



COMUNE DI FONTANELLA

PROVINCIA DI BERGAMO



ADEGUAMENTO DELLO STUDIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO COMUNALE ALLA NUOVA LEGGE REGIONALE PER IL GOVERNO DEL TERRITORIO

ai sensi del art. 57 della L.R. 12/2005 e della D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008

Commessa: Font. B		Numero pagine: 86			
A	Maggio '09	EMISSIONE	DG/GM	DG	DG
<i>Rev.</i>	<i>Data</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Redatto</i>	<i>Controllato</i>	<i>Approvato</i>

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

INDICE GENERALE

1. PREMESSA	4
1.1 STRUTTURA DELLA RELAZIONE.....	5
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	7
3. CLIMATOLOGIA.....	9
3.1 METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA.....	9
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E GEOPEDOLOGICO	19
4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	19
4.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	21
4.3 INQUADRAMENTO GEOPEDOLOGICO.....	22
5. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO.....	25
5.1 IDROGRAFIA	25
5.2 IDROGEOLOGIA.....	26
5.2.1 STRUTTURA DELLE FALDE IDRICHE DELLA PIANURA BERGAMASCA.....	26
5.2.2 LA FALDA SUPERFICIALE NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI FONTANELLA.....	27
5.3 VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO.....	30
5.3.1 SISTEMI DI CALCOLO DELLA VULNERABILITÀ	31
5.3.2 IL METODO G.O.D.	32
5.3.3 APPLICAZIONE DEL METODO G.O.D. AL TERRITORIO COMUNALE DI FONTANELLA.....	36
6. CARATTERI GEOLOGICO-TECNICI DEL TERRITORIO	38
7. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO.....	40
7.1 SISMICITÀ STORICA E RECENTE.....	44

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
	Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	
	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

7.2 ANALISI DI PRIMO LIVELLO.....	48
7.3 ANALISI DI 2° LIVELLO: SCENARIO PSL Z4 - AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE.	50
7.3.1 APPROCCIO METODOLOGICO.....	52
7.3.2 FREQUENZE DI VIBRAZIONE PRINCIPALI.....	53
7.3.3 CALCOLO DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DI SITO FA.....	56
7.3.4 ANALISI DEI DATI E CONSIDERAZIONI.....	57
8. CARTA DEI VINCOLI.....	60
8.1 RACCORDO CON GLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA	61
9. CARTA DI SINTESI.....	78
10. CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO	80
10.1 GENERALITÀ	80
10.2 CLASSI DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA E NORME GEOLOGICHE DI PIANO.....	81

ELENCO ALLEGATI

ALLEGATO A – INDAGINI SISMICHE

ELENCO TAVOLE CARTOGRAFICHE ALLEGATE

TAVOLA 1 – CARTA GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA (scala 1:10.000)

TAVOLA 2 – CARTA GEOPEDOLOGICA (scala 1:10.000)

TAVOLA 3 – CARTA IDROGEOLOGICA (scala 1:10.000)

TAVOLA 4 – CARTA DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA (scala 1:10.000)

TAVOLA 5 – CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (scala 1:10.000)

TAVOLA 6 – CARTA DEI VINCOLI (scala 1:10.000)

TAVOLA 7 – CARTA DI SINTESI (scala 1:10.000)

TAVOLA 8 – CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA (scala 1:10.000)

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

1. PREMESSA

Con determina n. 152 del 01-07-2008 il responsabile del Settore Gestione del Territorio ha affidato allo scrivente l'aggiornamento dello studio geologico del territorio comunale di Fontanella alla nuova legge regionale per il Governo del Territorio (L.R. 12/05).

L'entrata in vigore delle L.R. 12/05 ha comportato la ridefinizione dei criteri tecnici volti alla prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici nell'ambito della pianificazione urbanistica comunale.

In particolare con D.G.R. n. 8/1566 del 22 dicembre 2005, successivamente aggiornata con D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 sono stati stabiliti i *“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. 12/05”*.

Per questi motivi, nell'ambito della predisposizione del Piano di Governo del Territorio del comune di Fontanella si è reso necessario provvedere all'aggiornamento dello studio geologico del territorio comunale redatto nel 2000 dal dott. geol. G. Vagni ai sensi della L.R. 41/97, relativamente alla *“componente sismica e delle carte dei vincoli, di sintesi e di fattibilità”* in modo da renderlo conforme alla nuova normativa.

Rispetto alla L.R. 41/97, la D.G.R. 8/7374 introduce un “nuovo” livello conoscitivo del territorio, la componente sismica, che deve essere considerata nelle scelte urbanistiche di pianificazione, nell'ottica di una riduzione del rischio.

Poiché il comune di Fontanella risulta appartenere alla zona sismica 2, tale aspetto è stato oggetto di un'approfondita analisi che ha portato ad individuare le aree potenzialmente pericolose da un punto di vista sismico in quanto interessate da effetti di amplificazione locale generati dalle particolari condizioni litologiche dei siti.

Inoltre si è proceduto ad una revisione delle Carte dei Vincoli, di Sintesi e di Fattibilità sia estendendole all'intero territorio comunale, sia recependo gli elementi di novità e di modifica riportati negli strumenti di pianificazione sovraordinata.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

L'acquisizione nel periodo 2000-2008 di ulteriori dati di natura geologica ha spinto lo scrivente ad effettuare una rilettura critica del quadro geologico del territorio comunale precedentemente stabilito, soprattutto rispetto alle caratteristiche litologiche e litotecniche dei terreni.

Alla luce di questo e con l'obiettivo di fornire uno studio il più omogeneo e consequenziale possibile si è pertanto deciso di ri-editare tutte le carte contenenti gli aspetti di inquadramento generale del territorio in esame.

Si sottolinea che trattandosi di un lavoro teso a delineare gli effetti della componente geologica sulla pianificazione comunale, tutti gli elementi raccolti hanno questa specifica vocazione.

Pertanto gli elaborati hanno una funzione di supporto alla pianificazione generale e definiscono le linee fondamentali dell'assetto territoriale e non possono essere considerati come esaustivi di problematiche geologico-tecniche specifiche.

In particolare le informazioni raccolte non possono venire utilizzate per la soluzione di problemi progettuali a carattere puntuale, dove andranno effettuati appositi rilevamenti ed indagini.

1.1 Struttura della relazione

La struttura della relazione segue le indicazioni riportate nella normativa di riferimento e risulta divisa in tre parti:

- la prima parte, definita **Fase di Analisi**, tratta gli aspetti geologici, geomorfologici, idrogeologici, geotecnici e sismici generali del territorio comunale dedotti dall'analisi dei dati di letteratura e della documentazione disponibile presso l'archivio del comune, integrati con rilievi di campagna; come precedentemente accennato, si è provveduto ad una rivisitazione delle carte tematiche di inquadramento in quanto costituiscono la base di dati da cui discende l'inquadramento sintetico ed analitico di cui ai punti successivi;

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

- la seconda parte, definita **Fase di Sintesi/Valutazione**, tratta le limitazioni d'uso derivanti da normative sovraordinate (*Carta dei Vincoli*) fino ad individuare le aree del territorio potenzialmente pericolose/vulnerabili da un punto di vista geologico-geotecnico ed idraulico-idrogeologico (*Carta di Sintesi*);
- la terza parte, **Fase di proposta**, stabilisce per ciascun ambito omogeneo caratterizzato da una pericolosità geologica e geotecnica e da una vulnerabilità idraulica e idrogeologica, una determinata classe di fattibilità (*Carta di fattibilità delle azioni di piano*) con le relative norme geologiche di attuazione (prescrizioni ed approfondimenti da effettuare) fornendo indicazioni in ordine alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio.

Le carte relative alla Fase di Analisi, Sintesi/Valutazione e Proposta (Tavola 1-8) sono state redatte alla scala 1:10.000, in modo da avere tutti gli elementi di analisi del territorio su un unico elaborato grafico.

Come base cartografica si è utilizzata la Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 per le tavole di inquadramento generale (Tavole 1-3), mentre per le tavole di maggior dettaglio (Tavole 4-8) si è utilizzato l'aerofotogrammetrico in scala 1:5.000, fornito dall'ufficio tecnico comunale.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il Comune di Fontanella è situato nella zona sud-orientale della Provincia di Bergamo e presenta un'estensione areale di circa 17,6 km².

Confina a Nord con il comune di Antegnate, a Ovest con il comune di Barbata, a Est con il Comune di Pumenengo, Calcio e Torre Pallavicina e a Sud con il comune di Soncino e Casaletto di Sopra (comuni della provincia di Cremona).

Il territorio del Comune di Fontanella è occupato per la maggior parte da aree a destinazione agricola, mentre l'area urbanizzata è localizzata nel settore settentrionale del territorio comunale ed occupa circa il 6 % della superficie totale.

L'area in esame è compresa nelle sezioni C6c2, C6c3, C6d2 e C6d3 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, aggiornata nel 1994 (si veda la figura 1).

Il territorio comunale si presenta nel complesso pianeggiante con un abbassamento della quota della superficie topografica che avviene in maniera graduale da Nord verso Sud, passando da quote di circa 110 m s.l.m. in prossimità del confine Nord ai circa 90 m s.l.m. in prossimità del confine Sud.

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

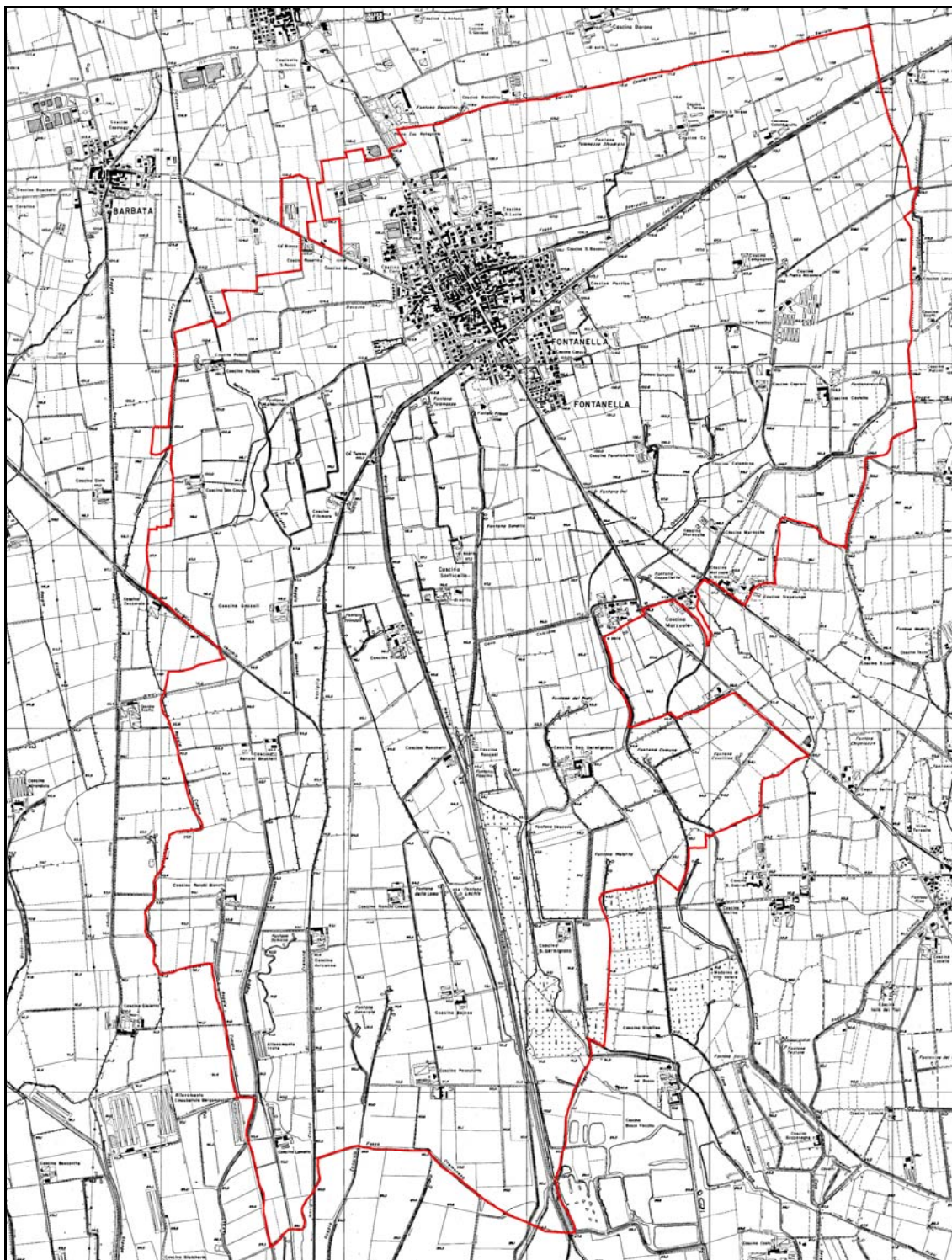


Figura 1: Estratto della Carta Tecnica Regionale riportante i limiti amministrativi del comune di Fontanella.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

3. CLIMATOLOGIA

3.1 Meteorologia e climatologia

La diversità di quota e di esposizione rendono il clima delle aree montane e pedemontane assai variabile da luogo a luogo. L'effetto barriera delle Alpi per le correnti nord-occidentali influenza le condizioni atmosferiche generali, alterando il carattere delle masse d'aria e delle perturbazioni.

Un altro elemento decisivo che influisce particolarmente sui climi locali delle vallate è la maggiore o minore insolazione in primavera. Vi sono versanti quasi costantemente in ombra sui quali può accadere che il manto nevoso si conservi ancora intatto quando sui versanti soleggiati la neve si è già sciolta fino a 1.500 - 2.000 metri.

L'omogeneità dell'orografia caratterizza invece la pianura padana come una regione dove i tratti salienti del clima si presentano abbastanza caratterizzanti e indicativi per vaste porzioni geografiche; questo comporta la possibilità di discutere le caratteristiche climatiche della zona pianeggiante della Provincia nel contesto più generale del clima padano. La pianura padana è caratterizzata da un clima prettamente continentale: tuttavia i caratteri più accentuati di tale clima vengono talvolta attenuati per l'influenza del mare Adriatico, specie nelle Province di Brescia e di Mantova, mentre la catena alpina la ripara dalle correnti fredde provenienti dall'Europa settentrionale.

PLUVIOMETRIA

Di seguito è riportata la mappa pluviometrica riferita al 50° percentile (anno medio) della quantità di pioggia caduta, elaborata dall'ERSAL mediante l'elaborazione geostatistica (valori riferiti a celle quadrate di 5x5 km) eseguita su dati di stazioni meteorologiche lombarde e delle aree al contorno, relativamente a un periodo di tempo di circa un quarantennio (1950-1996).

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

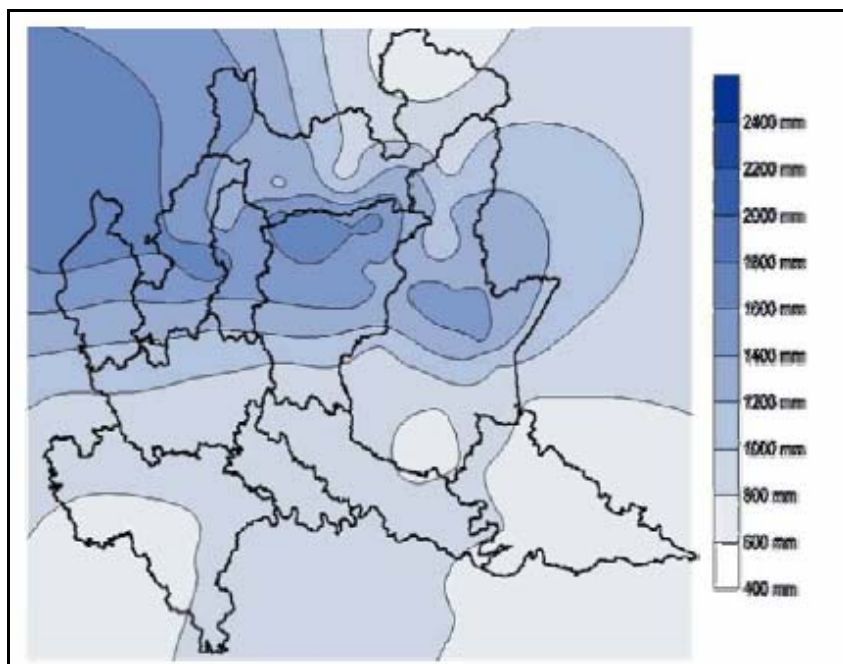


Figura 2: 50° percentile della quantità di pioggia caduta in un anno (anno medio)- Fonte: ERSAL

Si può osservare come il territorio della Provincia di Bergamo sia interessato da precipitazioni progressivamente crescenti, passando dalle zone di bassa pianura (valori compresi tra i 600 e gli 800 mm/anno) fino alle zone montuose in corrispondenza dello spartiacque, dove si registrano precipitazioni superiori ai 1.500 mm all'anno.

È possibile entrare in maggiore dettaglio nell'analisi delle caratteristiche climatologiche della Provincia e analizzare le cosiddette "normali climatiche", elaborazioni statistica su base trentennale per le variabili meteorologiche monitorate dalle stazioni al suolo.

Tali elaborazioni sono riportate per quantità di precipitazione cumulata mensile e per la temperatura massima e minima, con riferimento alla stazione meteorologica di Bergamo Orio al Serio, che permette di estendere le considerazioni svolte sulla relativa omogeneità del clima della pianura bergamasca alla fascia di territorio più interessata dalle sorgenti di emissione e più sensibile ai fenomeni di inquinamento atmosferico a causa dell'elevata concentrazione della popolazione.

Nella figura 3 viene riportata la distribuzione mensile della quantità di precipitazione cumulata minima, media e massima.

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

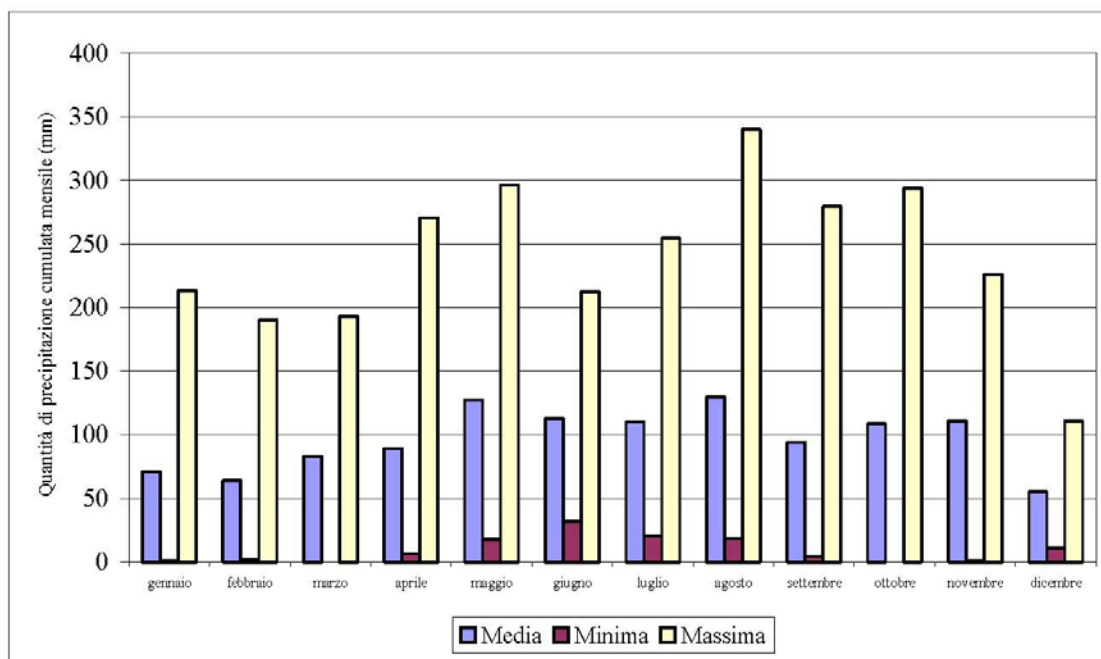


Figura 3: Distribuzione mensile della quantità di precipitazione minima, media e massima - Fonte: Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare

Osservando i valori medi, non emergono variazioni particolari tra i diversi mesi: la quantità di precipitazione non scende mai al di sotto dei 50 mm e non supera mai i 130 mm. I mesi più piovosi risultano essere maggio e agosto, quello più asciutto dicembre.

In particolare, per il territorio del comune di Fontanella, si riportano (Figura 4) i diagrammi delle precipitazioni medie mensili e medie annue ottenute dai dati pluviometrici raccolti presso la stazione di Treviglio, per il periodo compreso fra il 1951 ed il 1988, integrandoli sino all'anno 2000 con i dati acquisiti dalla stazione dell'Istituto Tecnico Agrario di Stato G. Cantoni di Treviglio.

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

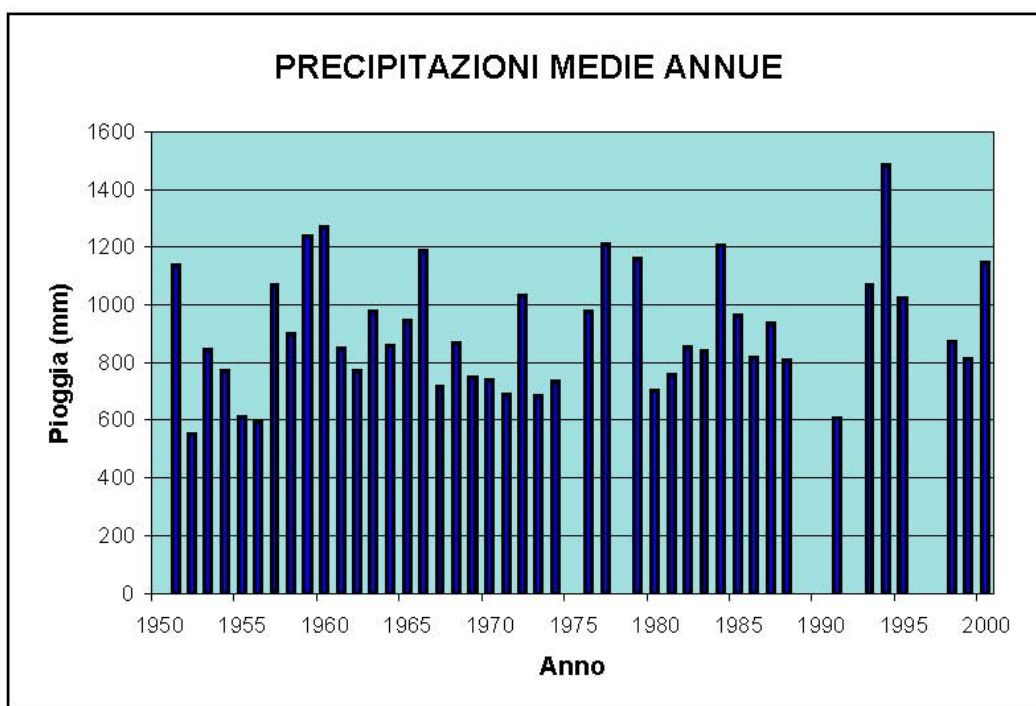
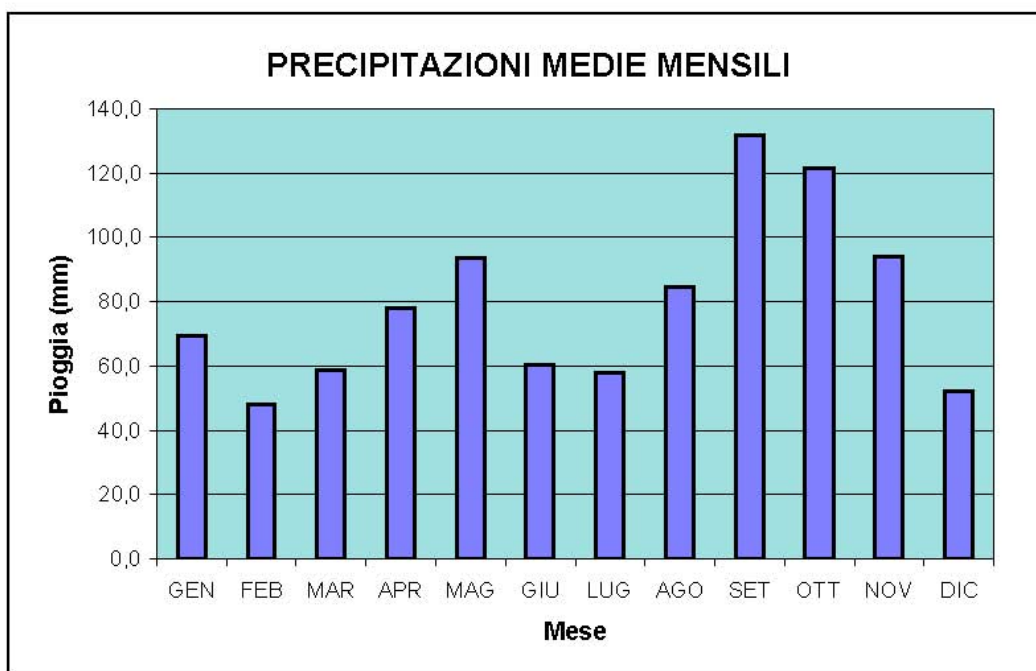


Figura 4: Diagrammi precipitazioni medie mensili e medie annue – stazione di Treviglio.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

In tabella 1, vengono, riportati i dati pluviografici, delle piogge intense ricavati presso la stazione di Fontanella.

