

PGT

2023

Componente geologica, idrogeologica e sismica

F10

RELAZIONE GEOLOGICA
ANNO 2010

Settembre
2024

Adozione: Delibera n. 17 Seduta Consiliare del 27.02.2024
Approvazione: Delibera n. 59 Seduta Consiliare del 24.09.2024
Pubblicazione: BURL Serie Avvisi e Concorsi n. del

Sindaco
Juri Imeri

Assessore Urbanistica
Alessandro Nisoli

Segretario Generale
Giuseppe Mendicino

Direzione Gestione del Territorio
Silvio Cerea

Servizio Gestione del Territorio
Fausto Finardi
Francesca Corna
Benedetta Silva
Antonella Donghi
Mirko Garibaldi
Alberto Quarti

Progettista PGT
Marcello Fiorina
Elisabetta Nani
Alessandro Rota Martir

Carta consumo suolo
Alessandro Oliveri
Michela Gabaldi
Massimo Spinelli

Reticolo idrico, componente geologica, idrogeologica e sismica
Antonio Galizzi

Analisi territoriali
Università di Bergamo
CST "Lelio Pagani"
Fulvio Adobati
Andrea Azzini
Renato Ferlinghetti
Emanuele Garda
Alessandro Oliveri
Mario Paris

Mobilità
MIC-HUB srl
Francesco Betta
Federico Parolotto

Autorità competente ufficio Ambiente
Luca Zambotti

VAS
Fabrizio Monza

Elaborazione grafica
Gruppo Maggioli
Davide Vasecchi
Francesco Fagiani

PGT | Piano di Governo del Territorio

COMUNE DI TREVIGLIO
PROVINCIA DI BERGAMO

COMUNE DI TREVIGLIO

PROVINCIA DI BERGAMO

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI 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

Associazione Temporanea di Professionisti

Dr. Geol. Francesco SERRA - Dr. Geol. Marco DAGUATI - Dr. Geol. Daniele GEROSA

c/o : Studio di Geologia Tecnica e Servizi per l'Ambiente 26027 Rivolta d'Adda (CR)

mail : studiogeoserra@serrafra.191.it; tel. 036377089; fax 0363707620

Commessa: 902			Numero pagine: 93			
A	**12/05/2009**	**EMISSIONE**	**AS-DG-SF**	**DM/SF**	**SF**	
B	***17/11/2010***	**EMISSIONE**	**AS-DG-SF**	**DM/SF**	**SF**	
Rev.	*Data*	*Descrizione*	*Redatto*	*Controllato*	*Approvato*	

INDICE GENERALE

1. PREMESSA 4

1.1 STRUTTURA DELLA RELAZIONE 5

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO 6

3. CLIMATOLOGIA 8

3.1 METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA 8

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E GEOPEDOLOGICO 18

4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE 18

4.2 UNITÀ LITOLOGICHE 19

4.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO 21

4.4 INQUADRAMENTO GEOPEDOLOGICO 25

5. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO 29

5.1 IDROGRAFIA 29

5.2 IDROGEOLOGIA 30

5.2.1 Struttura delle falde idriche della pianura bergamasca *30*

5.2.2 La falda superficiale nel territorio del Comune di Treviglio *35*

6. CARATTERI GEOLOGICO-TECNICI DEL TERRITORIO 43

6.1 CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI 43

7. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO 49

7.1 SISMICITÀ STORICA E RECENTE 53

7.2 ANALISI DI PRIMO LIVELLO 58

7.3 ANALISI DI 2° LIVELLO : SCENARIO PSL Z4 - AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE 59

7.3.1 Approccio metodologico *62*

7.3.2 FREQUENZE DI VIBRAZIONE PRINCIPALI 63

7.3.3 CALCOLO DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DI SITO FA 66

7.3.4 ANALISI DEI DATI E CONSIDERAZIONI 67

8. CARTA DEI VINCOLI 72

8.1 RACCORDO CON GLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA 73

9. CARTA DI SINTESI 83

10. CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO 85

10.1 GENERALITÀ 85

10.2 CLASSI DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA E NORME GEOLOGICHE DI PIANO 86

10.3 NORMATIVA ANTISISMICA ED ULTERIORI PRESCRIZIONI GENERALI 92

ELENCO ALLEGATI

ALLEGATO A – TRINCEE ESPLORATIVE
ALLEGATO B – INDAGINI GEOFISICHE

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)

1. PREMESSA

Con determina n. 2007/002302 del 30 novembre 2007 il responsabile del Settore Lavori Pubblici, Impianti, ambiente, acquedotto su proposta del settore Urbanistica ha conferito agli scriventi l'incarico per '*lo svolgimento delle prestazioni professionali necessarie alla redazione del piano di governo del territorio per quanto attiene alla componente geologica, idrogeologica e sismica per la redazione del P.G.T ex L.R. 12/2005*' così come disposto all'art. 57 .

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, sottolineando come la propensione urbanistica ed edificatoria di un comune non possa prescindere dalla conoscenza dettagliata delle sue caratteristiche fisiche.

Il presente studio è stato predisposto seguendo quanto contenuto nella D.G.R. n. 8/1566 del 22 dicembre 2005, successivamente aggiornata con D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 che stabilisce 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"*.

