui sono associati più elementi tassonomici). Ad ogni *unità cartografica* corrisponde un *ordine*, un *grande gruppo* e un *sottogruppo* della *soil taxonomy*.

---

## 5.1 I SUOLI DEL TERRITORIO DI SIZIANO

Il territorio di SIZIANO rientra nell’unità cartografica collocata nelle superfici modali antiche della pianura alluvionale.

I suoli sono quelli definiti a regime *udico* relativamente all’umidità, vale a dire che non appaiono asciutti in qualche parte per 90 o più giorni cumulativi nella maggior parte degli anni. Dal punto di vista termico i suoli rientrano nel regime *mesico*, cioè compreso tra gli 8°C e i 15°C; tale parametro è definito valutando la temperatura media annua del suolo a 0.5 m di profondità.

Si possono individuare sistemi e sottosistemi che raggruppano aree geneticamente omogenee. I sottosistemi sono suddivisi a loro volta in unità di paesaggio individuata dall’attuale morfologia di superficie; in ogni unità si individuano differenti *unità cartografiche* (u.c.) distinte per il tipo di substrato, lo spessore degli orizzonti e la tessitura del suolo.

Un’*unità cartografica* è un’area delineata con contorno definito nominata per contenuto pedologico. Rappresenta *consociazioni* (aree dominate da una sola unità tassonomica) e *complessi* (aree in cui sono associati più elementi tassonomici). Ad ogni *unità*

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

*cartografica* corrisponde un *ordine*, un *grande gruppo* e un *sottogruppo* della *soil taxonomy*.

Sistema	Sottosistema	Unità	N° u.c.	Ordine USDA	Grande gruppo
L	LQ	LQ3	6	entisuoli	<i>Typic udorthents</i>
			7	Inceptisuoli	<i>Dystric eutrocrepts</i>
		LQ4	11	Alfisuoli	<i>Typic hapludalfs</i>
			13	Alfisuoli	<i>Typic hapludalfs</i>
			14	Inceptisuoli	<i>Dystric eutrocrepts</i>
			16	Entisuoli	<i>Acquic hapludalfs</i>
		LQ5	17	Inceptisuoli	<i>Typic haplaquepts</i>
			18	Inceptisuoli	<i>Typic haplaquepts</i>
			21	Alfisuoli	<i>Acquic hapludalfs</i>
			26	inceptisuoli	<i>Typic haplaquepts</i>
			27	inceptisuoli	<i>Typic haplaquepts</i>
			30	inceptisuoli	<i>Acquic eutrocrepts</i>
			25	mollisuoli	<i>Acquic hapludolls</i>

Il territorio di SIZIANO rientra nel sistema L che si riferisce ad una piana fluvioglaciale e fluviale terrazzata del tardo Pleistocene (wurmiana), costituente il livello fondamentale della Pianura lombarda. Il sottosistema LQ indica che il territorio di SIZIANO rientra in quel tratto di pianura interessato da fenomeni di idromorfia riconducibili all'emergenza della falda.

Le tre differenti unità in cui rientra il territorio del Comune sono:

- ⇒ LQ3, unità riferita alle aree interposte alle principali depressioni o di transizione verso l'alta pianura fluvioglaciale (le aree più a nord), caratterizzate da ondulazioni deboli e aree di raccordo pianeggianti;
- ⇒ LQ4, unità riferita ad aree ondulate o piatte, modellate e incise dalle acque superficiali soggette a frequenti interventi antropici di livellamento di ampie superfici;
- ⇒ LQ5, unità riferita ad aree pianeggianti o leggermente depresse a drenaggio difficoltoso con falda idrica che tende spesso a risalire verso la superficie (la fascia meridionale del Comune).

Nel Comune sono stati riconosciuti suoli appartenenti ai seguenti ordini:

- Inceptisuoli

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Suoli in cui i processi pedogenetici hanno determinato alterazioni di natura fisico-chimica del materiale parentale, caratterizzato da un orizzonte B cambico

- Alfisuoli

Suoli che presentano orizzonti diagnostici formatisi in seguito a lisciviazione degli strati superficiali, con accumulo delle argille più fini e degli ossidi di ferro.

- Entisuoli

Suoli poco evoluti con orizzonti limitati e assenza di orizzonti diagnostici.

- Mollisuoli

Suoli caratterizzati dalla presenza di un orizzonte superficiale scuro e spesso dovuto alla sostanza organica umificata, piuttosto fertile (suoli presenti in minima parte).

---

## 6. ACQUE SUPERFICIALI

TAV. 4. CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO MINORE [RIM] E PRINCIPALE [RIP]  
(Scala 1: 5.000)

In riferimento al Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po (L. 18.05.1989, n° 183 – d.C.I. n° 18 del 26.04.2001”), non esistono nel territorio comunale aree comprese in Fascia A, B, C del P.A.I.

In riferimento alla definizione del reticolo idrografico minore e principale del Comune di SIZIANO, in ottemperanza alle direttive della D.G.R. n°7/7868 del 25.01.2002, modificata da D.G.R. 1 Agosto 2003 n. 7/13950, L.R. 1/2000, art. 3, comma 114 e successive integrazioni, non esistono corsi d'acqua classificabili quali minori ai sensi della normativa. Ciò in seguito all'incarico conferito allo Studio Tecnico Ecotecno, Pavia, Prof. C. Ciaponi Del. G. C. n. 43 del 15/05/03 Comune di Siziano ed alla relativa convalida degli elaborati all'Ente competente presso STER di Pavia.

I corpi idrici presenti nel territorio comunale che fanno parte del reticolo principale [RIP] sono:

- 1) OLONETTA DI LARDIRAGO, detta a monte Roggia Misano Olona, ed alle origini Roggia Olona (sigla PV055), iscritta nell'elenco delle Acque Pubbliche con il numero 158.
- 2) FIUME LAMBRO MERIDIONALE (sigla PV060), iscritto nell'elenco delle Acque Pubbliche con il numero 170.
- 3) TICINELLO (sigla PV061), iscritto nell'elenco delle Acque Pubbliche con il numero 171.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

I rimanenti corsi d'acqua sono privati o afferenti alla gestione del Consorzio di Bonifica Est Ticino-Villoresi. Non esistono corpi idrici individuati nell'allegato "D" della Delibera G. R. n. 7/13950 01/08/03 sui quali le funzioni concessorie e di polizia idraulica siano esercitate dal Consorzio.

L'idrografia superficiale comunale ricade nel bacino idrografico del Fiume Lambro Meridionale, che scorre lungo il limite orientale del Comune.

Tutti i corsi d'acqua hanno senso di scorrimento generale verso Sud Est ed alcuni di essi assolvono sia funzione di drenaggio del territorio che costituiscono la rete di approvvigionamento idrico per le colture, mais e riso prevalentemente, che vengono irrigati a scorrimento, più limitatamente a pioggia.

---

## **7. FENOMENI DI ESONDAZIONE FLUVIALE DEI CORSI D'ACQUA E CONSIDERAZIONI SUL RISCHIO**

TAV. 2. CARTA IDROGEOLOGICA E DELLE ESONDAZIONI STORICHE (Scala 1: 5.000)

Le informazioni inerenti questo paragrafo riguardanti il rischio potenzialmente generabile dagli episodi di alluvionamento possibili nel territorio, sono stati desunti da sopralluoghi con reperimento di informazioni storiche a memoria d'uomo, sulla base di eventi pregressi, e da documentazione raccolta presso l'Ufficio Tecnico comunale, Regione Lombardia.

Il risultato è che non esistono studi idraulici idrologici resi disponibili presso gli Uffici competenti sui corsi d'acqua, con specifico riferimento ad esondazioni che hanno interessato il territorio comunale.

Dal punto di vista delle esondazioni, unica posizione dove si segnalano episodi di alluvionamento è la zona a nord di Casatico, in prossimità della località Cascinetta. Qui a causa del restringimento operato dalla sezione del ponte sulla Roggia Colombana, si sono verificati alcuni modesti episodi di alluvionamento in corrispondenza di intense precipitazioni temporalesche. Si ritiene comunque che, visto l'uso agricolo previsto delle aree interessate dall'esondazione, non sia necessario intervenire nella realizzazione di argini o di altre difese di sponda.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Eventualmente, per sanare la situazione, può essere prevista una manutenzione straordinaria di pulizia e sagomatura della sezione di deflusso o eccezionalmente la modifica dell'opera di attraversamento.

Per quanto concerne l'intero territorio comunale, non si ritiene che possano verificarsi in caso di piene ordinarie o straordinarie delle situazioni di pericolo. Tale situazione va comunque verificata e controllata in futuro, in relazione all'attuale tendenza all'innalzamento della falda nell'area di Milano.

Il rischio d'esondazione per le aree interessate da detti episodi sono stati di portata limitata. Le condizioni di miglioramento possono considerarsi di fatto attese e durature almeno per un periodo ventennale ed oltre. Pertanto, a valle della valutazione idraulica disponibile in merito e dei dati reperiti in sito, si stima del tutto scarsa la probabilità del verificarsi di eventi d'esondazione per portate significative. Si ritiene pertanto di non limitare l'uso del suolo in tal senso con la formulazione di limitazioni tecnico-urbanistiche all'uso del territorio ed in particolare nella zona dell'abitato di SIZIANO.

---

## 8. VINCOLISTICA, DISTANZE DAI CORSI D'ACQUA

TAV. 5. CARTA DEI VINCOLI (Scala 1: 5.000)

Nel territorio comunale di SIZIANO gode di "vincolo paesaggistico" il Fiume Lambro Meridionale e le relative rive per una fascia di 150 m ciascuna. Ciò in forza del D.LGS. 22/01/2004.

Tali aree, quindi, sono indicate espressamente dalla legge come meritevoli di tutela e pertanto da proteggere da ogni intervento distruttivo a qualsiasi titolo proposto. Tali vincoli però *"non si applicano alle zone A, B e, limitatamente alle parti ricomprese nei piani pluriennali di attuazione, alle altre zone, come delimitate negli strumenti urbanistici ai sensi del D.M. 1444, e nei comuni sprovvisti di tali strumenti, ai centri perimetrati ai sensi dell'art. 18 della Legge n. 865 del 22/10/1971"*. Fuori da tali aree e per le autorizzazioni di competenza comunale, come stabilito dalla L.R. 18/97, la necessaria autorizzazione è rilasciata con atto prodotto dal comune.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Per quanto riguarda le acque pubbliche, come stabilito dal R.D. 523/1904 art. 96, lettera f, in cui si stabilisce che per quelle aree dove manca una disciplina locale relativamente a “fabbriche e scavi”, sia osservata una fascia di rispetto di 10 metri di larghezza in corrispondenza di ciascuna sponda del corso d’acqua.

Per i canali di bonifica e per le loro opere di pertinenza, le attività vietate e quelle consentite previa autorizzazione sono stabilite dal Regolamento R.D. 08/05/1904 n° 368 “*sulle bonificazioni delle paludi e dei terreni paludosi*”.

In riferimento al vigente PIANO CAVE DELLA PROVINCIA DI PAVIA - D.C.R. n. VIII/344 del 20/02/07 (Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia, 2° Suppl. Straordinario, 29 marzo 2007) - prevede l’attività di un polo estrattivo di sabbia e ghiaia nel territorio comunale. Si tratta dell’ AMBITO g59, previsto dalla revisione del predetto piano. Il piano prevede la coltivazione dell’area, parte nel Comune di Vidigulfo parte nel Comune di SIZIANO, “per arretramento della scarpata locale che limita in sinistra la depressione in cui scorre la roggia Molino”.

---

## 9. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

TAV. 2. CARTA IDROGEOLOGICA E DELLE ESONDAZIONI STORICHE (Scala 1: 5.000)

Le acque sotterranee sono state studiate mediante sopralluoghi ai pozzi presenti sul territorio con misure freatiche, raccolta di dati litostratigrafici e ricostruzione di massima delle isopieze caratteristiche della zona.

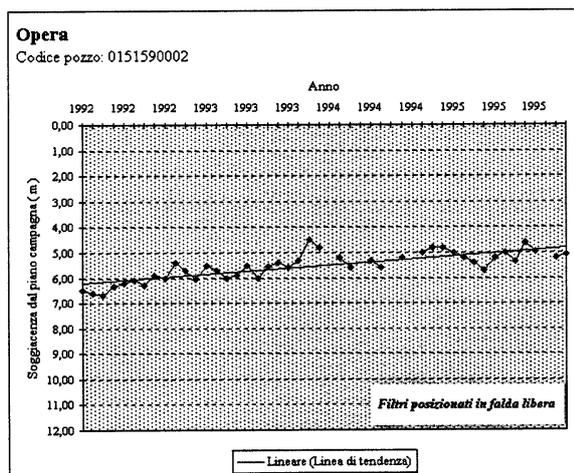
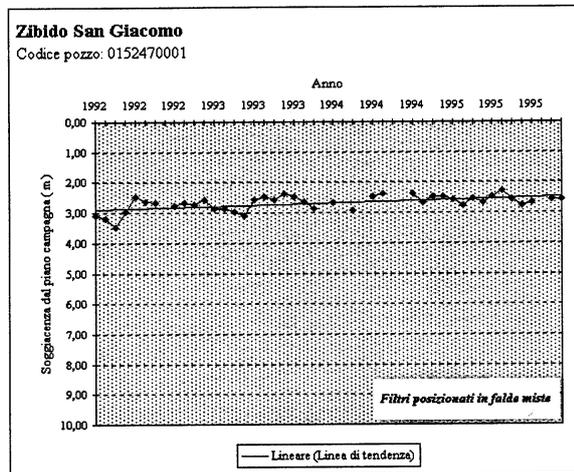
Per una caratterizzazione della dinamica idrogeologica dell’area e per acquisire una conoscenza puntuale circa l’attuale andamento della piezometria, è stato svolto un censimento dei punti d’acqua.

Pozzi, si trovano del tutto sporadicamente sul territorio a causa di un più utile ed efficace sfruttamento delle acque superficiali, artificialmente incanalate e strutturate a scopo irriguo. Inoltre, alcune difficoltà per la misurazione della soggiacenza freatica e per la ricostruzione della superficie piezometrica sono emerse per la strutturazione particolare di taluni pozzi, di cui è stato impossibile misurarne direttamente il livello statico. Ciò a causa della complessa chiusura della testata della tubazione, che è però a vantaggio della protezione della falda.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

La profondità della falda può variare nel tempo in relazione all'equilibrio dinamico tra l'entità dell'alimentazione della falda (data dalle precipitazioni e dalle pratiche irrigue in agricoltura) e l'emunzione della stessa.

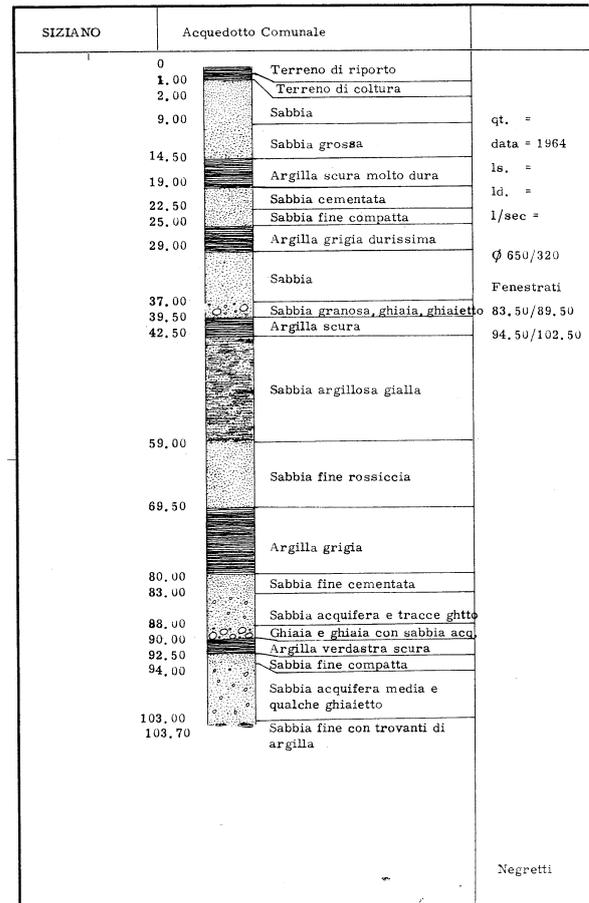
La soggiacenza media della falda nel territorio (luglio 2001) è generalmente di 1.5-2.0 m. L'oscillazione dell'altezza della falda durante l'anno, è di circa 1.0 metri (con minimo in marzo-aprile e massimo tra giugno ed agosto), influenzata notevolmente anche dall'azione di ricarica artificiale generata dal colmamento dei terreni a risaia. Le oscillazioni della falda risultano comunque smorzate dall'azione regolatrice operata dai fossi e dai canali. Infatti, essendo il territorio in studio ubicato a valle a sud della linea dei fontanili, le variazioni verso l'alto del livello di falda sono attenuate dalla maggiore emissione d'acqua da questi che viene poi smaltita dall'effetto *trincea drenante* dei numerosissimi canali scolmatori.