PRECIPITAZIONI DI MASSIMA INTENSITA'

Stazione pluviografica di Fontanella

Periodo (Anno)	1 ora (mm)	3 ore (mm)	6 ore (mm)	12 ore (mm)	24 ore (mm)
1956	24,2	34,6	50,4	58,4	68,0
1957	20,4	23,8	26,4	33,2	52,8
1958	8,2	12,4	20,6	31,8	40,0
1959	12,2	24,4	35,2	54,4	78,2
1960	26,8	34,6	37,4	45,4	56,0
1961	26,4	34,0	50,4	50,8	55,8
1962	14,0	23,0	27,2	30,2	47,8
1963	35,6	50,6	53,0	54,0	57,4
1964	40,6	43,0	73,0	90,6	104,0
1965	40,8	43,0	43,0	43,0	59,4
1966	32,0	41,4	41,4	62,2	74,8
1967	35,6	35,6	45,8	49,8	50,6
1968	39,2	63,2	75,2	75,6	83,6
1969	19,4	23,0	33,8	46,8	67,4
1970	18,2	33,8	34,5	44,0	60,0
1971	41,4	43,4	43,8	44,6	55,6
1972	28,2	36,0	54,8	54,8	54,8
1973	12,2	22,6	28,8	41,0	41,2
1974	19,2	28,4	31,2	31,8	32,0
1975	26,8	35,8	37,0	37,0	46,8
1976	33,2	33,2	35,4	47,4	47,4
1977	-	-	-	-	-
1978	-	-	-	-	-
1979	20,0	39,0	58,8	83,0	96,0
1980	32,0	40,0	40,0	41,6	75,8
1981	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-
1985	16,6	20,8	24,1	26,6	33,3
1986	-	-	-	-	-
1987	27,8	35,8	35,8	48,2	69,2
1988	23,2	37,4	44,8	50,4	65,4
1989	26,0	30,4	41,0	54,2	65,8
1990	36,4	59,0	66,0	74,4	80,2

Tabella 1: Precipitazioni massime – stazione di Fontanella

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Dall'analisi dei dati sopra riportati si ricava, per il territorio in esame, un regime pluviometrico tipico delle aree pianeggianti. Si possono ben distinguere due minimi in estate (giugno, luglio) e in inverno (dicembre, gennaio, febbraio) e due massimi in primavera (maggio) e in autunno (settembre, ottobre) che rispecchiano bene quanto indicato in figura 3.

TEMPERATURA

Si riporta di seguito la mappa termica media riferita alla temperatura misurata al suolo, prodotta dall'ERSAL e ottenuta analizzando un periodo di tempo di circa un quarantennio (1950-1996).

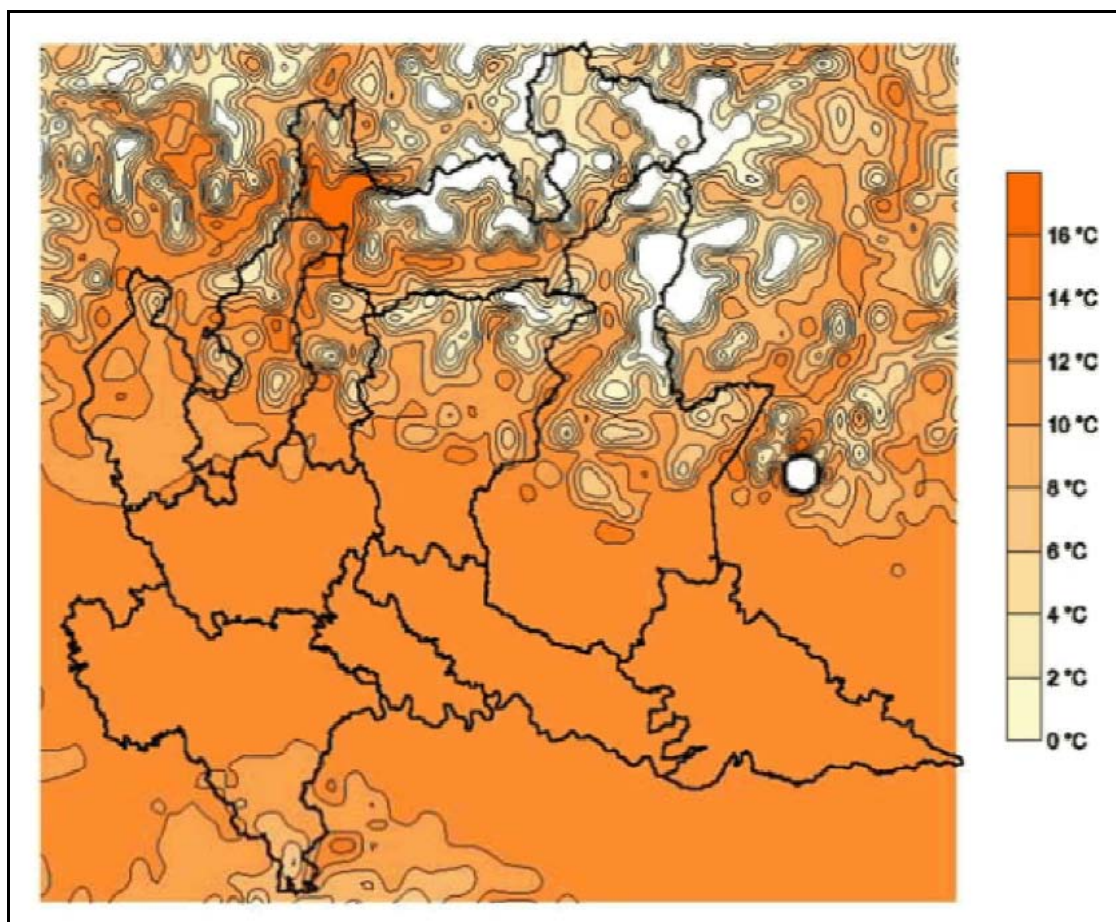


Figura 5: Temperature medie annue in °C - Fonte: ERSAL

Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT

Si può notare una notevole variabilità delle temperature medie sul territorio provinciale, con un andamento decrescente procedendo dalle zone pianeggianti verso le valli.

Analogamente a quanto riportato in figura 3, nella successiva figura 6 si possono osservare le normali climatiche per i parametri temperatura minima e massima.

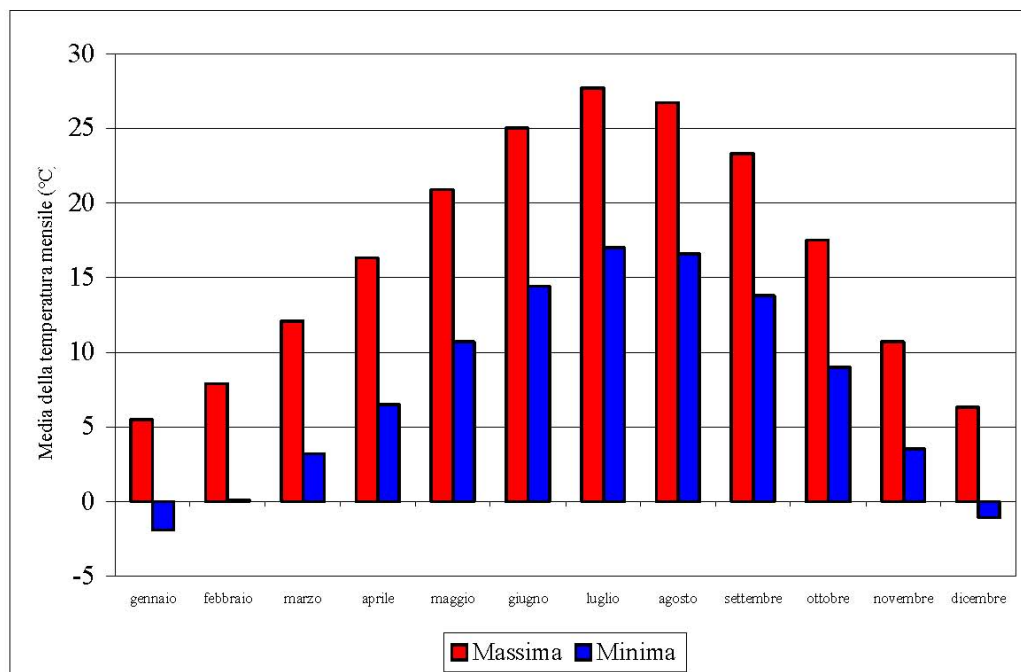


Figura 6: Distribuzione mensile della temperatura minima e massima - Fonte: Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare

Si osserva, in particolare, il valore inferiore a 0°C della temperatura minima nei mesi di dicembre e gennaio e il valore di poco superiore a 0°C del mese di febbraio.

Per il territorio di Fontanella, si riportano, di seguito diagrammi ricavati dalla stazione di Treviglio e riportanti la radiazione solare media mensile e le temperature medie mensili.

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

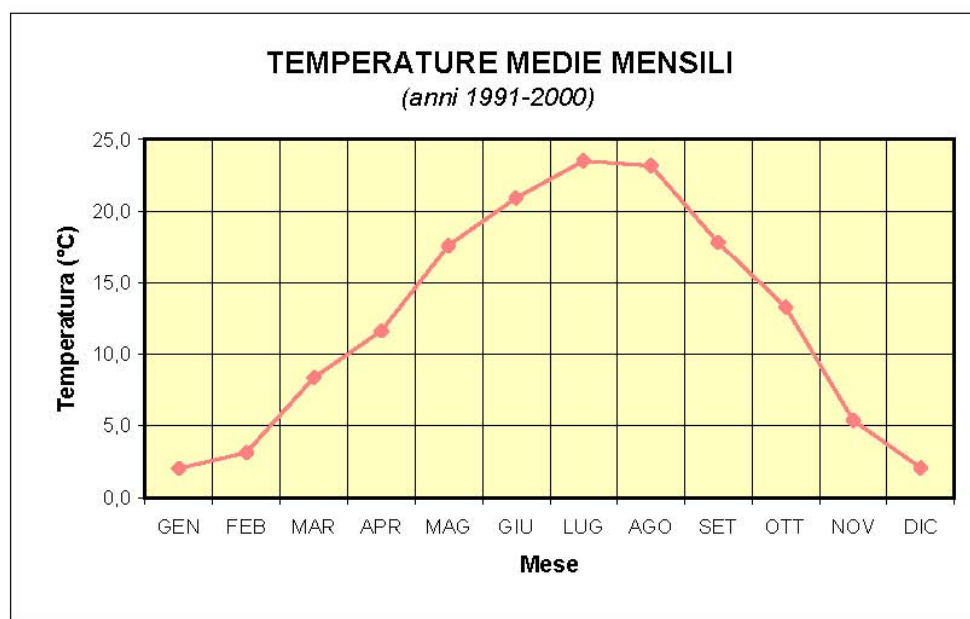
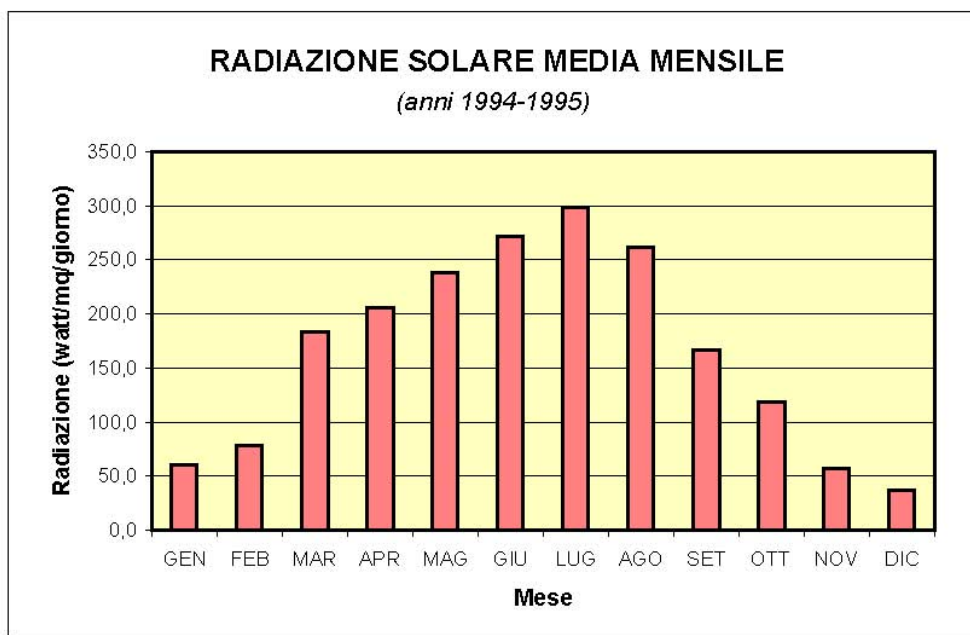


Figura 7: Radiazione solare media mensile – Temperature medie mensili

Come si può osservare, l'andamento dei diagrammi di figura 7, è raffrontabile e rispecchia la distribuzione della temperatura riportata in figura 6.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

UMIDITA'

L'umidità relativa media annua (79-80%) in Lombardia è caratterizzata da variazioni stagionali meno ampie che nella restante Valle Padana. Fino alla quota di 1.500 m le escursioni diurne sono abbastanza marcate specialmente nel periodo da maggio a settembre (15-30%). Al di sopra dei 1.500 m, l'escursione diurna diviene debole poiché l'effetto di riscaldamento diurno risulta ridottissimo a causa della più intensa circolazione. Con correnti di *foehn* da nord, si possono verificare talvolta umidità relative eccezionalmente basse (inferiori al 10%).

In generale si può osservare una netta prevalenza di condizioni di umidità relativa elevata, con valori medi superiori al 70% che si manifestano in più della metà dei mesi. Anche nei mesi relativamente più secchi l'umidità relativa media si attesta su valori comunque superiori al 65%.

VENTI

In genere la circolazione dei venti è molto debole; le calme di vento (comprendenti velocità inferiori a 0,5 m/s), rappresentano nell'anno il 50-60% delle osservazioni, con punte del 70% durante la stagione invernale.

Poiché la velocità media è responsabile del trasporto degli agenti aeriformi inquinanti al momento della loro emissione nell'atmosfera, si può dedurre a priori una scarsa dispersione atmosferica degli effluenti gassosi. Si tenga inoltre presente che una forte velocità del vento implica anche un elevato strato di rimescolamento: in questi rari casi il volume di aria in cui si diluiscono gli inquinanti dovrebbe garantirne una concentrazione al suolo molto bassa rispetto alle concentrazioni emesse in aria alla bocca del camino. In figura 8 è riportata la sintesi annuale delle frequenze relative delle direzioni di provenienza e del vento, osservate nella stazione di Bergamo Orio al Serio.

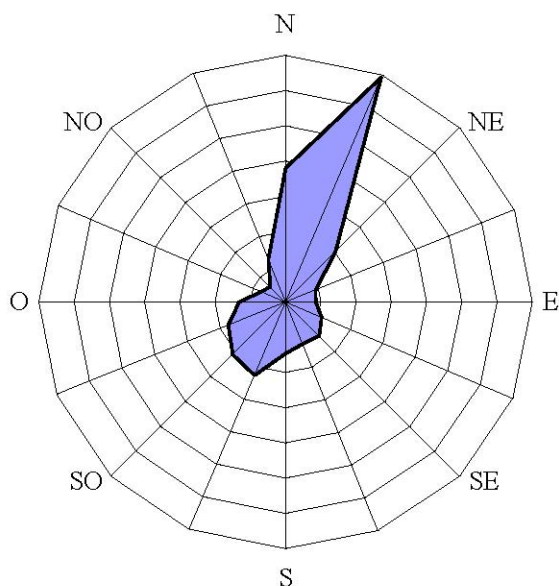


Figura 8: Rosa dei venti - Bergamo Orio al Serio fonte: Regione Lombardia - Piano Regionale di Risanamento della Qualità dell'Aria

NEBBIA

La nebbia nelle vallate si verifica con maggiore frequenza nel periodo novembre-febbraio, in media circa 3-5 giorni al mese. I casi di visibilità orizzontale ridotta (1-4 km) per foschia sono anche abbastanza frequenti (circa 1-3 volte al mese) specie quando il territorio è interessato da un'alta pressione. È importante tenere presente che la presenza di nebbia risulta, nella maggior parte dei casi, associata a condizioni di scarsa circolazione atmosferica e costituisce quindi un elemento sfavorevole per la diffusione e il trasporto degli inquinanti.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E GEOPEDOLOGICO

4.1 Inquadramento geologico

Le informazioni geologiche e litologiche riguardanti il territorio di Fontanella sono state ricavate dalla bibliografia e dalla cartografia geologica esistente, in particolare si è fatto riferimento a quanto riportato nella “Carta Geologica della Provincia di Bergamo” (anno 2000). Tali informazioni sono state confrontate con quanto riscontrato direttamente su terreno in seguito ai rilievi di campagna effettuati.

Il territorio comunale di Fontanella risulta costituito esclusivamente da depositi di ambiente continentale che si sono depositi durante il periodo *Quaternario*: in particolare si tratta di depositi di origine fluviale e/o fluvioglaciale che assieme costituiscono il ripiano morfologico principale, noto in letteratura come “Livello fondamentale della Pianura”, sul quale si imposta l’intero territorio comunale.

In un ambito più di dettaglio l’area è caratterizzabile, dal punto di vista litologico, grazie al foglio di pianura della *Carta Geologica della Provincia di Bergamo* (utilizzata come fonte cartografica per la redazione della **Tavola 1**) che, grazie alla sua moderna impostazione, consente un’analisi geologica di maggior dettaglio distinguendo, a livello di quaternario ed anche a livello delle singole unità fluvioglaciali tradizionali, numerose nuove unità legate alla litologia ed alla provenienza bacinale dei depositi.

Di seguito si riporta la descrizione delle unità presenti nel territorio comunale le cui aree di affioramento sono riportate nella **Tavola 1**.

Dall’osservazione della tavola si nota come la porzione occidentale del territorio è caratterizzata dalla presenza dei depositi alluvionali terrazzati dell’Unità Postglaciale, mentre nella porzione orientale sono presenti i depositi fluvioglaciali Wurmiani dell’Unità di Palosco.

Si sottolinea che il limite tra le unità, così come riportato in carta, è da intendersi come indicativo non esistendo strutture morfologiche che ne consentano una univoca e certa separazione:

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

UNITA' POSTGLACIALE – Depositi Alluvionali (Pleistocene superiore – Olocene)

I depositi alluvionali possono essere costituiti da ghiaie da fini a grossolane con matrice sabbiosa, a supporto clastico, in prevalenti strati planari; sabbie e limi da massivi a laminati; argille. I Depositi dell'Unità Postglaciale presentano caratteristiche differenti a seconda del settore, montano o di pianura, in cui si trovano. In pianura i depositi vengono ulteriormente distinti in funzione delle aree di influenza dei principali fiumi.

Nel territorio di Fontanella i depositi dell'unità Postglaciale sono depositi alluvionali che si avvicinano, come composizione petrografica, alle ghiaie del fiume Oglio.

Infatti, la composizione delle ghiaie a Sud di Antegnate (precisamente a Barbata e Fontanella), area in cui le alluvioni dell'Unità Postglaciale ricoprono il terrazzo del Pleistocene superiore del bacino dell'Oglio, differisce sostanzialmente dalle altre del Serio per avvicinarsi alla composizione delle ghiaie del fiume Oglio.

Molto probabilmente in questa zona il Serio rimaneggiava le ghiaie dell'Oglio, arricchendosi in litotipi intrusivi.

COMPLESSO DELL'OGLIO – Depositi Fluvioglaciali – Unità di Palosco (Pleistocene medio - superiore)

L'Unità di Palosco comprende sia i depositi glaciali che i depositi fluvioglaciali.

Nel territorio di Fontanella la medesima unità è costituita essenzialmente da depositi fluvioglaciali. In sostanza si tratta di ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa calcarea, da medio grossolane a molto grossolane e comune presenza di massi, da mal selezionate a ben selezionate via via che ci si sposta nelle aree più a sud.

La stratificazione è suborizzontale con gradazione diretta e embricature a basso angolo.

Localmente alla sommità è presente una copertura di limi argillosi (depositi di esondazione).

La cementazione è scarsa, spesso localizzata secondo sottili livelli costituiti da concrezioni calcaree. Da località Torre delle Passere fino al limite sud della Provincia (Fontanella e Torre Pallavicina) l'Unità affiora costituendo una superficie ampia fino a 6 Km.

L'area a sud di Fontanella è caratterizzata dal ricoprimento delle ghiaie dell'unità ad opera delle alluvioni postglaciali del fiume Serio.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Come sopra accennato, il passaggio tra le due unità non è marcato da elementi morfologici ma avviene lungo fasce di contatto a differenti caratteristiche litologiche.

Facendo riferimento alle caratteristiche litologiche delle due unità si può affermare che il primo sottosuolo del territorio di Fontanella sia costituito in prevalenza da depositi con litologia analoga (ghiaie e sabbie) anche se di genesi differente; in alcune zone vi è la presenza di uno strato argilloso-limoso superficiale con spessore variabile fino ad un massimo di 2-3, riconducibile a fenomeni deposizionali di transizione.

4.2 Inquadramento geomorfologico

Il territorio comunale di Fontanella si presenta nel complesso pianeggiante ed omogeneo, con un abbassamento della quota della superficie topografica che avviene in maniera graduale da Nord verso Sud, passando da quote di circa 110 m s.l.m. in prossimità del confine Nord ai circa 90 m s.l.m. in prossimità del confine Sud.

Gli unici elementi geomorfologici di un certo rilievo, riscontrabili sul terreno, sono legati alla fitta rete di canali irrigui ed alle teste dei fontanili, la cui presenza si manifesta attraverso il ribassamento del ripiano morfologico principale (Livello Fondamentale della Pianura).

Sulla base delle informazioni raccolte e consultando il *Piano di Emergenza Provinciale – Rischio Idraulico* (anno 2004), non si segnala l'esistenza di fenomeni esondativi verificatesi lungo la rete delle rogge; si sottolinea tuttavia come i tratti intubati presenti in prossimità dell'abitato e del centro storico e gli attraversamenti stradali possano costituire punti di criticità idraulica, soprattutto in concomitanza con eventi meteorici intensi e prolungati.

Un ulteriore elemento geomorfologico è legato alla presenza di aree soggette ad attività estrattiva passata ed in corso: si tratta dell'ambito estrattivo ATEg21 e dell'area soggetta a ripristino ambientale ed attualmente sede di un lago freatico.

Ulteriori elementi geomorfologico di una certa entità che possano entrare in contrasto con valutazioni di pianificazione territoriale non sono presenti sul territorio di Fontanella.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

4.3 Inquadramento geopedologico

In un territorio come quello di Fontanella, dove l'agricoltura assume rilevanza nella pianificazione, gli aspetti geopedologici devono essere tenuti in debita considerazione.

Per tale motivo è stata redatta la **Tavola 2 - Carta Geopedologica** con lo scopo di suddividere il territorio comunale in classi a caratteristiche omogenee.

I dati relativi alle caratteristiche pedologiche sono stati tratti dalla pubblicazione *"I suoli della pianura bergamasca sinistra Serio"* edita dall'ERSAL nel 1998 sulla base del rilevamento di semi-dettaglio (scala 1:50.000) eseguito nell'ambito del progetto "Carta Pedologica della Lombardia".

Dall'osservazione della **Tavola 2**, sino nota come il territorio di Fontanella può essere suddiviso in due grossi ambiti territoriali: il primo localizzato nel settore occidentale, risulta caratterizzata da fenomeni di idromorfia riconducibili ai fontanili, mentre il secondo che occupa il settore orientale, è contrassegnato da ampie conoidi ghiaiose a morfologia subpianeggiante costituite da materiali fluvioglaciali grossolani.

La suddivisione in differenti unità deriva direttamente dalla natura del substrato e dal differente grado di idromorfia, legato alla presenza/assenza di acqua a profondità limitate.

La maggior parte dei suoli del comune di Fontanella comprende terreni adatti all'uso seminativo.

A livello cartografico, nel territorio del Comune di Fontanella, sono state individuate sette unità pedologiche (ERSAF, 2002), così descrivibili:

- **U.C. 22, ALR2:** suoli profondi o molto profondi, limitati da substrato scheletrico-sabbioso, a tessitura moderatamente fine, media in superficie, scheletro comune o scarso in superficie, poi frequente; la permeabilità è moderata, il drenaggio buono ed il substrato è formato da ghiaie fluvioglaciali calcaree con limo e sabbia. Tali suoli appartengono alla sottoclasse di capacità d'uso I, con limitazioni scarse o nulle, idonei ad ospitare una vasta gamma di colture;
- **U.C. 25, ALR3:** suoli moderatamente profondi, limitati da substrato ghiaioso-sabbioso, spesso fortemente calcareo, tessitura media, scheletro frequente,

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

comune in superficie e spesso abbondante in profondità; la permeabilità è moderata, il drenaggio buono ed il substrato è formato da ghiaie fluvioglaciali calcaree con limo e sabbia. Tali suoli appartengono alla sottoclasse di capacità d'uso IVs, con limitazioni molto forti che restringono fortemente la scelta delle colture;

- **U.C. 26, CDA5:** suoli poco o moderatamente profondi, limitati da sabbie scheletriche, a tessitura media, scheletro comune in superficie, abbondante in profondità; la permeabilità è moderata, il drenaggio buono ed il substrato è formato da ghiaie fluvioglaciali calcaree limose o argillose con sabbia. Tali suoli appartengono alla sottoclasse di capacità d'uso IIs, con alcune lievi limitazioni che riducono l'ambito di scelta delle colture;
- **U.C. 28, CRB3:** suoli moderatamente profondi, limitati da orizzonti ghiaioso-sabbiosi con matrice limosa, a tessitura media in superficie; la permeabilità è moderata, il drenaggio buono ed il substrato è formato da ghiaie fluvioglaciali calcaree limose-sabbiose. Tali suoli appartengono alla sottoclasse di capacità d'uso IIs, con alcune lievi limitazioni che riducono l'ambito di scelta delle colture;
- **U.C. 32, BON3:** suoli profondi su substrato ghiaioso ricco di sabbia, a tessitura media in superficie, scheletro comune in superficie, abbondante in profondità; la permeabilità è moderata, il drenaggio buono ed il substrato è formato da ghiaie fluvioglaciali limose con sabbia piuttosto calcaree. Tali suoli appartengono alla sottoclasse di capacità d'uso I, con limitazioni scarse o nulle, idonei ad ospitare una vasta gamma di colture;
- **U.C. 40, FSR2:** suoli poco profondi, limitati da falda idrica, a tessitura media talvolta moderatamente grossolana, scheletro comune; la permeabilità è moderata, il drenaggio lento ed il substrato è formato da ghiaie limose con sabbia. Tali suoli appartengono alla sottoclasse di capacità d'uso IVs, con limitazioni molto forti che restringono fortemente la scelta delle colture;

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

- **U.C. 41, FNE1:** suoli moderatamente profondi, talvolta poco profondi, limitati da sabbie idromorfe calcaree o in falda freatica, a tessitura media in superficie, scheletro in genere comune; la permeabilità è moderatamente bassa, il drenaggio mediocre ed il substrato è formato da sabbie argillose con ghiaie. Tali suoli appartengono alla sottoclasse di capacità d'uso IIw, con alcune lievi limitazioni che riducono l'ambito di scelta delle colture;

Come riportato in **Tavola 2** la maggior parte dei suoli di Fontanella comprende terreni adatti all'uso agricolo con limitazioni molto limitate dovute alla necessità di operare modesti interventi di conservazione.