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 specifici rilievi di campagna. Il risultato della fase di analisi è la redazione delle carte tematiche di inquadramento (*Tavola Geologica e Geomorfologica, Tavola Geopedologica, Tavola Idrogeologica, Tavola della Pericolosità Sismica Locale, Tavola di prima caratterizzazione geotecnica*) che costituiscono la base di dati da cui discende l'inquadramento sintetico ed analitico di cui ai punti successivi;

- 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.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il Comune di Treviglio è situato nella zona sud-occidentale della Provincia di Bergamo e presenta un'estensione areale di circa 31,5 km^2.

Confina a Nord con il comune di Pontirolo nuovo, Arcene e Castel Rozzone, a Ovest con il comune di Fara Gera D'Adda, a Est con il Comune di Brignano Gera d'Adda e Caravaggio e a sud con il comune di Casirate D'Adda e Calvenzano.

Il territorio del Comune di Treviglio è occupato per la maggior parte da aree a destinazione agricola, mentre l'area urbanizzata è localizzata nel settore centro-meridionale del territorio comunale.

L'area in esame è compresa nelle sezioni C5a5, C5b5, C6a1, C6b1, C6a2 e C6b2 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.00, aggiornata nel 1994 (si veda la figura 1). I limiti utilizzati nella cartografia sono quelli indicati univocamente dall'Amministrazione Comunale.

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 150 m s.l.m. in prossimità del confine Nord ai circa 116 m sl.m. in prossimità del confine Sud.

Tale regolarità plano-altimetrica risulta tuttavia interrotta della presenza di una scarpata morfologica dell'altezza massima di circa 14-15 m, nota con il nome di "costa trevigliese" che corre lungo tutto il settore occidentale e che individua l'inizio della valle del fiume Adda, corso d'acqua posto più ad ovest a circa 1.5 km dal confine comunale.

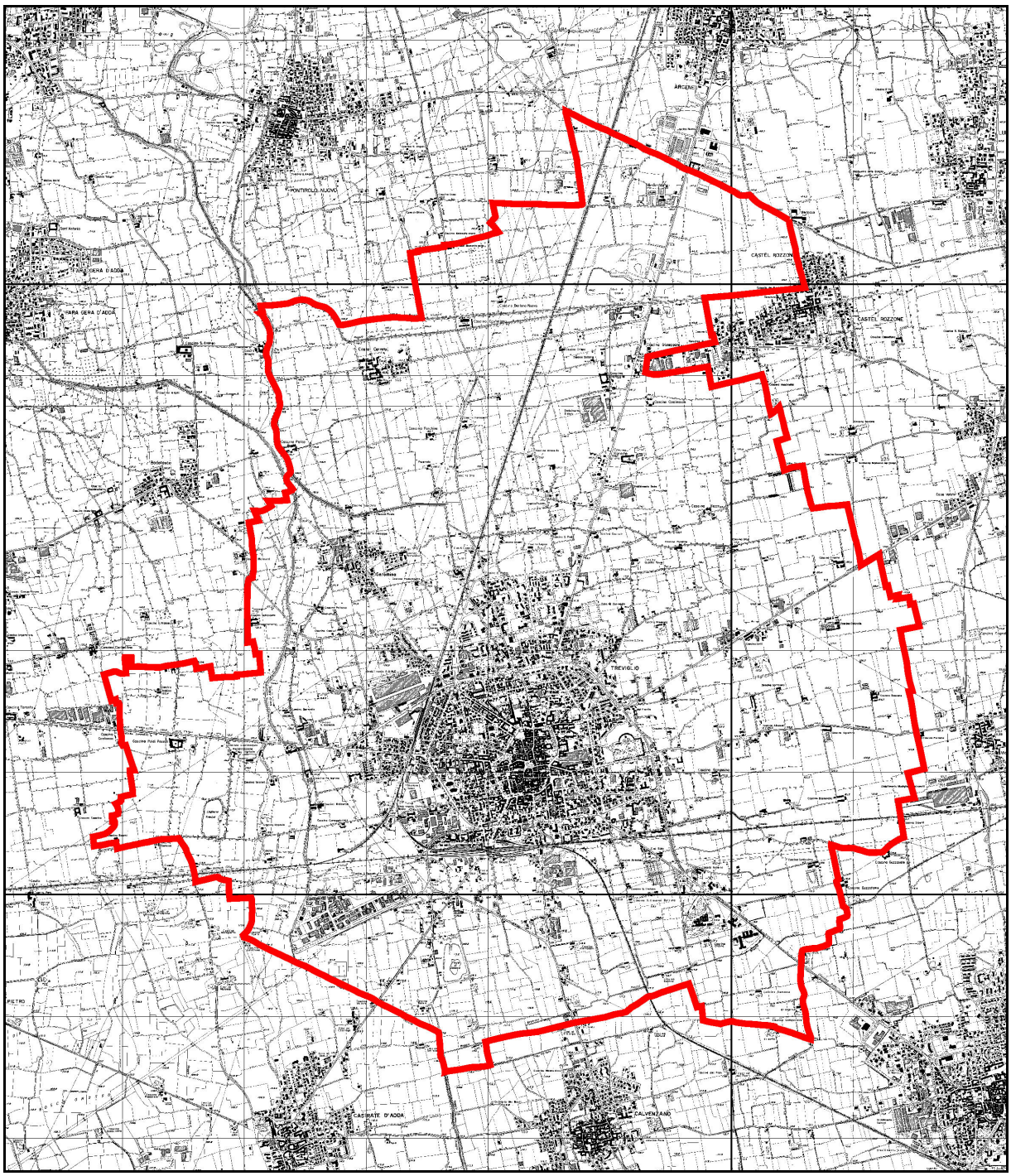


Figura 1: Estratto della Carta Tecnica Regionale riportante i limiti amministrativi del comune di Treviglio.