**Figura 11** - Escursione pluriennale del livello di soggiacenza della falda freatica superficiale in località limitrofe al territorio di Siziano.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Il verso di deflusso generale della falda è da nord ovest a sud sud-est, con gradiente pari a circa 0.005. L'andamento del percorso sotterraneo delle acque decorre seguendo l'asse di drenaggio principale costituito dal Fiume Po.



**Figura 12** - Stratigrafia di un pozzo ad uso idropotabile del Comune di SIZIANO

A proposito dell'altezza del livello raggiunto occasionalmente dalla falda, sono state riscontrate criticità costituite dall'infiltrazione nei piani interrati (autorimesse, cantine) d'acqua di falda superficiale, in occasione del colmamento primaverile dei terreni adiacenti. Tali situazioni si sono verificate in alcuni dei fabbricati civili ubicati nel settore nord-ovest dell'abitato.

Risultando morfologicamente ondulata, seppure debolmente, la superficie topografica del territorio comunale, specie nelle zone dell'abitato e vicine, non si ritiene opportuno in questa sede individuare delle quote indicative o delimitare aree in cui vietare la realizzazione di

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

seminterrati e cantine. Ciò presupporrebbe studi di specifico dettaglio che esulano dal fine della presente ricerca. Nel caso di scelte effettuate con indicazioni per aree relativamente vaste ed eterogenee si comporterebbero limitazioni costruttive eccessivamente restrittive.

Si sottolinea inoltre, il fatto che a causa delle caratteristiche del sottosuolo costituito da una alternanza di livelli permeabili ed impermeabili, non è da escludere che durante i periodi di irrigazione dei fondi agrari o di intense precipitazioni atmosferiche, si possano formare delle falde sospese localizzate. Pertanto saranno necessarie verifiche puntuali nelle aree che dovessero essere destinate ad opere di carattere urbanistico.

Utilizzando la colonna stratigrafica dei pozzi comunali reperiti, realizzando alcune correlazioni con quelle di pozzi pubblici limitrofi (Allegato 2. Colonne Stratigrafiche locali), è stato possibile effettuare una ricostruzione interpretativa del sottosuolo. L'assetto idrogeologico comunale appare costituito da più falde idriche, sovrapposte. Tale ricostruzione è stata effettuata raggruppando e correlando gli strati litologici meno potenti ed indicandoli con la stessa simbologia dei litotipi prevalenti.

Dalla comparazione delle stratigrafie disponibili e da alcune considerazioni sull'assetto generale della zona è stata ricostruita la successione litostratigrafica ed è stata definita la geometria degli acquiferi di importanza regionale e dei livelli impermeabili di separazione.

Dall'esame dei dati è possibile riconoscere per la zona una struttura idrogeologica costituita da diverse unità idrogeologiche all'interno delle quali sono ubicati tre probabili acquiferi principali.

**1° Acquifero.** Si estende da 0 fino a 13-15 m di profondità.

Dal punto di vista litologico si hanno ghiaie e sabbie prevalenti con subordinate lenti di limi ed argille.

Tra 13-15 m fino a 18-20 m dal piano campagna si trova un livello di argille e sabbie fini. In generale presenta buona continuità laterale con spessori generalmente costanti anche se in alcune perforazioni per pozzi per acqua non è stato rinvenuto.

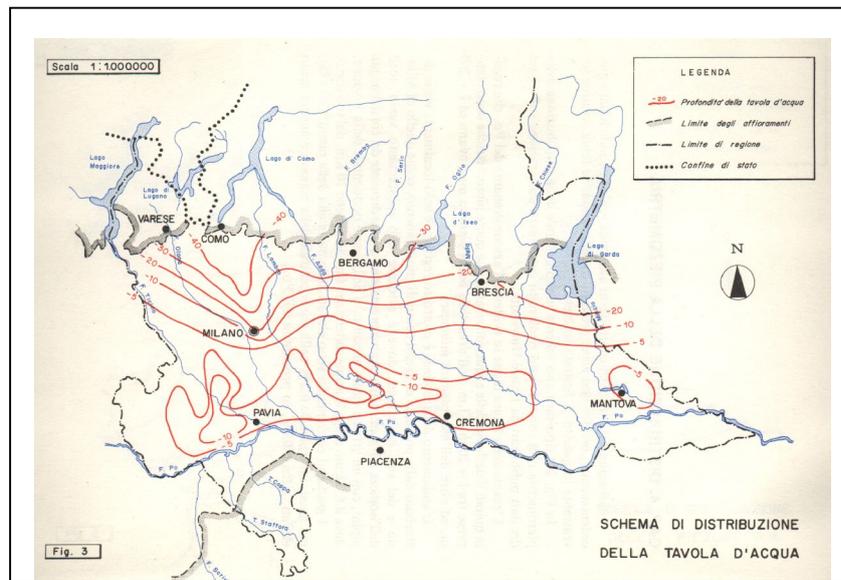
**2° Acquifero.** Il livello di falda di quest'acquifero non appare distinto dal primo o presenta caratteristiche semiartesiane in relazione della posizione dei punti di misura. Presumibilmente questi due primi acquiferi sono in comunicazione in alcuni punti di disomogeneità del setto separatore. Inoltre i due acquiferi, in misura minore, sono

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

messi in comunicazione dalla presenza di pozzi i cui filtri sono posizionati a diverse profondità mettendo così in costante comunicazione le relative acque.

Dal punto di vista litologico si hanno sabbie e ghiaie prevalenti con lenti di limi ed argille ad andamento laterale molto discontinuo fino alla profondità di circa 57-60 m.

**3° Acquifero.** E' costituita da una falda di tipo artesiano, in pressione, ubicata in sabbie e ghiaie molto fini.



**Figura 13** - Morfologia della soggiacenza della falda lombarda. Da: *Acque da Pozzi. Caratteristiche idrogeologiche principali di alcune zone della pianura lombarda*. Regione Lombardia, 1985.

I dati disponibili da altre misurazioni e pubblicazioni scientifiche indicano, per quanto riguarda l'oscillazione del livello della falda secondo cicli pluriennali<sup>3</sup> oscillazioni dell'ordine di  $\pm 1.0$  m. Le annate 1987-88 si configurano come il periodo secco di massima soggiacenza<sup>4</sup> del livello registrato negli ultimi decenni; l'anno 1997 rappresenta invece il termine di un ciclo a maggiori precipitazioni con registrazione quindi di un livello di minima soggiacenza.

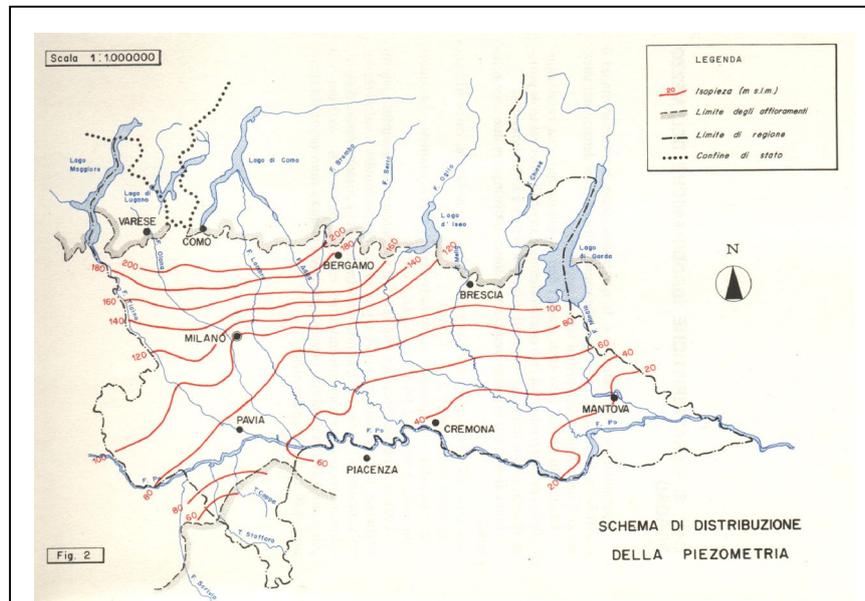
La ricostruzione dinamica risulta tuttavia generalizzata in quanto alcuni tra i pozzi di misura intercettano falde di tipo locale e sospese, tali per cui i livelli acquiferi deviano

<sup>3</sup> (periodi di anni secchi alternati a periodi più umidi, legati alle quantità medie annue della colonna di acqua di precipitazione meteorica in relazione anche con i cicli undecennali di attività delle macchie solari).

<sup>4</sup> La soggiacenza indica la profondità dal piano campagna della superficie piezometrica (superficie in corrispondenza della quale la pressione è uguale a quella atmosferica), che, nel caso di falda freatica libera, coincide con il livello dell'acqua.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

localmente dalla struttura morfologica della superficie isopiezometrica di questa parte della pianura. A causa della scarsità dei punti disponibili non risulta possibile una ricostruzione di dettaglio di tali falde sospese.



**Figura 14** - Morfologia della superficie piezometrica della falda lombarda. Da: *Acque da Pozzi. Caratteristiche idrogeologiche principali di alcune zone della pianura lombarda*. Regione Lombardia, 1985.

La ricostruzione della situazione idrogeologica del sottosuolo (Allegato SEZIONE IDROGEOLOGICA) è stata desunta dai dati resi disponibili studi e indagini territoriali locali, stratigrafie di pozzi idrici scavati per lo più a scopo idropotabile.

Utilizzando le colonne stratigrafiche dei pozzi comunali reperiti, realizzando alcune correlazioni con quelle di pozzi pubblici limitrofi, è stato possibile effettuare una ricostruzione interpretativa del sottosuolo. L'assetto idrogeologico comunale appare costituito da più falde idriche, sovrapposte. Tale ricostruzione è stata effettuata raggruppando e correlando gli strati litologici meno potenti ed indicandoli con la stessa simbologia dei litotipi prevalenti.

Dalla comparazione delle stratigrafie disponibili e da alcune considerazioni sull'assetto generale della zona è stata ricostruita la successione litostratigrafica ed è stata definita la geometria degli acquiferi di importanza regionale e dei livelli impermeabili di separazione.

Idrogeologicamente una successione litologica come quella descritta precedentemente, porta alla costituzione di una falda idrica nei sedimenti più grossolani, sigillata dagli

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

orizzonti impermeabili argilloso-limosi sovrastanti e, conseguentemente, alla formazione di una *falda in pressione*.

Locali eteropie tra sedimenti argillosi e sedimenti sabbioso-ghiaiosi all'interno dello strato più superficiale creano le condizioni per la genesi di locali falde sospese, la cui potenzialità idrica risulta per il territorio in esame storicamente limitata in ragione dell'estensione areale delle lenti di materiale poroso, permeabili, che fungono da serbatoio. Tali eteropie si riflettono maggiormente nella geometria e quindi nella struttura di quella che è la prima falda vera e propria, il cui acquifero giunge fino a circa 60 m di profondità dal piano campagna e risulta avere carattere di tipo *semiconfinato*, in relazione alle oscillazioni piezometriche del pelo libero dell'acqua di falda ed alla profondità a cui si trovano ancora depositi fini impermeabili.

---

## 9.1 QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE

I parametri di qualità delle acque sotterranee di falda sono descritti attraverso i valori di riferimento forniti dalla legge oltre ad alcune indicazioni di carattere generale, fornite in bibliografia, sulle più probabili fonti d'inquinamento.

Il contenuto in nitrati è stabilito attraverso linee guida di raggiungimento di qualità delle acque (D.lgs. 152/99, D.lgs.258/2000) che distingue tra il valore di 50 mg/l (Concentrazione Massima Ammissibile) ed il Valore Guida che è fissato a 5 mg/l.

Contenuti di nitrati superiori ai 14 mg/l sono legati all'attività antropica (Madison R.J., Brunnet J.O., 1985). La presenza di nitrati di origine antropica nelle acque superficiali è legata principalmente al dilavamento delle superfici agrarie, trattate con fertilizzanti azotati oppure soggette a spandimento di liquami zootecnici, aree soggette agli scarichi di reflui urbani o industriali o a scarichi provenienti da impianti di depurazione.

Strettamente connesso alla concentrazione dei nitrati nelle acque è l'impiego dei reflui zootecnici in agricoltura che è regolamentato dalle seguenti normative nazionali:

D.P.R. 10/09/1982 n. 915

D.L. 20/01/1992 n. 13

Del. C. R. 14/01/1993 n. V/730

L.R. 15/12/1993 n. 37

Del. G.R. 30/12/1993 n. 37

Del. G.R. 12/06/1995 n. 5/69318.

PROGETTO	<i>COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12</i>
DATA Dicembre 2009	

Tali normative impongono un utilizzo più razionale e controllato di tali pratiche limitando i rischi per la salute pubblica. Va ricordato che per il D.lgs. 152/99, D.lgs.258/2000, gli spandimenti sono vietati nei terreni che distano meno di duecento metri da un'opera di captazione idropotabile.

Per quanto riguarda le "sostanze indesiderabili", più precisamente i composti organoalogenati, la cui concentrazione massima ammissibile è stabilita dai D.lgs. 152/99, D.lgs.258/2000 (C.M.A. 30 micro g/l e V.G. 1 micro g/l), la presenza di queste sostanze in falda evidenzia un problema di continuo rilascio di tali composti chimici nell'ambiente. La loro presenza è spesso legata a scarichi di rifiuti industriali, a pozzi perdenti, a vasche e fosse settiche, a tubazioni o serbatoi di stoccaggio non a perfetta tenuta, a sversamenti accidentali, a discariche e all'abbandono della sorveglianza dei pozzi.

Una volta raggiunta la superficie della falda, queste sostanze tendono a fluire verso il basso sino a raggiungere il substrato impermeabile appiattendosi su di esso. Nel contempo la fase miscibile genera un pennacchio inquinante che si espande nella direzione di flusso.



PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Questi decreti, in attuazione della direttiva CEE n. 80/778 *concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano*, istituisce le aree di salvaguardia delle risorse idriche da locali fenomeni di inquinamento.

La prima zona è di tutela assoluta, di raggio pari a 10 m, in cui viene esclusa qualsiasi attività salvo la gestione delle opere di presa; la seconda zona, di rispetto, di raggio non inferiore a 200 m rispetto al punto di captazione, in cui sono vietate alcune attività (v. oltre). E' opportuno sottolineare la difficile applicazione di questo criterio ad un pozzo inserito in un contesto urbano, con servizi ed infrastrutture preesistenti. E' evidente che qualsiasi nuova attività che si collochi all'interno di questa fascia, dovrà essere opportunamente limitata.

In allegato (SCHEDE POZZI) si riportano i certificati analitici delle acque dei pozzi comunali. Da essi risulta una discreta qualità delle acque di falda, specie più profonde.

---

## 9.2 POTENZIALITÀ E VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

Per la valutazione della vulnerabilità idrogeologica sono stati calcolati i valori di soggiacenza della falda, ottenuti per differenza tra le quote topografiche in m sul livello del mare e le quote isofreatiche del periodo considerato; sono state quindi valutate le curve corrispondenti.

Occorre considerare che la generale disomogeneità e rarità della distribuzione dei dati osservabili ha permesso la ricostruzione di massima delle soggiacenze. Essa è stata anche desunta sulla base della bibliografia scientifica reperita, in particolare da REGIONE LOMBARDIA, *Acque da Pozzi, Caratteristiche idrogeologiche principali di alcune zone della pianura lombarda*, a cura dell'Unione delle Bonifiche, delle Irrigazioni e dei Miglioramenti Fondiari per la Lombardia.

Si riportano le indicazioni circa la conducibilità idraulica, tratte da bibliografia, caratteristiche delle unità idrogeologiche sopradescritte.

Tali dati sono riportati su alcune stratigrafie di pozzi della zona o sono stati ricavati da prove di pompaggio finalizzate alle captazioni. I valori sono:

(K coefficiente di permeabilità orizzontale [m/s])

$K = 10^{-1} - 10^{-3}$  m/s per le ghiaie con sabbie e ciottoli, sciolte o poco cementate alla quale si intercalano sottili livelli di conglomerati poco cementati;

$K = 10^{-4} - 10^{-6}$  m/s per ghiaie limoso sabbiose con ciottoli;

$K = 10^{-7} - 10^{-8}$  m/s per i limi sabbiosi con argilla e ghiaia.