Vi è tuttavia la presenza nel settore orientale del territorio, in prossimità del suo confine, di suoli con limitazioni molto forti che richiedono per la conservazione pratiche agricole spesso difficili e dispendiose.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

5. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

5.1 Idrografia

L'idrografia del territorio del comune di Fontanella è esclusivamente costituita da canali di origine antropica e da canali sviluppatasi da punti di emergenza naturale della falda definiti fontanili.

Per l'elenco dei canali e dei fontanili si rimanda all'elaborato riguardante il Reticolo Idrico Minore del comune di Fontanella, redatto sempre dallo scrivente.

I fontanili sono sicuramente gli elementi idrogeologici e geomorfologici tipici di quest'area anche in considerazione del fatto che molti di essi sono ancora attivi, a differenza di altri ubicati più a nord del territorio di Fontanella, che non lo sono più a causa del fenomeno dell'arretramento della Linea dei Fontanili (linea riportata in **Tavola 3**).

I fontanili sono emergenze naturali della falda, in parte favorita da interventi antropici, che vengono drenate verso valle da canali artificiali con lo scopo di far defluire l'acqua verso i campi.

Un fontanile è costituito da due parti:

- La **TESTA** (o polla) ovvero uno scavo di forma semicircolare che forma una specie di laghetto all'interno del quale vengono infisse tubazioni che hanno lo scopo di incanalare la risalita delle acque sotterranee;
- L'**ASTA** ovvero il canale che fa defluire le acque dalla testa del fontanile verso i campi.

I Fontanili, oltre alla loro importanza idrogeologica, assumono un importante significato territoriale e sono elementi del territorio che vanno preservati e salvaguardati.

Sul territorio di Fontanella sono presenti in tutto 39 fontane attive, così come riportato in **Tavola 3**.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

5.2 Idrogeologia

5.2.1 Struttura delle falde idriche della pianura bergamasca

La pianura bergamasca, costruita nella sua parte più superficiale dai sedimenti del Brembo, del Serio e dell'Oglio rappresenta un ottimo serbatoio di acque sotterranee largamente sfruttate sia a scopo idropotabile che per irrigazione. La superficie superiore della falda freatica, a nord si trova a profondità variabile mentre a sud, al confine con la provincia di Cremona, viene a giorno nella zona delle risorgive, caratterizzata dalla presenza dei fontanili.

Lo schema delle unità idrogeologiche mostra dall'alto una successione di depositi alluvionali ghiaiosi inferiormente cementati (conglomerati) che giacciono su limi e argille, intercalati con strati di sabbia e di ghiaie sciolte. Questa formazione, sottostante ai depositi alluvionali, costituisce la «base» dell'acquifero superiore e a sua volta contiene, nei livelli permeabili, consistenti riserve idriche.

Per quanto sussistano incertezze a proposito della cronologia, i depositi sciolti, la cui superficie costituisce il «livello fondamentale della pianura», risalirebbero al Pleistocene superiore («Fluvioglaciale Würm» degli autori).

In corrispondenza e a lato degli alvei di Adda, Brembo, Serio e Oglio, esistono depositi alluvionali ghiaiosi sedimentati durante il post-glaciale (Olocene). I fiumi hanno inciso il loro letto, nel quale depositano ora in prevalenza ghiaie, nei sedimenti più antichi (del Pleistocene superiore) e scorrono sul fondo di depressioni delimitate da scarpate. Fa eccezione il Serio che, per larga parte del suo percorso, non è fiancheggiato da balze, ma scorre a livello dei depositi fluviali più antichi.

Nel sottosuolo, nell'ambito dei depositi alluvionali, al di sotto dei depositi ghiaiosi riferiti al Pleistocene superiore, ne seguono altri sempre fluviali, nei quali si intercalano livelli sabbiosi, limosi e argillosi. Talvolta le ghiaie, cementate dall'acqua sotterranea, si presentano in forma di conglomerati. Questa seconda unità è attribuita al Pleistocene medio («Fluvioglaciale Riss» degli autori).

I conglomerati predominano nell'unità sottostante, dove raggiungono uno spessore massimo di circa 260 m nel sottosuolo di Verdello-Verdellino: questa formazione, nota come Ceppo dell'Adda, affiora in superficie lungo l'omonimo fiume e il Brembo in prossimità della

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

confluenza dei due, rispettivamente nelle zone di Paderno-Trezzo e di Brembate, nonché lungo il Serio nei dintorni di Seriate.

L'acquifero superiore è pertanto costituito dalle tre unità ora citate; l'acqua di falda si aduna e scorre nei pori delle ghiaie e sabbie e nelle fratture ed eventuali cavità dei conglomerati. Le maggiori potenzialità idriche sono quelle offerte dai depositi prevalentemente ghiaiosi recenti, che consentono portate specifiche dei pozzi di oltre 20 litri al secondo per metro; minori sono invece le portate specifiche ottenibili dai pozzi che si spingono nei sottostanti depositi fluviali antichi e nei conglomerati. La base dell'acquifero superiore è data, come si è già ricordato, da depositi argillosi, limosi e sabbiosi, che superiormente sono di origine continentale contenendo livelli di torba, espressione di sedimentazione palustre («Villafranchiano» degli autori) e inferiormente di origine lagunare e marina, contenendo fossili di tali ambienti (Pliocene).

Le falde profonde in pressione, maggiormente protette dagli inquinamenti ma di non eccessiva potenzialità, sono contenute nei livelli sabbiosi e ghiaiosi intercalati nei limi e nelle argille.

Lo spessore delle differenti unità sopra elencate, varia sensibilmente nei diversi luoghi della pianura. In particolare una «dorsale» sepolta nella media pianura, evidenziata da un sollevamento della base impermeabile, determina la locale riduzione dello spessore dei depositi continentali del Pleistocene medio e inferiore.

L'acqua sotterranea contenuta nei depositi post-villafranchiani è presente in livelli tra loro comunicanti, non essendo separati da strati impermeabili continui.

L'alimentazione della falda è assicurata dalle precipitazioni, dall'irrigazione e dalla percolazione diretta al di sotto degli alvei dei fiumi, nei punti in cui questi al contrario non drenino l'acqua sotterranea.

5.2.2 La falda superficiale nel territorio del Comune di Fontanella

STATO QUANTITATIVO

L'andamento della falda nel territorio del comune di Fontanella è complessivamente orientato in direzione N-S con leggeri scostamenti dalla stessa, come si può desumere dalla lettura della Carta Idrogeologica allegata al presente lavoro (**Tavola 3**).

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Per quanto attiene la soggiacenza della falda si riportano di seguito i dati piezometrici ricavati dallo studio *“Monitoraggio delle acque sotterranee della Provincia di Bergamo”* nato dalla collaborazione tra ARPA Lombardia – Dipartimento di Bergamo, Provincia di Bergamo e CNR – Settore di Bergamo.

I dati sono stati ricavati tramite misure del livello statico della falda presso un pozzo ubicato in territorio di Fontanella facente parte della Rete di Monitoraggio delle acque della Provincia di Bergamo e fanno riferimento agli anni 1999, 2000 e 2001.

Anno	Soggiacenza (m da p.c.)
1999	- 3.27
2000	- 3.32
2001	- 2.80

Per avere dati più aggiornati circa la soggiacenza della falda nel territorio di Fontanella è stata inoltre condotta, in occasione della redazione del presente lavoro, una campagna di misure piezometriche i cui risultati vengono di seguito riportati.

Punto di misura	Soggiacenza (m da p.c.)
Campo Sportivo	- 3.40
Cascina Triulza	- 2.40
Cascina Marzuole	- 3.10
Allevamento Trote	- 1.90

L'ubicazione dei punti di misura è riportata nella **Tavola 3**. Le misure riportate, come le precedenti, fanno riferimento al livello statico della falda misurato dal piano campagna (p.c.).

Come si può facilmente notare i dati sono pressoché confrontabili ed evidenziano, per il territorio di Fontanella, una soggiacenza della falda variabile tra 1.5 m nella zona meridionale del territorio e 3.5 m da p.c. nella parte settentrionale dello stesso.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Questo determina, come verrà successivamente evidenziato, una suddivisione, per quanto attiene la vulnerabilità della falda, in due aree distinte rispettivamente ad “alta” e ad “elevata” pericolosità.

Il livello costante della falda negli anni, evidenziato dai dati sopra-riportati, indica fondamentalmente un equilibrio tra lo sfruttamento della stessa e la sua capacità di ricarica. Equilibrio che viene anche evidenziato nella tavola 4 del PTUA (“*Classificazione dei corpi idrici sotterranei significativi*”) che assegna, per lo stato quantitativo delle acque, una classe B al territorio di Fontanella, ovvero:

“Impatto antropico ridotto con moderate condizioni di disequilibrio del bilancio idrico, senza che tuttavia ciò produca una condizione di sovrasfruttamento, consentendo un uso della risorsa sostenibile sul lungo periodo”.

A conclusione si sottolinea che nel comune di Fontanella non sono presenti pozzi pubblici a scopo idropotabile (D.Lgs. 18-08-200 n.258) mentre sono presenti numerosi pozzi privati ad uso domestico, artigianale, industriale ed irriguo e svariati pozzi di piccolo diametro a servizio delle aziende agricole; l’ubicazione dei pozzi è riportata in carta.

STATO QUALITATIVO

La rete di monitoraggio istituita sulla Provincia di Bergamo ha il duplice scopo di monitorare la risorsa idrica sotterranea sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo, attraverso periodici controlli realizzati presso una serie di pozzi pubblici e privati omogeneamente distribuiti sul territorio provinciale.

Le misure piezometriche, infatti, come già precedentemente illustrato, hanno lo scopo di acquisire dati da mettere in relazione con i periodi piovosi e le variazioni di portata dei fiumi e quindi disporre di modelli previsionali sulla disponibilità della risorsa a medio termine.

L’analisi chimica delle acque ha invece lo scopo di tenerne monitorata la qualità con l’obiettivo di poter individuare in anticipo eventuali situazioni d’inquinamento e bloccarne lo sviluppo e la propagazione.

Per quel che riguarda il territorio di Fontanella sono stati analizzati i referti analitici delle acque campionate nel territorio inerenti agli anni 2006 e 2007, forniti da ARPA.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

I campioni sono stati prelevati dalla prima falda (falda superficiale), che è quella primariamente esposta a rischi di contaminazione provenienti dalla superficie.

I parametri ricercati sono inerenti alle criticità che si possono avere in ciascun contesto territoriale.

In particolare, per il comune di Fontanella, i parametri ricercati sono i Nitrati in relazione all'intensa attività agricola estesa su tutto il suo territorio.

I dati confermano che il territorio di Fontanella è un'area a rischio nitrati così come evidenziato anche dal PTUA che la ascrive nelle "aree vulnerabili da nitrati".

Per questi motivi il comune di Fontanella è sottoposto a vincoli e norme per il trattamento, la maturazione e l'utilizzo dei reflui zootecnici, come già precedentemente illustrato nel paragrafo inerente al PTUA (Piano di Tutela e Uso delle Acque).

5.3 Vulnerabilità dell'acquifero

Col termine "vulnerabilità di un acquifero" si intende la facilità con cui lo stesso possa essere raggiunto da una sostanza inquinante.

Tutti gli acquiferi (liberi e confinati) presentano un grado di sensibilità alla propagazione di inquinanti provenienti dalla superficie o immessi direttamente nel sottosuolo che dipende da una serie di fattori come ad esempio:

1. le caratteristiche fisiche e chimiche del sottosuolo;
2. granulometria, tessitura, porosità, indice di fratturazione del sistema idrologico;
3. soggiacenza della falda e entità delle sue oscillazioni;
4. i parametri che regolano il deflusso idrico sotterraneo (conducibilità idraulica, trasmissività etc);
5. condizioni di alimentazione e drenaggio.

Tutti questi fattori concorrono a definire la "vulnerabilità intrinseca" ovvero la vulnerabilità propria del sistema acquifero.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

La vulnerabilità delle falde, in realtà, è condizionata anche dalla natura e dalla tipologia di inquinante proveniente dalla superficie ovvero dalle sue caratteristiche fisico-chimiche (solubilità in acqua, coefficiente di distribuzione, coefficienti di diffusione ecc..).

5.3.1 Sistemi di calcolo della vulnerabilità

I metodi di valutazione della vulnerabilità di un acquifero si differenziano essenzialmente in tre categorie:

- a. metodi di zonazione per aree omogenee;
- b. metodi parametrici;
- c. metodi numerici.

I metodi di zonazione per aree omogenee definiscono la vulnerabilità dell'acquifero sulla base delle modalità di circolazione idrica sotterranea.

Gli elementi essenziali dei metodi in esame (metodo CNR-GNDCl) sono:

1. Caratteristiche degli acquiferi
2. Elementi idrostrutturali
3. Stato d'inquinamento reale dei corpi idrici sotterranei
4. Centri di pericolo
5. Potenziali ingestori dell'inquinamento
6. Riduttori dell'inquinamento
7. Elementi sensibili all'inquinamento (ad es. i pozzi)

Questi metodi, tra cui si può citare il metodo CNR-GNDCl e il metodo B.R.G.M., sono applicabili a territori vasti e articolati da un punto di vista idrogeologico, idrostrutturale e morfologico.

I metodi parametrici consistono nel ricavare la vulnerabilità di un sito attraverso l'uso di parametri di riferimento che devono essere poi sommati tra loro.

Questi metodi si distinguono in:

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
	Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	
Revisione	A (DG)	
Nome file	RelazioneGeol.doc	

- a. metodi a punteggio semplice
- b. metodi a punteggio pesato

I primi si basano sull'assegnazione di un intervallo di punteggio ai parametri prescelti.

Tra questi metodi uno dei più impiegati e particolarmente efficace per le aree pianeggianti, è il metodo GOD (Foster-Hirata, 1987) che è stato usato anche nel presente lavoro e di cui si darà una descrizione dettagliata nel seguito.

I metodi a punteggio pesato consistono invece nell'assegnare un "peso" a ciascuno dei parametri considerati in modo da attenuare o incrementare i medesimi.

Il peso assegnato, inoltre, può variare a seconda del metodo usato ed in particolare:

1. nel metodo DRASTIC (Aller, Bennet, Lehr e Petty, 1985) il peso assegnato ai parametri differisce a seconda che l'area sia o meno interessata da attività agricola.
2. nel metodo SINTACS (Civita, 1991) il peso varia a seconda delle condizioni idrogeologiche e di impatto dell'area di studio.

I metodi numerici considerano il tempo che l'inquinante impiega a raggiungere la falda idrica. Tra questi metodi si vuole ricordare:

1. IL METODO DEL TEMPO DI PERMANENZA: è il sistema numerico di più semplice approccio in quanto richiede un limitato numero di dati di input inerenti alla natura del non saturo e alla soggiacenza della falda.
2. IL METODO DEL TEMPO DI TRASFERIMENTO: serve a stabilire il grado di vulnerabilità di un pozzo, definendo il tempo impiegato da un inquinante per percorrere la distanza tra la superficie del suolo, la falda idrica ed il pozzo.

5.3.2 Il metodo G.O.D.

Come già precedentemente accennato, questo metodo parametrico è stato utilizzato per la definizione della vulnerabilità della falda acquifera nel territorio del comune di

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Fontanella in quanto è molto indicato per le aree pianeggianti ed inoltre risulta uno dei metodi, riconosciuti in campo internazionale, più facilmente applicabili ed aggiornabili.

In uno studio come il presente, di supporto ad uno strumento di pianificazione territoriale, è un metodo che consente di avere una chiara, iniziale immagine della situazione territoriale da un punto di vista della vulnerabilità dell'acquifero.

In sostanza il metodo considera tre fattori:

- **G:** Tipologia della falda (libera, confinata, semiconfinata);
- **O:** Tipo di acquifero, in particolare caratteristiche litologiche e grado di consolidazione delle rocce della zona non satura (per gli acquiferi non confinati) e dei livelli confinanti a tetto (per gli acquiferi confinati);
- **D:** soggiacenza della falda a superficie libera nel caso di acquiferi non confinati o tetto dell'acquifero nel caso di acquiferi confinati.

Per quel che concerne la tipologia della falda (parametro G) è possibile scegliere tra 6 classi attribuendo un valore compreso tra 0 e 1.

Al tipo di acquifero (parametro O) compete un punteggio variabile tra 0.4 e 1.

Infine alla soggiacenza della falda (parametro D) viene assegnato un punteggio variabile tra 0.4 e 1.

La vulnerabilità intrinseca si ricava dal prodotto dei tre indici numerici corrispondenti ai parametri sopramenzionati (**Indice GOD= G*O*D**).

In Figura 9 è presentato il modello GOD sopradescritto.

L'indice GOD può essere compreso tra 0 e 1 e corrisponde a 5 gradi di vulnerabilità come di seguito riportati:

- 0 – 0,1: vulnerabilità trascurabile;
- 0,1 – 0,3: vulnerabilità bassa;
- 0,3 – 0,5: vulnerabilità moderata;
- 0,5 – 0,7: vulnerabilità alta;
- 0,7 – 1: vulnerabilità elevata.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Recentemente gli autori (Foster et alii, 2002) hanno chiarito il significato dei diversi gradi di vulnerabilità (Tabella 2).

GRADO DI VULNERABILITA'	DEFINIZIONE
Elevata	Vulnerabilità alla maggioranza degli inquinanti con rapido impatto in molti dei possibili scenari d'inquinamento.
Alta	Vulnerabilità a molti inquinanti (eccetto quelli fortemente adsorbiti o velocemente trasformati) con rapido impatto in tutti gli scenari di inquinamento.
Moderata	Vulnerabilità a qualche inquinante ma solo quando rilasciati in maniera continua.
Bassa	Vulnerabilità nel caso di inquinanti conservativi rilasciati in maniera continua.
Trascurabile	Sono presenti strati confinanti con flusso verticale non significativo.

Tabella 2: Definizione dei gradi di vulnerabilità di un'acquifero (Foster et alii, 2002)

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT

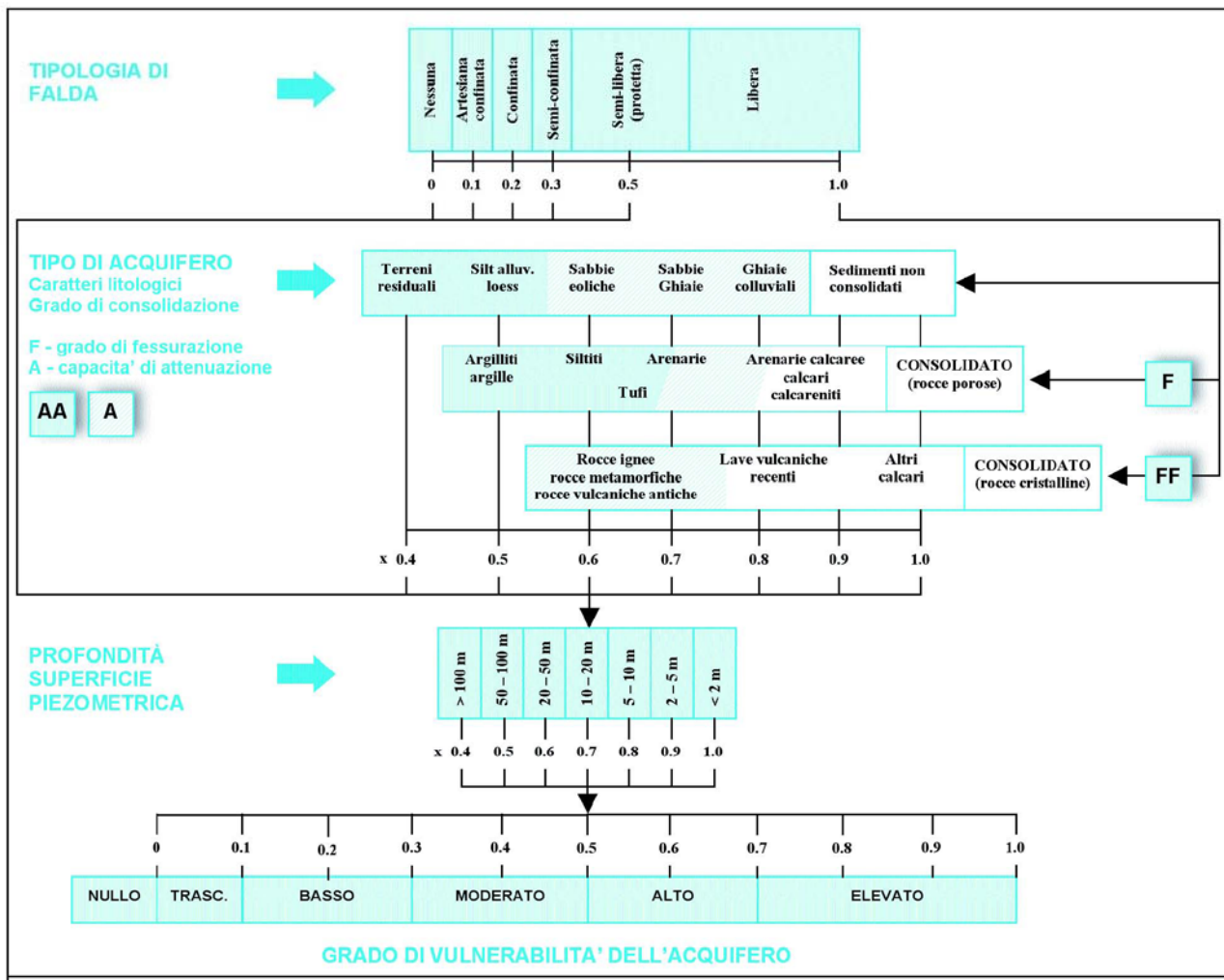


Figura 9: Il metodo empirico GOD per la valutazione della vulnerabilità intrinseca (Foster & Hirata, 1987)

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

5.3.3 Applicazione del metodo G.O.D. al territorio comunale di Fontanella

I dati di INPUT sono stati assegnati come di seguito descritto:

1. L'acquifero, nel territorio comunale di Fontanella, è stato considerato come non confinato in quanto, lo stesso, non è sormontato da alcun tipo di orizzonte di materiale fine con potenza tale da poter confinare la falda sottostante.

Al **parametro G** è stato pertanto attribuito un punteggio pari a **1**.

2. Dall'analisi delle stratigrafie dei sondaggi effettuati fino ad oggi sul territorio di Fontanella, per indagini geotecniche o per la realizzazione di pozzi, si evince come i terreni di copertura soprastanti la falda freatica siano perlopiù costituiti da litologie a carattere ghiaioso-sabbioso che non garantiscono una considerevole protezione dell'acquifero.

Una litologia di questo tipo, infatti, è solitamente caratterizzata da una permeabilità molto elevata e dunque è facilmente attraversabile da svariate sostanze inquinanti la cui concentrazione, prima di arrivare in falda, può essere leggermente ridotta solamente per adsorbimento.

Al **parametro O** è stato assegnato un punteggio di **0,7** corrispondente ad una litologia di copertura di natura ghiaioso-sabbiosa.

3. Per la valutazione del parametro D (soggiacenza della falda), si è fatto riferimento alle misurazioni della falda effettuate nell'ambito del presente studio così come riportato nel paragrafo 5.2.2, da cui emerge che la soggiacenza della falda, nel territorio comunale di Fontanella, varia tra i -1.90 m nella parte meridionale e i -3.40 m da p.c. nella parte settentrionale. Questo ha determinato la necessità di dover assegnare due valori diversi al **parametro D** ed in particolare:

- un valore pari a **0.9**, per la parte settentrionale del territorio, corrispondente ad una soggiacenza compresa tra 2 e 5 m da p.c.
- un valore pari a **1**, per la parte meridionale del territorio, corrispondente ad una soggiacenza inferiore ai 2 m.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Applicando la formula sopra riportata si ottengono i seguenti risultati

SETTORE SETTENTRIONALE: GOD =0.63

SETTORE MERIDIONALE: GOD = 0.7

Il territorio comunale di Fontanella risulta pertanto ad “**alta**” **vulnerabilità** nella porzione settentrionale e ad “**elevata**” **vulnerabilità** in quella meridionale.

La distinzione delle due porzioni di territorio sopradescritte e rappresentata dettagliatamente nella **Tavola 3** (Carta Idrogeologica).

La falda freatica può quindi essere facilmente contaminata dalla maggioranza delle sostanze inquinanti con un rapido impatto in molti dei possibili scenari d’inquinamento.

Questa situazione implica una doverosa attenzione nella salvaguardia della falda soprattutto nei casi in cui la realizzazione di qualsivoglia tipo di infrastruttura (ad es. piani interrati, serbatoi interrati) vada direttamente ad interagire con le acque sotterranee e possa divenire fonte diretta d’inquinamento.