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).

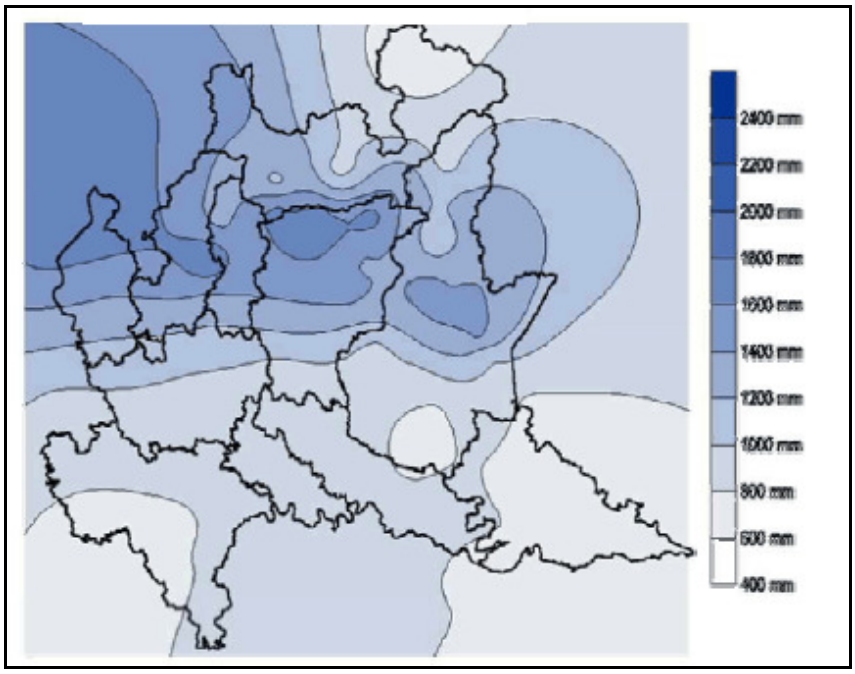


Figura 2: 50° percentile della quantità di pioggia caduta in un anno (anno medio)- Fonte: ERSAL

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.

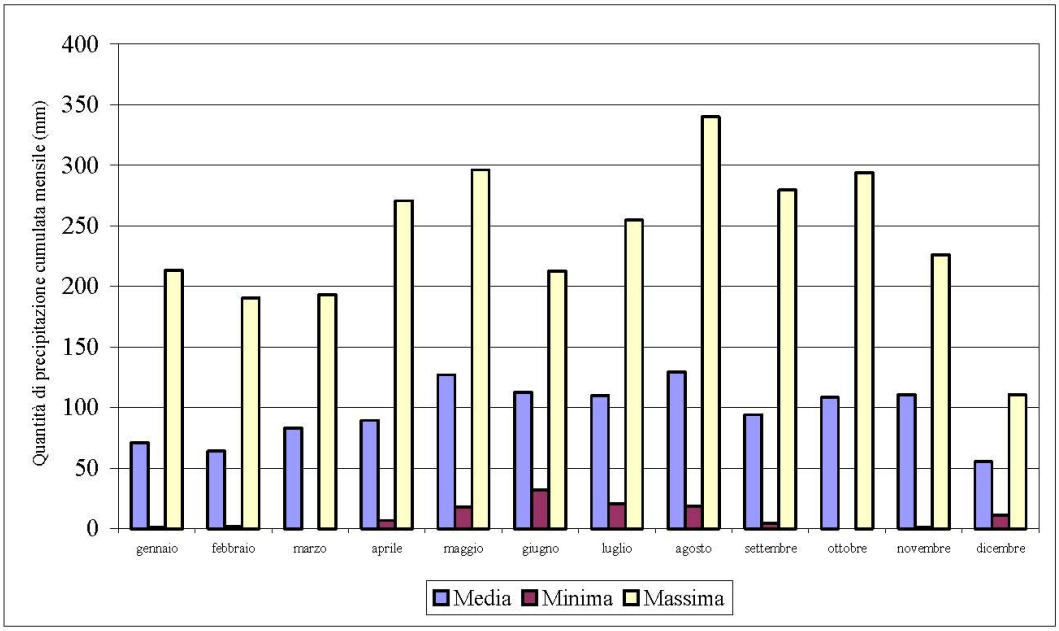


Figura 3: Distribuzione mensile della quantità di precipitazione minima, media e massima **-** Fonte: Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare

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 (si veda anche quanto riportato in figura 4 – Carta delle precipitazione medie annue).