Per quanto riguarda la vulnerabilità degli acquiferi, data la scarsa soggiacenza della prima falda e dalla presenza di sedimenti ad elevato coefficiente di permeabilità con relativa facilità all'infiltrazione in profondità degli inquinanti sparsi sul suolo, unico grado di protezione è fornito quindi esclusivamente dalla presenza del suolo superficiale o da limitati e discontinui livelli limoso-argillosi.

La valutazione del GRADO DI VULNERABILITÀ dell'area in relazione al rischio potenziale costituito dalla presenza dell'acquifero superficiale è stata realizzata con metodologia per cui si ipotizza che sull'area in oggetto si verifichi la dispersione di liquidi con conseguente infiltrazione nel sottosuolo. Si valutano gli spessori del primo livello di terreno superficiale e la sua permeabilità in relazione alla soggiacenza della falda più superficiale. Il risultato, espresso in anni, è il rapporto tra i valori di soggiacenza della falda e la velocità di infiltrazione.

Sulla base dei risultati emersi per l'area, si valuta detta *isocrona minima di arrivo* pari a <2-5 anni, per cui si ritiene che detto tempo di arrivo corrisponda ad un grado di protezione generalmente BASSO in questa parte del territorio, per la falda idrica superficiale.

La protezione della prima falda risulta costituita dalla presenza di livelli limosi in superficie.

Dall'analisi delle soggiacenze minime, dagli spessori e dalle caratteristiche idrogeologiche dei livelli a diversa permeabilità presenti nel territorio, emerge un grado di protezione generalmente basso del territorio.

---

## 10. INQUADRAMENTO LITOLOGICO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

TAV. 1. CARTA GEOLITOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E DELLA PERICOLOSITA' SISMICA  
(Scala 1: 5.000)

L'inquadramento litologico geotecnico del sottosuolo fornisce un quadro sintetico dello stato del territorio comunale al fine di procedere a valutazioni diagnostiche utili per la progettazione edilizia delle fondazioni. Tale cartografia è una rappresentazione planimetrica della situazione geologica generale che permette un maggiore dettaglio nella caratterizzazione del suolo e del primo sottosuolo.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Date le modalità di deposizione delle alluvioni e sulla base di alcune prove puntuali sui terreni (prove penetrometriche, stratigrafie), non risulta possibile effettuare una ricostruzione completa e di dettaglio della stratigrafia dei depositi che caratterizzano il territorio comunale. Spaccati, affioramenti naturali ed artificiali sono molto rari e limitati alle zone dove l'erosione ha reso visibile porzioni di scarpata, oppure dove l'attività di estrazione dell'argilla in cave a fossa ha sfruttato le risorse naturali.

Per la realizzazione di tale cartografia ci si è quindi avvalsi delle stratigrafie disponibili dei pozzi pubblici, integrati dai dati reperiti da prove dirette (SPT Standard Dynamic Penetrometric Test, CPT Continuous Penetrometric Test), da pubblicazioni scientifiche inerenti la pedologia e da quelli ricavati dal rilevamento di campagna che ha permesso di definirne i limiti litologici.

La maggior parte del territorio comunale è caratterizzato da limo e limi sabbiosi, con scarso o assente scheletro ciottoloso (si veda descrizione geopedologica dei suoli del territorio comunale). Il drenaggio superficiale delle acque è generalmente scarso.

I terreni si inquadrano come terre limose-argillose nei gruppi A4, A5, A6, A7 con riferimento alle norme UNI 10006.

A causa della deposizione di alvei sepolti, si possono presentare località con elevata componente di sostanza organica di colore scuro, depositi di colmamento di anse di meandro abbandonato. Questi terreni sono corrispondenti a terre del gruppo A8.

La caratterizzazione geotecnica del territorio è stata realizzata utilizzando dati diretti relativi a caratterizzazioni geotecniche di contesti specifici. In genere, i terreni appartenenti a questi depositi alluvionali di epoca *recente* e costituiti per i primi metri di profondità dal piano campagna da limi che hanno i seguenti parametri geotecnici:

STRATO		I	II	III	IIIa*
Profondità mt. dal p.c.	da mt. a mt.	0.0 1.0-1.5	1.0-1.5 3.0-4.0	3.0-4.0 11.0	4.5 7.0
Valori caratteristici di Rp	Kg/cmq	10-130	2-10	40-60	15-25
Natura prevalente dello strato		-	coesiva	incoerente	incoerente
Peso di volume	$\gamma_t$ (t/mc)	1,80	1,70	1,80	1,80
Peso di volume immerso	$\gamma_s$ (t/mc)	0.8	0.7	0.8	0.8
Coesione non drenata	$C_u$ (t/mq)	-	1-2.5	0	0
Angolo di attrito non drenato	$\phi_u$	-	0	30-35	26-28
Coesione efficace	$c'$ t/mq	-	0	0	0
Angolo di attrito efficace	$\phi'^{\circ}$	-	20-24	30-35	26-28
Modulo di compressione	E kg/cmq	-	25-35	200-350	100-150
Modulo di compressibilità volumetrica	$m_v$ (cmq/Kg)	-	0,04	0.001	0.01

**Tabella 1** - Parametri geotecnici caratteristici. (I, II, III, IIIa = primi strati del sottosuolo indagati, 7 m totali). permeabilità, per porosità primaria, scarsa o molto bassa,  $K = 10^{-4} - 10^{-6}$  cm/s.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Sulla validità e sulla attendibilità dei parametri geotecnici sopra descritti, vanno comunque aggiunte alcune considerazioni al fine di un loro corretto impiego:

- non sono stati valutati i parametri geotecnici relativi al terreno vegetale, il quale in genere viene asportato completamente, per uno spessore di circa 0.5 - 1.0 m, al fine di evitare cedimenti dovuti all'effetto di degradazione e di rimaneggiamento superficiale;
- i valori riportati sono medi, indicando uno spettro di variabilità all'interno dei quali i progettisti possono valutare opportuni approfondimenti conoscitivi e calcoli fondazionali;
- la verifica delle caratteristiche tecniche dei terreni dovrà comunque essere fatta attraverso prove e misure puntuali, mirate per i tipi di terreni descritti, a seconda delle tipologie da edificare sul territorio e nel rispetto del DM 14/01/2008, *Testo Unico sulle Costruzioni*. Occorre quindi un'indagine preventiva dello stato del sottosuolo anche per edifici tra loro adiacenti.

Le zone d'indagine indicano la presenza di terreni con caratteristiche geotecniche di portanza delle fondazioni *discrete-scarse* nei primi metri di profondità. Nel complesso tali terreni sono da considerarsi *discreti* dal punto di vista dell'edificabilità.

---

## 11. ZONAZIONE SISMICA NAZIONALE ED INQUADRAMENTO DEL COMUNE DI SIZIANO

TAV. 1. CARTA GEOLITOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E DELLA PERICOLOSITA' SISMICA  
(Scala 1: 5.000)

L'individuazione delle *zone sismiche* in Italia è iniziata dai primi anni del '900 attraverso lo strumento del Regio Decreto, emanato a seguito di terremoti distruttivi (Messina, Reggio Calabria 1908). Dal 1927 le località colpite sono state distinte in due categorie, in relazione al "loro grado di sismicità e alla loro costituzione geologica". La mappa sismica d'Italia non era altro che la mappa dei territori colpiti dai forti terremoti avvenuti dopo il 1908 a meno di imprevide successive decisioni di declassificazione che hanno purtroppo riguardato una serie di territori colpiti da forti terremoti. Tutti i territori colpiti dai terremoti distruttivi avvenuti prima del 1908 (la maggior parte delle zone sismiche d'Italia) non erano classificati come sismici e, pertanto, non vi era alcun obbligo di costruire nel rispetto della normativa antisismica; in questo modo si è accumulato un enorme deficit di protezione antisismica.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

La Legge 2/2/1974 n. 64 ha stabilito il quadro di riferimento per le modalità di classificazione sismica del territorio nazionale oltre che alla redazione di normative tecniche.

Nel 1980 il Progetto finalizzato "Geodinamica" del CNR elaborò, sulla base delle conoscenze scientifiche e delle metodologie allora disponibili, una proposta di *classificazione sismica* del territorio nazionale che fu adottata tra il 1981 ed il 1984 con vari decreti del Ministro per i lavori pubblici. Tale proposta si basava per la prima volta su parametri quantitativi definiti in modo omogeneo per tutto il territorio nazionale (*scuotibilità* e *massima intensità risentita*), con l'integrazione di alcuni elementi sismotettonici.

Fino al 1988 la competenza per l'individuazione delle zone sismiche restò al Ministro dei lavori pubblici. Con il D.Lgs. n. 112/1998 questa competenza è stata trasferita alle Regioni, mentre spetta allo Stato definire i relativi criteri generali.

Così come le norme tecniche per la costruzione in zona sismica sono praticamente ferme al 1986, la mappa delle *zone sismiche* non è stata più aggiornata dal 1984.

Nell'Aprile 1997, su delibera della Commissione per la previsione e prevenzione dei Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile, venne insediato un gruppo di lavoro incaricato di formulare una proposta di aggiornamento della *classificazione sismica* d'Italia.

Il gruppo di lavoro produsse uno studio, basato sull'utilizzo congiunto di tre parametri. Due di questi sono di tipo probabilistico: i) l'accelerazione massima del terreno a  $a_{max}$  (PGA) con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni, la cui distribuzione è rappresentata da PS4 ii) l'integrale dello spettro di risposta di pseudovelocità, detto "intensità di Housner". Entrambi sono determinati con metodologie simili a partire dallo stesso materiale di base. Il terzo, di tipo deterministico, è rappresentato dal valore della *intensità massima sperimentata* nell'ultimo millennio.

Questo studio, denominato "Proposta 98", venne approvato dalla Commissione grandi rischi, trasmesso al Ministro dei lavori pubblici e successivamente pubblicato (Gruppo di lavoro 1999).

Il prosieguo dei lavori che ne scaturì fece emergere le problematiche relative alla 3° *categoria sismica* che nella proposta venne estesa a ben 1698 Comuni rispetto ai soli 99 della classificazione allora vigente.

Successivamente il Servizio sismico nazionale elaborò la "Proposta 01" che però non ebbe nella sostanza particolari divergenze e contributi rispetto alla precedente.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Con l'attuale normativa, la Zonazione sismica risponde ai seguenti criteri:

- 1) Le "Norme Tecniche" indicano 4 valori di accelerazione orizzontale ( $a_g/g$ ) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare; pertanto il numero delle zone è fissato in 4;
- 2) Ciascuna zona sarà individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo lo schema seguente.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [ $a_g/g$ ]
1	>0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
<b>4 SIZIANO (PV)</b>	<b>&lt;0,05</b>	<b>0,05</b>

**Tabella 2** - Zonazione sismica del territorio nazionale e riferimento per il comune di Siziano.

Questi termini potranno essere modificati in relazione all'esigenza e alla capacità di tenere conto di sorgenti sismogenetiche con periodo di rilascio dell'energia particolarmente lungo, e/o in relazione a modifiche nell'orientamento scientifico internazionale. Ulteriori indicatori di pericolosità correlabili ai danni subiti dalle strutture durante un terremoto potranno essere presi in considerazione con lo scopo di irrobustire la distribuzione dei valori di  $a_g$ .

In prima applicazione, sino alle deliberazioni delle regioni, le zone sismiche erano individuate sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale" elaborato dal Gruppo di lavoro costituito sulla base della risoluzione della Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei grandi rischi elaborata nella seduta del 27 aprile 1997.

Ai sensi della presente normativa, tutto il territorio comunale di SIZIANO rientra nella Zona 4.

La sismicità del territorio di SIZIANO è collegata ad attività di neotettonica della pianura padana, nel periodo compreso tra il *Pliocene* e *l'attuale* (5,2 milioni di Anni).

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

1276	45,08; 9,55	ITALIA SETTENTRIONALE,	60
1303	45,052; 9,693	PIACENZA	55
1759	44,804; 9,029	PAVIA	60
1828	44,82; 9,05	VALLE DELLO STAFFORA	75
1882	44,652; 9,113	APPENNINO LIGURE	60
1910	44,9; 9,633	PONTE DELL'OLIO	55
1945	44,83; 9,13	VALLE DELLO STAFFORA	75
1945	44,831; 9,117	VARZI	55

[Anno evento sismico; Latitudine, Longitudine dell'epicentro; Località; intensità alla scala MSK \*10, (Medvedev, Sponheuer, Karnik 1981)]

Non si ricordano episodi sismici, secondo memoria storica, che hanno avuto epicentro nel territorio comunale di SIZIANO. Eventi sismici disastrosi non sono avvenuti negli anni secondo memoria storica.

Tra le finalità del presente lavoro vi è la descrizione dell'intero territorio comunale dal punto di vista della valutazione del *rischio sismico* attraverso l'analisi e la valutazione degli effetti sismici di sito.

La base di supporto per l'analisi del territorio è stata costituita dallo studio geologico, computi geometrici planoaltimetrici condotti cartograficamente, valutazioni. A questa analisi sono state affiancate indagini dirette geofisiche specifiche realizzate direttamente in sito (NON obbligatorie per i Comuni in Zona sismica 4) in modo tale da costituire un valido supporto alla pianificazione urbanistica.

Occorre precisare che questo lavoro ha lo scopo di affrontare i problemi geologico – tecnici nell'ottica antisismica alla scala comunale. Non esime pertanto l'Amministrazione ed i Cittadini dall'assolvere gli obblighi derivanti dalle specifiche normative di legge concernenti il settore edilizio e geotecnico previste in sede esecutiva e dettate dalle specificità geologiche di ciascuna area che sarà considerata al fine di nuove costruzioni.

La presente valutazione nell'ottica antisismica è consistita nell'inquadramento del territorio con i livelli di approfondimento previsti dalla normativa regionale LIVELLO 1 e LIVELLO 2 (i LIVELLI 1, 2, 3 sono metodologie di analisi dettate dalla normativa).

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Queste procedure adottate dalla Regione Lombardia sono derivate dagli studi del CNR, dal Dipartimento della Protezione Civile - Servizio Sismico Nazionale.

Il LIVELLO 2 per questo studio specifico è stato applicato con tecniche di analisi geofisica proprie del LIVELLO 3 (quali ReMi, HVSR).

Il risultato finale è che per il Comune di SIZIANO l'accelerazione sismica massima prevedibile prevista dalla ZONA 4 è convalidata, non essendo stati rilevati effetti di sito specifici di amplificazione del moto sismico locale.

Tale risultato è pertanto fondatamente suffragato. Infatti, la Regione riconosce che l'approccio che è stato impegnato è di *alto grado* di attendibilità e che non occorrono studi supplementari. Il privato che intende costruire è supportato da questo giudizio di validità dell'analisi, per cui la norma che gli impone il Comune ha valido fondamento. L'urbanizzato esistente è garantito dal fatto che non sono stati rilevati effetti di amplificazione sismica e correlabili a quelli potenzialmente generabili da un eventuale evento sismico.

Questo vale per tutto il territorio con la sola eccezione dei casi imposti dalla normativa in cui in fase di progettazione, anche in SIZIANO, sia comunque da applicare il LIVELLO 3 di analisi antisismica del sottosuolo (Cfr. paragrafo seguente).

Questo studio, anche per questi casi, illustra indicazioni, principi e tecniche per la migliore progettazione e fornisce per confronto anche dei risultati applicati a casi specifici del territorio.

### **11.1 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO PER IL COMUNE DI SIZIANO**

Le procedure che sono state applicate al territorio di SIZIANO sono dettate dalla normativa regionale, dall'Allegato 5 *"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. 11 marzo 2005, n. 12" - *ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO IN LOMBARDIA FINALIZZATE ALLA DEFINIZIONE DELL'ASPETTO SISMICO NEI PIANI DI GOVERNO DEL TERRITORIO* e successive integrazioni.

La metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente: i primi due livelli sono obbligatori (con le opportune differenze in funzione della

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

zona sismica di appartenenza, come meglio specificato nel testo della direttiva) in fase di pianificazione, mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione sia quando con il 2° livello si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di amplificazione, sia per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse. Il livello 3° è obbligatorio nel caso in cui si stia progettando costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali essenziali, individuati dal D.D.U.O. della Regione Lombardia n. 19904 del 21 novembre 2003 non rientranti nelle tipologie di cui al decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile 21 ottobre 2003.