Dovranno pertanto essere messi in opera tutti gli interventi atti a ridurre i carichi inquinanti potenzialmente impattanti con la falda.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

6. CARATTERI GEOLOGICO-TECNICI DEL TERRITORIO

Nel presente capitolo si delineano le caratteristiche litotecniche generali dei terreni che costituiscono il primo sottosuolo del territorio in esame con lo scopo di indicare le criticità/limitazioni esistenti a supporto nell'orientamento delle scelte urbanistiche fino a fornire gli approfondimenti da effettuare in fase esecutiva per aumentare la compatibilità degli interventi edificatori.

Per la definizione delle caratteristiche geologico-tecniche dei terreni si sono analizzati i dati provenienti dalle indagini geognostiche effettuate sul territorio di Fontanella, presenti nell'archivio dell'ufficio tecnico ed allegate alle varie pratiche edilizie.

Trattandosi di una prima caratterizzazione ed in considerazione dell'elevato numero di indagini pregresse e della loro distribuzione areale soprattutto in corrispondenza del settore urbanizzato, non sono state programmate ulteriori indagini nell'ambito del presente studio.

In **Tavola 4** si riporta l'ubicazione delle prove effettuate sul territorio di Fontanella.

Poiché l'obiettivo è quello di suddividere il territorio comunale in macroaree che presentano caratteristiche omogenee del primo sottosuolo da un punto di vista litologico e della soggiacenza della falda freatica, si è dato maggior peso alle informazioni derivanti da indagini geognostiche dirette (pozzi, sondaggi, trincee esplorative) piuttosto che da prove indirette (prove penetrometriche).

Dall'analisi dei dati è possibile individuare due zone principali, la cui distribuzione areale è mostrata nella **Tavola 4**. La differenza tra le due zone è dovuta principalmente alla presenza di depositi superficiali a differente composizione. Nella zona 1 la stratigrafia di riferimento del primo livello superficiale è costituita da un orizzonte dello spessore medio 1.0-1.5 m di terreni fini seguiti da un secondo orizzonte di terreni ghiaioso-sabbiosi immersi in una matrice limoso-argillosa.

Nella zona 2 il primo orizzonte presenta uno spessore inferiore (ordine di 0.5-1.0 m) seguito da un secondo orizzonte caratterizzato da materiali più grossolani (ghiaie e sabbie con ciottoli) con riduzione significativa della matrice fine.

Tali depositi superficiali ricoprono una successione di terreni ghiaioso-sabbiosi che si estende con continuità sia verticalmente (sino a circa 30-40 m di profondità) che arealmente.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Tale successione risulta localmente interrotta da orizzonti di limitata potenza di natura argilloso-limosa.

La zona 2 è stata ulteriormente suddivisa in funzione della diversa soggiacenza della falda freatica. Di seguito si riporta la descrizione delle unità mostrate in **Tavola 4**:

Unità 1

LITOSTRATIGRAFIA: ghiaia e sabbia con ciottoli in quantità variabile in matrice limoso-argillosa al di sotto di un livello argilloso-limoso dello spessore massimo di circa 2.0 m

SUOLO: profondo a drenaggio buono.

SOGGIACENZA FALDA: mediamente compresa tra 3 e 4 m;

CARATTERISTICHE TECNICHE: primo livello di materiale (circa 2 m) a mediocri /scadenti caratteristiche geotecniche; al di sotto, materiale con buone caratteristiche geotecniche; falda potenzialmente interagente con opere fondazionali e/o interrato.

Unità 2a

LITOSTRATIGRAFIA: sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con ciottoli al di sotto del terreno vegetale dello spessore medio di circa 0.5-1.0 m.

SUOLO: moderatamente profondo a drenaggio buono.

SOGGIACENZA FALDA: subaffiorante mediamente compresa tra 2 e 4 m;

CARATTERISTICHE TECNICHE: materiale generalmente con discrete/buone caratteristiche geotecniche; falda interagente con opere fondazionali e/o interrato; segnalati livelli argillosi-limosi a maggiori profondità (circa 7-10 m).

Unità 2b

LITOSTRATIGRAFIA: sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con ciottoli in quantità variabile al di sotto del terreno vegetale dello spessore medio di circa 1.0 m.

SUOLO: moderatamente profondo a drenaggio buono.

SOGGIACENZA FALDA: sub-affiorante mediamente inferiore a 2 m;

CARATTERISTICHE TECNICHE: materiale generalmente con discrete/buone caratteristiche geotecniche; falda interagente con opere fondazionali e/o interrato.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

7. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO

L'analisi del rischio sismico del territorio di Fontanella è stata condotta secondo i criteri contenuti nella DGR 8/7374 ed in particolare a quanto riportato nell'allegato 5.

Lo studio si articola in tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente che vanno implementati in relazione alla zona sismica di appartenenza: i primi due livelli sono obbligatori (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza) in fase di pianificazione, mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione.

Nella tabella seguente si riportano gli adempimenti in funzione della zona sismica di appartenenza:

	LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE		
	<i>PSL= Pericolosità sismica locale</i>		
	1° Livello <i>Fase pianificatoria</i>	2° Livello <i>Fase pianificatoria</i>	3° Livello <i>Fase progettuale</i>
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato o urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti

Secondo quanto stabilito dalla D.G.R. n. 7/14964 del 7 novembre 2003, in attuazione alla l'Ordinanza 3274 e s.m.i., il territorio comunale di Fontanella appartiene alla **zona sismica 2** (si veda la figura 10).

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

L'appartenenza alla zona sismica 2 (sismicità media) deriva dagli studi di pericolosità sismica condotti a livello nazionale e basati sull'analisi della sismicità e delle zone sismogenetiche (zone con la presenza di faglie attive in grado di generare terremoti).

Trattandosi di modelli probabilistici, le caratteristiche sismotettoniche e le modalità di rilascio dell'energia sismica pregressa consentono la messa a punto di modelli previsionali dell'attività sismica futura attraverso una quantificazione dei livelli di accelerazione attesi.

Tali previsioni risultano pertanto condizionate dalla storia sismica e dai periodi di osservazione della stessa.

In figura 11 si mostra la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, (elaborazione 2006 e 2008) in cui viene riportato il valore dello scuotimento atteso (valore di accelerazione orizzontale con la probabilità del 10% di essere ecceduto una volta nei prossimi 50 anni).

Assegnando a ciascuna delle quattro classi sismiche un determinato intervallo di accelerazione, si determina la classificazione del territorio in zone sismiche: per questo la classificazione contiene una semplificazione nella valutazione dei livelli di accelerazione sismica che, seppur necessaria per l'applicazione di una normativa di primo riferimento, deve essere considerata come punto di partenza per la realizzazione di studi sismici a maggior dettaglio e a minor scala (**microzonazione sismica**), soprattutto in fase di pianificazione urbanistica.

In questo modo si può indirizzare lo sviluppo edificatorio e, in determinate situazioni, aumentare i livelli di protezione sismica previsti dalla normativa (livello minimo).

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

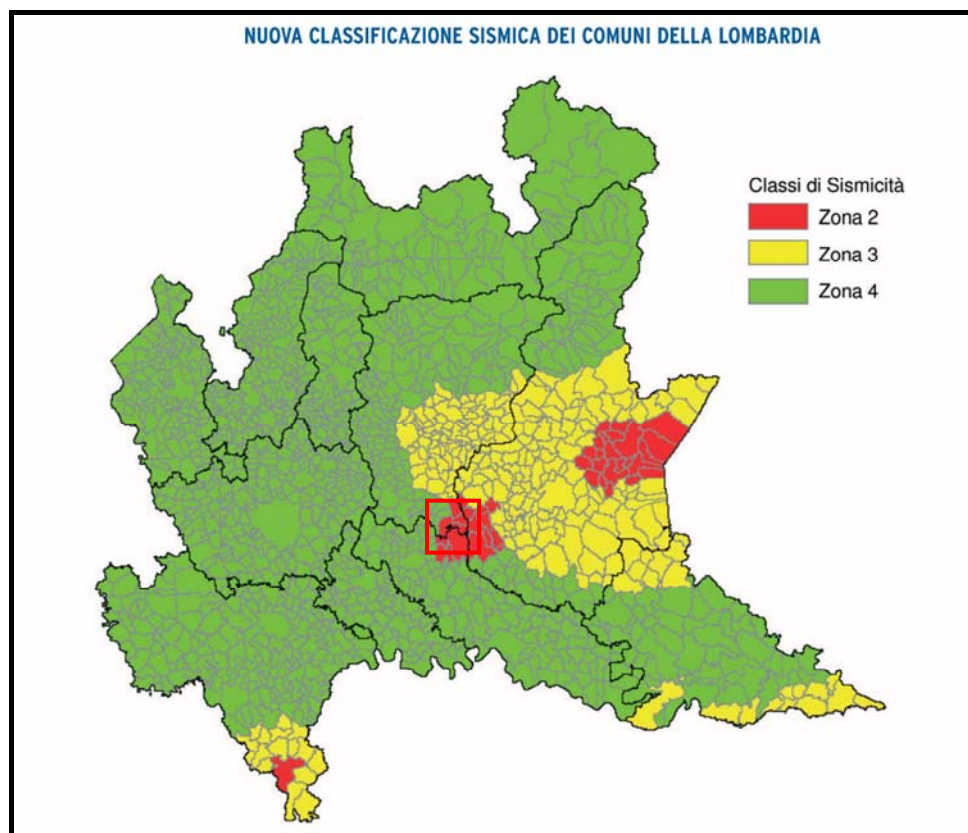


Figura 10: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all'Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n.7/14964 del 7 novembre 2003).

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

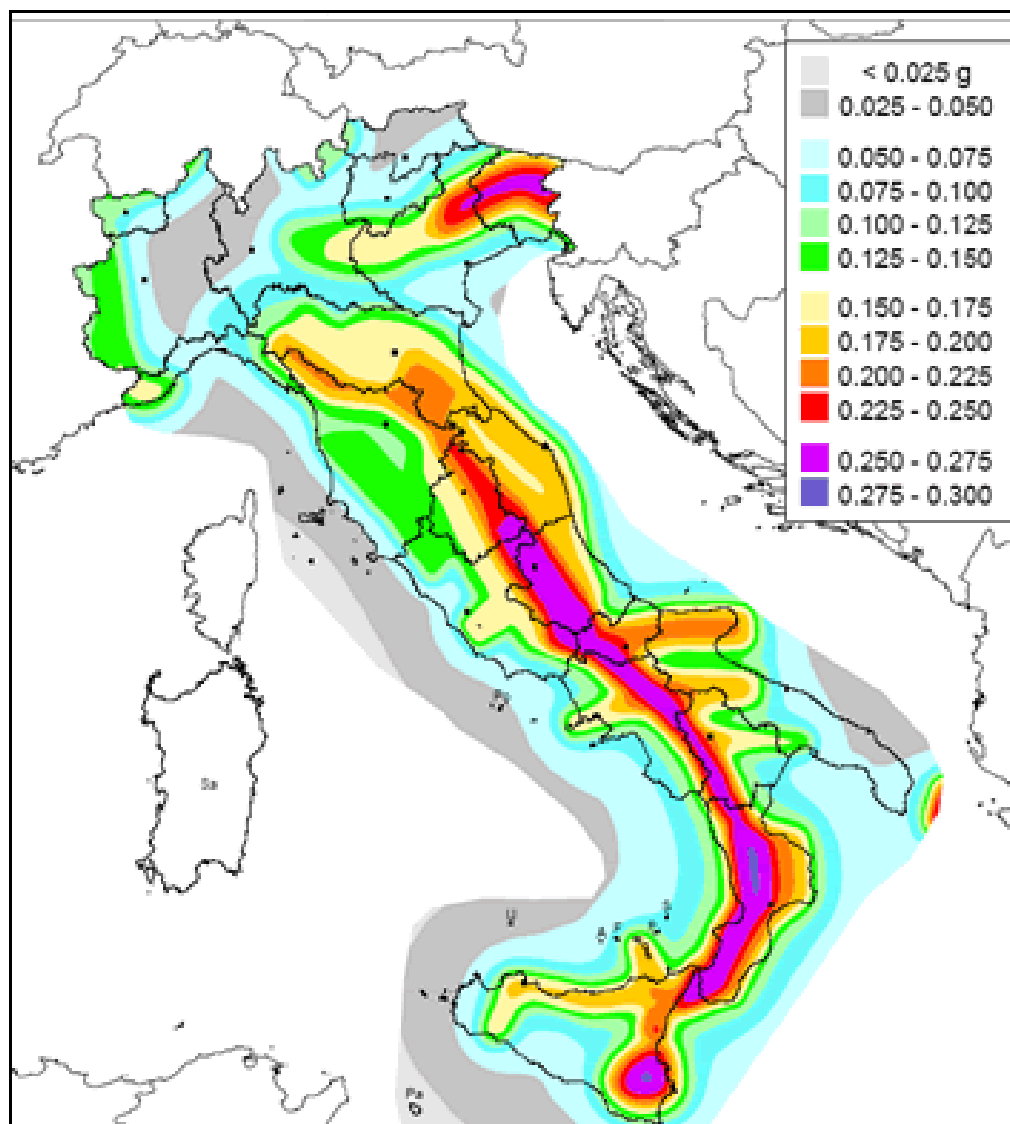


Figura 11: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui si riporta il valore di PGA che ha la probabilità del 10% di essere ecceduto almeno una volta nei prossimi 50 anni.

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

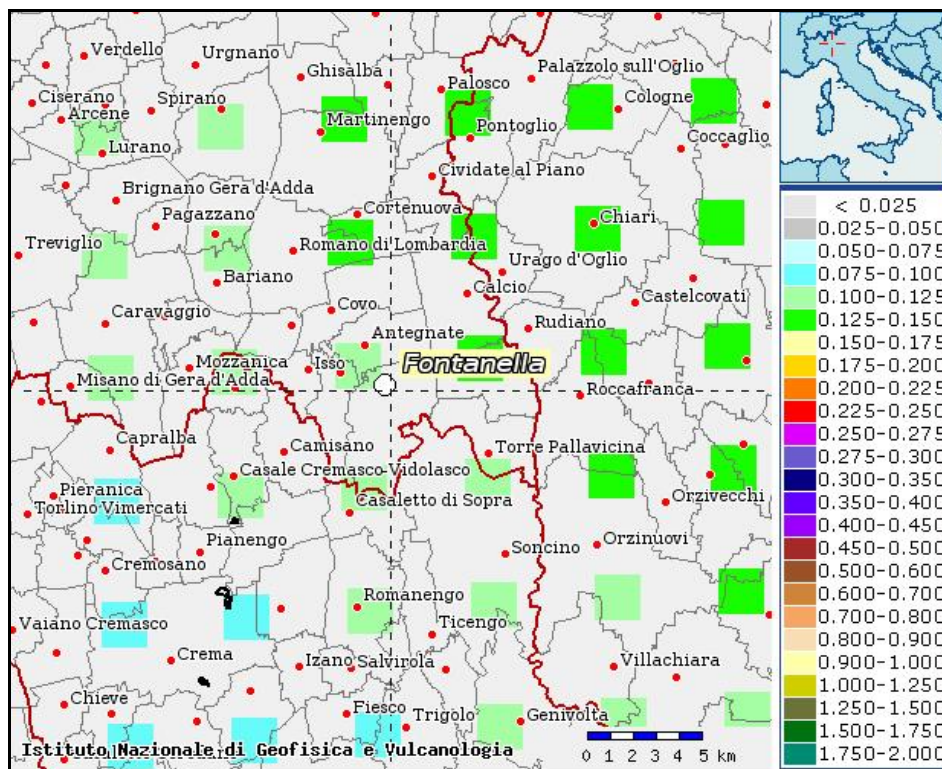
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT

Figura 12: ingrandimento della figura 11 relativo al territorio di Fontanella.

7.1 Sismicità storica e recente

Ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica di un'area, il primo passo consiste nell'analisi della distribuzione spazio-temporale dei terremoti avvenuti; per tale scopo sono stati consultati tutti i cataloghi sismici redatti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e disponibili in rete; nello specifico si è fatto riferimento al:

- Catalogo DOM4.1 [Monachesi e Stucchi, 1997];
- Catalogo NT4.1 e NT4.1.1 [Camassi e Stucchi, 1996, 1992];
- Catalogo dei forti terremoti italiani CFTI1 e CFTI2 [Boschi et al, 1997; Boschi et al., 2000];
- Catalogo parametrico dei terremoti italiani CPTI99 e CPTI04 [Gasperini et al., 1999 e 2004];

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

- DBMI04 e DBMI08 il database macrosismico utilizzato per la compilazione di CPTI04 e CPTI08.

Dall'analisi dei dati riportati in questi cataloghi emerge che

- l'area comunale ed il territorio limitrofo sono caratterizzati da eventi sismici di intensità massima rilevata dell'ordine del VII-VIII grado della scala Mercalli (vedi figura 13);
- gli eventi sismici con epicentro prossimo al territorio in esame sono il terremoto del 1802 denominato "Soncino o Valle dell'Oglio" di magnitudo M_w pari a 5.7 e l'evento del 1781 denominato "Caravaggio" di magnitudo M_w pari a 5.0;
- altri eventi catalogati nel database delle osservazioni macrosismiche (ovvero eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti) provengono da zone sismicamente attive come il lago di Garda, il lago d'Iseo e l'Appennino Emiliano-Romagnolo.

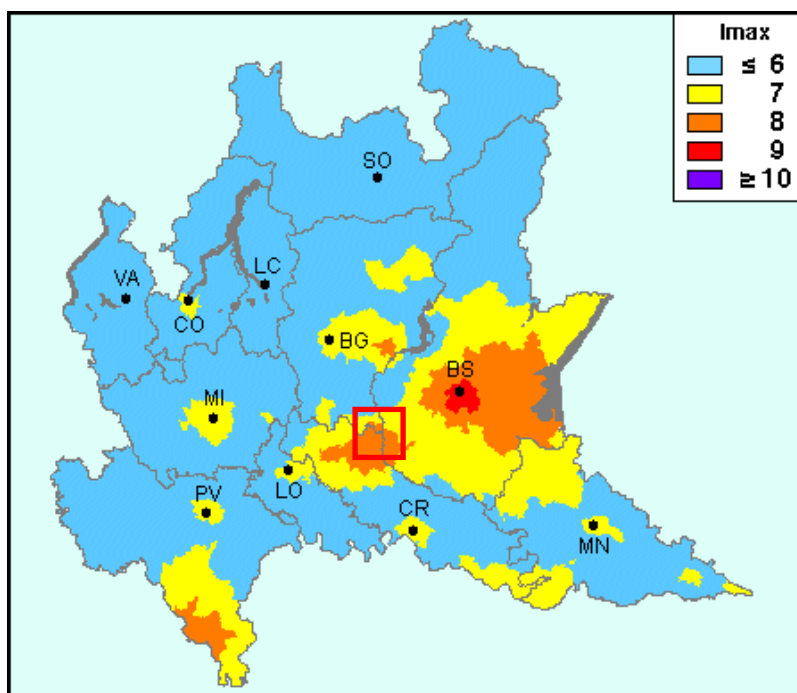


Figura 13: Carta della massima intensità macrosismica attesa in Lombardia (Moliniet et al., 1996).

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Per quanto riguarda l'analisi della sismicità recente, si è fatto riferimento ai dati messi a disposizione dall'INGV: in particolare si sono considerati tutti i dati rilevati nel periodo 1981-2006 dalla rete sismica nazionale (Catalogo della sismicità italiana C.S. 1.0).

Così come mostrato in figura 14 si nota l'assenza di terremoti di una certa entità localizzati in prossimità del territorio di Fontanella, dimostrando come il territorio in esame sia caratterizzato, basandosi sui dati di sismicità recente, da una bassa potenzialità sismica.

Ciò sottolinea come la sismicità dell'area sia legata al verificarsi di eventi sismici anche di una certa importanza caratterizzati da periodi di ritorno elevati: tali eventi, secondo un recente studio condotto dall'INGV (Burrato et al. 2007) sono generati da strutture tettoniche profonde (faglie sepolte) appartenenti al dominio Alpino. L'esplorazione geofisica effettuata per la ricerca di idrocarburi (Cassano et al. 1986) mostra la presenza di assi di anticlinali orientati approssimativamente E-W con fronti sud-vergenti appartenenti al dominio alpino che in prossimità di Cremona fronteggiano i fronti sud-vergenti appenninici fino a quasi a scontrarsi con essi (si veda la figura 15).

Infine in figura 16 si riporta l'ubicazione della zona sismogenetica denominata "Bagnolo Mella – Spino d'Adda", istituita di recente sulla base di interpretazioni geomorfologiche e geologiche (Burrato et al. 2007), che contiene gli eventi storici di Soncino e Caravaggio (rettangoli rossi). Tale zona racchiude l'insieme delle strutture tettoniche a comportamento omogeneo in grado di generare terremoti (tettonica recente - Olocene) con caratteristiche simili a quelli storici. In figura si è riportato inoltre l'ubicazione del comune di Fontanella (stella gialla).

In conclusione si può affermare che sulla base della storia sismica passata e recente e dall'analisi delle osservazioni di carattere geodinamico (zone sismogenetiche), il territorio di Fontanella è caratterizzato da una media pericolosità sismica di base legata al verificarsi di terremoti di media magnitudo con periodi di ritorno elevati.

Tali valori di pericolosità sono da intendersi come valori standard, senza considerare nessuna modificazione che può subire il moto del suolo a causa di particolari condizioni geologiche, cioè senza modificazioni dovute ad effetti locali.

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc



Figura 14: Ubicazione dei terremoti recenti – periodo 1981-2006 (INGV).

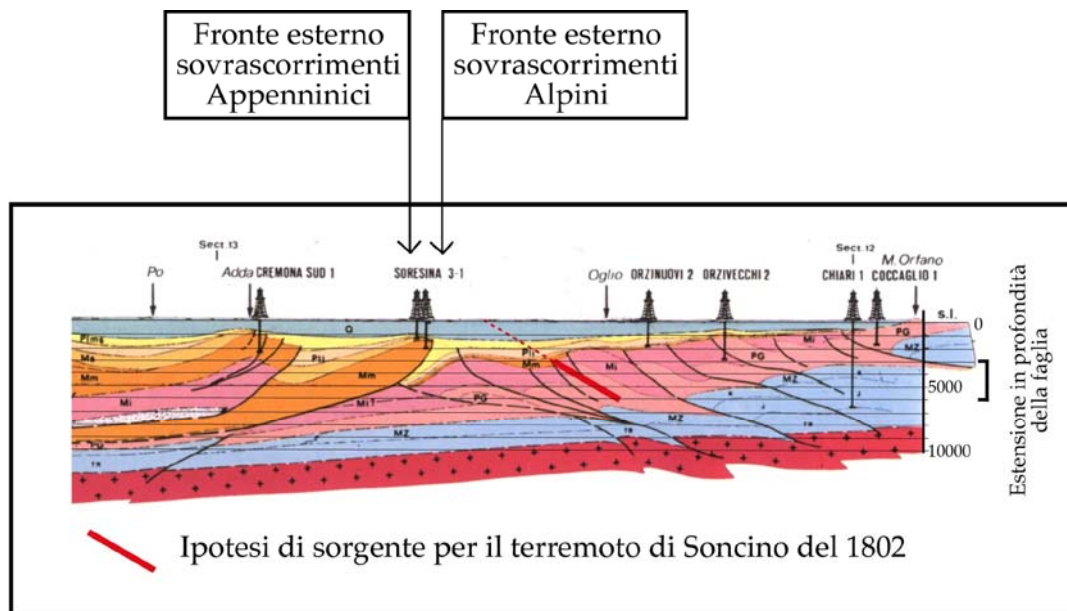


Figura 15: Sezione geologica-geofisica interpretativa (da Cassano et al. 1986, modificata da Burrato et al 2007).

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

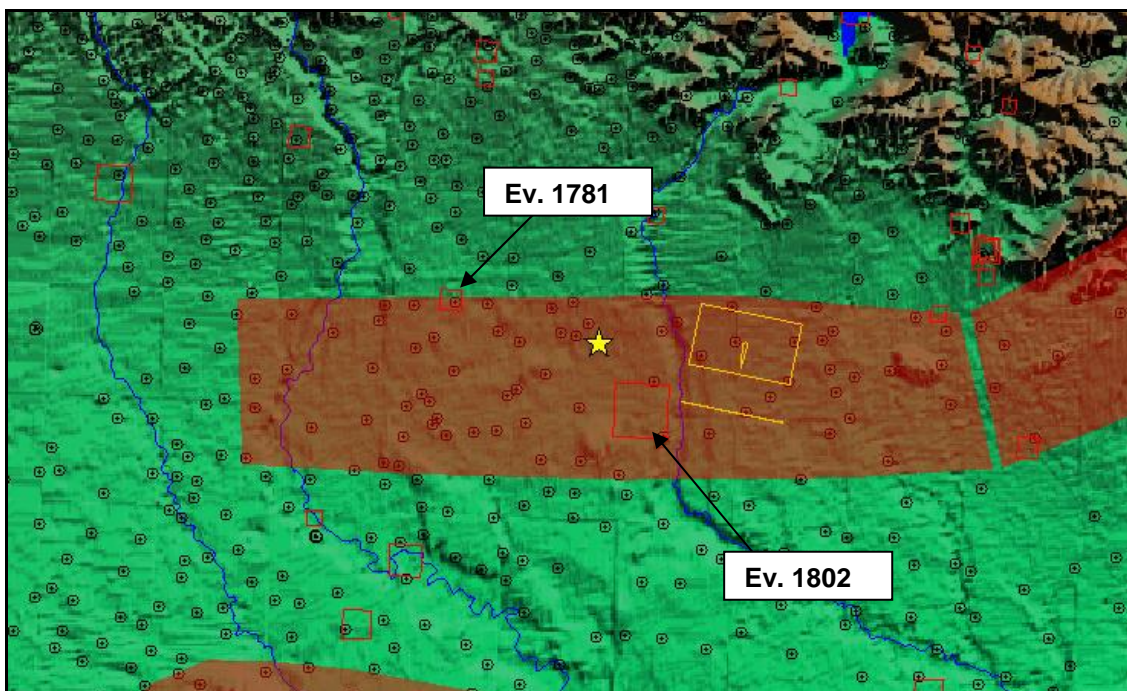


Figura 16: zona sismogenetica “Bagnolo Mella – Spino d’Adda” (Burrato et al 2007).