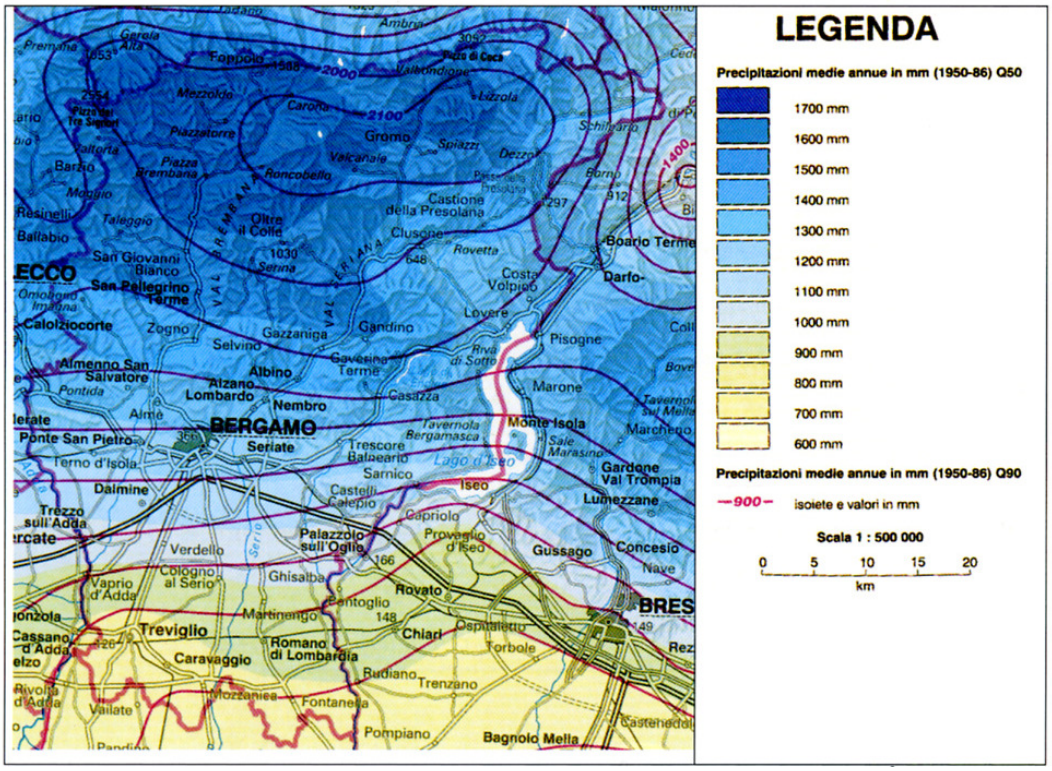
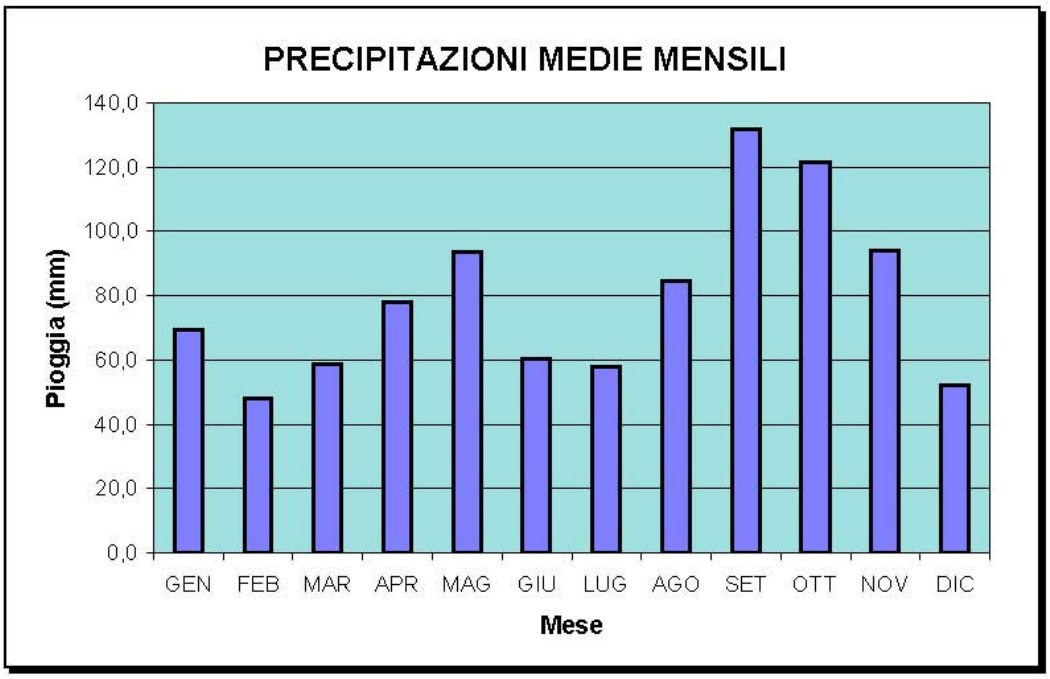


Figura 4: Carta delle precipitazioni medie annue sul territorio della Provincia di Bergamo.

Infine in figura 5 si riportano 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.

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).