Tra i tre livelli di approfondimento solo il 2° livello verrà implementato tramite la realizzazione di nuove schede litologiche che ampliaranno il campo di applicazione delle procedure.

La procedura messa a punto fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

Rientra tra le normative considerate in questo lavoro e finalizzata alle nuove costruzioni la recente Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3274 del 20 Marzo 2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* nella quale sono state innovate profondamente le normative tecniche in materia di progettazione antisismica.

La nuova normativa è conforme ed in vista di prossimo adeguamento con quella in corso di adozione dall'Unione Europea, denominata EC8, che è in armonia con quella dei Paesi a più alta attività sismica, quali USA, America del Sud, Cina, Giappone ed Asia del Sud-Est.

Per quanto riguarda le scale e le modalità di restituzione degli elaborati, si sono considerate le indicazioni fornite dall'allegato 5 dei *"Criteri ed Indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 12/2005"* con relative successivi integrazioni (Integrazioni all'Allegato 5, Convenzione tra Regione Lombardia e Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Febbraio 2006).

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

E' stata scelta la restituzione sull'intero territorio comunale in scala 1: 5000.

### 11.1.1 COMUNE DI SIZIANO - 1° LIVELLO

Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti.

Il metodo permette l'individuazione delle zone in cui i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.).

Lo studio attuato è consistito nell'analisi dei dati esistenti già inseriti nella cartografia di analisi e inquadramento di base (carta geologica, carta geomorfologica, stratigrafie, dati geotecnici riguardanti i primi strati di profondità del sottosuolo ecc.) e nella redazione della cartografia rappresentata dalla TAVOLA della CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo che sono state riscontrate per il territorio considerato di SIZIANO (Tabella 2) in grado di determinare gli effetti sismici locali. La tabella è conforme nelle sigle e nella numerazione a quella individuata dalla normativa di settore; sono state pertanto derubricate le zone non riscontrate nel territorio in studio.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche

**Tabella 3** - Scenari di pericolosità sismica locale individuati per il territorio di Siziano (PV).

La carta della pericolosità sismica locale rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento:

- il 2° livello permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici;

- il 3° livello permetterà sia la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi per le sole aree in cui la normativa nazionale risulta inadeguata, sia la quantificazione degli effetti di instabilità dei versanti (zone Z1).

Non risultano presenti nel territorio comunale faglie definite *capaci*. A tal proposito è stato infatti consultato l'elenco del Catalogo delle *faglie capaci*, Progetto ITHACA. Con la denominazione *faglia capace*, si intende, tra le faglie attive, quelle "con un significativo potenziale di dislocazione in superficie o nella sua prossimità" secondo la definizione di *capable fault*, IAEA, 1991, Safety Series No. 50-SG-51-Rev. 1.

La carta della pericolosità sismica locale permette anche l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e dei successivi livelli di approfondimento necessari (Tabella 3):

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Classe di PERICOLOSITA' SISMICA
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	H2 – livello di approfondimento 2°

**Tabella 4** – Classi di pericolosità per ogni scenario di pericolosità sismica locale del Comune di Siziano (PV).

## 11.1.2 COMUNE DI SIZIANO - 2° LIVELLO

### EFFETTI LITOLOGICI

Sulla base dei dati disponibili la ricostruzione della sezione geologica rappresentativa dello scenario inerente l'area in esame, viene descritta attraverso i dati reperiti da osservazioni e indagini dirette, quali perforazioni per lo scavo di pozzi e sondaggi geognostici. Nella allegata SEZIONE IDROGEOLOGICA sono illustrati graficamente i profili stratigrafici caratteristici del territorio comunale.

In ragione della generale omogeneità laterale dei depositi di superficie, l'individuazione specifica e puntuale derivata da osservazioni dirette risulta estrapolabile in modo significativo per l'intero territorio comunale.

Per la descrizione di dettaglio delle Unità stratigrafiche, della geolitoologia e dei relativi parametri geotecnici, per l'inquadramento geologico strutturale del territorio si rimanda ai capitoli precedenti dedicati ad essi nello specifico.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

La scelta dell'ubicazione di un punto di misura geofisica è stata stabilita in modo da indagare il territorio, contemplando, sulla base di rilievi geologici e geomorfologici, le differenti condizioni geologico-stratigrafiche e geologico-strutturali. Ciò seppure nella casistica particolarmente monotona comunale che si può riscontrare in riferimento principalmente allo spessore consistente della copertura detritica alluvionale del primo sottosuolo.

La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di  $V_s^5$ , utilizzati nella procedura di 2° livello per il Comune di SIZIANO, si ritiene corrispondano ad una VALUTAZIONE DI GRADO MEDIO-ALTO DI ATTENDIBILITÀ. Di seguito, come prescritto dalla normativa di settore, si rappresenta schematicamente ciascun parametro utilizzato per l'analisi a cui è stato assegnato un grado di giudizio di attendibilità.

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	<b>Alta</b>	<b>Da prove in sito</b>
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	<b>Media</b>	<b>Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)</b>
	<b>Alta</b>	<b>Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)</b>
Geofisici ( $V_s$ )	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	<b>Alta</b>	<b>Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)</b>

**Tabella 5** – Livelli di attendibilità (in grassetto = Comune di Sizzano) valutati per la stima del rischio sismico e delle amplificazioni di sito per il territorio di Sizzano (PV).

## 11.2 INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR AI FINI DELLA MICROZONAZIONE SISMICA COMUNALE

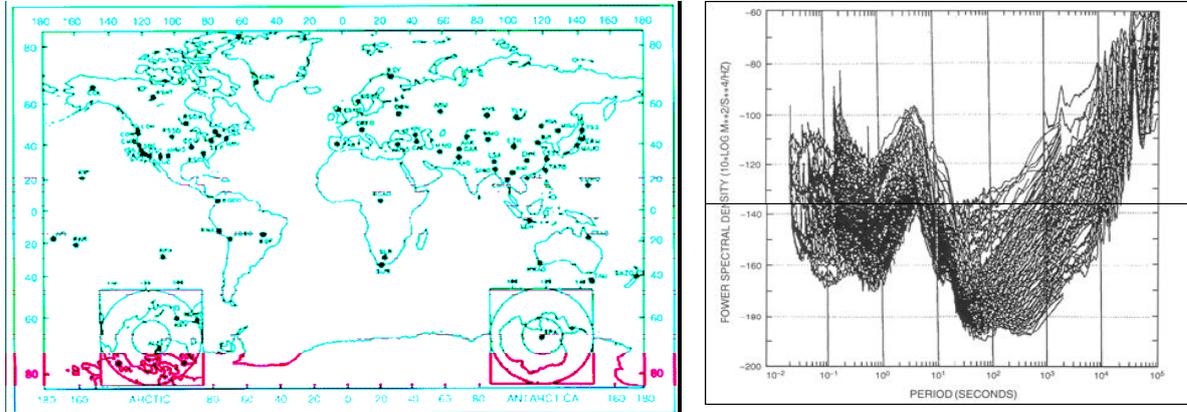
OGGETTO DELLA MISURA DELLE INDAGINI DI SISMICA PASSIVA: IL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato, oltre che dall'attività dinamica terrestre, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino ( $10^{-15}$  [m/s<sup>2</sup>]<sup>2</sup> in termini di accelerazione).

<sup>5</sup>  $V_s$ : velocità delle onde di taglio orizzontali che si propagano in superficie al terreno e sono responsabili degli effetti distruttivi di un sisma.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI
DATA Dicembre 2009	GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio accade per le esplosioni della sismica attiva.

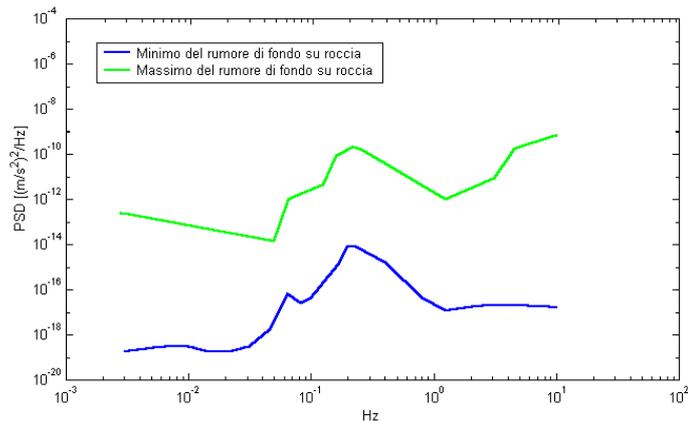


**Figura 15** - Potenze spettrali di accelerazione della componente verticale dei microtremori (a destra) registrate in 75 osservatori sismici distribuiti su tutto il globo terrestre (Peterson, 1993).

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale ed in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso e pianeggiante presenta l'andamento illustrato nella Figura seguente, dove la curva inferiore rappresenta il *rumore di fondo 'minimo'* di riferimento secondo il servizio geologico statunitense (USGS) mentre la curva superiore rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0,14 e 0,07 Hz sono comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di *guida d'onda*. A tale morfologia generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie o anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce e dei terreni.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	



**Figura 16** - Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

#### STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata di 15-20 minuti ciascuna, sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Nella sezione seguente si descrivono le procedure seguite per l'inversione dei dati acquisiti.

#### STRATIGRAFIA SISMICA – LA TECNICA IMPIEGATA

Dai primi studi di Kanai (1957) e successivi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli (es. Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Shet e Wohlenberg, 1999; Bindi *et al.*, 2000, Fah *et al.*, 2001; Delgado *et al.*, 2000, Mucciarelli *et al.*, 2001 e referenze in esso contenute, Parolai *et al.*, 2002; Parolai *et al.*, 2004 solo per citarne alcune) e, tramite opportuna inversione, delle profondità dei substrati rocciosi sotto le coperture sedimentarie.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del *bedrock* sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach *et al.*, 2002) e picchi a frequenze minori di quella del *bedrock* sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al *bedrock* stesso (es. Guillier *et al.*, 2005).

I fondamenti teorici dell'HVSR relativamente ad un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D) sono così descrivibili. Consideriamo il sistema di Figura 3 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ). Un'onda che si propaga nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'orizzonte che separa i due

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

strati. L'onda riflessa interferisce con i vettori d'onda incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $h$  del primo strato. In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a

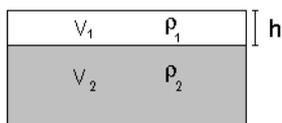
$$f_r = V_{P1}/(4 h) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = V_{S1}/(4 h). \quad [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità, è in grado di fornire previsioni sullo spessore  $h$  degli strati. Questa informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo. Rileviamo inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994). Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. L'applicabilità pratica della semplice formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico (per un riassunto cf. Gallipoli *et al.*, 2000; Mucciarelli e Gallipoli, 2001; Castellaro *et al.*, 2005). Poiché la situazione illustrata è tipica delle coltri sedimentarie sovrastanti basamenti rocciosi, il metodo HVSR è parso immediatamente applicabile alla determinazione dello spessore delle coltri sedimentarie (Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, come indicato in Mulargia e Castellaro (2006) e nei casi più complessi le curve HVSR verranno invertite seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004).



**Figura 17** - Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità

#### PROCEDURA DI ANALISI DEI DATI

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR, secondo la procedura descritta in Castellaro *et al.* (2005), con parametri:
- larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- lisciamento* secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2,
- rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.

le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1).

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock) le profondità  $h$  delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula [3] in cui  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato,  $a$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e  $\nu$  la frequenza fondamentale di risonanza (cf. ad esempio Ibs-Von Seht e Wohlenberg, 1999).

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

$$[3] \quad H = \left[ \frac{V_0(1-\alpha)}{4\hat{v}_1} + 1 \right]^{1/(1-\alpha)} - 1$$

Per l'inversione delle curve HVSR sono state seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

Si fa notare che ai fini di questi modelli le  $V_p$  e la densità  $\rho$  dei mezzi sono quasi ininfluenti pertanto i valori di  $V_p$  e  $\rho$  che compaiono nelle tabelle alle pagine seguenti vanno considerati come puramente indicativi.

#### VALUTAZIONE DELLE MISURE: IL PROGETTO SESAME

Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations) si è occupato di stabilire linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola ed in array. Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la qualità delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati. Per ogni sito di misura riportiamo in una apposita tabella i risultati di detti criteri. Si vedrà che tutte le misure HVSR effettuate sono qualitativamente idonee secondo i criteri SESAME. Ciò è funzione della geologia del sito.

#### STIMA DEL PROFILO DELLE $V_s$

La curva di dispersione delle onde di Rayleigh è strettamente correlata al profilo di velocità delle onde di taglio. Poiché inoltre  $0.87 < V_R / V_S < 0.96$  (cfr. es. Aki e Richards, 1980), al fine di ottenere l'andamento delle  $V_s$  con la profondità, la curva di dispersione sperimentale viene analizzata con una procedura di inversione. La frequenza minima cui la curva di dispersione risulta riconoscibile vincola la profondità d'indagine.

Per ciascun sito, si riporta nelle Figure B il profilo di velocità delle onde S associato alla curva teorica.

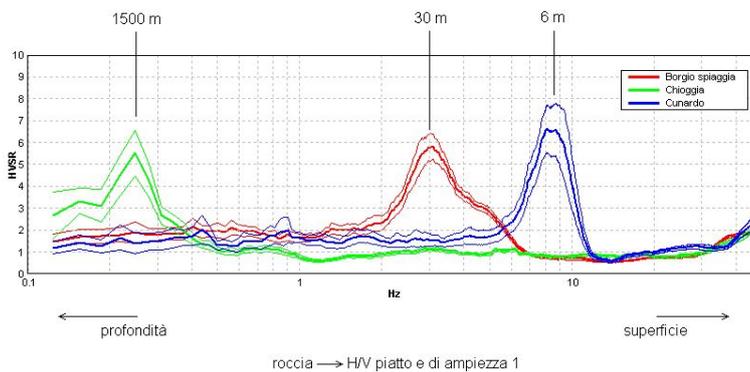
Nelle Tabelle C sono riportati i valori del miglior modello individuato dall'inversione. Il computo del parametro  $V_{s30}$ , secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2008, ex DM 14/09/2005), viene effettuato tramite la formula seguente:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono spessori e velocità dei singoli strati.

La procedura richiede che il microtremore sismico sia relativamente omogeneo intorno ai siti di misura, che il modello di sottosuolo sia assimilabile al caso di strati piani e paralleli e che alla base del modello sia posto un semispazio a spessore infinito.

#### CASISTICA ESEMPLIFICATIVA



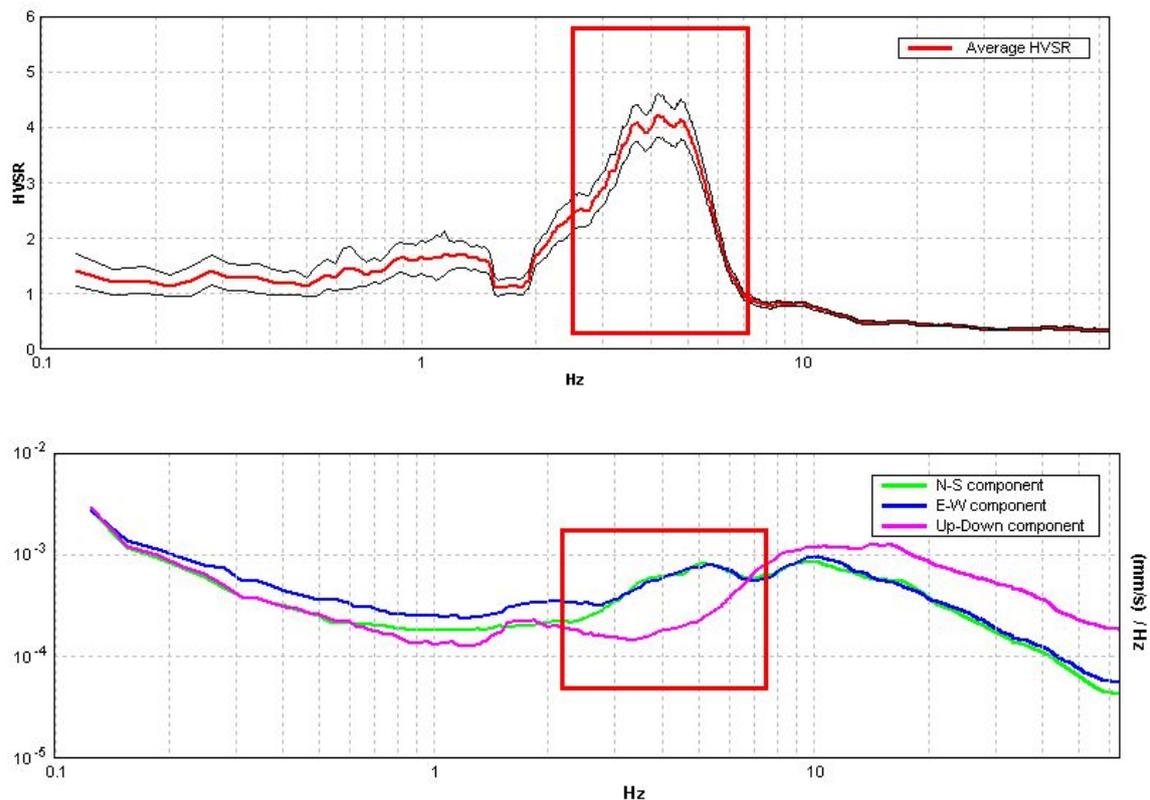
**Figura 18.** - Lettura dei grafici H/V nel dominio ampiezza-frequenza e ampiezza-profondità.