7.2 Analisi di primo livello

Il primo livello di analisi prevede il riconoscimento di quelle parti del territorio dove è possibile un’amplificazione dell’effetto sismico sulla base delle caratteristiche litologiche, geotecniche e morfologiche del territorio. Si ottiene confrontando le carte di inquadramento con gli scenari previsti dalle direttive tecniche (tabella 3).

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA’ SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo	Amplificazioni

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

	di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	

Tabella 3: scenari di Pericolosità Sismica Locale

Nel caso specifico del Comune di Fontanella, l'analisi territoriale, basata sui dati precedentemente descritti, ha definito un generale scenario di Pericolosità Sismica Locale "Z4a - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi", esteso all'intero ambito comunale: l'effetto atteso nei confronti delle onde sismiche è quindi quello di una amplificazione litologica (vedi tabella 3).

L'attribuzione allo scenario Z4a è riportata nella **Tavola 5 – Carta della Pericolosità sismica locale**.

La carta della pericolosità sismica locale rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento, come mostrato nella tabella seguente:

SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Classe di Pericolosità Sismica
Z1a	H3
Z1b	H2- livello di approfondimento 3°
Z1c	
Z3a	H2- livello di approfondimento 2°

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Z3b	
Z4a	H2- livello di approfondimento 2°
Z4b	
Z5	H2- livello di approfondimento 3°

7.3 Analisi di 2° Livello : Scenario PSL Z4 - Amplificazioni litologiche

Il 2° livello si applica a tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4).

Esso consiste in una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi e si concretizza con una stima della risposta sismica dei terreni in termini di Fattore di Amplificazione (Fa).

La valutazione del fattore Fa permette di “quantificare” l’effetto prodotto dalle condizioni litostratigrafiche locali in grado di modificare l’intensità delle onde sismiche generate da un terremoto (pericolosità di base).

La procedura prevede il confronto tra il valore di Fa caratteristico dell’area e il valore di Fa caratteristico del territorio comunale in cui l’area è inserita: tale valore, detto di “soglia”, è contenuto in un apposito elenco redatto dalla Regione Lombardia.

Si possono quindi verificare due situazioni: il valore di Fa è inferiore o uguale al valore di soglia oppure superiore.

Nel primo caso la normativa antisismica è sufficiente a tenere in conto anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1), viceversa la normativa è insufficiente ed andranno effettuate analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia (classe di pericolosità H2).

Per il Comune di Fontanella i valori di Fa di soglia, riferiti all’intervallo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D e E), sono i seguenti:

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s				
Comune	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Fontanella	1.5	1.9	2.3	2.0

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s				
Comune	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Fontanella	1.7	2.4	4.3	3.1

Tabella 4 : valori di soglia del fattore di amplificazione F_a per il comune di Fontanella.

Il due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di F_a derivano dal periodo proprio delle tipologie costruttive che costituiscono la maggior parte del patrimonio edilizio: in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse (massimo 4-5 piani), regolari e rigide, mentre l'intervallo 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

Per effettuare l'analisi di 2° livello è necessaria la conoscenza dei seguenti parametri:

- Litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- Stratigrafia del sito;
- Andamento delle Vs con la profondità e spessore e velocità di ciascun strato.

Tali parametri possono essere ricavati con metodi differenti ciascuno contraddistinto da un diverso grado di attendibilità, così come riportato nella tabella 5:

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio e da prove in sito
Stratigrafici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

(spessori)		limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Tabella 5: Livelli di attendibilità per la stima del rischio sismico e delle amplificazioni di sito.

Come riportato precedentemente l'intero territorio comunale appartiene alla **scenario di pericolosità sismica locale Z4a** e dunque la valutazione del fattore Fa è stata condotta per uno scenario suscettibile di amplificazione di tipo litologico o stratigrafico; ovvero si è proceduto a "quantificare" l'effetto delle condizioni litostratigrafiche locali in grado di modificare l'intensità delle onde sismiche generate da un terremoto.

7.3.1 **Approccio metodologico**

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l'aspetto principale nella determinazione del fattore di amplificazione Fa, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica).

Per questo motivo, per una corretta valutazione degli effetti sismici di sito, è stata eseguita un'apposita campagna di misure di sismica passiva a stazione singola (**Font1-Font8**) integrata con l'esecuzione di n. 2 profili di sismica attiva (**MASW1**).

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

La scelta di utilizzare le due tecniche deriva dalla necessità di esaminare due aspetti differenti ma entrambi importanti nella stima degli effetti sismici di sito:

- Le misure di sismica passiva consentono di misurare la funzione di trasferimento propria del sito dalla cui analisi si ricavano le frequenze di vibrazioni principali il cui uso è particolarmente utile, in fase progettuale, al fine di verificare l'interazione da un punto di vista sismico del sistema terreno-edificio ed evitare i fenomeni di *doppia risonanza*, (coincidenza delle frequenze di vibrazione proprie del sottosuolo con quelle degli edifici), che costituiscono la vera causa di distruzione di un terremoto.
- I profili sismici con la metodologia MASW consentono di ricostruire con un elevato dettaglio l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità (V_s -z o modello sismico monodimensionale);

Le aree all'interno delle quali sono state effettuate le indagini geofisiche sono state scelte in modo da avere una copertura statisticamente significativa delle informazioni, seguendo i seguenti criteri:

- Presenza di edifici strategici/rilevanti;
- Zone situate in prossimità del centro urbanizzato e soggette a futura espansione urbanistica;
- Presenza nell'area in esame o in un suo ragionevole intorno di informazioni geologiche (pozzi, sondaggi geognostici, ecc..);

In totale sono state individuate 10 aree campione la cui ubicazione è riportata nella **Tavola 5 – Carta della pericolosità sismica locale.**

7.3.2 Frequenze di vibrazione principali

Il metodo dei rapporti spettrali (H/V o HVSR o anche "metodo di Nakamura") nasce da studi condotti in Giappone attorno al 1950. Il metodo è basato sullo studio dei rapporti di

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

ampiezza che nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali) esistono fra il rumore sismico misurato sul piano orizzontale (H) e quello misurato lungo la componente verticale (V). L'idea che sta alla base della procedura è quella secondo cui il rapporto H/V consente di eliminare il ruolo della sorgente isolando gli effetti delle modalità di propagazione delle onde sismiche.

In particolare, si osserva che l'andamento dei rapporti spettrali in funzione della frequenza di vibrazione (funzione H/V) mostra dei massimi in corrispondenza delle frequenze di risonanza per le onde S generate da forti variazioni di velocità delle onde S presenti nel sottosuolo.

Il riconoscimento delle frequenze di risonanza principali del sito permettono di indicare le tipologie edilizie che potranno subire la massima amplificazione del moto del suolo per effetto della doppia risonanza.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula seguente:

$$\text{Freq_edificio} = 10\text{Hz}/n^\circ \text{ piani}$$

E poiché la frequenza fondamentale di risonanza del terreno risulta pari a

$$F_{o_sito} = V_s/4H$$

in cui V_s e H sono la velocità delle onde di taglio e lo spessore del sottosuolo.

Combinando le due equazioni si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che determinano la massima amplificazione del moto. In figura 17 si riporta graficamente tale correlazione assumendo una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali dell'area in esame (200-300 m/s),

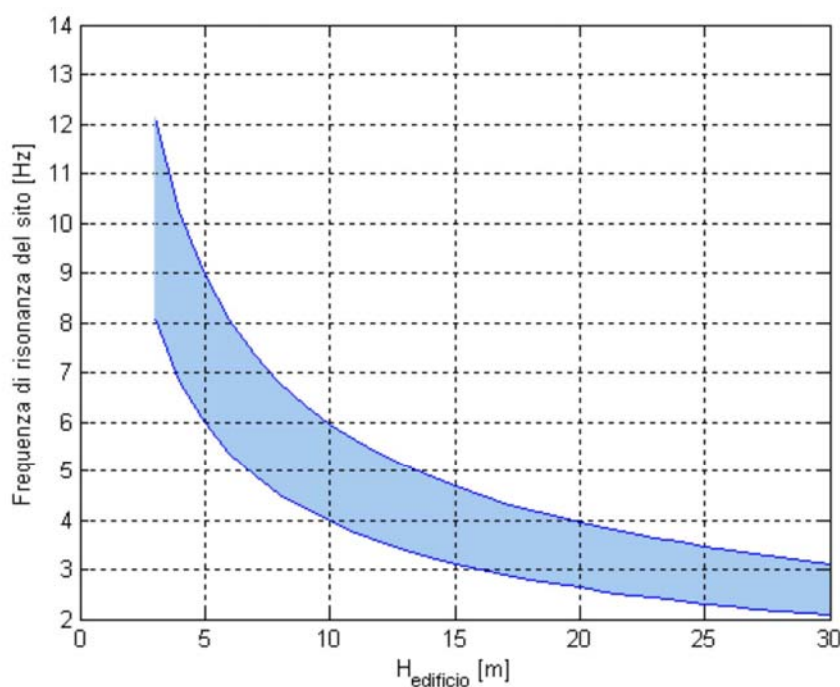


Figura 17: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.

Dall'osservazione delle curve H/V riportate in allegato e relative alle sei aree di misura si nota la presenza di 3 picchi principali localizzati a circa 1Hz, 4-5Hz e 20Hz.

Il picco intorno alla frequenza di 1 Hz, ben evidente e marcato in tutte le curva H/V, può essere associato a fenomeni di risonanza profondi, superiori ai 150-200 m, mentre il tenue massimo intorno ai 4-5 Hz può essere ragionevolmente attribuito alla risonanza dei depositi ghiaioso-sabbiosi che si estendono nell'area fino ad una profondità di circa 40 m; la relativa debole ampiezza di questo picco può essere attribuita ad un possibile scarso contrasto di impedenza tra il deposito in questione e la sottostante litozona.

Infine facendo riferimento alla figura 17, si può affermare che gli edifici più vulnerabili da un punto di vista degli effetti di doppia risonanza sono quelli con altezze superiori ai 10 m (edifici con più di 3 piani) e quelli con altezze inferiori ai 1-2 m, che non hanno praticamente interesse ai fini ingegneristici.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

7.3.3 Calcolo del fattore di amplificazione di sito Fa

Nella valutazione del fattore di amplificazione Fa secondo la procedura prevista per il 2° livello di approfondimento, il primo passo consiste nell'individuare tra le schede litologiche di riferimento, quella che meglio approssima l'andamento del profilo Vs-z proprio del sito in esame. In tutte le linee si è rilevato che la scheda morfologica (tra quelle fornite dalla Regione Lombardia) più prossima alle distribuzioni di Vs rilevate è la scheda limoso-argillosa di tipo 2 (LA2). Rispetto a tutte le altre schede le curve delle Vs rilevate ricadono nel campo di non validità dei grafici allegati.

Successivamente all'interno della scheda stabilità, si sceglie in funzione della profondità e della velocità delle onde S dello strato superficiale, la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa. Il terzo passo consiste nel calcolare il periodo proprio del sito secondo la seguente espressione:

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

dove h_i e Vs_i sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello. A questo punto utilizzando l'equazione propria della curva stabilita è possibile determinare il fattore di amplificazione Fa.

Utilizzando i modelli di velocità ricostruiti sulla base delle indagini MASW appositamente realizzate, si ottengono i seguenti risultati:

Area	Scheda	Curva	Periodo T_0	Fa (0.1-0.5)	Fa (0.5-1.5)
1	Limoso-argillosa2	3	0.273 s	1.74	1.21
2	Limoso-argillosa2	3	0.278 s	1.75	1.21

Tabella 6: stima del fattore di amplificazione Fa per effetti litologici.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

7.3.4 Analisi dei dati e considerazioni

A questo punto, i valori di F_a proprio del sito devono essere confrontati con il valore F_a di soglia (tabella 4) che risulta differente per le diverse categorie di suolo.

Le categorie di suolo di fondazione, secondo l'OPCM 3274 e s.m.i. e il DM 14.09.2008 risultano così identificate (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		V_{s30} (m/s)	N_{SPT}	C_u (kPa)
A	<u>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</u> , caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	> 800	-	-
B	<u>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</u> , con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
C	<u>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza</u> , con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri	180-360	15-50	70-250
D	<u>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</u>	<180	<15	<70
E	<u>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali</u> , con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s			

in cui V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, calcolata con la seguente espressione:

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

A partire dai profili V_s -profondità relativi alle aree campione è possibile calcolare, con la formula sopra riportata, il valore di V_{s30} (i 30 m di profondità sono stati misurati convenzionalmente a partire da p.c. attuale), ottenendo i seguenti risultati:

Area	V_{s30} [m/s]	Categoria di suolo
1	409.5	B
2	409.4	B

Tabella 7: parametro V_{s30} e categoria di suolo di fondazione.

da cui risulta che:

<p>$Fa_{sito} > Fa_{soglia}$ per $0.1 < T_o < 0.5$ s</p> <p>$Fa_{sito} < Fa_{soglia}$ per $0.5 < T_o < 1.5$ s</p>

Ciò implica che la normativa antisismica (D.M. 14.01.2008) non considera in modo esaustivo i possibili effetti di amplificazione litologica propri del sito, rendendo insufficiente l'applicazione dello spettro previsto dalla normativa antisismica, per le tipologie edilizie che presentano periodi proprio compresi tra 0.1 e 0.5 s (edifici con massimo 4-5 piani), mentre la normativa risulta sufficiente per le strutture con periodo compreso tra 0.5 e 1.5 s (edifici alti e flessibili).

Per gli edifici con periodo compreso tra 0.1-0.5 sarà necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) (classe di pericolosità

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

H2), o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

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

I risultati ottenuti per le aree campione sono da considerare come mediamente rappresentativi del territorio di Fontanella ed hanno un carattere di inquadramento generale da utilizzare nell'ambito della pianificazione urbanistica.

Si sottolinea che nell'applicazione dell'analisi di 2° livello, esistono alcune limitazioni allo stato attuale della metodologia messa a punto, legate principalmente alla disponibilità di schede di riferimento ricavate su un numero limitato di dati geofisici (andamento delle Vs con la profondità); questo comporta che il profilo Vs-z relativo alla litologia che caratterizza il sito in esame sia differente da quello previsto dalla stessa litologia nella scheda di riferimento.

Per questi motivi, qualsiasi trasformazione d'uso del suolo legata alla realizzazione di qualsiasi nuovo edificio dovrà essere preventivamente accompagnata da una valutazione della pericolosità sismica locale, secondo quanto riportato nell'allegato 5 della D.G.R. 8/7374, attraverso l'attuazione del 2° livello di approfondimento.

Qualora risulti che il fattore Fa di sito sia maggiore di quello di soglia, in fase di presentazione degli elaborati progettuali (Permesso di costruire e/o DIA) si dovrà allegare apposita relazione che definisca l'azione sismica di progetto, applicando l'analisi sismica di 3° livello o lo spettro di norma sufficiente.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

8. CARTA DEI VINCOLI

Nella **Tavola 6 - Carta dei vincoli** sono rappresentate le limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle normative in vigore di contenuto geologico-idrogeologico ed ambientale-paesaggistico.

Tale tavola aggiorna la tavola dei vincoli precedentemente consegnata nell'ambito dello studio geologico del territorio comunale ai sensi della L.R. 41/97 e riporta le seguenti limitazioni che insistono sul territorio:

- **Vincoli di polizia idraulica (R.D. 523 del 1904, L. 1/2000, D.G.R. 7/7868 e 7/13950)** sul reticolo idrografico individuato con apposito studio redatto ai sensi della d.g.r. 7/7868 e 7/13950 a cura dello scrivente; per una completa trattazione dell'argomento (fasce di rispetto e delle attività di polizia idraulica) si rimanda a tale studio;
- **Fascia di rispetto del depuratore:** la fascia di rispetto dai depuratori è prevista dalla Delibera 04-02-1977, emanata dal Comitato Interministeriale per la Tutela delle Acque e prevede una fascia non inferiore a 100 m;
- **Vincoli ambientali derivanti da pianificazioni sovraordinate** (P.T.P.R. Regione Lombardia, P.T.C.P. della Provincia di Bergamo, L.R. 86/83, L.R. 14/98, D.Lgs. 42/2004). Nel Dettaglio:
 - ***Piano cave della Provincia di Bergamo – ATEg21 settore sabbia e ghiaia;***
 - ***Fascia di tutela paesaggistica dei fiumi e dei corsi d'acqua:*** limite geometrico di 150 m per il Naviglio Vecchio (ai sensi dell'art.142, comma 1, lettera c del D.Lgs. 42/2004; r.d. 1933 N.1775; D.G.R. n.12028 del 25 luglio 1986).

Inoltre nella **Tavola 6** si sono riportati tutti i fontanili attivi presenti sul territorio ed una fascia di rispetto pari a 25 m dalla testa del fontanile.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Tale scelta, anche se attualmente non prevista da alcuna normativa, è stata fatta con lo scopo di tutelare le teste dei fontanili in quanto, oltre a rappresentare una testimonianza storico-ambientale, costituiscono una peculiarità che identifica e valorizza il territorio di Fontanella e più in generale questa porzione della bassa pianura bergamasca.

8.1 Raccordo con gli strumenti di pianificazione sovraordinata

PTCP

Il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Bergamo - PTCP, adottato dal Consiglio provinciale con deliberazione n. 61 del 17.09.2003 (pubblicato sul BURL n. 44, Foglio inserzioni, del 29 ottobre 2003) e approvato con deliberazione consiliare n. 40 del 22.04.2004, ai sensi dell'art. 3 - comma 36 - della L.R. 1/2000, ha acquisito efficacia il 28 luglio 2004, giorno di pubblicazione della delibera di approvazione sul BURL n. 31, foglio inserzioni.

Il territorio della Provincia di Bergamo costituisce, in tutti i suoi aspetti (naturalistico, economico, ambientale) l'oggetto del PTCP che si pone come "piano strategico di area vasta", considerando i rapporti che tale territorio ha con il più vasto territorio lombardo e valutando il quadro della situazione nazionale e dei rapporti e dei collegamenti istituiti o da istituire con le aree dei Paesi che si affacciano sull'arco alpino, nel quadro più complessivo dell'Unione Europea.

Gli obiettivi strategici del PTCP si sviluppano su due direttrici fondamentali:

- a. Obiettivi di contesto (si rivolgono ai principali ambiti territoriali che caratterizzano il territorio della provincia).
- b. Obiettivi di sistema in rapporto agli ambiti tematici e alla loro organizzazione all'interno del territorio provinciale.

Il PTCP considera il paesaggio come riferimento principale a cui rapportare le trasformazioni che si rendono necessarie per garantire un'efficace sviluppo delle attività. Lo sviluppo, rapportato al contesto territoriale, ambientale e paesistico, è il nodo principale di ogni azione ed indirizzo di governo del territorio.

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT

Le indicazioni e le determinazioni presenti nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) devono essere recepite, come livello di conoscenze di base, all'interno dei Piani di Governo del Territorio così come esplicitato dalla D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 "Aggiornamento dei Criteri ed Indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione all'art. 57, comma 1 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12".

AMBITI ED ELEMENTI DI RILEVANZA PAESISTICA

Il comune di Fontanella è individuato nel PTCP come area del sistema del "Paesaggio della Naturalità" appartenente alla "Fascia di Pianura" così come individuato nella Tavola E5.4 (Ambiti ed Elementi di Rilevanza Paesistica) del PTCP stesso e di cui di seguito è riportato un'estratto (Figura 18).

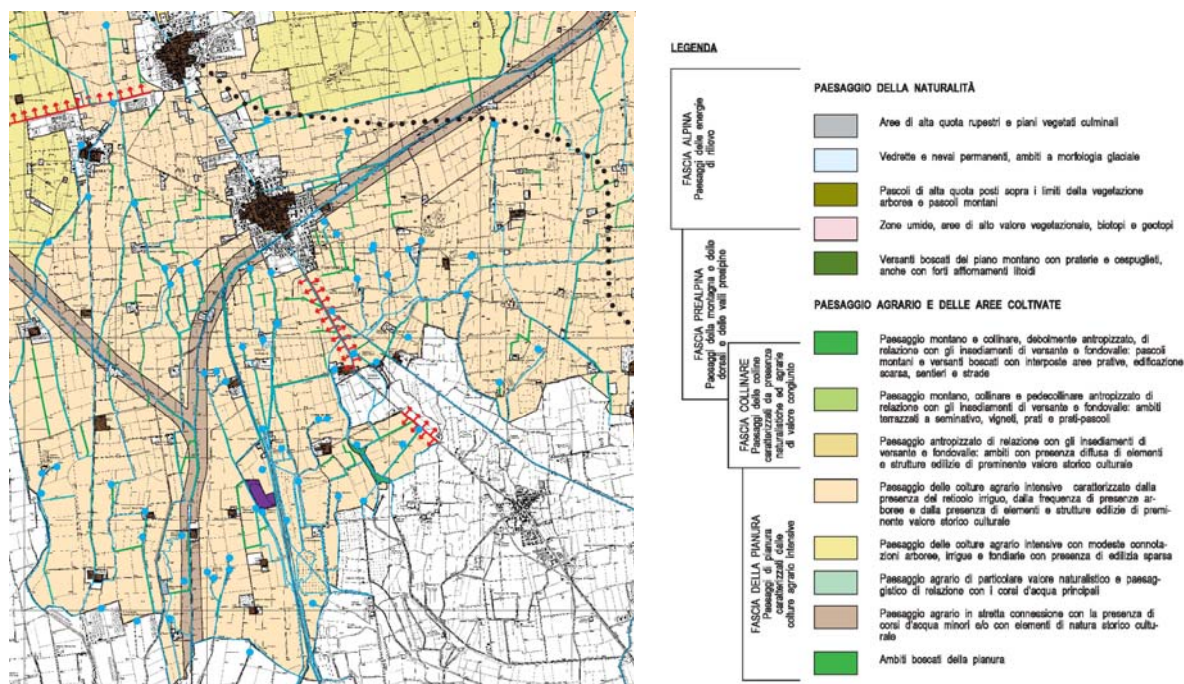


Figura 18 : Estratto da Tav. E5.4 del PTCP – Ambiti ed Elementi di rilevanza paesistica

Il PTCP individua alcuni ambiti di particolare significato naturalistico, ambientale e paesistico di dimensione sovracomunale per i quali viene ritenuta opportuna l'istituzione di

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

P.L.I.S. (Parchi Locali di Interesse Sovracomunale) al fine di garantire una salvaguardia e una valorizzazione del patrimonio naturale.

Nello specifico buona parte del territorio del comune di Fontanella è indicata come ambito di opportuna istituzione di P.L.I.S. così come evidenziato nella Tavola E2.2 del PTCP (Tutela, riqualificazione e valorizzazione ambientale e paesistica del territorio) di cui di seguito si riporta un'estratto (Figura 19).

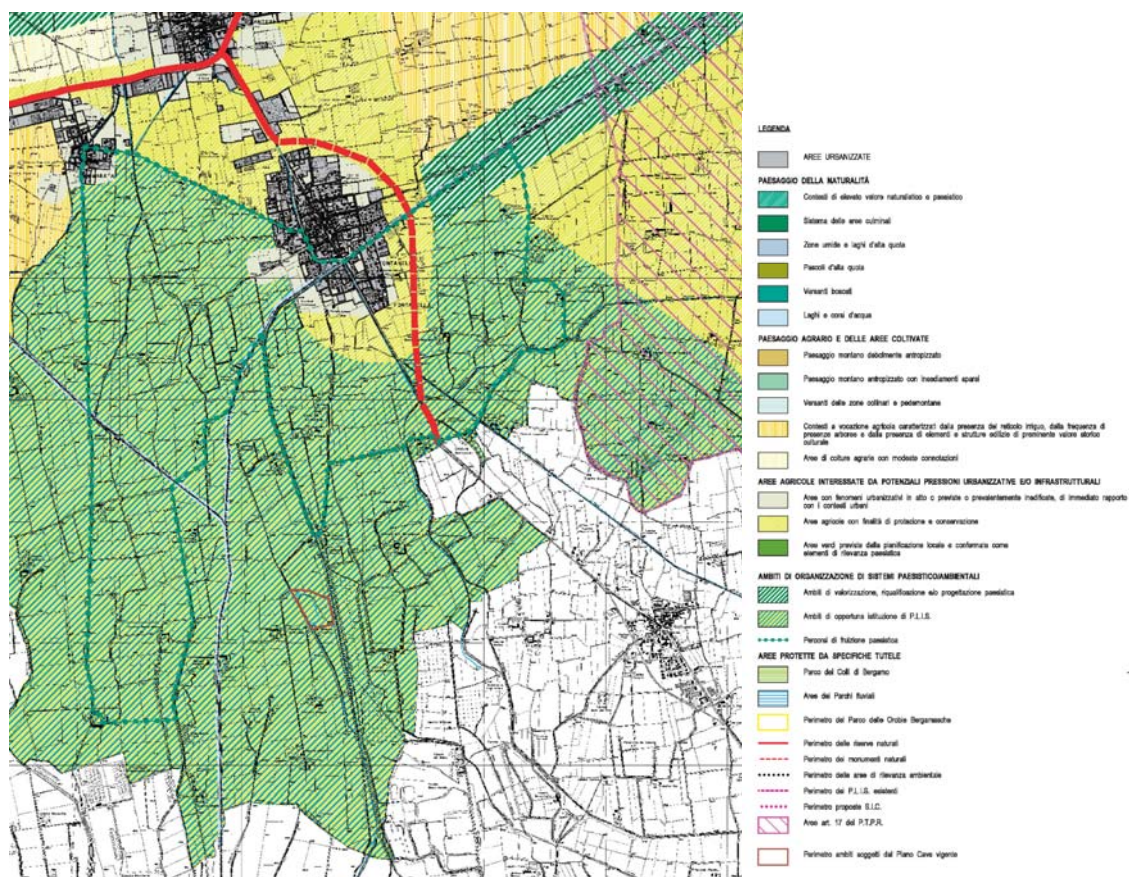


Figura 19 : Estratto da Tav. E2.2 del PTCP – Tutela, riqualificazione e valorizzazione ambientale e paesistica del territorio

Fino all'istituzione e all'approvazione dei P.L.I.S. i suddetti ambiti sono disciplinati dall'art. 54 e successivi delle Norme di Attuazione del PTCP in rapporto alla classificazione delle aree in essi comprese.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Tale classificazione, così come individuata nella Tavola E5.4 soprariportata, per il comune di Fontanella comprende:

- Contesti a vocazione agricola caratterizzati dalla presenza del reticolo irriguo, dalla frequenza di presenze arboree e dalla presenza di elementi e strutture edilizie di preminente significato storico culturale.
- Paesaggio agrario in stretta connessione con la presenza di corsi d'acqua minori e/o con elementi di natura storico culturale.