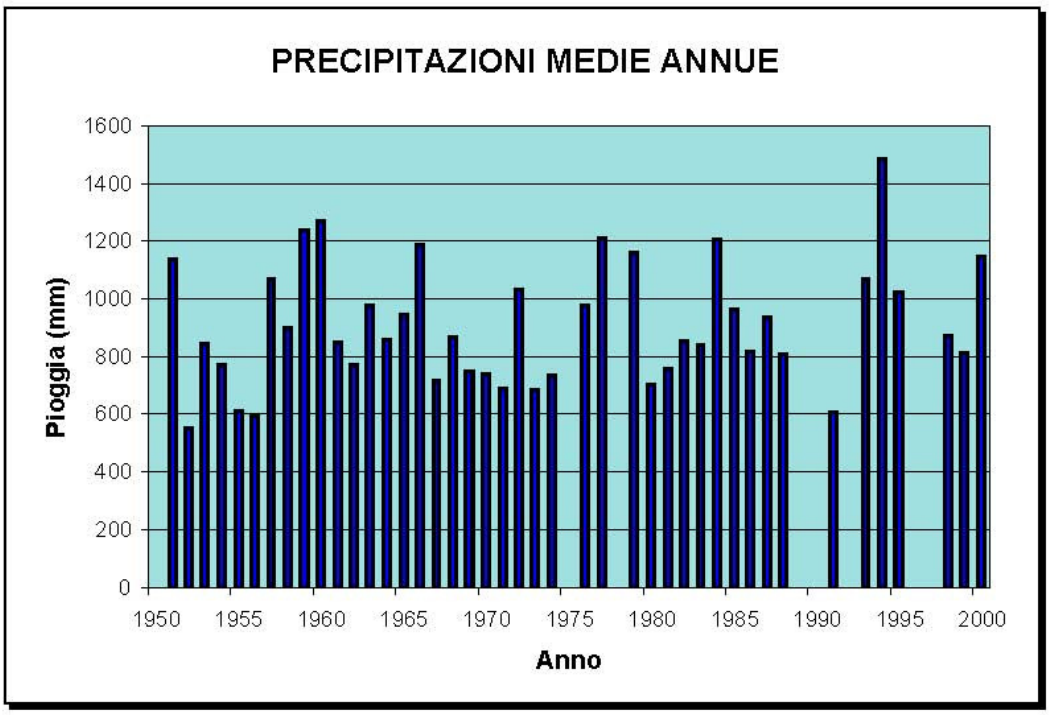


Figura 5: Diagrammi precipitazioni medie mensili e medie annue – stazione di Treviglio.

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).