Per facilitare l'interpretazione delle curve HVSR, in questa sezione si illustrano sinteticamente alcune casistiche generali. I picchi HVSR o H/V si spostano da basse ad alte frequenze mano a mano che il

contrasto di impedenza si sposta da condizioni profonde a condizioni superficiali. In Figura 7 sono rappresentati i picchi relativi al contatto sedimenti vs. bedrock in 3 situazioni: profonda (1500 m), intermedia (30 m) e superficiale (6 m).

Una curva HVSR piatta e pari a 1, come accade sotto 2 Hz nelle curve blu e rossa e sotto 0.25 Hz nella curva verde, indica la presenza del bedrock.

I picchi H/V vanno interpretati come di origine stratigrafica quando sono determinati da un minimo locale della componente spettrale verticale (curva magenta) con o senza massimo, alla stessa frequenza, delle componenti spettrali orizzontali, seguiti, a frequenza all'incirca doppia, da un massimo in tutte e tre le componenti del moto (Mulargia e Castellaro, 2006).



**Figura 19.** – Casistica generale. Il massimo di origine stratigrafica nella curva H/V è dato generalmente da un minimo nella componente verticale, con o senza massimo nelle componenti orizzontali (5 Hz nel caso in figura) seguiti da un massimo su tutte e tre le componenti ad una frequenza all'incirca doppia (10 Hz nel caso in figura).

### 11.2.1 UBICAZIONE DELLE INDAGINI

I punti di misura in sito sono stati scelti in corrispondenza del settore nord e del settore sud dell'abitato di SIZIANO. Queste località di misura si trovano ragionevolmente correlabili in riferimento a taratura con stratigrafie note. Le località scelte di misura risultano significative e con risultati indicativi ed estrapolabili alle condizioni geologiche del territorio di tutto l'abitato di SIZIANO.

### 11.2.2 INDAGINE DI SISMICA PASSIVA NEL COMUNE DI SIZIANO

E' stata realizzata un'indagine di sismica passiva a supporto della microzonazione sismica comunale. Gli obiettivi di tale indagine sono stati lo studio e la determinazione dei seguenti parametri:

- 1) stratigrafia sismica;
- 2) frequenze di risonanza degli strati sedimentari sovrastanti il bedrock;
- 3) profilo di velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ ).

L'indagine è stata realizzata attraverso la predisposizione in sito di N° 2 misure di microtremore sismico ambientale a stazione singola.

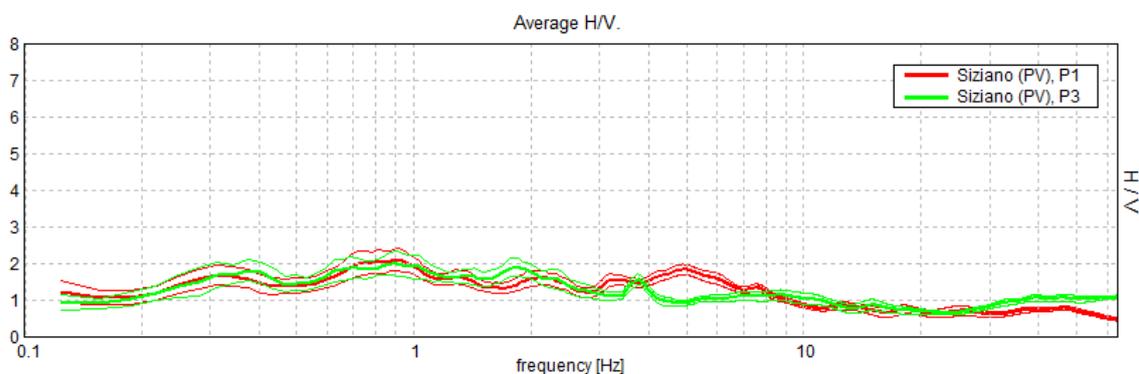
Le misure permettono una ricostruzione dell'andamento delle velocità sismiche delle onde di taglio con la profondità con analisi monodimensionale.

Le misure a stazione singola in campo aperto sono state orientate con l'asse orizzontale di allungamento della strumentazione secondo l'asse Nord magnetico.

Le curve H/V registrate presentano una debole risonanza principale a 0,3, 0,8, 2 e 5 Hz. La risonanza a 5 Hz (4,9 Hz) è quella di maggiore intensità relativa e di interesse nel campo ingegneristico. Si trova in relazione al contatto stratigrafico tra i livelli prevalentemente limosi in superficie con quelli prevalentemente sabbiosi, a circa 7 m di profondità.

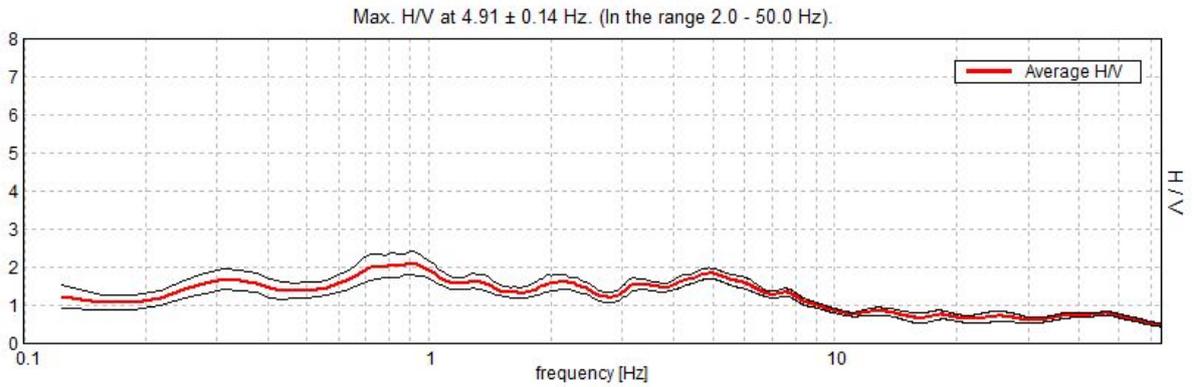
In relazione al modello di sottosuolo descritto alle stratigrafie, si ottengono i seguenti risultati, in termini di profilo di Velocità delle onde di taglio orizzontali per entrambi i siti di misura.

La risonanza alla frequenza 5 Hz rende più vulnerabili, per doppia risonanza terreno-struttura, edifici di altezza media del tipo a 2 piani in genere.

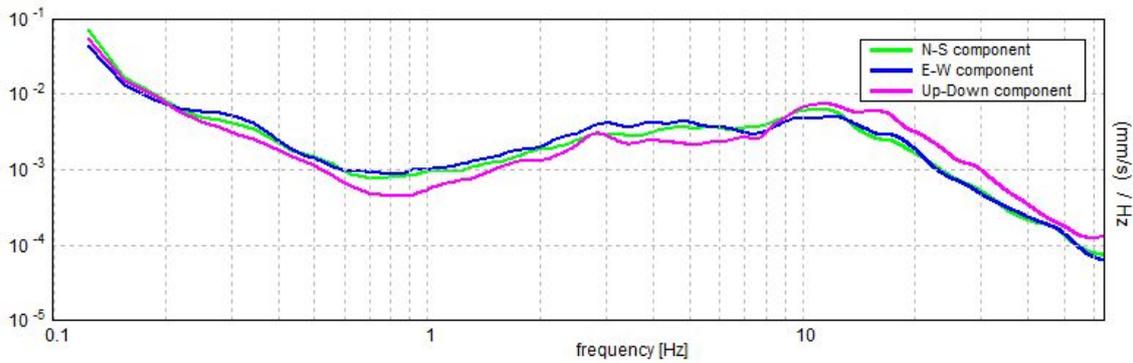


**Figura 20** - Confronto tra le curve H/V registrate in Siziano, sito P1, sito P3.

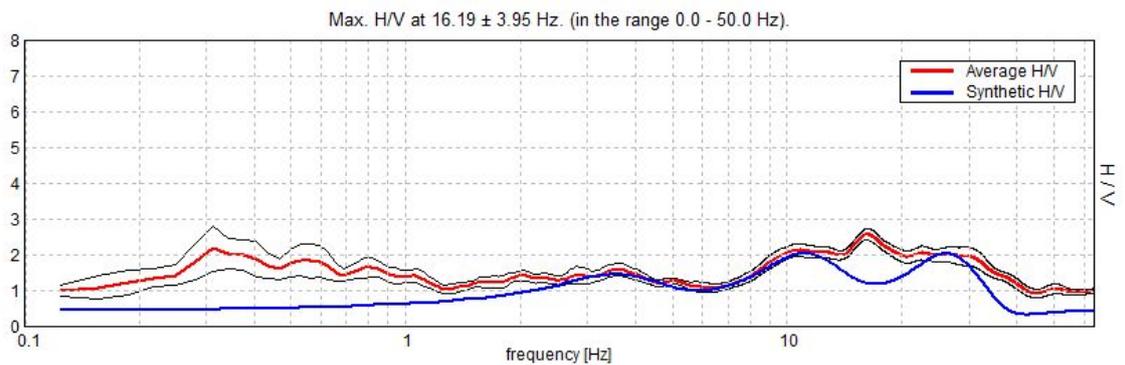
PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	



**Figura 21** - Curva H/V, sito P1 (media in rosso, deviazione standard in nero)



**Figura 22** - Spettri medi delle singole componenti del moto.



**Figura 23** - Curva H/V sperimentale (rosso) e teorica (blu).

La valutazione della qualità delle misure viene verificata attraverso la metodologia SESAME, 2005 (Cfr. paragrafo precedente), di seguito illustrata.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Max. H/V at 4.91 ± 0.14 Hz. (in the range 2.0 - 50.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	4.91 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4121.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 236 times	OK	
Criteria for a clear HVSR peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	1.85 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01426  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06994 < 0.24531$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0698 < 1.58$	OK	

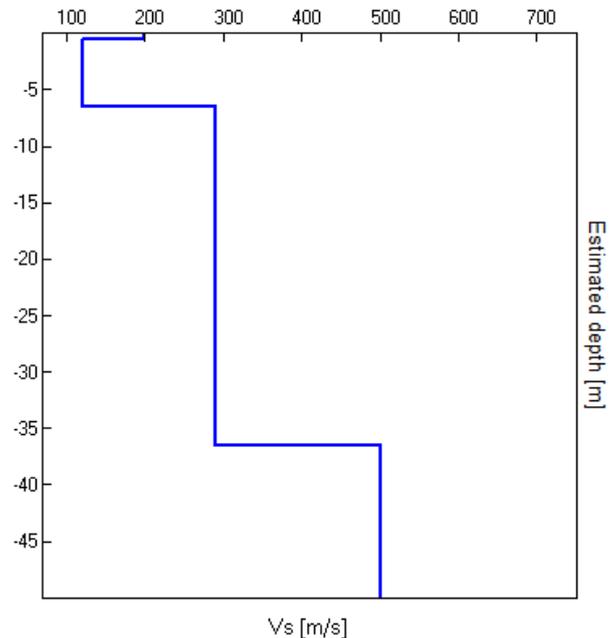
$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**Tabella 6** – Valutazione Sesame 2005 delle misure di sismica passiva effettuate in Siziano.

Di seguito il modello proposto di profilo delle onde Vs.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	



Profondità al letto dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	200
6.50	6.00	120
36.50	30.00	290
126.50	90.00	500
<i>infinito</i>	<i>infinito</i>	800
<b>Vs (0.0-30.0) m = 225 ± 50 m/s</b>		

**Figura 24** - Modello di profilo delle onde di taglio orizzontali Vs proposto per il sito

Con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, il valore di Vs30 da attribuire per i siti P1 e P2 è di Vs30 = 225 ± 50 [m/s].

L'area risulta compatibile con i parametri della Categoria di suolo (O.P.C.M. N. 3274/2003) **C. SABBIE E GHIAIE MEDIAMENTE ADDENSATE, ARGILLE (NSPT 15-50; CU 70-250 kPA):**

V<sub>s30</sub> 180-360 m/s.

### 11.3 VERIFICA DEGLI EFFETTI DI SITO IN RELAZIONE ALL'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEL COMUNE DI SIZIANO

Nella Tabella seguente si riassumono le frequenze di risonanza misurate in sito e l'altezza relativamente più critica dei fabbricati che risultano maggiormente vulnerabili per fenomeni di amplificazione sismica di sito.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Sito	Frequenza risonanza terreno [Hz]	Periodo risonanza terreno [s]	Altezza di edificio relativamente più vulnerabile (numero di piani)
Siziano	4.9 Hz	0.2	2

**Tabella 7** – Quadro riassuntivo delle frequenze di risonanza significative nel territorio comunale di Siziano e correlazione con le altezze degli edifici relativamente più vulnerabili.

Sulla base dei suddetti parametri sono state individuate le litologie prevalenti, in base ai parametri indicativi presenti nelle schede di valutazione. Per la valutazione dei fattori di amplificazione generati e dipendenti dalla copertura detritica è stata scelta, pertanto, la scheda LITOLOGIA LIMOSO-ARGILLOSA TIPO 1. La scelta è considerata cautelativamente valida per l'intero territorio comunale caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali di spessore variabile pari ad alcuni o parecchi metri, in livelli suborizzontali.

Colonna stratigrafica	Periodo proprio deposito T (s)	Fa <sub>0,1-0,5</sub>	Fa <sub>0,5-1,5</sub>
Siziano	0.2	1.6	1.1

**Tabella 8** – Valutazione *Periodo di risonanza T – Fattore di amplificazione di sito Fa* per il sito di misura geofisica del territorio comunale di Siziano.

Per ogni stratigrafia tipo individuata è stato misurato il periodo proprio che è in funzione delle velocità e dello spessore di ciascuno strato e verificato il valore di *Fa* negli intervalli 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s. E' stata valutata la curva appropriata in funzione della velocità e dello spessore del primo strato; nella Tabella 7 si riportano i risultati.

Dalla consultazione della banca dati soglie lomb.xls (file CAGHQ7GL nel sito [WWW.TERRITORIO.REGIONELOMBARDIA.IT](http://WWW.TERRITORIO.REGIONELOMBARDIA.IT), Settembre 2009), estratta nella tabella seguente per il Comune di Siziano, si hanno i seguenti valori soglia, per i suoli prevedibili nel territorio comunale di categoria C:

per l'intervallo di periodo tra 0,1-0,5 s, (Suolo C) Valore soglia = 1,8;

per l'intervallo di periodo tra 0,5-1,5 s, (Suolo C) Valore soglia = 2,4.

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s	Classificazione	Valori soglia			
		B	C	D	E
Siziano	4	1,4	1,8	2,2	2,0

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s	Valori soglia				
COMUNE	Classificazione	B	C	D	E
Siziano	4	1,7	2,4	4,2	3,1

**Tabella 9** – Regione Lombardia, banca dati valori soglie\_lomb.xls per il Comune di Siziano.

Il confronto tra il valore del Fattore di amplificazione [Fa], interpolato nella Curva della scheda di valutazione scelta implementato attraverso la presente ricerca, ed il valore di soglia per il tipo di suolo considerato [C], indica come la norma è generalmente in grado di tenere in considerazione gli effetti di amplificazione litologica rilevati nell'area specifica di indagine.

$$Fa_{0.1-0.5s} [1.6] \leq [C = 1.8] \quad \text{Verificato}$$

$$Fa_{0.5-1.5s} [1.1] \leq [C = 2.4] \quad \text{Verificato}$$

Sulla base dei risultati conseguiti, nell'ottica della valutazione del sottosuolo dell'area in relazione ai parametri di amplificazione sismica locale (RSL Risposta Sismica Locale), così come previsti con specifico regolamento regionale, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3274 del 20 Marzo 2003, Norme tecniche per le costruzioni DM 14 /01/2008, si dovrà prevedere l'applicazione delle norme tecniche specifiche previste per la ZONA 4.