Tali aree sono soggette alla disciplina degli articoli 54, 60 e 64 delle Norme di Attuazione del PTCP, Titolo II – Paesaggio e Ambiente.

ELEMENTI DI PERICOLOSITÀ E DI CRITICITÀ: COMPATIBILITÀ DEGLI INTERVENTI DI TRASFORMAZIONE DEL TERRITORIO

Il Comune di Fontanella è inquadrato nella tavola E1 del PTCP della Provincia di Bergamo (Figura 20) tra gli *“ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono essere assoggettati a puntuale verifica di compatibilità geologica ed idraulica”*.

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

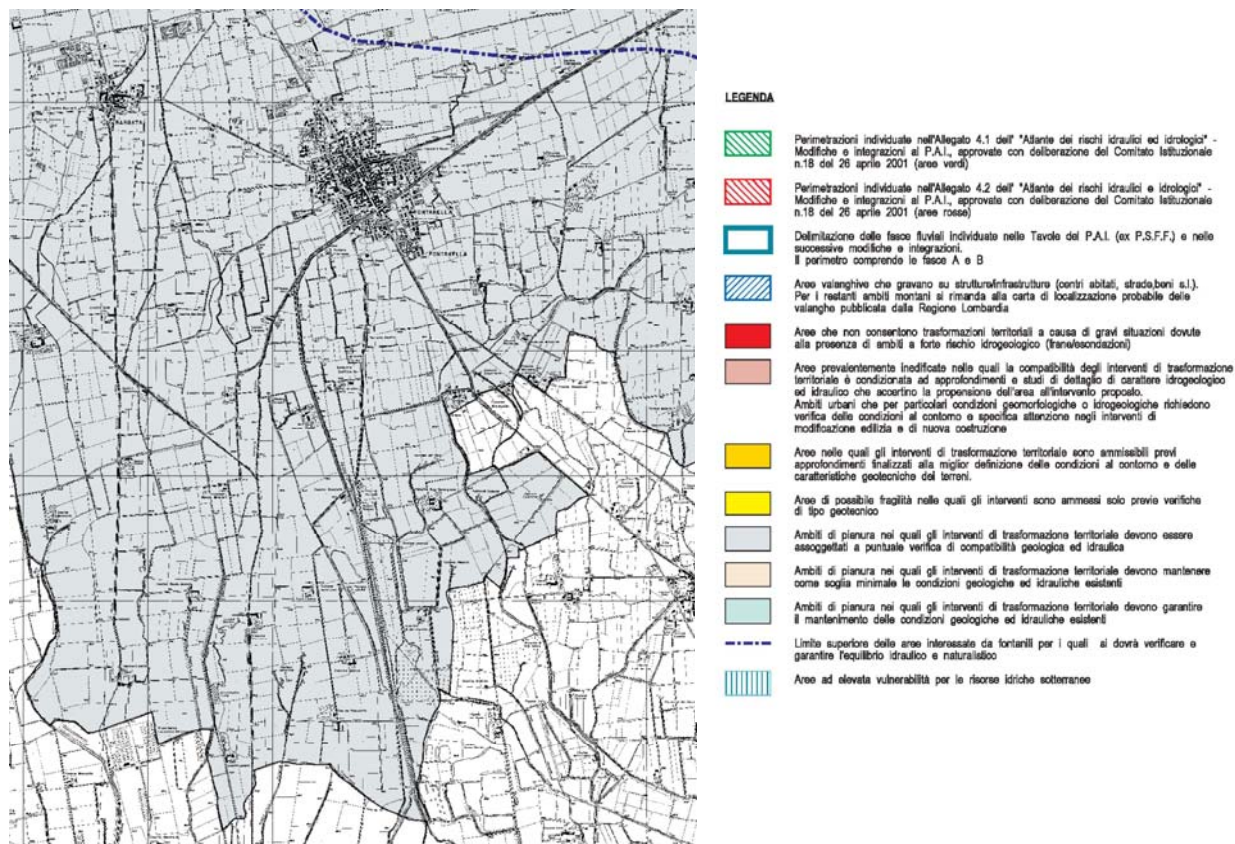
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT

Figura 20: Estratto da Tav. E1 del PTCP – Elementi di pericolosità e di criticità.

Per tali ambiti l'art. 44 delle Norme di Attuazione del PTCP al comma 1 cita: "Si tratta di ambiti sui quali si rileva la presenza di valori bassi di profondità della falda rispetto al piano campagna e la mancanza, o il limitato spessore, dello strato di impermeabilità superficiale.

In tali aree ogni intervento che possa potenzialmente alterare le condizioni chimico-fisiche delle acque presenti nel sottosuolo (esemplificativamente: insediamenti agricoli; insediamenti industriali giudicati pericolosi, trivellazione di nuovi pozzi) dovrà essere sottoposto ad approfondito studio di compatibilità idrogeologica ed idraulica che ne attesti l'idoneità".

Buona parte del territorio comunale di Fontanella è inoltre interessato da fenomeni di emergenza della falda (fontanili). A tale proposito, sempre l'art. 44 delle Norme di Attuazione del PTCP al comma 4 cita:

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

“Aree interessate da fontanili per i quali si dovrà verificare e garantire l’equilibrio idraulico e naturalistico.

E’ caratterizzato dall’affioramento delle acque di falda e costituisce zona di particolare vulnerabilità e di rimarchevole caratterizzazione di valenza ambientale.

Per l’elevato grado di vulnerabilità della falda oltre che dell’elevato grado di naturalità, è tassativamente vietato lo scarico di materiali di qualsiasi natura anche quando non venisse rilevata la presenza d’acqua.

Dovranno inoltre essere favoriti ed adottati gli interventi finalizzati alla salvaguardia delle falde più profonde.

Specificatamente per i singoli fontanili deve essere inoltre incentivata ed effettuata la periodica manutenzione, volta ad assicurare la massima efficienza della erogazione delle polle e del deflusso delle acque, con spurgo delle masse vegetali e del detrito accumulatisi sia nella testa che nella asta.

Su tutte le aree, ma in particolar modo nella fascia dei fontanili dove la falda freatica sia compresa tra valori di soggiacenza (differenza tra quota del piano campagna e quota di rinvenimento della falda) da 0 a 5 m., dovranno essere eseguiti adeguati approfondimenti geotecnici ed idrogeologici in osservanza al D.M. 21/01/1981 e al Decreto 11/03/1988”.

PAI – PIANO STRALCIO PER L’ASSETTO IDROGEOLOGICO

La pubblicazione, sulla Gazzetta Ufficiale n. 183 dell’8 agosto 2001 del Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 24 maggio 2001, sancisce l’entrata in vigore del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico - brevemente denominato PAI - adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 del 26 aprile 2001.

L’ambito territoriale di riferimento del PAI è costituito dall’intero bacino idrografico del fiume Po chiuso all’incile del Po di Goro, ad esclusione del Delta, per il quale è previsto un atto di pianificazione separato.

Obiettivo prioritario del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico è la riduzione del rischio idrogeologico entro valori compatibili con gli usi del suolo in atto, in modo tale da salvaguardare l’incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Il PAI consolida e unifica la pianificazione di bacino per l'assetto idrogeologico: esso coordina le determinazioni assunte con i precedenti stralci di piano e piani straordinari (PS 45, PSFF, PS 267), apportando in taluni casi le precisazioni e gli adeguamenti necessari a garantire il carattere interrelato e integrato proprio del piano di bacino.

Rispetto ai Piani precedentemente adottati il PAI contiene per l'intero bacino:

- il completamento del quadro degli interventi strutturali a carattere intensivo sui versanti e sui corsi d'acqua, rispetto a quelli già individuati nel PS45;
- l'individuazione del quadro degli interventi strutturali a carattere estensivo;
- la definizione degli interventi a carattere non strutturale, costituiti dagli indirizzi e dalle limitazioni d'uso del suolo nelle aree a rischio idraulico e idrogeologico e quindi:
 - il completamento, rispetto al PSFF, della delimitazione delle fasce fluviali sui corsi d'acqua principali del bacino;
 - l'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico, nella parte del territorio collinare e montano non considerata nel PS267.

PAI per il Comune di Fontanella

L'allegato 1 all'Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici del PAI presenta un elenco dei comuni per classi di rischio.

Le classi di rischio individuate dal PAI sono:

R1 – moderato, per il quale sono possibili danni sociali ed economici marginali;

R2 – medio, per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio- economiche;

R3 – elevato, per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi e l'interruzione delle attività socio - economiche, danni al patrimonio culturale;

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

R4 – molto elevato, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, danni al patrimonio culturale, la distruzione di attività socio - economiche.

Il comune di Fontanella è inserito in una classe di rischio R2 equivalente ad un rischio medio come riportato nell'elenco dell'Allegato 1 sopraccitato e come si evince dalla figura 21.

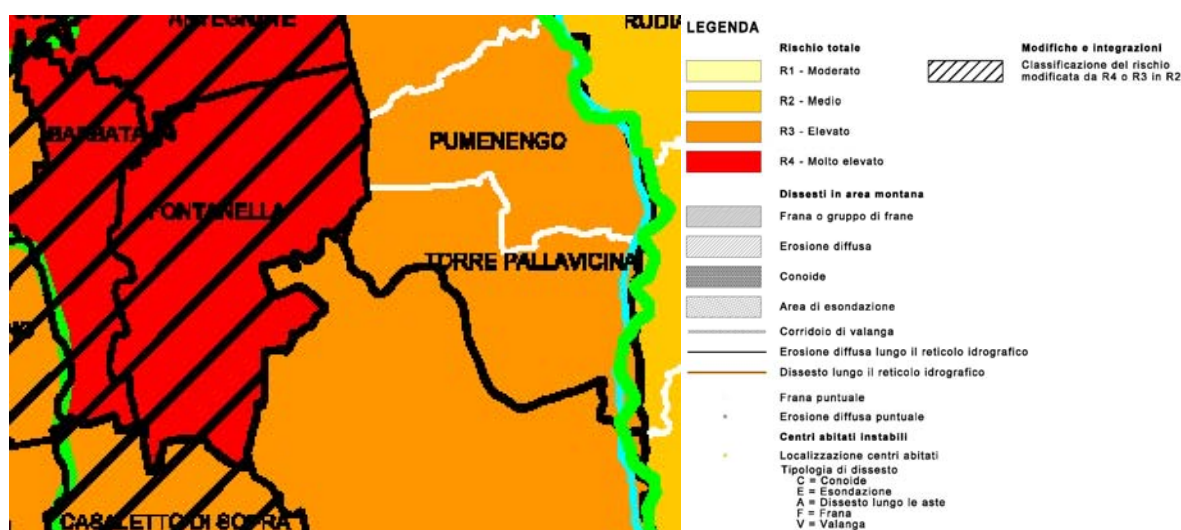


Figura 21: Estratto da Tav. 6 del PAI – Rischio Idraulico

Il territorio comunale di Fontanella è compreso tra i fiumi Serio ad Ovest e Oglio ad Est: come si può constatare dall'estratto cartografico riportato di seguito (Figura 22), il comune di Fontanella è esterno alle fasce fluviali di entrambi i fiumi e pertanto non soggetto alle norme d'attuazione che le governano.

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

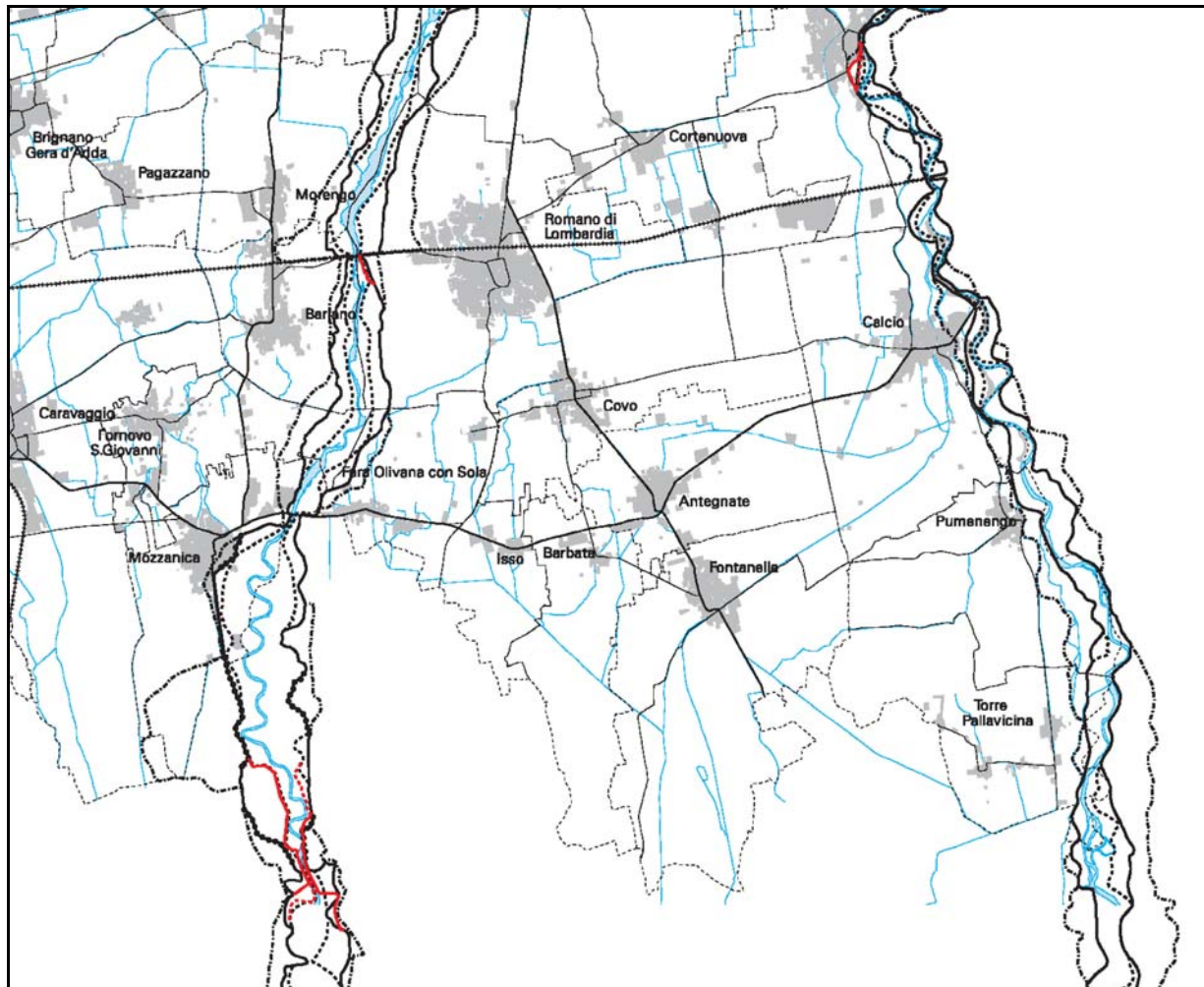


Figura 22: Fasce Fluviali dei fiumi Serio e Oglio.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

PTUA – PROGRAMMA DI TUTELA E USO DELLE ACQUE

La Regione Lombardia, con l'approvazione della Legge Regionale 12 dicembre 2003, n. 26, come previsto dalla Direttiva quadro sulle acque 2000/60/CE, ha indicato il "Piano di gestione del bacino idrografico" come strumento per la pianificazione della tutela e dell'uso delle acque.

Lo stesso è costituito dall' Atto di Indirizzo, approvato dal Consiglio Regionale il 27 luglio 2004 e dal Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA), definitivamente approvato con Deliberazione della Giunta Regionale n. 8/2244 del 29 marzo 2006, con il quale sono individuate le azioni, i tempi e le norme di attuazione per il raggiungimento degli obiettivi contenuti nell'atto di indirizzi.

Il Programma di Tutela e Uso delle Acque costituisce uno strumento di programmazione a disposizione della Regione e delle amministrazioni pubbliche per il conseguimento degli obiettivi di qualità ambientale fissati dalle Direttive Europee.

Al fine di perseguire tali obiettivi, il PTUA individua lo stato di qualità delle acque superficiali e sotterranee, gli obiettivi per specifica destinazione delle risorse idriche e le misure integrate, dal punto di vista qualitativo e quantitativo, per la loro attuazione.

ACQUE SUPERFICIALI

Sul territorio regionale, per le acque superficiali, sono attive tre distinte reti di monitoraggio gestite da ARPA Lombardia: una per definire lo stato ambientale delle acque, le altre due per valutare le acque a specifica destinazione funzionale.

Il Comune di Fontanella è attraversato dal Naviglio Civico di Cremona, classificato come corpo idrico significativo nel PTUA e conseguentemente monitorato per la definizione del suo stato ambientale.

Lo stato ambientale di un corpo idrico superficiale è dato dall'insieme dello stato ecologico e dello stato chimico per pervenire all'attribuzione di una classificazione dello stesso che prevede 5 classi (da stato ottimo a pessimo).

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT

Nel caso specifico, al Naviglio Civico di Cremona è stato attribuito uno stato sufficiente come visibile in Figura 1, riportante un'estratto della Tavola 2 del PTUA "Classificazione dei corpi idrici superficiali significativi".

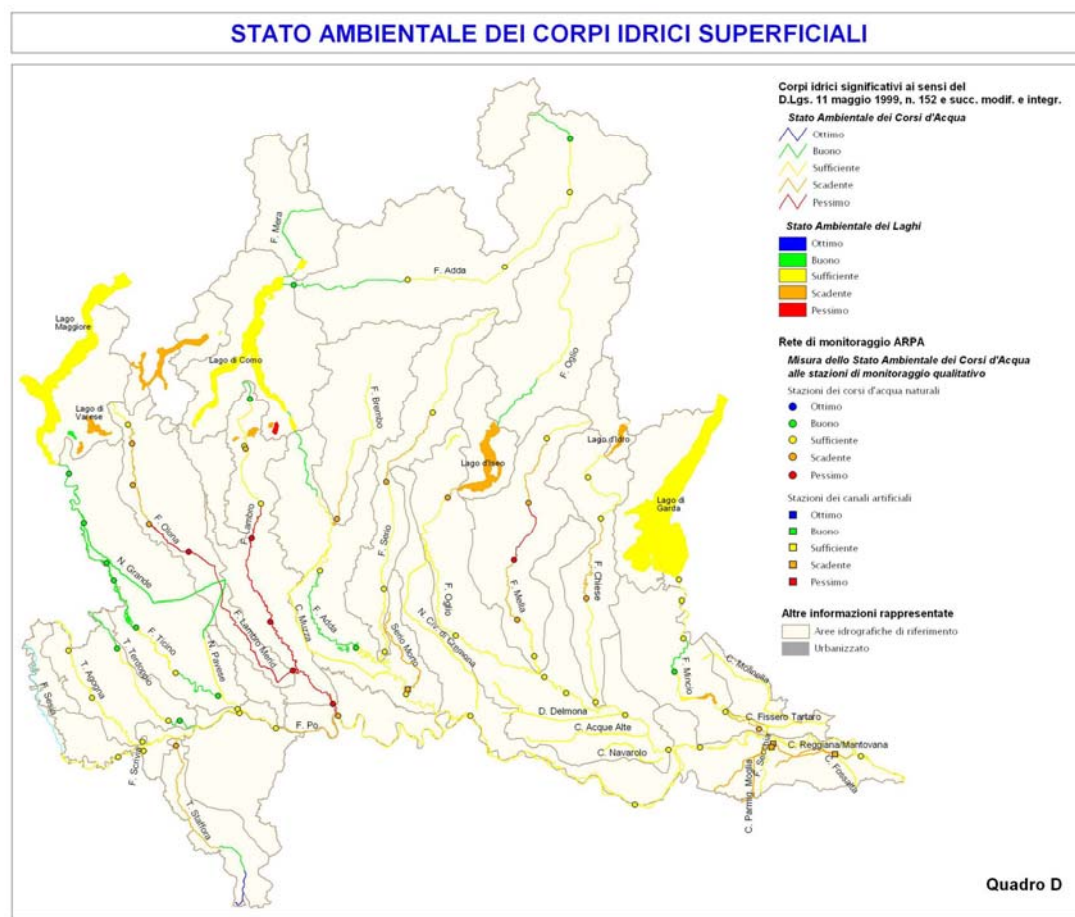


Figura 23 : Stato ambientale dei corpi idrici superficiali (estratto Tavola 2 del PTUA)

Gli obiettivi di qualità ambientale che il PTUA si prefigge sono espressi all'art. 20 delle Norme Tecniche di Attuazione e possono essere così sintetizzati:

Per i corpi idrici significativi le regioni attuano misure finalizzate a:

- mantenere, ove già presente, lo stato di qualità ambientale "buono" o "elevato";
- raggiungere, ove non presente ed entro il 2016, lo stato di qualità "buono".

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

Inoltre per i corpi idrici artificiali, come nel caso del Naviglio Civico di Cremona, al comma 5 del medesimo art. 20 si legge:

“per i corpi idrici artificiali sono previste le misure idonee a garantire un livello qualitativo corrispondente almeno a quello immediatamente inferiore rispetto agli analoghi corpi idrici naturali.”

ACQUE SOTTERRANEE

Per lo studio delle acque sotterranee il PTUA divide il territorio regionale in bacini idrografici, a loro volta divisi in settori.

Il Comune di Fontanella rientra nel Bacino Idrografico 4, Settore 7 (Figura 24).

Tale settore si ubica in corrispondenza della medio-alta pianura a quote comprese tra 150 m s.l.m. a Nord e 80 m s.l.m. a Sud.

I limiti occidentale e orientale sono definiti rispettivamente dai fiumi Serio e Oglio, mentre i limiti settentrionale e meridionale sono individuati in corrispondenza dei confini comunali.

La base dell'acquifero tradizionale è a circa 80-120 m da p.c. e l'orizzonte di separazione tra la falda superficiale e la falda confinata dell'acquifero tradizionale risulta compreso all'incirca tra i 70 e i 90 m da p.c.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

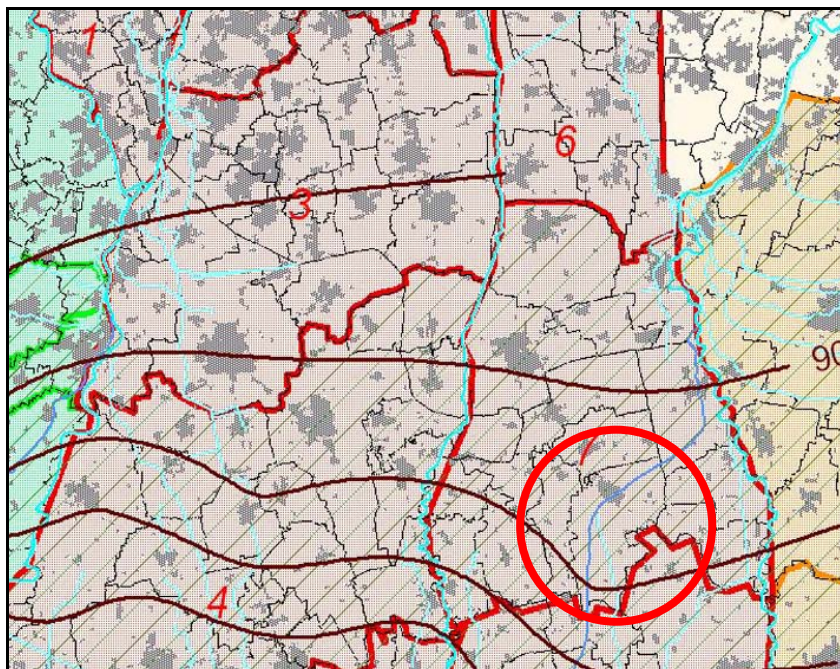


Figura 24: Estratto da Tavola 3 del PTUA – Corpi idrici sotterranei significativi e bacini idrogeologici di pianura

Anche per le acque sotterranee il PTUA definisce uno stato ambientale che deriva dall'insieme di stato quantitativo e stato chimico.

Un corpo idrico sotterraneo si definisce in equilibrio quando le estrazioni o le alterazioni della velocità naturale di ricarica sono sostenibili sul lungo periodo (10 anni).

Il Comune di Fontanella è identificato nel PTUA in classe B (Figura 25) ovvero area ad "Impatto antropico ridotto con moderate condizioni di disequilibrio del bilancio idrico, senza che tuttavia ciò produca una condizione di sovrasfruttamento, consentendo un uso della risorsa sostenibile sul lungo periodo".