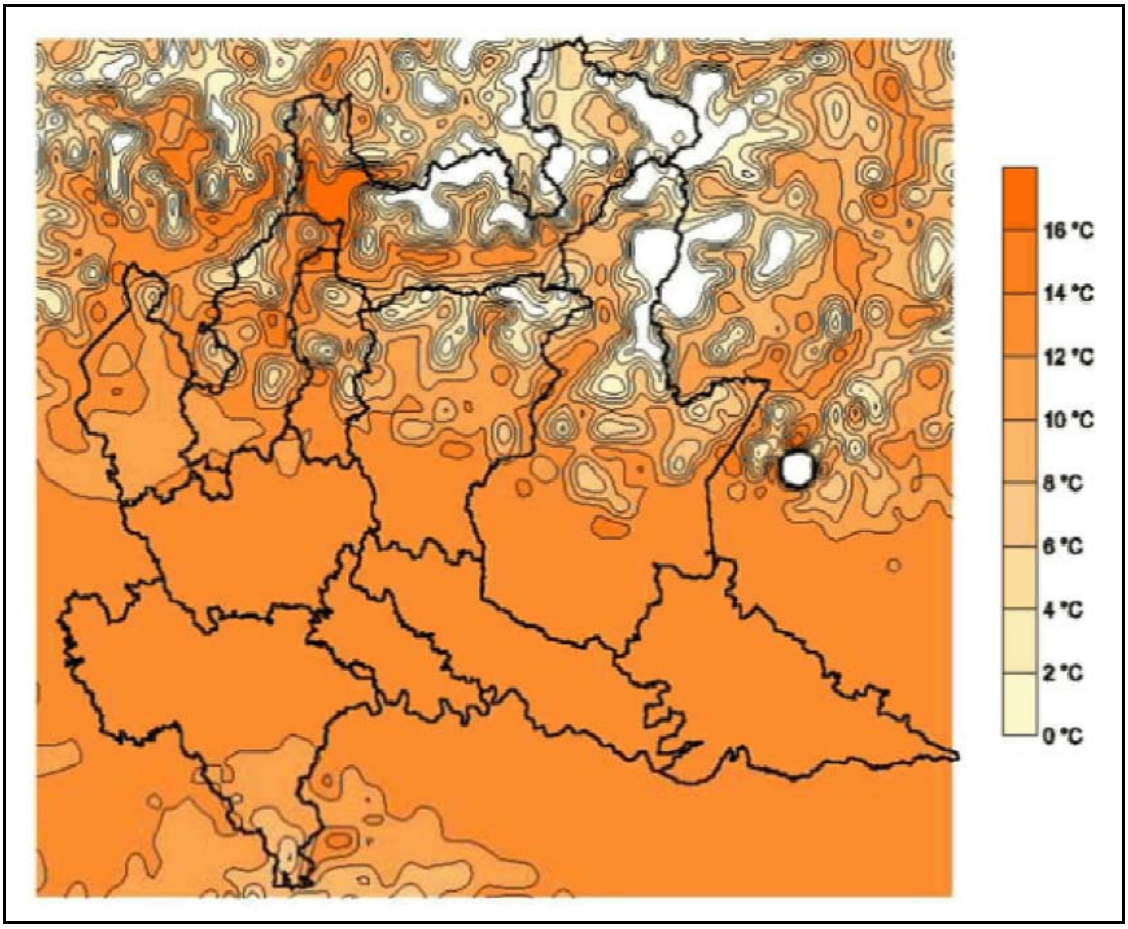


Figura 6: Temperature medie annue in °C - Fonte: ERSAL

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 7 si possono osservare le normali climatiche per i parametri temperatura minima e massima.

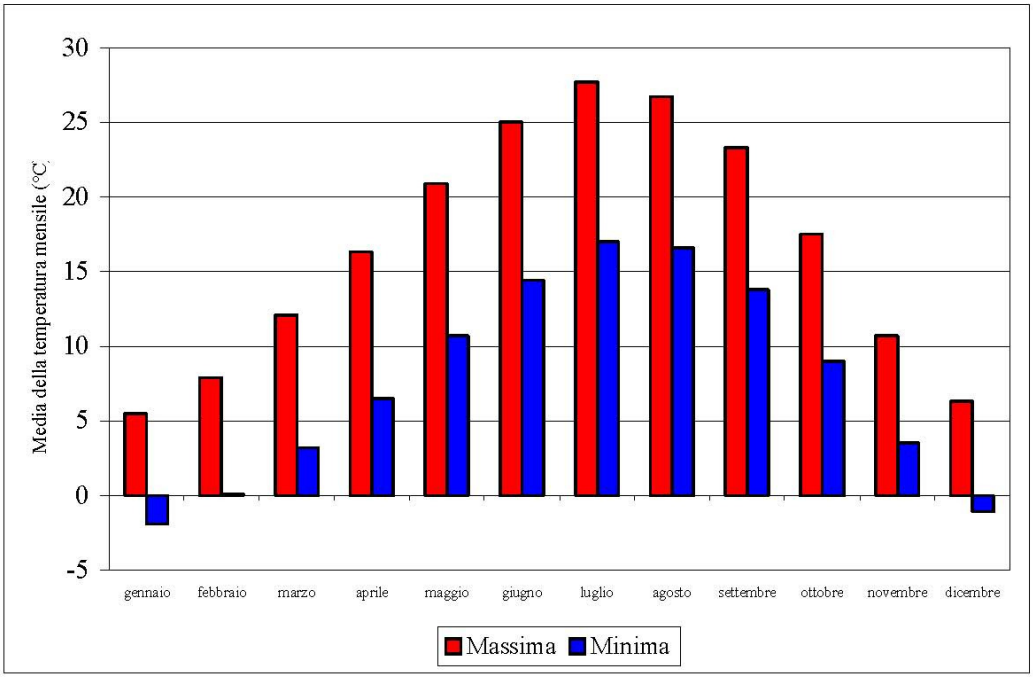
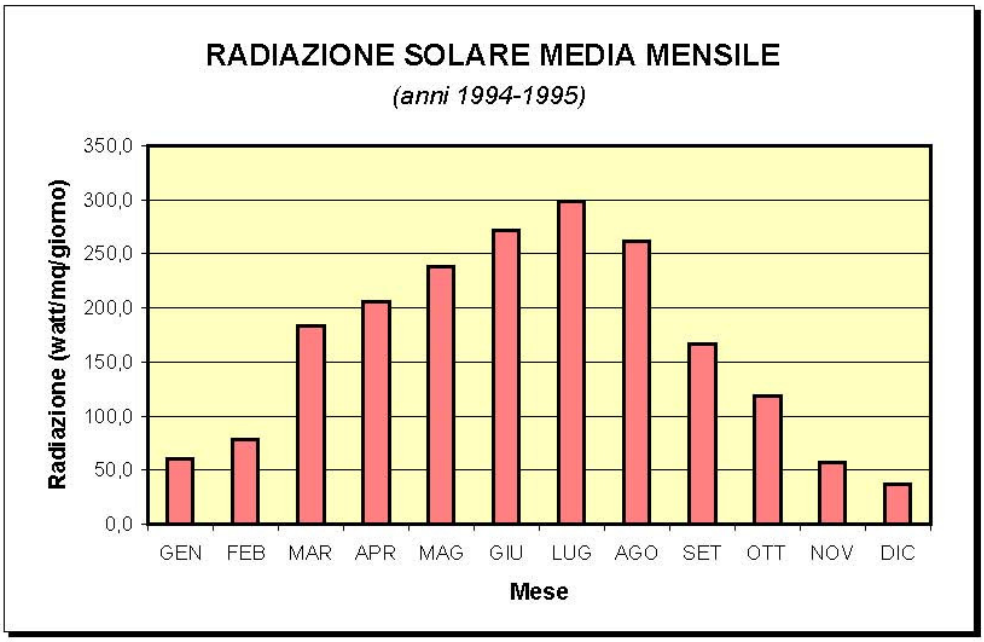