Questa valutazione emerge dall'analisi strumentale e stratigrafica e diretta realizzata per la presente ricerca. Si ritiene la valutazione sia di grado di attendibilità MEDIO-ALTA, secondo le indicazioni per la valutazione del grado di giudizio previste dalla normativa regionale L.R. 12/2005 ed in relazione alle metodologie di analisi strumentale attuate.

#### **11.4 EFFETTI MORFOLOGICI PREVEDIBILI NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO**

Con riferimento alla normativa regionale, la procedura semplificata considera la valutazione di scenari di pericolosità per amplificazione sismica in corrispondenza di alcune forme geomorfologiche del territorio. Queste forme sono geometricamente definibili attraverso pendenze, altezze e dislivelli, gradi di arrotondamento delle forme morfologiche del paesaggio. Le caratteristiche morfometriche si ritrovano generalmente in corrispondenza di versanti, cigli di scarpata, creste arrotondate o appuntite di rilievi collinari e montuosi.

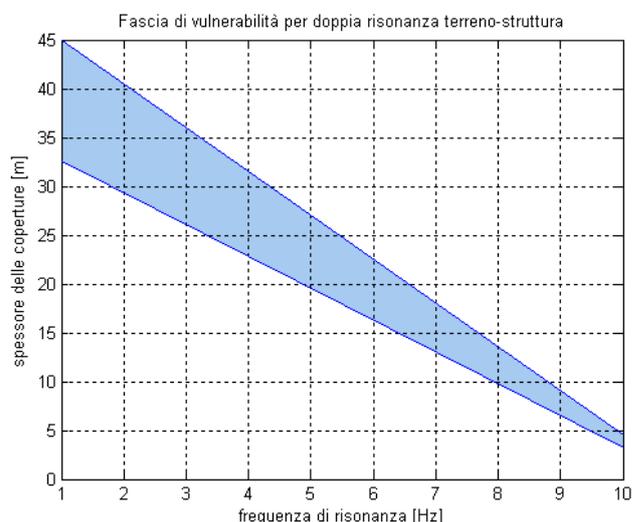
PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Dalla valutazione della morfologia e morfometria del territorio comunale di SIZIANO, applicando i parametri previsti dalla normativa, non si riscontrano caratteri morfologici rispondenti ai criteri geometrici, definiti dalla normativa, minimi a rischio e quindi soggetti a valutazione del fattore di amplificazione sismica.

Pertanto non si prevedono effetti di amplificazione sismica di sito potenzialmente generabili dalle specifiche condizioni morfologiche del Comune di SIZIANO.

### 11.5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLA ZONAZIONE SISMICA COMUNALE

Dalle misure effettuate nella zona oggetto di studio è emerso che le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo nel campo di interesse ingegneristico sono legate ai sedimenti limosi sovrastanti depositi con sabbie prevalenti del primo sottosuolo. E' inoltre emersa una  $V_s$  media misurata per le coperture sensibili di circa 120 m/s. In funzione dello spessore delle coperture sovrastanti gli strati rigidi<sup>6</sup> si determinano frequenze di risonanza calcolabili in prima approssimazione sulla base della formula  $f = V_s / 4h$ , con  $h$  pari allo spessore delle coperture. La coincidenza tra determinati spessori di copertura e le frequenze di vibrazione delle strutture determina la fascia di vulnerabilità indicata nella figura seguente per fenomeni di doppia risonanza terreno-struttura.



**Tabella 10** - Comune di Siziano - Fascia di vulnerabilità per doppia risonanza terreno-struttura

<sup>6</sup> Gli strati rigidi superficiali in questa zona non costituiscono un substrato (*bedrock*) in senso stretto, caratterizzato da  $V_s > 800$  m/s ma risultano comunque assimilabili a *bedrock* (*bedrock-like*), in considerazione delle frequenze di risonanza che possono generare.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

La tipologia di suolo di fondazione risultante dalle prove geofisiche realizzate ed estrapolabili alle zone dell'urbanizzato del Comune di SIZIANO, è corrispondente alla CATEGORIA DI SUOLO C (Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008, ex DM 14/09/2005).

**CATEGORIA DI SUOLO C** – SABBIE E GHIAIE MEDIAMENTE ADDENSATE, ARGILLE (NSPT 15-50; CU 70-250 KPA):  $V_{s30} = 180-360$  M/S

**Tabella 11** – Inquadramento della CATEGORIA DI SUOLO PREVALENTE DEL COMUNE DI SIZIANO, AI SENSI O.P.C.M. N. 3274/2003.

Il confronto tra i valori di  $F_a$  ottenuti dalla valutazione di 2° livello ed i valori di soglia suggeriti dalla normativa indicano come la norma è generalmente in grado nei periodi valutati utili di tenere in considerazione gli effetti di amplificazione litologica rilevati nel territorio.

Eventuali effetti di amplificazione litologica sono comunque da considerarsi trascurabili essendo la probabilità del verificarsi di eventi sismici, con epicentro in questa parte del territorio di pianura, del tutto remota.

## 11.6 GLOSSARIO PER I TEMI DELLA GEOFISICA

**Aliasing.** Effetto indesiderato che consiste nella creazione di una frequenza falsa (ALIAS), non esistente nel segnale reale, dovuta a fenomeni di sottocampionamento.

**Amplificazione/deamplificazione sismica.** Incremento/decremento nell'ampiezza del segnale sismico rispetto ad un'ipotetica roccia di base (BEDROCK) al propagarsi delle onde, in funzione della frequenza e del livello di scuotimento.

**Analisi di Fourier.** Operazione matematica che permette di passare, nella descrizione di un segnale, dal dominio dei tempi al dominio della frequenza. In altre parole consente di descrivere una serie temporale (ad esempio una registrazione del movimento al suolo nel tempo) attraverso le componenti relative di fase e di ampiezza de in funzione della frequenza (spettro di fase o di ampiezza o di potenza).

**Bedrock.** Roccia in affioramento o alla base di sedimenti sciolti.

**Curva di dispersione.** E' la curva che rappresenta l'andamento della velocità di fase dell'onda di Rayleigh in funzione della frequenza.

**Densità.** Indicata con  $\rho$ , è il rapporto tra massa e volume del mezzo.

**Discontinuità sismiche.** Livelli all'interno del profilo litostratigrafico in corrispondenza dei quali si verificano nette variazioni di velocità delle onde sismiche (e pertanto delle proprietà elastiche dei litotipi).

**Doppia risonanza.** Vd. *Risonanza doppia*.

**Frequenza naturale (o fondamentale).** E' la frequenza a cui un sistema, eccitato da un impulso, vibra con maggior ampiezza. E' il reciproco del periodo fondamentale.

**Guida d'onda.** Si intende per guida d'onda il fenomeno per cui un campo di onde tende a rimanere confinato entro un canale (es. un tubo o una fibra in ottica) a causa delle riflessioni delle onde con l'interfaccia di confinamento. In sismica il fenomeno si verifica nei mezzi stratificati, quando sopra e sotto lo strato  $i$ -esimo si hanno brusche variazioni di impedenza. Il fenomeno riguarda ad es. le onde di Love dove il mezzo di confinamento è dato dalla superficie libera in alto e, per es., dal bedrock, verso il basso.

**Impedenza sismica.** Prodotto  $Z$  tra la densità del terreno  $\rho$  e la velocità delle onde sismiche  $V$ , che varia fra strati differenti di terreno. Il contrasto di impedenza sismica fra strati di roccia adiacenti influisce sul coefficiente di riflessione. Il contributo maggiore alle variazioni di impedenza sismica è dato dalle variazioni di  $V$ , piuttosto che di  $\rho$ .

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

**Microtremori.** Rumore sismico ambientale, caratterizzato da oscillazioni di piccola ampiezza, provocate da sorgenti naturali o antropiche (onde del mare, vento, piccoli movimenti terrestri, traffico ecc.). I microtremori sono costituiti da tutti i tipi di onde sismiche, ma generalmente, in maggior misura, da ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH e di LOVE.

**Microzonazione.** Complesso di studi che prevede quale prodotto finale di sintesi una mappa del territorio nella quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico viene amplificato (e come) a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione dissesti del suolo indotti dal sisma (frane, assestamenti, liquefazioni, fagliazioni superficiali).

**Onde P.** Sono le onde sismiche più veloci e vengono anche chiamate *primae* o di compressione. La vibrazione si sviluppa nella stessa direzione di propagazione delle onde. Sono onde di volume e si propagano con velocità  $V_P$ .

**Onde di Love (L).** Onde sismiche generate dall'intrappolamento delle onde S confinate e riflesse tra due strati con diversa impedenza sismica (fenomeno di guida d'onda, vd.). Si propagano con velocità  $V_L$ .

**Onde di Rayleigh (R).** Onde sismiche generate dall'interazione tra onde di volume P ed S. Hanno velocità ( $V_R$ ) prossima a quella delle onde S ( $V_S$ ), in particolare  $0.87 < V_R / V_S < 0.96$ .

**Onde S.** Sono le onde sismiche che giungono per seconde. Sono chiamate anche *secundae* o trasversali e la vibrazione avviene perpendicolarmente alla direzione di propagazione dell'onda sismica. Sono onde di volume e si propagano con velocità  $V_S$ . Sono le onde più dannose per le strutture durante i terremoti in quanto, giungendo in superficie con incidenza quasi verticale, producono spinte orizzontali sui terreni e sugli edifici fondati su di essi. Gli edifici, che sopportano bene gli sforzi di compressione, generalmente soffrono invece molto la presenza di sforzi di taglio.

**Onde di superficie.** Termine generico per indicare le onde di Rayleigh e di Love, onde il cui campo di vibrazione è la superficie della crosta. La loro energia si disperde meno rapidamente delle onde di volume; esse pertanto tendono a dominare il campo lontano dalla sorgente.

**Onde di volume.** Termine generico per indicare le onde S e P. La loro energia si disperde più rapidamente delle onde di superficie, pertanto tendono a dominare il campo vicino alla sorgente.

**Risonanza.** E' la tendenza di un sistema ad oscillare con maggior ampiezza quando eccitato da energia ad una specifica frequenza, detta *frequenza naturale* di vibrazione del sistema, autofrequenza o *frequenza di risonanza*.

Nel caso degli edifici la risonanza è controllata dalle geometrie e dai materiali di costruzione mentre le frequenze di risonanza è controllata principalmente dall'altezza. La frequenza naturale di risonanza di un edificio può essere stimata, in prima approssimazione, dividendo 10 Hz per il numero dei piani dell'edificio.

**Risonanza doppia.** Tutte le strutture hanno una frequenza naturale alla quale la sovrapposizione di energia alla stessa frequenza amplifica il moto. Un analogo di facile comprensione è l'esempio di un bimbo su un'altalena. Se egli verrà spinto ad una frequenza casuale, l'altalena tenderà generalmente a fermarsi. Se invece la spinta sarà applicata all'istante giusto ad ogni oscillazione (cioè alla giusta frequenza), il dondolio dell'altalena aumenterà in modo eclatante. Allo stesso modo, se il moto sismico indotto dal terremoto eccita la base di un edificio a frequenze prossime a quelle di risonanza naturale dell'edificio stesso, l'amplificazione del moto risultante può diventare distruttiva e portare al collasso della struttura.

**Scuotimento.** E' la vibrazione del terreno indotta da un'onda sismica. Lo scuotimento in un sito può essere incrementato dalla focalizzazione dell'energia sismica causata da particolari condizioni geometriche del sottosuolo o geomorfologiche (forma di un bacino sedimentario, cresta, ecc...).

**Slant-stack.** Sovrapposizione obliqua. In questo lavoro questa procedura matematica rappresenta il primo passo nella creazione delle curve di dispersione.

**Vs30.** E' il valore medio della velocità delle onde S nei primi 30 m di sottosuolo.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

---

## 12. SINTESI DELLA RICERCA

TAV. 6. CARTA DI SINTESI (Scala 1: 5.000)

A seguito dell'analisi dei diversi fattori di rischio, è stata elaborata la Carta di Sintesi, che è il risultato delle correlazioni e della valutazione critica di tutti i dati raccolti nelle varie fasi dell'indagine. Tale elaborato cartografico evidenzia gli elementi geologici caratterizzanti e/o maggiormente significativi dell'area indagata, consentendo una lettura sintetica ma esauriente dello stato del territorio comunale dal punto di vista geologico ed ambientale.

Sono state individuate aree omogenee sulla base di diverse caratteristiche quali stabilità generale e locale, identificate e distinte mediante analisi delle cartografia esistente e rilievo puntuale sul terreno.

### Note descrittive

Nella carta di sintesi vengono rappresentate indicazioni peculiari con riferimento a:

1) Aree pericolose dal punto di vista idrogeologico:

*aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile*

*aree ad elevata vulnerabilità degli acquiferi sfruttati ad uso idropotabile*

*areali di cava dismesse.*

3) Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico:

*aree potenzialmente alluvionabili:* si tratta di aree pianeggianti poste in prossimità di corsi d'acqua che vengono allagate durante fenomeni di piena

4) Aree vulnerabili dal punto di vista geolitologico

5) Non sono state individuate aree vulnerabili dal punto di vista sismico, nell'ottica dell'amplificazione di effetti di sito.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

### **13. NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE PER LE COSTRUZIONI DEL TERRITORIO COMUNALE DI SIZIANO (PV) – CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA E RIFLESSI SULLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE**

I paragrafi successivi illustrano i risultati emersi dalla presente ricerca attraverso i criteri di applicazione previsti dalla normativa *“Criteri ed Indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di Governo del Territorio”*, in attuazione dell’art. 57 della L.R. 12/2005.

Ciò è ad utilizzo dei tecnici incaricati nella futura progettazione edilizia delle strutture e delle infrastrutture pubbliche e private, per cui dal presente studio potranno trarre le conseguenti valutazioni e suggerimenti che sarà utile considerare per ciascun caso.

La Carta di Fattibilità Geologica è il risultato della valutazione mediata di tutti gli elementi studiati e, in sintesi, del rischio geologico come illustrato nell'apposito documento precedentemente descritto e qui tradotto in classi di fattibilità.

Il territorio del comune è stato suddiviso in quattro classi di fattibilità, secondo quanto previsto dalla L. R. 24 novembre 1997, n° 41, L. R. 12/2005.

La definizione delle aree a differente fattibilità geologica deriva dall’analisi comparata di tutti gli elementi fisiografici primari (geologici, geomorfologici e geologico - tecnici) rapportati con i specifici caratteri di pericolosità o sensibilità ambientale.

In particolare, ai fini della zonazione, si è tenuto conto delle valutazioni della pericolosità dei singoli fenomeni, degli scenari di rischio conseguenti e della componente geologico - ambientale.

L’assegnazione di una data zona ad una specifica classe di fattibilità geologica può essere modificata solo nel caso che i vincoli di carattere geologico - tecnico gravanti, individuati nel presente lavoro, vengono meno per operazioni di bonifica/sistemazione.

La bonifica/sistemazione può essere effettuata sia attraverso interventi pubblici che privati.

Essendo la carta di fattibilità un documento base delle scelte progettuali alla base del P.R.G. e facendo parte integrante del piano, per la modifica delle classi (areale e di consistenza) si deve adottare la medesima procedura tecnico - amministrativa prevista per varianti al P.R.G.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

### 13.1 FATTIBILITÀ

TAV. 7. CARTA DI FATTIBILITÀ (Scala 1: 5.000)

Sono state individuate le classi di fattibilità geologica principali, in cui rientrano aree con caratteristiche geo-ambientali omogenee.

Per la relativa formulazione delle corrispondenti classi di fattibilità geologica, derivate dalla sovrapposizione dei dati nella sintesi, si è applicata la normativa più restrittiva delle aree con più limitazioni d'uso in accordo con la normativa specifica.

Sono state così individuate le possibili limitazioni:

- a) idrauliche: derivate dalla possibilità d'alluvionamento delle aree in seguito a fenomeni di esondazione di acque superficiali dei corsi d'acqua;
- b) litologiche geotecniche e sismiche: derivate dalle caratteristiche geotecniche dei terreni più superficiali, cioè quelli interessati dalle opere di fondazione;
- c) idrogeologiche: incompatibilità con vincoli di protezione ambientale, affioramento della superficie freatica, valori di soggiacenza bassa.