Data	Maggio 09
N. Commessa	Font_B
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneGeol.doc

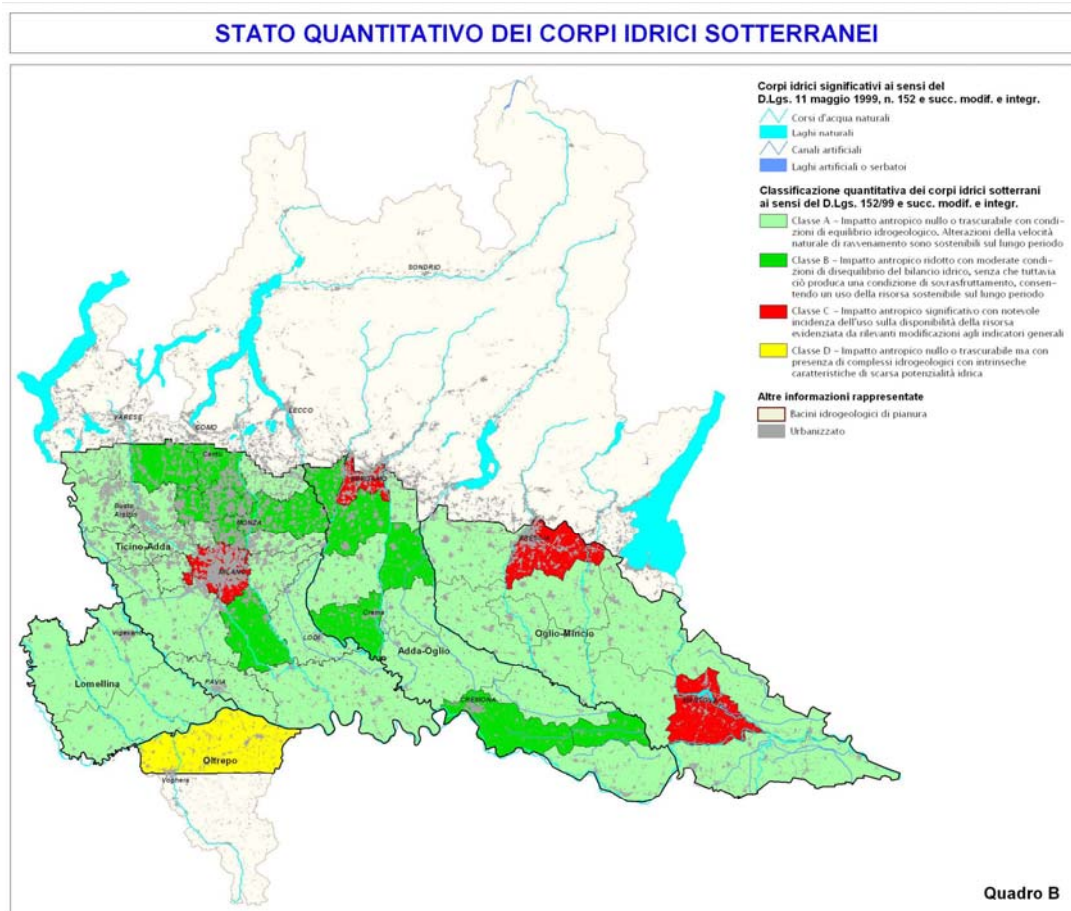


Figura 25 : Stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei (estratto Tavola 4 del PTUA)

Infine per la tutela delle acque destinate al consumo umano il PTUA identifica specifiche aree di salvaguardia (Fig. 4) ed in particolare:

AREE DI RISERVA

- macroarea di riserva compresa nei bacini idrogeologici di pianura
- aree di riserva ottimali
- aree di riserva integrative

AREE DI RICARICA

- aree di ricarica degli acquiferi profondi

Nello specifico, come si evince dall'estratto cartografico della tavola 9 del PTUA sottoriportato, il Comune di Fontanella non rientra ne in aree di ricarica ne di riserva.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

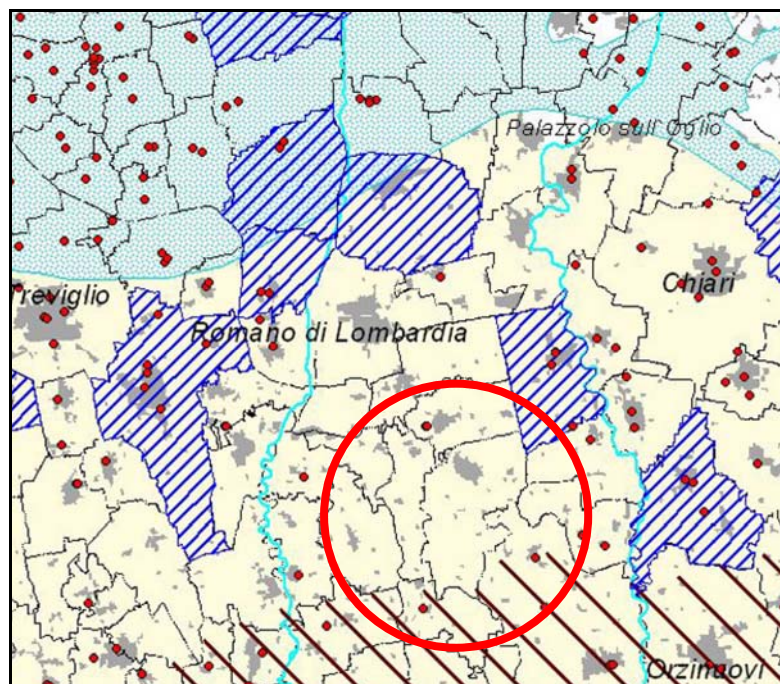


Figura 26: Estratto da Tavola 9 del PTUA – Aree di riserva e di ricarica e captazioni ad uso potabile

AREE VULNERABILI DA NITRATI DI ORIGINE AGRICOLA E/O ANTROPICA

Il Comune di Fontanella rientra nell'elenco di cui all'Appendice D delle Norme Tecniche di Attuazione del PTUA, riportante le aree vulnerabili da nitrati di origine agricola definite dalla Regione sulla base delle caratteristiche idrogeologiche, della capacità protettiva dei suoli e della distribuzione dei carichi di origine agricola e antropica.

L'individuazione delle zone vulnerabili ai sensi della Direttiva 91/676/CEE è riportata nella Tavola 8 del PTUA di cui di seguito si riporta un'estratto relativo al comune in esame.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

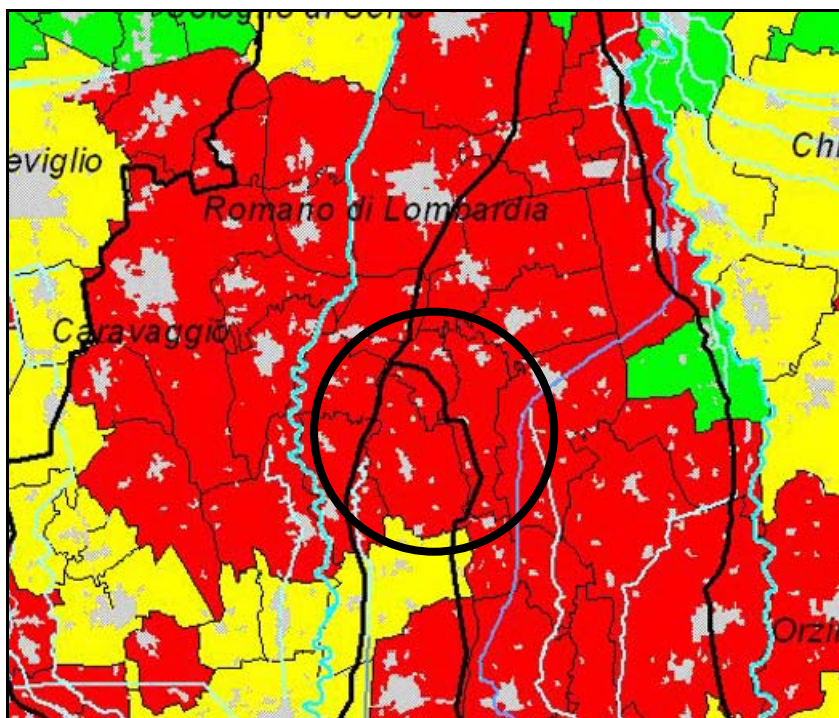


Figura 27: Estratto da Tavola 8 del PTUA – Individuazione delle zone vulnerabili ai sensi della direttiva 91/676/CEE

Per le aree vulnerabili da nitrati valgono le prescrizioni dell'art. 27 (commi 1,2 e 3) delle Norme Tecniche di Attuazione del PTUA che, come indicato nell'art. 51 delle medesime, sono immediatamente vincolanti a decorrere dalla data di approvazione del PTUA.

Si riporta di seguito il testo dei tre commi dell'art. 27:

1 - In sostituzione delle aree vulnerabili di cui alla D.G.R. n. 6/17149 del 1.8.1996, riconosciute dal D.lgs. 152/99 Allegato 7/AIII, sono ridesegnate come "zone vulnerabili da nitrati di origine agricola", ai fini e per gli effetti dell'art. 19 e dell'Allegato 7/AI del d.lgs. 152/99, i territori dei comuni individuati nell'elenco di cui all'Appendice D.

2 - Nelle zone di cui al precedente comma, le norme stabilite dalla l.r. 15.12.1993 n. 37 e dal suo regolamento attuativo, trovano applicazione sino all'entrata in vigore del nuovo regolamento regionale per l'utilizzazione agronomica di effluenti di allevamento, di cui all'art. 52 l.r. 26/2003.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

3 - Sono designate come “zone vulnerabili da nitrati di origine civile”, i territori dei comuni individuati nell'elenco di cui all'Appendice D. In dette zone i piani di ambito individuano come interventi prioritari le misure per ridurre entro il 20% le perdite delle reti fognarie.

Per quanto sopraesposto il comune di Fontanella è sottoposto a vincoli e norme per il trattamento, la maturazione e l'utilizzo dei reflui zootecnici.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

9. CARTA DI SINTESI

Nella **Tavola 7 – Carta di sintesi**, così come disposto dalla D.G.R. n. 8/7374, si riportano tutti gli elementi ritenuti maggiormente interessanti per una corretta pianificazione, fornendo un quadro sintetico dello stato del territorio che consenta di procedere alla successiva zonizzazione in classi di fattibilità.

In essa sono state inserite le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità/vulnerabilità riferita allo specifico fenomeno che la genera, considerando sia gli elementi contenuti nelle Tavole 2, 3 e 4 che quelli riportati nella Carta dei Vincoli.

Le informazioni contenute nella carta di Sintesi, volutamente sintetiche e generali, andranno poi verificate nel dettaglio mediante le diverse carte tematiche ed andranno interpretate alla luce di quanto verrà descritto nella successiva carta della fattibilità geologica.

Nella carta di sintesi sono perciò evidenziati quegli elementi di rischio in grado di influire negativamente sulla realizzazione di interventi di modifica del territorio ed in particolare:

✓ **Per le Aree vulnerabili dal punto di vista geomorfologico:**

A. *le aree estrattive attive;* in carta sono state riportate le aree appartenenti all'ambito estrattivo ATEg21 così come riportato nel Piano Cave della Provincia di Bergamo (anno 2008);

✓ **Per le Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico:**

A. *le aree con emergenza della falda e con emergenze idriche diffuse (fontanili):* si è riportata in carta anche la fascia di rispetto pari a 25 m dalla testa del fontanile;

B. *le aree con emergenza della falda in seguito ad attività estrattiva (lago freatico);*

C. *le aree ad alta vulnerabilità della falda freatica;*

D. *le aree a più bassa soggiacenza della falda freatica;* in carta sono state riportate le aree caratterizzate dalla più bassa soggiacenza della falda.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

✓ **Per le Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico:**

A. *le aree adiacenti ai corsi d'acqua* (reticolo idrico principale e minore) da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e per la realizzazione di interventi di difesa;

✓ **Per le Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche:**

A. le aree caratterizzate con maggiore probabilità dalla presenza di livelli significativi di materiale prevalentemente limoso-argilloso a mediocri/scadenti caratteristiche geotecniche; questi livelli hanno spessori variabili mediamente compresi tra 1.0-1.5 m e massimi dell'ordine dei 2 m.

Dall'osservazione della **Tavola 7** si nota come l'elemento maggiormente limitante sia legato agli aspetti idrogeologici ed in particolar modo alla bassa soggiacenza della falda freatica che caratterizza la totalità del territorio di Fontanella.

Si tratta di un aspetto tipico di questo territorio i cui fattori limitanti potranno essere affrontati e superati in seguito ad indagini ed a studi di dettaglio (così come riportato nelle Norme geologiche di piano).

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

10. CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO

10.1 Generalità

La suddivisione del territorio comunale di Fontanella in classi di fattibilità geologica è stata attuata attraverso la valutazione incrociata degli elementi contenuti nella cartografia analitica illustrata in precedenza (sintetizzata nella Carta di Sintesi) riportante i fattori ambientali, territoriali ed antropici propri del territorio in esame.

La carta di fattibilità costituisce dunque l'elaborato finale del percorso conoscitivo in grado di fornire un quadro analitico e sintetico sullo stato del territorio con lo scopo di favorirne l'utilizzo ottimale segnalando le problematiche da affrontare allorché si renda necessario modificare la destinazione d'uso di una data area.

In tal senso, pertanto, individuare aree caratterizzate da fattibilità con limitazioni di vario grado, significa stabilire che ogni cambiamento alle destinazioni d'uso previste potrà eventualmente essere effettuato solo dopo aver debitamente preso in considerazione l'entità delle limitazioni che caratterizzano quella determinata zona, in stretta connessione con la tipologia di opera prevista.

Alla luce dei molteplici aspetti che caratterizzano il territorio comunale di Fontanella sono state individuate aree appartenenti a tutte le classi di fattibilità eccezion fatta per la Classe 1 (fattibilità senza particolari limitazioni).

Il territorio risulta quindi suddiviso fra le seguenti classi: Classe 2 (fattibilità con modeste limitazioni), Classe 3 (fattibilità con consistenti limitazioni) e Classe 4 (fattibilità con gravi limitazioni).

Esse, riportate nella **Tavole 8**, sono state ulteriormente suddivise in sottoclassi, come peraltro espressamente previsto dalla normativa vigente, per evidenziare meglio le loro caratteristiche geologiche-idrogeologiche e/o le loro problematiche progettuali.

In questo modo si sono potute dettagliare meglio le diverse situazioni presenti.

Infine per una corretta lettura della carta di fattibilità vanno tenuti in considerazione i seguenti aspetti:

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

- una suddivisione in quattro classi di fattibilità è necessariamente schematica e può essere considerata come una segnalazione preliminare delle maggiori o minori difficoltà nell'utilizzare il territorio;
- nella determinazione delle classi per i vari settori del territorio è stato dato il massimo risalto alle situazioni più delicate: questo implica che nel caso di incerta attribuzione fra due classi di fattibilità si è preferito assegnare la particella in esame alla classe più sfavorevole;
- analogamente, a causa delle particolari caratteristiche della materia in oggetto non sempre è possibile definire univocamente i limiti fra le varie classi di fattibilità. Pertanto alcune situazioni all'intorno del limite fra due classi vanno considerate con una certa elasticità e valutate come situazioni di passaggio.

10.2 Classi di fattibilità geologica e norme geologiche di piano

Di seguito si riporta la suddivisione in classi/sottoclassi di fattibilità geologica del territorio comunale, illustrando la motivazione dell'attribuzione di una certa area ad una determinata classe/sottoclasse e le eventuali limitazioni che tale attribuzione comporta.

Inoltre per ciascuna sottoclasse vengono riportate le prescrizioni con indicazioni delle indagini approfondimento da effettuare nel caso di trasformazioni d'uso del suolo.

Quanto di seguito riportato costituisce le "Norme geologiche di piano" che andranno integralmente inserite nel Piano delle Regole e nel Documento di Piano del P.G.T.

CLASSE I : FATTIBILITA' SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI: comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso.

DESCRIZIONE: Non risultano aree appartenenti a questa classe nell'ambito del territorio comunale.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

CLASSE II : FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI: comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimento tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.

SOTTOCLASSE II A.

DESCRIZIONE: Costituisce la parte centrale ed orientale del territorio caratterizzata da una soggiacenza della falda superiore ai 2 m e con depositi superficiali a discrete caratteristiche geotecniche con spessore limitato dell'ordine di 0.5-1.0 m.

PRESCRIZIONI: *non esistono incompatibilità con qualsiasi destinazione d'uso. Per interventi di nuova edificazione e/o di ristrutturazione con modifica dei volumi e delle superfici va redatta una apposita relazione geologica e geotecnica ai sensi del D.M. 11.03.88 e s.m.i. e del D.M. 14.01.2008.*

In sede progettuale andrà posta particolare attenzione alla scelta del piano di posa fondazionale rispetto alla successione litostratigrafica ed alla possibilità di locali interazioni con la falda freatica.

CLASSE III : FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI: 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.

SOTTOCLASSE III A

DESCRIZIONE: La sottoclasse definisce quelle aree che rispetto alle precedenti, appartenenti alla Classe IIA, sono caratterizzate dalla maggiore probabilità di incontrare livelli significativi superficiali di materiale a scadenti/mediocri caratteristiche geotecniche.

PRESCRIZIONI: *Per tutti i nuovi interventi e per qualsiasi modificazione dei volumi e/o delle superfici dell'esistente che abbia una incidenza sul suolo ed il sottosuolo sarà necessario*

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

allegare apposita relazione specialistica (geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica) che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la relativa situazione geologica. La scelta del piano di posa e delle opere fondazionali va supportato da apposite indagini geognostiche e studi geotecnici che mettano in evidenza la successione litostratigrafica (in particolare, ove esiste, del primo livello a mediocri caratteristiche geotecniche) e la profondità della falda superficiale.

Va applicato quanto riportato nel D.M. 11.03.1988 e nel D.M. 14.01.2008.

SOTTOCLASSE III B

DESCRIZIONE: Costituisce la parte meridionale del territorio caratterizzata da una soggiacenza della falda inferiore ai 2 m.

PRESCRIZIONI: *Per tutti i nuovi interventi e per qualsiasi modificazione dei volumi e/o delle superfici dell'esistente che abbia una incidenza sul suolo ed il sottosuolo sarà necessario allegare apposita relazione specialistica (geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica) che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la relativa situazione geologica-idrogeologica. In sede progettuale andrà posta particolare attenzione alla scelta del piano di posa fondazionale rispetto alla successione litostratigrafica ed alla possibilità di interazioni con la falda freatica.*

Va applicato quanto riportato nel D.M. 11.03.1988 e nel D.M. 14.01.2008.

SOTTOCLASSE III C

DESCRIZIONE: La sottoclasse delimita le teste dei fontanili e la relativa fascia di rispetto definita con metodo geometrico (25 m intorno alla testa dei fontanili).

Prescrizioni: *Ogni intervento su queste aree richiede una reale necessità funzionale e giustificazione e va supportato da studi geologici, geomorfologici ed idraulici puntuali e dettagliati. Sono comunque obbligatorie le indagini previste per la sottoclasse IIIA e IIIB.*

SOTTOCLASSE III D

DESCRIZIONE: La sottoclasse delimita quelle aree interessate attualmente e nel passato da attività estrattiva.

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

PRESCRIZIONI: *In questa classe valgono le indicazioni delle normative vigenti, in particolare con quanto riportato nella L.R. 14/98, nel Piano Cave della provincia di Bergamo vigente, nei piani di recupero e nelle convenzioni vigenti.*

CLASSE IV : FATTIBILITA' CON GRAVI LIMITAZIONI: l'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione 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 sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativi. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica. Eventuali infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili.

SOTTOCLASSE IV A

DESCRIZIONE: La sottoclasse delimita la fascia di rispetto dei corsi idrici appartenenti al reticolo idrico minore, stabilito con apposito studio redatto ai sensi del D.G.R. 25 Gennaio 2002 n. 7/7868 e successiva modifica del D.G.R. 1 Agosto 2003 n. 7/13950.

PRESCRIZIONI: *Aree di inedificabilità assoluta fatto salvo opere di difesa ambientale o di sistemazione fluviale. Per le attività vietate o soggette ad autorizzazione si veda l'art. 5.2 dell'allegato B della DGR 7/13950 del 01.08.2003. Inoltre si dovrà fare riferimento allo studio del Reticolo Idrico Minore.*

Come evidenziato dall'analisi del rischio sismico, l'intero territorio comunale è soggetto a fenomeni di amplificazione locale (effetti di sito) non adeguatamente valutati dall'attuale normativa antisismica.

Per questi motivi, qualsiasi trasformazione d'uso del suolo dovrà essere preventivamente accompagnata da una valutazione della pericolosità sismica locale,

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

secondo quanto riportato nell'allegato 5 della D.G.R. 8/7374, attraverso l'attuazione del 2° e/o 3° livello di approfondimento.

In fase di presentazione degli elaborati progettuali (Permesso di costruire e/o DIA) si dovrà allegare apposita relazione che definisca l'azione sismica di progetto.

Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti per le classi di fattibilità 2, 3 e 4 (limitatamente ai casi consentiti) devono essere realizzati prima della progettazione degli 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 del permesso di costruire (L.R. 12/05, art. 38).

Si sottolinea che gli approfondimenti di cui sopra, non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dal D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le costruzioni".

Dott. geol. Gerosa Daniele – Studio di Geologia e Geofisica	Data	Maggio 09
	N. Commessa	Font_B
	C. Documento	01
<i>Studio geologico, idrogeologico e sismico a supporto del PGT</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneGeol.doc

ALLEGATO A
- INDAGINI GEOFISICHE -

1. PREMESSA

Nel presente allegato si riportano le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di una campagna di indagini geofisiche effettuate nel periodo Settembre-Ottobre 2008 nell'ambito della valutazione della componente sismica del piano di governo del territorio del comune di Fontanella (BG).

Scopo delle indagini è quello di ricostruire l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s -z) ed individuare le frequenze di risonanza proprie dei siti investigati.

Il **modello sismico monodimensionale** costituisce l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica).

La conoscenza delle frequenze principali di risonanza di un deposito consente inoltre di conoscere l'interazione da un punto di vista sismico del sistema terreno-edificio al fine di evitare i fenomeni di **doppia risonanza** (coincidenza delle frequenze di vibrazione proprie del sottosuolo con quelle degli edifici) che costituiscono un ulteriore causa dell'amplificazione del moto alla base di un edificio.

La campagna di indagini è consistita nell'esecuzione di n. 8 misure di sismica passiva a stazione singola (HVSR) e n. 2 stendimenti sismici con la metodologia MASW.

In **Tavola 5 – carta della pericolosità sismica locale** - è riportata l'ubicazione delle aree investigate.

2. INDAGINE GEOFISICA HVSR: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La sismica passiva si basa sulla misura dei microtremori che sono sempre presenti sulla superficie terrestre e sono generati da fenomeni naturali (vento, onde marine) ed artificiali (attività antropiche). Si chiama microcremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo vicino (valori dell'ordine di 10^{-15} [m/s²]²).

Lo strumento utilizzato per tali misurazioni è il tromografo "Tromino": si tratta di un sismografo appositamente progettato per l'acquisizione del rumore sismico, di dimensioni molto contenute che contiene tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri), un ampio range frequenziale (0.1 – 256 Hz) e il sistema GPS integrato.

Il metodo di indagine utilizzato è quello dei rapporti spettrali a stazione singola (HVSR; Nakamura 1989).

Il metodo HVSR consiste nello studio del rapporto spettrale tra le componenti orizzontali del rumore e quella verticale (H/V spectrum).

Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde sismiche e densità del materiale).

La tecnica HVSR è pertanto in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli e dall'analisi della funzione di trasferimento registrata per sito è possibile ricostruire l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità (V_s -z).

Infatti i "picchi" che caratterizzano il rapporto H/V dipendono unicamente dalla stratigrafia del terreno e non dalle sorgenti di rumore (Castellaro S. et al. 2007).

Di seguito si riassumono i principali criteri di acquisizione delle misure HVSR effettuate:

Riassunto modalità esecutive della prova HVSR	
<i>Frequenza di campionamento</i>	<i>128 Hz</i>
<i>Lunghezza registrazione</i>	<i>20 minuti</i>
<i>GPS</i>	<i>attivo</i>



Figura 1: Vista dello strumento utilizzato.

2.2 Elaborazione dati

I dati sperimentali acquisiti per ciascuna area di misura sono stati trasferiti su PC ed analizzati con l'apposito software Grilla.

La procedura di analisi dei dati consta nelle seguenti fasi (Castellano et al. 2005):

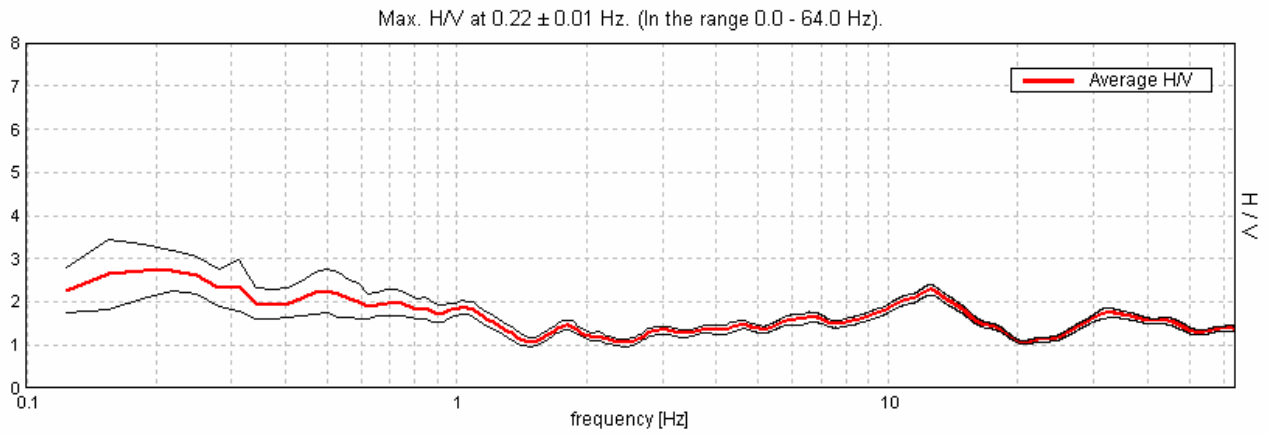
- Suddivisione del tracciato acquisito in finestre di lunghezza pari a 20 sec.
- rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore a 2;
- rimozione manuale di eventuali eventi transienti ancora presenti;
- eliminazione del trend e applicazione di un taper tipo Bartlett;
- trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
- spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
- lisciamento dello spettro;
- calcolo del rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza e per ciascuna finestra;

La funzione HVSR finale o più semplicemente H/V è data dalla media degli HVSR di ciascuna finestra.