Figura 7: Distribuzione mensile della temperatura minima e massima **-** Fonte: Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare

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

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



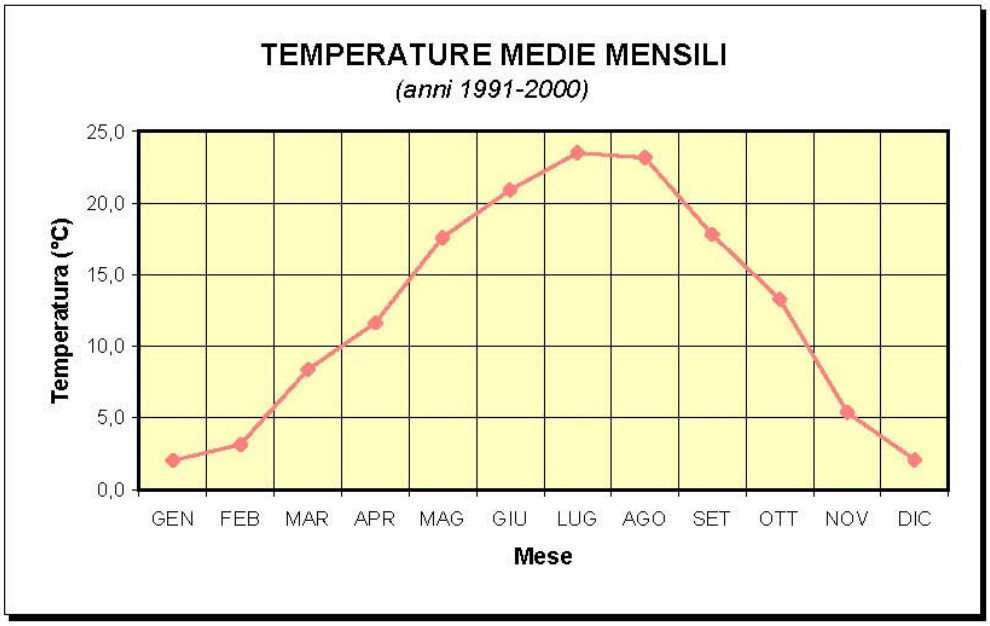


Figura 8: Radiazione solare media mensile – Temperature medie mensili

Come si può osservare, l'andamento dei diagrammi di figura 8 è raffrontabile e rispecchia la distribuzione della temperatura riportata in figura 7.

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 dedurne 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 9 è riportata la sintesi annuale delle frequenze relative delle direzioni di provenienza e del vento, osservate nella stazione di Bergamo Orio al Serio.

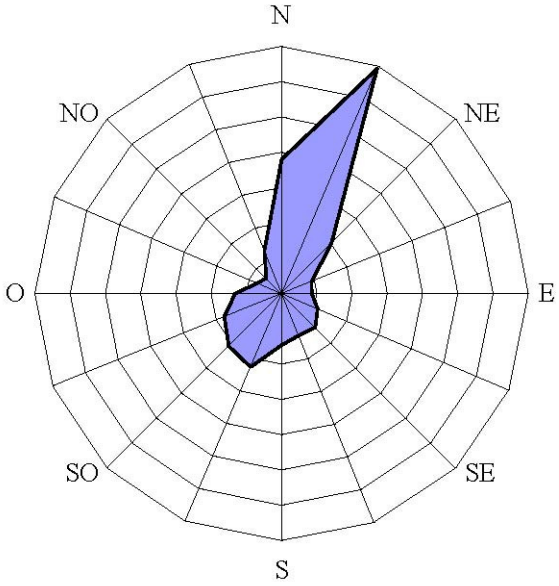


Figura 9: Rosa dei venti - Bergamo Orio al Serio fonte: Regione Lombardia - Piano Regionale di Risanamento della Qualità dell'Aria.

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.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E GEOPEDOLOGICO

4.1 Inquadramento geologico generale

Le informazioni geologiche e litologiche riguardanti il territorio di Treviglio 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.

Da un punto di vista generale, il territorio comunale di Treviglio risulta interamente occupato da depositi sciolti costituiti da sedimenti grossolani riferibili ad un ambiente deposizionale continentale di piana fluviale o fluvioglaciali (*Pleistocene medio – Olocene*).

Queste deposizioni, legate alle fasi glaciali-interglaciali che si sono succedute nel Quaternario, hanno controllato l'assetto morfologico del territorio portando alla formazione del cosiddetto "Livello Fondamentale della Pianura" (L.F.P. o Piano Generale Terrazzato), che nell'area del trevigliese si presenta come morfologicamente omogeneo e formato dall'aggradazione dei conoidi fluvioglaciali dell'Adda, del Brembo e del Serio in corrispondenza degli sbocchi vallivi.

Il "Livello Fondamentale della Pianura" identifica quindi un'unità fisiografica formata da sedimenti sciolti in superficie (ghiaie e sabbie con suoli profondi e ben sviluppati) e a volte cementati in profondità, delimitata a est dal Fiume Serio e a ovest dalla valle del Fiume Adda, la cui continuità areale è interrotta nel settore occidentale da scarpate erosive (orli di terrazzo) che identificano il sistema della valle del fiume Adda.