L'efficacia delle scelte operate in sede di stesura della carta di fattibilità geologica è legata anche alla possibilità di fornire al richiedente del singolo intervento, indicazioni chiare sulle problematiche presenti, sugli aspetti di carattere geologico da valutare, sui relativi contenuti tecnici della relazione geologica da predisporre e, conseguentemente, su eventuali limitazioni d'uso da considerare per l'area d'intervento.

Un'impostazione di questo tipo consente, tra l'altro, ai servizi tecnici comunali una più agevole valutazione dell'intervento proposto in relazione alle problematiche geologiche che caratterizzano le varie porzioni del territorio.

In quest'ottica si riportano nel seguito le indicazioni che devono essere recepite dalle Norme Tecniche di Attuazione del P.R.G.

Nella "Relazione Tecnica Illustrativa" del Piano si dovrà indicare che lo studio geologico nel complesso è da considerare parte integrante del PRG.

Nelle Norme Tecniche di Attuazione andrà inserito un paragrafo riportante i principi di seguito esposti.

Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti per le classi di fattibilità 2, 3, 4 (limitatamente ai casi consentiti) devono essere realizzati prima della progettazione degli

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

interventi in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione stessa.

Copia delle indagini effettuate e della relazione geologica di supporto deve essere consegnata, congiuntamente alla restante documentazione, in sede di presentazione dei Piani attuativi (L.R. 12/05, art. 14) o in sede di richiesta di permesso di costruire (L.R. 12/05 art. 38).

Tutte le prescrizioni di seguito riportate e per tutte le classi di fattibilità sono valide ferma restando la necessità di ottemperare per tutti gli interventi, in fase di progettazione esecutiva, a quanto previsto dalla seguente normativa di settore:

- D.M. 14/01/2008 - *Norme tecniche per le costruzioni*
- Circolare LL.PP. N. 617 del 02/02/2009 *Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14/01/2008*
- D.M. 11/03/88 – *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*
- Circolare LL. PP. N. 30483 del 24/09/1988 *Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/03/88*
- D.M. LL. PP. 20/11/1987 *Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*
- Circ. Min. LL. PP. 04/01/1989 n. 30787 *Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento*
- Legge n. 109 del 11/02/1994 *Legge quadro in materia di lavori pubblici*
- D.P.R. n. 554 del 21/12/1999 *Regolamento di attuazione della legge 109/94 e successive integrazioni, modifiche*
- D. Lgs. 03/04/2006 n. 152 *Norme in materia ambientale*
- D.Lgs. Governo n° 152 del 11/05/1999 *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole*
- D.G.R. n. 6/30194 del 25/07/1997 *Deleghe della Regione agli enti locali per la tutela del paesaggio. Criteri per l'esercizio delle funzioni amministrative ai sensi della legge regionale 9 giugno 1997, n. 18. Sezione I.*

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

- L.R. Lombardia n. 12 del 11/03//2005 *Legge per il governo del territorio*
- L.R. Lombardia n. 41 24/11/1997 *Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti.*

### **13.2 NORME TECNICHE DI PREVENZIONE ANTISISMICA PER LE NUOVE COSTRUZIONI DEL COMUNE DI SIZIANO**

Sulla base dei risultati emersi per la valutazione degli effetti di sito di amplificazione sismica per tutte le condizioni geologiche e geomorfologiche considerate per il Comune di SIZIANO e valutando i valori soglia del Fattore di Amplificazione (banca dati soglie\_lomb.xls, accesso file CAGHQ7GL nel sito WWW.TERRITORIO.REGIONELOMBARDIA.IT, Settembre 2009), non sono emerse condizioni geologiche litologiche che comportano un incremento parziale del rischio sismico nei periodi di oscillazione valutati utili per i fabbricati e le infrastrutture (0,1-0,5 s; 0,5-1,5 s).

Per il territorio di SIZIANO gli edifici più esposti ad eventuali effetti di amplificazione sismica sarebbero rappresentati dagli edifici di altezza pari a circa 2 piani.

Questa valutazione emerge dall'analisi realizzata con misure dirette geofisiche svolte per la presente ricerca. Si ritiene che questa valutazione sia di grado di *attendibilità* MEDIO-ALTA, secondo le indicazioni per la valutazione del grado di giudizio previste dalla normativa regionale stessa ed in relazione alle metodologie di analisi attuate nelle località significative sottoposte a studio nel territorio comunale.

Gli effetti di amplificazione litologica sono inoltre comunque da considerarsi trascurabili essendo la probabilità del verificarsi di eventi sismici, anche di modesta entità e con epicentro in questa parte del territorio di pianura, del tutto remota ed improbabile.

Su tutto il territorio comunale, come previsto dalla normativa<sup>7</sup> antisismica Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3274 del 20 Marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", si dovrà prevedere l'applicazione delle norme tecniche specifiche previste per la ZONA 4.

<sup>7</sup> Normativa sismica – Fondazioni ed opere di sostegno – bozza aggiornata al 25/03/03; Normativa sismica – Edifici – bozza aggiornata al 25/03/03; Normativa sismica – Ponti – bozza aggiornata al 25/03/03.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

ZONA	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI [A <sub>G</sub> /G]	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE DI ANCORAGGIO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (NORME TECNICHE) [A <sub>G</sub> /G]
4 Siziano (PV)	<0,05	0,05

In particolare ciò vale per:

- le opere di fondazione e di sostegno dei terreni;
- la progettazione di nuovi edifici; le costruzioni anche esistenti devono essere dotate di un livello di protezione antisismica differenziato in funzione della loro importanza e del loro uso, e quindi delle conseguenze più o meno gravi di un loro danneggiamento per effetto di un evento sismico;
- il progetto di ponti a pile e travate, questi ultimi del tipo continuo su più pile o semplicemente appoggiate ad ogni campata. Le pile si intendono a fusto unico, con sezione trasversale di forma generica, piena o cava, mono o multicellulare. Anche pile in forma di portale sono trattabili con i criteri e le regole contenute nelle Norme. Pile a geometria più complessa, ad esempio a telaio spaziale, richiedono in generale criteri di progetto e metodi di analisi e verifica specifici.

Ai fini della corretta progettazione delle opere lo studio geologico-geotecnico previsto per ciascuna opera dovrà essere corredato di un'adeguata ricerca geologico-strutturale per il riconoscimento dei profili stratigrafici di riferimento previsti dalla normativa oltreché dall'individuazione di eventuali discontinuità presenti nell'ottica del rischio sismico locale (disomogeneità delle variazioni laterali dei litotipi di fondazione, caratterizzazione geomeccanica, caratterizzazione granulometrica dei depositi incoerenti).

I litotipi individuati dalla normativa generale comprendono:

<b>A. FORMAZIONI LITOIDI CON STRATI DI ALTERAZIONE SUPERFICIALE DI SPESSORE MAX 5 M: <math>V_{s30} &gt; 800</math> M/S</b>
<b>B. SABBIE E GHIAIE MOLTO ADDENSATE, ARGILLE (NSPT &gt;50 O CU &gt;250 KPA): <math>V_{s30}</math> 360-800 M/S</b>
<b>C. SABBIE E GHIAIE MEDIAMENTE ADDENSATE, ARGILLE (NSPT 15-50; CU 70-250 KPA): <math>V_{s30}</math> 180-360 M/S</b>
<b>D. TERRENI GRANULARI (NSPT &lt;15; CU &lt;70 KPA): <math>V_{s30} &lt;180</math> M/S</b>
<b>E. DEPOSITI ALLUVIONALI SUPERFICIALI DEL TIPO C, D E SPESSORE COMPRESO TRA 5 E 20 M, GIACENTI SU SUBSTRATO RIGIDO CON <math>V_{s30} &gt;800</math> M/S</b>

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

CATEGORIE CHE RICHIEDONO STUDI SPECIALI DELL'AZIONE SISMICA:

**S1.** DEPOSITI COSTITUITI DA, O CHE INCLUDONO, UNO STRATO SPESSO ALMENO 10 M DI ARGILLE/LIMI DI BASSA CONSISTENZA, CON ELEVATO INDICE DI PLASTICITÀ ( $PI >40$ ) E CONTENUTO IN ACQUA, CARATTERIZZATI DA  $V_{s30} < 100$  M/S (CU 10-20 KPA)

**S2.** DEPOSITI DI TERRENI SOGGETTI A LIQUEFAZIONE, DI ARGILLE SENSITIVE, O QUALSIASI ALTRA CATEGORIA DI TERRENO NON CLASSIFICABILE NEI TIPI PRECEDENTI

NELLE PRECEDENTI DEFINIZIONI  $V_{s30}$  È LA VELOCITÀ MEDIA DI PROPAGAZIONE ENTRO 30 M DI PROFONDITÀ DAL PIANO CAMPAGNA DELLE ONDE DI TAGLIO.

Per la definizione dei profili stratigrafici si dovranno utilizzare tecniche di indagine diretta e/o geofisiche, da eseguirsi in sito, per la determinazione della velocità  $V_{s30}$  media di propagazione, almeno entro 30 m di profondità dal piano campagna, delle onde di taglio.

Il sito verrà quindi classificato ai fini della progettazione sulla base del valore di  $V_{s30}$ , se disponibile ed ottenuto al meglio tra le metodologie ritenute scientificamente più valide; altrimenti sulla base del valore del Numero di colpi di infissione nelle prove penetrometriche ( $N_{SPT}$  *Standard Penetration Test*) che saranno svolte.

Nei settori in cui si ha una pericolosità sismica locale H2 a cui è associata una classe di Fattibilità 3 (o inferiore) non è necessario applicare il 3° livello della procedura.

Nelle aree di Fattibilità geologica 4 non sono prevedibili approfondimenti degli studi sismici in quanto queste zone sono per definizione non edificabili. Studi antisismici per la valutazione degli effetti di sito in queste aree dovranno effettuarsi soltanto nel caso si prevedano interventi costruttivi rilevanti così come già descritti e compresi nel successivo paragrafo.

### 13.2.1 3° LIVELLO

Il livello 3° ("Criteri ed Indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di Governo del Territorio", in attuazione dell'art. 57 della L.R. 12/2005) si applicherà nei seguenti casi:

- a) In fase di progettazione in cui, sulla base di valutazioni tecniche di dettaglio che saranno acquisite in fase di progettazione di ciascuna area specifica, per cui le indagini conoscitive dell'area evidenzieranno coperture scadenti con velocità  $V_s$  100-150 m/s (questa condizione appare poco probabile per il territorio comunale di Siziano dell'abitato e dei suoi intorni) si dovrà valutare il Fattore di

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

amplificazione attraverso il livello 2° ed eventualmente nel caso venga superato il valore soglia del Fattore di amplificazione si potrà: (1) applicare il 3° livello della procedura in fase di progetto (descritto al paragrafo successivo). (2) Oppure, si valuterà la scelta di rispondenza dei requisiti minimi progettuali di risposta elastica delle nuove strutture corrispondenti alla Zona 3 più gravosa (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3274 del 20 Marzo 2003).

- b) In tutti i casi in cui si stia progettando costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali essenziali (individuati dal D.D.U.O. della Regione Lombardia n. 19904 del 21 novembre 2003 non rientranti nelle tipologie di cui al decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile 21 ottobre 2003).

I risultati delle analisi di 3° livello saranno utilizzati in fase di progettazione al fine di ottimizzare l'opera e gli eventuali interventi di mitigazione della pericolosità.

Come prescritto dalla normativa, occorrerà valutare:

#### **Effetti di instabilità**

L'analisi prevede, a seguito della caratterizzazione ed identificazione dei movimenti franosi, la quantificazione della loro instabilità intesa come la valutazione degli indici di stabilità in condizioni statiche, pseudostatiche e dinamiche e prevede un approccio di tipo puntuale, finalizzato cioè alla quantificazione della instabilità di singoli movimenti franosi.

Le fasi, i dati e le metodologie necessarie per l'effettuazione di queste analisi e valutazioni sono distinte per tipologia di movimenti franosi, in particolare per i movimenti franosi tipo scivolamenti (rotazionali e traslazionali) possono essere così schematizzate:

- individuazione delle sezioni geologiche e geomorfologiche che caratterizzano il corpo franoso, le sue geometrie, gli andamenti delle superfici di scivolamento, dei livelli di falda, finalizzati alla ricostruzione di un modello geologico interpretativo del movimento franoso;
- individuazione dei parametri geotecnici necessari all'analisi: il peso di volume ( $\gamma$ ), l'angolo di attrito ( $\Phi$ ) nei suoi valori di picco e residuo e la coesione ( $c$ ) nei suoi valori di picco e residuo (nel caso si adotti il criterio di rottura di Mohr-Coulomb);
- individuazione degli accelerogrammi di input nel caso di analisi dinamiche;

analisi numeriche: diversi sono i modelli numerici che possono essere utilizzati per il calcolo della stabilità; tali codici, più o meno semplificati (es. metodo dei conci, metodo ad elementi finiti, ecc.), forniscono la risposta in termini di valori del fattore di sicurezza ( $F_s$ ) in condizioni statiche, in termini di valori del coefficiente di accelerazione orizzontale critica ( $K_c$ ) in condizioni pseudostatiche ed in termini di spostamento atteso in condizioni dinamiche.

L'applicazione dei diversi modelli dipenderà chiaramente dalle condizioni geologiche del sito in analisi e dal tipo di analisi che si intende effettuare.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

I risultati, ottenuti per ogni movimento franoso o per ogni area potenzialmente franosa, forniranno i livelli di pericolosità a cui è sottoposta l'area in esame: in particolare i valori del fattore di sicurezza forniscono indicazioni sulla stabilità dell'area considerando un ben preciso stato del sito di analisi non tenendo in conto la contemporanea variazione di alcuni parametri quali contenuto d'acqua e carichi agenti (pioggia, terremoto, azioni antropiche, ecc); il coefficiente di accelerazione orizzontale critica fornisce invece la soglia di accelerazione al suolo superata la quale l'area stabile diviene instabile in occasione di un terremoto; infine lo spostamento atteso fornisce indicazioni e sull'area di influenza del movimento franoso e una misura di quanto l'accadimento di un evento sismico può modificare la situazione esistente.

Per quanto riguarda i movimenti tipo crolli e ribaltamenti le analisi che possono essere effettuate sono di tipo statico e pseudostatico. Le fasi, i dati e le metodologie necessarie per l'effettuazione di queste analisi e valutazioni possono essere così schematizzate:

- inquadramento geologico di un intorno significativo in scala 1:10.000 e esecuzione di sezioni geologiche e topografiche in scala 1:10.000;
- individuazione dei parametri dell'input sismico (quali valore del picco di accelerazione, valore del picco di velocità);
- rilievi geomeccanici per la classificazione degli ammassi rocciosi sorgenti dei distacchi (determinazione delle principali famiglie di discontinuità, prove in sito sugli affioramenti quali martello di Smidth tipo L, pettine di Barton, spessimetro per apertura giunti ecc., prelievo di campioni per esecuzione di Point Load Test e di prove di scivolamento Tilt Test);
- identificazione dei principali cinematismi di rottura degli ammassi rocciosi su sezioni tipo e, per situazioni particolarmente significative, analisi di stabilità in condizioni statiche e pseudostatiche di singoli blocchi;
- descrizione e rilievo della pista di discesa e della zona di arrivo, rilievo geologico e, ove possibile, statistica dei massi al piede (dimensioni e distribuzione);
- costruzione del modello numerico della/e pista/e di discesa e verifiche di caduta massi con vari metodi e statistiche arrivi.

I risultati, ottenuti per ogni movimento franoso o per ogni area potenzialmente franosa, forniranno i livelli di pericolosità a cui è sottoposta l'area in esame, in particolare, vengono individuate le possibili piste di discesa, le relative aree di influenza e la statistica degli arrivi.

### **Effetti di cedimenti e/o liquefazioni**

L'analisi prevede la valutazione quantitativa delle aree soggette a fenomeni di cedimenti e liquefazioni.

Con il termine liquefazione si indica la situazione nella quale in un terreno saturo non coesivo si possono avere deformazioni permanenti significative o l'annullamento degli sforzi efficaci a causa dell'aumento della pressione interstiziale.

Per il calcolo del potenziale di liquefazione si fa riferimento ai risultati di prove in situ, utilizzando procedure note in letteratura.