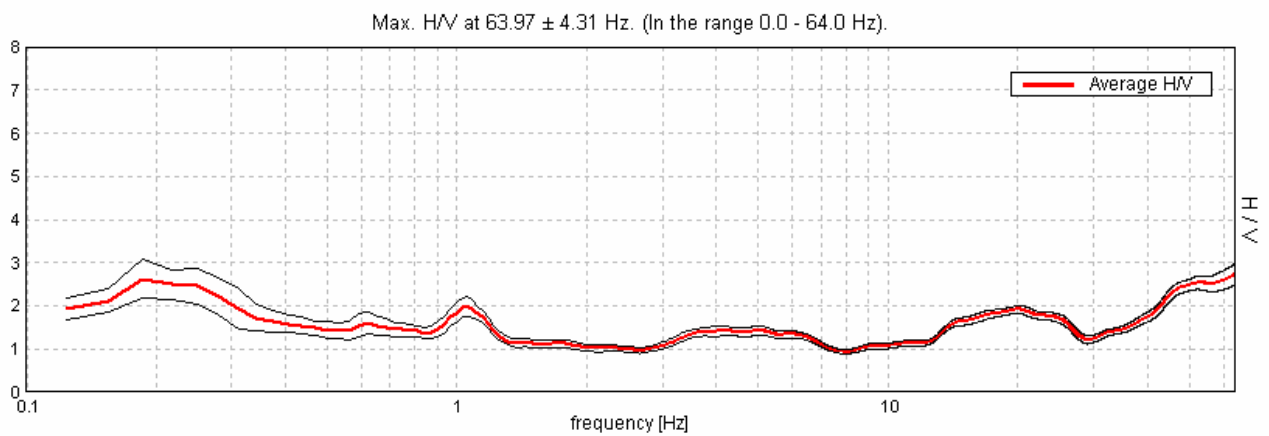
2.2 Risultati

Di seguito si riportano per ciascuna area investigata la curva H/V elaborata.

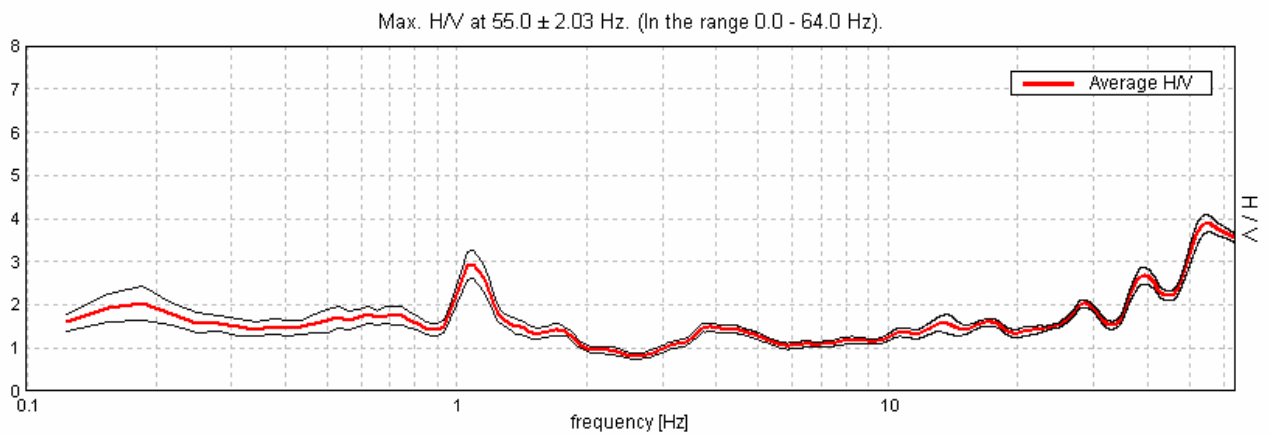
Area 1



Area 2

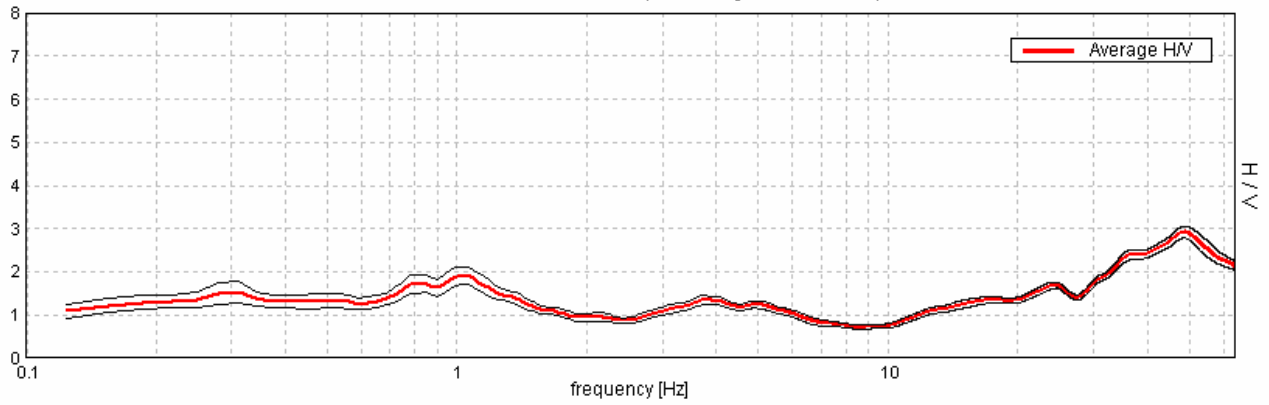


Area 3



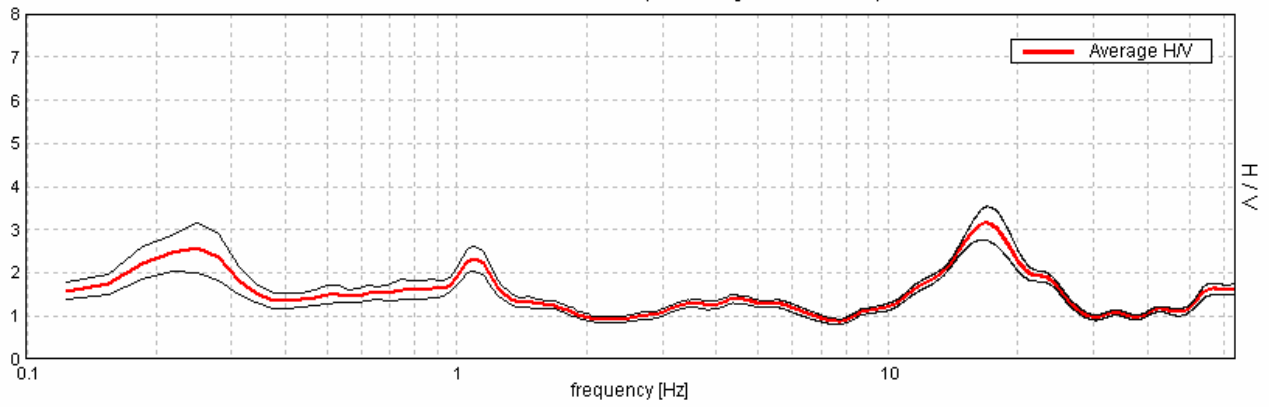
Area 4

Max. H/V at 48.44 ± 0.32 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



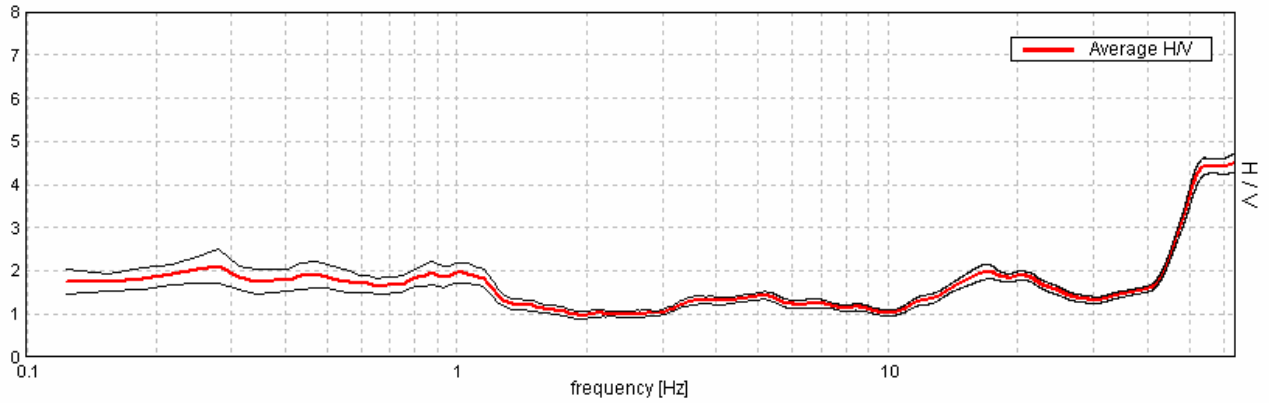
Area 5

Max. H/V at 16.88 ± 1.19 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



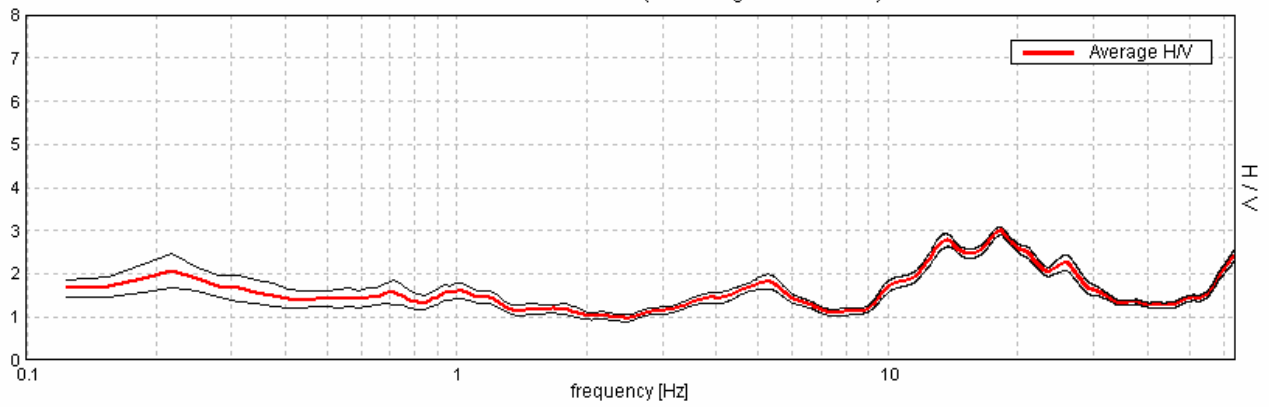
Area 6

Max. H/V at 63.97 ± 2.27 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



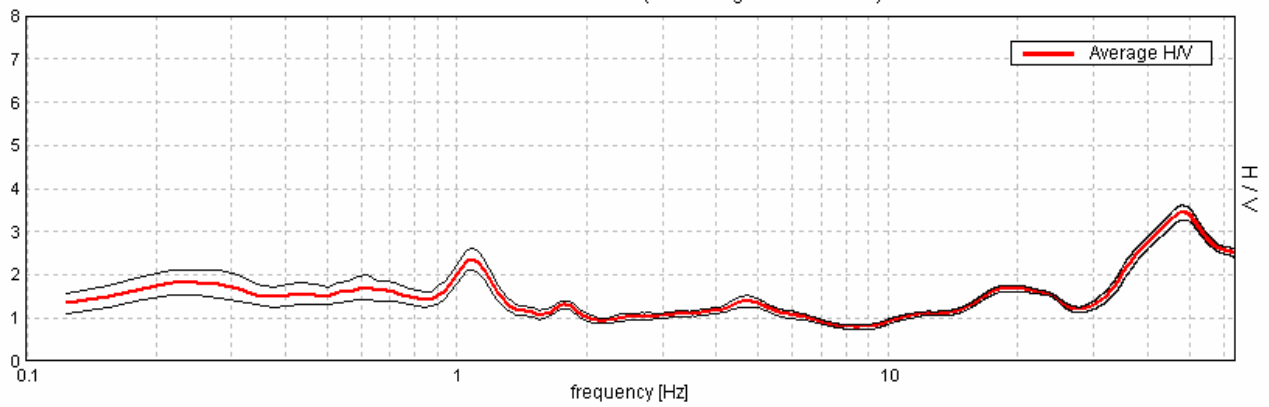
Area 7

Max. H/V at 18.13 ± 0.65 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Area 8

Max. H/V at 48.44 ± 2.31 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



3. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006):

1) Nel "**metodo attivo**" le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel "**metodo passivo**" lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremori") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m).

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 35-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 2.0 m.

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione il "mini-bang calibro 8" (detto anche fucile sismico) in modo da raggiungere la

maggior profondità possibile ed avere una registrazione con un alto rapporto segnale/rumore.

La sorgente è stata posta ad una distanza di 6 e 10 m dal primo geofono (*Optimum Field Parameters of an MASW Survey*”, Park et al., 2005; Dal Moro, 2008).

Terminata l'indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtremori (MASW passiva) acquisendo in totale 10 registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 30 s.

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata ed i criteri di acquisizione della prova MASW attiva e passiva:

n°	Strumentazione	Caratteristiche
1	Unità di acquisizione	sismografo GEOMETRICS “GEODE” a 24 bit
24	Geofoni verticali	“Geospace” con $f_0= 4.5$ Hz
2	Cavi sismici	L = 120 m
1	Sorgente	Fucile sismico tipo Minibang



Figura 2: Strumentazione utilizzata per la prova MASW.

Riassunto modalità esecutive della prova MASW ATTIVA	
<i>Spaziatura tra i geofoni</i>	<i>2.0 m</i>
<i>Distanza sorgente 1° geofono</i>	<i>6 e 10 m</i>
<i>Tempo di campionamento</i>	<i>1.0 ms</i>
<i>Tempo di registrazione</i>	<i>1.6 s</i>

Riassunto modalità esecutive della prova MASW PASSIVA	
<i>Spaziatura tra i geofoni</i>	<i>2.0 m</i>
<i>Tempo di campionamento</i>	<i>4.0 ms</i>
<i>Tempo di registrazione</i>	<i>30.0 s</i>
<i>Numero di registrazioni</i>	<i>10</i>

3.1 Elaborazione dati

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (**SurfSeis 2.0** della Kansas University).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency (c-f)*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico.

In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Inoltre, la combinazione dei due metodi MASW consente di individuare il "modo fondamentale" delle onde di superficie nel campo di frequenze compreso tra i 4 e i 40 Hz e di ottenere informazioni sia "superficiali" che "profonde".

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi la curva di dispersione riportata in seguito).

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità.

Dall'inversione delle curve di dispersione si ottengono i seguenti modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, ciascuno rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 60 m):

Modello 1			
Strato	Spessore [m]	V_s [m/s]	Profondità
1	0.63	232.85	0.63
2	0.78	201.82	1.41
3	0.98	195.03	2.38
4	1.22	281.27	3.60
5	1.53	371.79	5.13
6	1.91	446.30	7.03
7	2.38	257.66	9.42
8	2.98	404.27	12.39
9	3.72	543.55	16.12
10	4.65	553.56	20.77
11	5.82	469.73	26.58
12	6.65	720.17	33.23

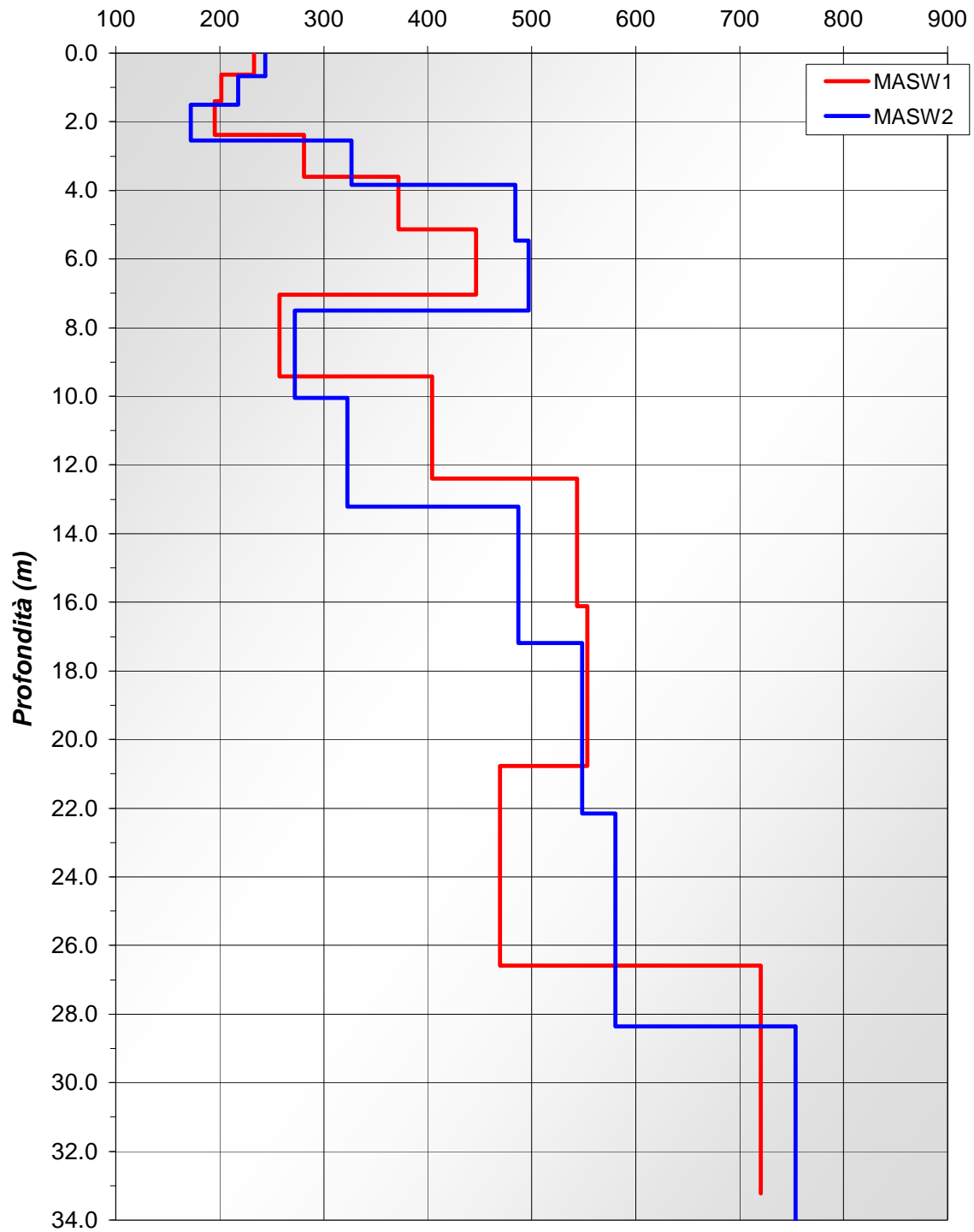
Tabella 1: modello sismico monodimensionale - MASW1.

Modello 2			
Strato	Spessore [m]	V_s [m/s]	Profondità
1	0.67	243.87	0.67
2	0.83	218.03	1.50
3	1.04	172.21	2.54
4	1.30	326.59	3.84
5	1.63	484.36	5.47
6	2.03	497.30	7.50
7	2.54	272.05	10.04
8	3.18	322.73	13.22
9	3.97	487.16	17.19
10	4.96	548.77	22.16
11	6.21	580.53	28.36
12	7.09	753.60	35.45

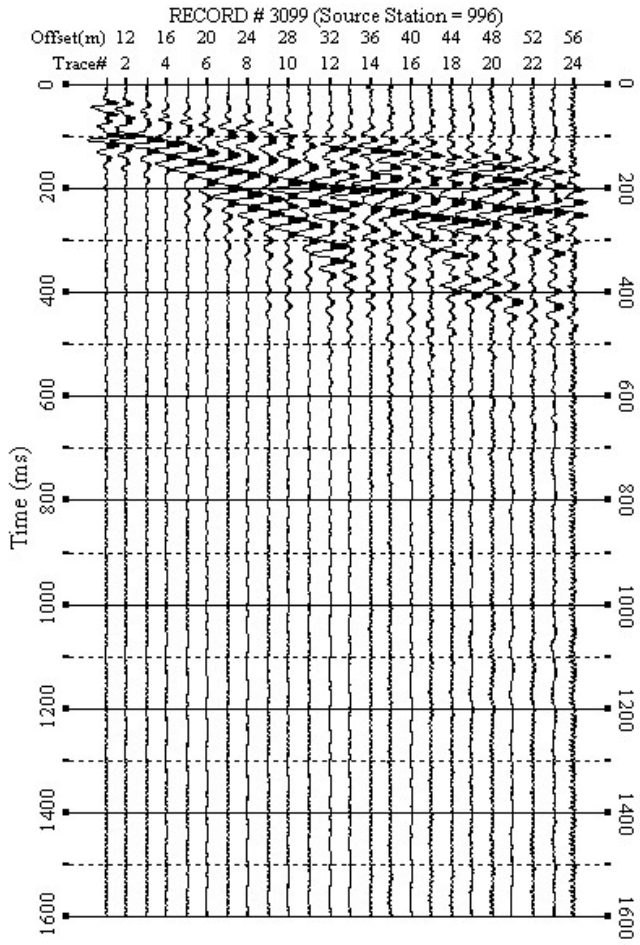
Tabella 2: modello sismico monodimensionale – MASW2.

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion

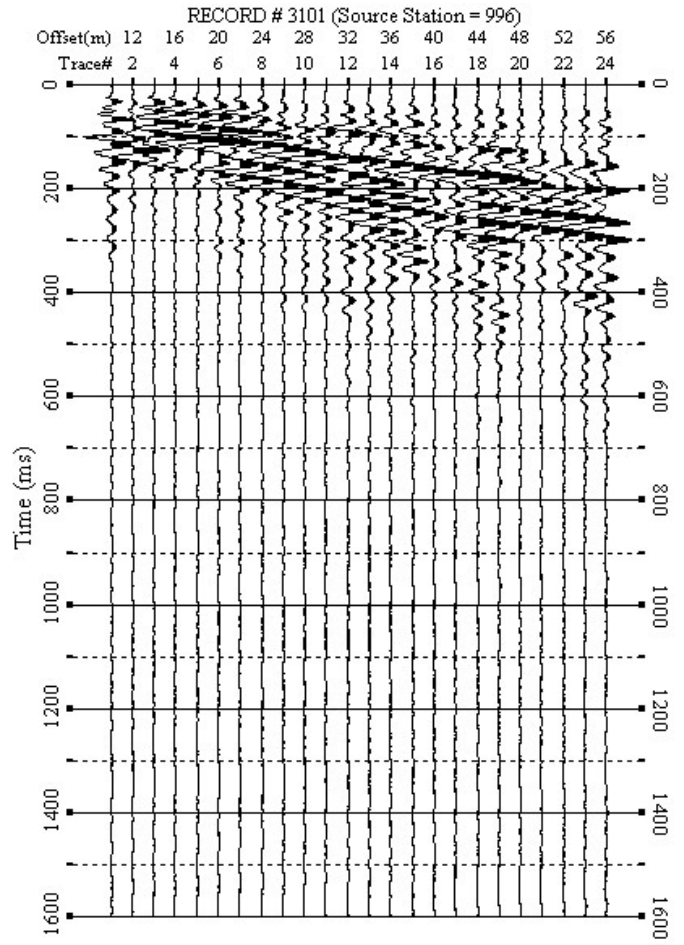
Velocità onde S (m/sec)



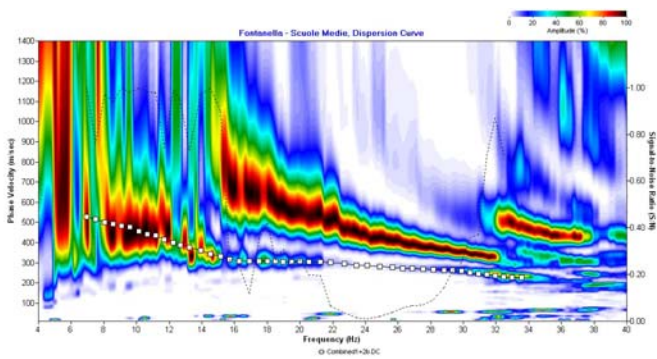
REGISTRAZIONE ATTIVA MASW1



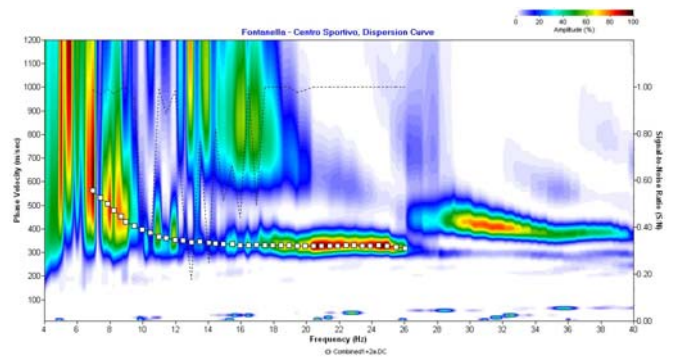
REGISTRAZIONE ATTIVA MASW2



CURVA DI DISPERSIONE 1



CURVA DI DISPERSIONE 2



AREA 1**AREA 2**

3.2 Calcolo delle V_{s30}

A partire dai modelli sismici monodimensionali riportati nei capitoli precedenti, è possibile calcolare il valore delle V_{s30} , che rappresenta la “velocità equivalente” di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio. Per il calcolo delle V_{s30} si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005 e nel D.M. 14.01.2008 (“Norme tecniche per le costruzioni”):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori. Utilizzando la formula sopra riportata si ottengono i seguenti valori (quota iniziale = piano campagna attuale):

MASW1 : $V_{s30} = 409.5$ m/s

MASW2 : $V_{s30} = 409.4$ m/s