Anche per il calcolo di possibili cedimenti che possono verificarsi sia in presenza di sabbie sature sia in presenza di sabbie asciutte, si fa riferimento ai risultati di prove in situ, utilizzando procedure note in letteratura.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

*In linea generale si esclude per il territorio di SIZIANO la presenza di depositi suscettibili a effetti di liquefazione, considerate le tipologie litologiche del territorio e la zonazione sismica di appartenenza (Zona 4) per cui non risultano prevedibili eventi sismici di magnitudo considerevole.*

#### **Effetti di amplificazione morfologica e litologica**

L'analisi prevede un approccio di tipo quantitativo e costituisce lo studio di maggior dettaglio, in cui la valutazione della pericolosità sismica locale è effettuata ricorrendo a metodologie che possono essere classificate come strumentali o numeriche.

La metodologia strumentale richiede l'acquisizione di dati strumentali attraverso campagne di registrazione eseguite in sito con l'utilizzo di strumentazioni specifiche, variabili a seconda del parametro di acquisizione scelto (velocimetri ed accelerometri). Le caratteristiche strumentali, il tipo di acquisizione e la disposizione logistica variano in funzione della complessità geologica dell'area di studio, del metodo di elaborazione scelto e del tipo di risultato a cui si vuole pervenire. Le registrazioni eseguite in un'area di studio possono riguardare rumore di fondo (microtremore di origine naturale o artificiale) o eventi sismici di magnitudo variabile; i dati acquisiti devono essere opportunamente selezionati (ripuliti da tutti i disturbi presenti) e qualificati tramite informazioni sismologiche dell'area in esame. Permettono di definire la direzionalità del segnale sismico e la geometria della zona sismogenetica-sorgente. Le tracce dei segnali di registrazione devono essere in seguito processate tenendo conto delle diverse condizioni di installazione degli strumenti e delle diverse condizioni di acquisizione dei dati. Inoltre, nel caso siano utilizzate stazioni equipaggiate con strumentazioni con frequenza propria diversa (caso più frequente) occorre rendere omogenei tra loro i vari segnali attraverso una deconvoluzione per le rispettive risposte spettrali. L'analisi sperimentale può presentare diversi gradi di approfondimento ed affidabilità, in funzione del tipo di strumentazione impiegata, del tipo di elaborazione del dato di registrazione e, soprattutto, in funzione dell'intervallo di tempo dedicato alle misurazioni in sito. I metodi di analisi strumentale più diffusi ed utilizzati sono il metodo di Nakamura (1989)<sup>8</sup> e il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)<sup>9</sup>.

La metodologia numerica consiste nella modellazione di situazioni reali mediante un'appropriata e dettagliata caratterizzazione geometrica e meccanica del sito e nella valutazione della risposta sismica locale tramite codici di calcolo matematico più o meno sofisticati (modelli monodimensionali 1D, bidimensionali 2D e tridimensionali 3D), basati su opportune semplificazioni e riduzioni del problema, necessarie ma comunque di influenza abbastanza trascurabile sul risultato finale. I concetti fondamentali su cui si basano i codici di calcolo numerico riguardano la teoria della propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo e la teoria del comportamento non lineare e dissipativo dei terreni in condizioni dinamiche. La valutazione della risposta sismica deve tener conto non solo delle variazioni di ampiezza massima del moto sismico di riferimento, ma anche dell'effetto di filtraggio esercitato su di esso dal terreno, cioè delle modifiche nel contenuto in frequenza.

L'applicazione della metodologia numerica richiede una caratterizzazione geometrica di dettaglio del sottosuolo, tramite rilievi specifici, una caratterizzazione geofisica e una caratterizzazione meccanica, tramite accurate indagini geologiche e geotecniche, in grado di determinare i parametri geotecnici statici e dinamici specifici su campioni indisturbati o comunque di alta qualità

<sup>8</sup> Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR Railway Tech. Res. Inst., 30, 1

<sup>9</sup> Kanai, K., Tanaka, T., 1961. On Microtremors. VIII, Bull. Earthquake res. Inst., University of Tokyo. Vol. 39

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

e in condizioni tali per cui vengano simulate il meglio possibile le condizioni di sito del terreno durante i terremoti attesi. Perciò viene richiesto un programma di indagini geotecniche specifico, i cui risultati saranno da aggiungere a quelli esistenti (1° e 2° livello). E' inoltre necessaria l'individuazione di uno o più input sismici sotto forma di spettri di risposta e/o di accelerogrammi. Le analisi strumentali e numeriche rappresentano due approcci diversi per la valutazione quantitativa dell'amplificazione locale; essi sono tra loro coerenti ma presentano le seguenti differenze:

- l'analisi numerica ha il vantaggio di essere facilmente applicabile con tempi veloci ma ha lo svantaggio di richiedere alti costi di realizzazione, di considerare modelli semplificati della situazione reale (soprattutto per i codici di calcolo 1D e 2D) e di trascurare l'effetto delle onde superficiali, sottostimando gli effetti ad alti periodi;
- l'analisi strumentale ha il vantaggio di considerare l'effetto della sollecitazione sismica nelle tre dimensioni spaziali ma ha lo svantaggio di considerare eventi di bassa magnitudo, valutando il comportamento dei materiali solo per basse deformazioni in campo elastico; di richiedere, oltre alle analisi sismologiche di registrazione strumentale, analisi geotecniche dinamiche integrative atte a rilevare il comportamento del bedrock sotto sollecitazione, di effettuare le registrazioni per periodi di tempo che dipendono dalla sismicità dell'area e che possono variare da un minimo di 1 mese ad un massimo di 2 anni.

Per compensare i limiti di un metodo con i vantaggi dell'altro è da valutare la possibilità di integrazione delle due metodologie: in questo modo è possibile effettuare un'analisi quantitativa completa che considera sia l'effetto della tridimensionalità del sito sia il comportamento non lineare dei materiali soggetti a sollecitazioni sismiche.

Al fine di poter effettuare le analisi di 3° livello la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati:

**lo-acc** contenente, per ogni comune, diversi accelerogrammi attesi caratterizzati da due periodi di ritorno (475 e 975 anni);

**curve\_lomb.xls** contenente i valori del modulo di taglio normalizzato ( $G/G_0$ ) e del rapporto di smorzamento ( $D$ ) in funzione della deformazione ( $\gamma$ ).

---

### 13.3 CLASSE 1 - FATTIBILITÀ SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI

In questa classe ricadono le aree per le quali gli studi non hanno individuato specifiche controindicazioni di carattere geologico all'urbanizzazione o alla modifica di destinazione d'uso.

La classe comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dalle *Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale*.

Questa classe non è compresa nel territorio di SIZIANO.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

### 13.4 CLASSE 2 - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI

In questa classe ricadono le aree nelle quali sono state rilevate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.

Si rende necessario realizzare approfondimenti di carattere geologico-tecnico e idrogeologico finalizzati alla realizzazione di eventuali opere di sistemazione e bonifica.

Gli interventi non dovranno incidere negativamente sulle aree limitrofe.

Il grado di protezione della falda freatica è generalmente medio-alto (vulnerabilità geologica bassa).

Per tutte le aree della Classe 2, la realizzazione di nuovi insediamenti abitativi o produttivi è subordinata quindi all'acquisizione di dati geologico-tecnici di maggiore dettaglio che dovranno permettere la definizione della situazione idrogeologica locale e la caratterizzazione geomeccanica dei terreni di fondazione. Tali studi di dettaglio dovranno essere programmati e realizzati in fase di progettazione dei Piani di Lottizzazione per le nuove aree a destinazione urbanistica. Dovranno invece essere contemplati nei singoli progetti edificatori nei casi non ricadenti in nuovi Piani.

Le indagini di dettaglio dovranno essere eseguite in sede di progetto esecutivo dei singoli interventi e costituiranno parte integrante degli elaborati di progetto, conformemente a quanto prescritto per le "Norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008, la L.R. Lombardia 12/2005; la L.R. 41/97.

In questa classe la relazione geologico-tecnica dovrà valutare i seguenti aspetti: caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche (supportate da indagini dirette in sito); verifiche idrologiche ed idrogeologiche al fine di valutare e proporre soluzioni progettuali atte ad eliminare o ridurre gli effetti negativi delle condizioni geologico-ambientali effettivamente riscontrate.

In questa classe sono comprese pertanto quelle aree caratterizzate da una struttura geologica favorevole alla realizzazione ed allo sviluppo del tessuto urbanistico, con comunque necessità di soluzioni progettuali finalizzate all'identificazione, caso per caso, delle condizioni specifiche di esercizio e della tipologia delle strutture di fondazione o contenimento, conservative ai fini della stabilità a lungo periodo delle opere medesime.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

### 13.5 CLASSE 3 - FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Il professionista deve in alternativa:

- se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali previsioni urbanistiche le opere di mitigazione del rischio da realizzare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione della tipologia del fenomeno che ha generato la pericolosità/vulnerabilità del comparto;
- se non dispone di elementi sufficienti, definire puntualmente i supplementi di indagine relativi alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito di territoriale riferimento e la finalità degli stessi al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale e individuare di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per potere procedere o meno all'edificazione.

Il grado di protezione della falda freatica è generalmente basso (vulnerabilità geologica alta) in virtù di depositi alluvionali superficiali a granulometria fine (limi argillosi e argille) spesso poco potenti o resi di spessore modesto in seguito all'attività estrattiva di cava a fossa per l'estrazione dell'argilla, e della soggiacenza della falda di pochi metri o sub-affiorante.

La realizzazione di nuovi insediamenti abitativi o produttivi è subordinata all'acquisizione di dati geologico-tecnici di maggiore dettaglio che dovranno permettere la definizione della situazione idrogeologica locale e la caratterizzazione geomeccanica dei terreni di fondazione.

Tali indagini dovranno essere eseguite in sede di progetto esecutivo dei singoli interventi e costituiranno parte integrante degli elaborati di progetto, conformemente a quanto prescritto dalle "Norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008; la L.R. Lombardia 12/2005; la L.R. 41/97.

Per le aree ricadenti in classe 3 di fattibilità, la progettazione dovrà essere supportata da una relazione geologico-technica, con indagini in sito e verifiche esaustive ma non limitative, rispetto alle specifiche problematiche presenti nell'area.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

Le limitazioni di carattere geologico riscontrate per questa classe impongono che la relazione geologico-tecnica, da predisporre preliminarmente rispetto alla progettazione esecutiva degli interventi, valuti dettagliatamente i seguenti aspetti:

tipologia degli interventi rispetto alla specifica classe di fattibilità, interazioni tra l'area di intervento e le aree ad essa confinanti con diversa classe di fattibilità; caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area e di un suo intorno significativo; caratterizzazione geotecnica dell'area e di un suo intorno significativo, supportata da specifiche ed esaustive indagini in sito; caratterizzazione idrologica ed idrogeologica dell'area e di un suo intorno significativo, supportata da specifiche ed esaustive verifiche; individuazioni di interventi finalizzati alla mitigazione del rischio per l'area in esame, attraverso interventi di carattere strutturale anche esterni all'area stessa, con indicazioni specifiche sulla tipologia degli stessi; individuazione di interventi nell'ambito dell'area in esame, finalizzati alla protezione delle nuove strutture in progetto, con indicazioni specifiche sulla tipologia degli stessi.

Negli ultimi due casi il redattore della relazione tecnica dovrà anche garantire che gli interventi proposti, migliorativi per l'area di intervento e del suo intorno, non comportino incrementi del rischio per le aree adiacenti.

La scelta delle tematiche da valutare ed approfondire è effettuata, a discrezione del professionista incaricato, sulla base dell'insieme delle problematiche individuate nella specifica area di intervento, segnalando eventuali necessità di riduzione e/o limitazione dei parametri massimi dettati dalle N.T.A..

Per le aree ricadenti in classe di fattibilità 3 si dovrà cercare di prevedere interventi edilizi a impatto geologico contenuto.

Appartengono alla Classe 3 di fattibilità la zona di *rispetto* dei pozzi comunali idropotabili. L'area è di raggio non inferiore a 200 m rispetto al punto della captazione.

Entro le zone di rispetto, valgono le prescrizioni di cui all'art. 21, comma 3, del D.Lgs 152/99, come modificato dall'art. 5, comma 5, del D.Lgs 258/00. L'attuazione degli interventi o delle attività elencate all'art. 5, comma 6, del D.Lgs 258/00 (tra le quali in particolare, interventi di edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione, fognature, opere viarie, ferroviarie e in genere infrastrutture di servizio) deve seguire i criteri e le indicazioni contenute nel documento "Direttive per la disciplina delle attività all'interno delle aree di rispetto (art. 21, comma 6, del D.Lgs 152/99 e successive modificazioni)",

PROGETTO	<i>COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12</i>
DATA Dicembre 2009	

approvato con DGR 10 aprile 2003, n. 7/12693, pubblicato sul BURL Serie Ordinaria n. 17, del 22 aprile 2003.

In queste aree sono vietate alcune attività:

- a) dispersione, ovvero immissione in fossi non impermeabilizzati, di reflui, fanghi e liquami anche se depurati;
- b) accumulo di concimi organici ;
- c) dispersione nel sottosuolo di acque bianche provenienti da piazzali e strade;
- d) aree cimiteriali;
- e) spandimento di pesticidi e fertilizzanti;
- f) apertura di cave e pozzi;
- g) discariche di qualsiasi tipo, anche se controllate;
- h) stoccaggio di rifiuti, reflui, prodotti, sostanze chimiche pericolose, sostanze radioattive;
- i) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- j) impianti di trattamento di rifiuti;
- k) pascolo e stazzo di bestiame.

Nelle zone di rispetto è vietato l'insediamento di fognature e pozzi perdenti; per quelli esistenti si adottano, ove possibile, le misure per il loro allontanamento.

Dovranno altresì essere utilizzati quegli accorgimenti atti all'esclusione di qualsiasi dispersione nel sottosuolo.

Si sottolinea, infine, che per quanto riguarda la disciplina all'interno delle zone di rispetto in particolare delle seguenti attività:

- fognature;
- edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione;
- opere viarie, ferroviarie ed in genere di infrastrutture di servizio;
- pratiche agronomiche e contenuti dei piani di utilizzazione;

la Regione Lombardia ha emanato un'apposita direttiva contenuta nell'Allegato 1 alla DGR 10 aprile 2003 n.7/12693, che anticipa la formulazione di un testo unitario concernente la qualità e l'utilizzo delle acque.

Appartengono alla Classe 3 di fattibilità i territori ad ex cava che sono e non sono stati ricolmati e recuperati con ripristino della quota del piano campagna.

PROGETTO	COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12
DATA Dicembre 2009	

### **13.6 CLASSE 4 - FATTIBILITÀ CON GRAVI LIMITAZIONI**

L'alta pericolosità / vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazioni d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti saranno consentiti esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della L.R. 12/2005 senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica.

Il professionista deve fornire indicazioni in merito alle opere di sistemazione idrogeologica e, per i nuclei abitati esistenti, quando non è strettamente necessario provvedere al loro trasferimento, dovranno essere predisposti idonei piani di protezione civile ed inoltre deve essere valutata la necessità di predisporre sistemi di monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

Appartengono a questa classe le aree in dissesto, le aree ricadenti in fasce di grave esondazione dei corsi d'acqua e le relative fasce di rispetto e le aree di protezione assoluta (raggio di 10 m dal pozzo) dei pozzi pubblici.

Appartengono alla Classe 4 di fattibilità i territori ad ex cava a fossa, e ricadenti nei territori circoscritti quali Ambiti Territoriale Estrattivi ATE nel Piano Cave della Provincia di Pavia (D.C.R. 20/02/2007 n. VIII/344, C.R. 12/03/2007 n. 31).

Appartengono alla Classe 4 di fattibilità le fasce di rispetto pari a 10 m dal piede esterno dell'argine dei corsi d'acqua principali [RIP], come stabilito dal R.D. 523/1904 art. 96.

Questi territori sono generalmente costituiti da terreni sabbioso-ghiaiosi non consolidati e molto permeabili per porosità e caratterizzati dalla falda freatica prossima al piano

PROGETTO	<i>COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI SIZIANO, IN ATTUAZIONE DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N.12</i>
DATA Dicembre 2009	

campagna se non affiorante. Le aree hanno quindi grado di protezione della falda molto basso (vulnerabilità idrogeologica molto elevata).

Per tutte le aree ricadenti in questa Classe si suggerisce di limitare l'uso del suolo alla coltura dei pioppi e di altre specie arboree, mantenendo una distanza di rispetto minima dagli alvei attivi. In tale fascia sarà opportuno favorire e/o ricostituire lo sviluppo della vegetazione ripariale naturale.

Pagano Dott. Alberto

*Geofisico, Ordine Geologi Regione Lombardia n. 721*