In questa valle è possibile distinguere più terrazzi morfologici ciascuno formato da depositi che si sono formati in età differenti e posti a quote diverse: si tratta di sedimenti sciolti, con tessitura da ghiaiosa a limosa, al cui tetto si trovano suoli poco evoluti.

Il fiume Adda poco a sud della sua confluenza con il Brembo, al termine della profonda incisione entro la quale scorre più a nord, ha potuto sviluppare la propria attività principalmente erosiva e subordinatamente deposizionale, generando, tra l'alveo attuale e la scarpata che delimita le alluvioni antiche, corpi terrazzati olocenici.

Nella zona del fiume Serio, i depositi olocenici ricoprono in continuità i sedimenti precedenti. Infatti l'evoluzione morfologica del fiume Serio presenta una prevalenza delle fasi deposizionali su quelle erosionali, con la conseguente riduzione ai minimi termini della presenza di orli di terrazzo tra i sedimenti postglaciali olocenici e quelli del Pleistocene Superiore.

4.2 Unità litologiche

Negli ultimi anni i criteri di rilevamento dei depositi quaternari sono stati completamente revisionati sia dal punto di vista metodologico che teorico. Ciò ha reso obsoleti i concetti e le terminologie precedentemente utilizzati, portando alla completa ridefinizione delle unità geologiche quaternarie.

I corpi sedimentari sono suddivisi in Unità Allostratigrafiche così come definite nel 1983 dalla *North American Commission on Stratigraphic Nomenclature* e successivamente modificate nel 1990 dal Gruppo di Lavoro per il Quaternario della Commissione Italiana di Stratigrafia (Bini et alii).

Le Unità Allostratigrafiche descrivono un corpo di rocce sedimentarie identificato in base alle discontinuità, compresa la superficie topografica, che lo delimitano che devono essere "tracciabili". Alla suddivisione delle unità Allostratigrafiche contribuiscono, oltre che la definizione delle discontinuità, vari aspetti quali l'interpretazione genetica, la ricostruzione della storia geologica, la morfologia ed i caratteri dei suoli.

Le unità allostratigrafiche non potendo essere estese al di fuori del bacino idrografico di appartenenza, hanno contribuito ad una maggiore articolazione dei sedimenti.

In questa nuova ottica, termini come *"Wurmiano"*, *"Alluvium"*, *"Diluvium"* hanno perso di significato.

Tuttavia, ad esclusione della Carta Geologica della Provincia di Bergamo, sono ancora scarsi i documenti cartografici basati sui nuovi concetti e criteri menzionati.

Al fine di fornire un inquadramento generale dl territorio in esame, descritto nel precedente paragrafo, si è scelto di basarsi sui tradizionali criteri delle unità geoclimatiche/morfostratigrafiche (*Carta Geologica d'Italia*) cercando di fornire una correlazione con le unità allostratigrafiche (*Carta Geologica della Provincia di Bergamo*).

Risulta così possibile effettuare una suddivisione all'interno del "Livello Fondamentale della Pianura" in unità bacinali pre-oloceniche in modo da identificarne la provenienza dei depositi esistenti.

Secondo lo schema ripreso dalla recente Carta Geologica della Provincia di Bergamo, il L. F.P. risulta individuato dall'Unità di Cantù, ascrivibile ai depositi del Bacino dell'Adda e che interessa il settore centro-occidentale e dall'Unità di Treviglio di pertinenza del Complesso del Brembo che si colloca nel settore centro-orientale.

Si sottolinea che il limite tra queste unità è da intendersi come indicativo non esistendo strutture morfologiche che ne consentano una univoca e certa separazione (linea tratteggiata).

Stesso discorso vale per il limite tra l'unità di Treviglio ed i depositi olocenici legati alla coalescenza delle conoidi del fiume Brembo e Serio (settore orientale) mentre il limite tra l'unità di Cantù ed i depositi alluvionali olocenici del fiume Adda (settore occidentale) risulta ben evidente e chiaramente individuabile su terreno per la presenza di una netta scarpata morfologica.

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

1 - UNITA' POSTGLACIALE – Depositi Alluvionali Fiume Adda (Pleistocene superiore – Olocene): si tratta di depositi di natura prevalentemente gjiaioso-sabbiosa con occasionali eteropie verso terreni più fini (sabbie e limi); costituiscono le alluvioni antiche del fiume Adda poste a contatto con i depositi fluvioglaciali; sono caratterizzati da variabilità sia per quanto riguarda le caratteristiche tessiturali sia relativamente ai suoli evoluti sulla superficie limite superiore.

2 - UNITA' POSTGLACIALE – Depositi Alluvionali Fiume Brembo/Serio (Pleistocene superiore – Olocene) si tratta di depositi alluvionali costituiti prevalentemente da termini ghiaioso-sabbiosi (la sabbia è presente in percentuale inferiore) in matrice limoso-argillosa con profili podologici evoluti (spessore medio del suolo compreso tra 1 e 2 m) sviluppatesi all'interno di una depressione morfologica derivante dalla coalescenza dei conoidi pleistocenici del Brembo e del Serio.

3 Unità di Cantù - COMPLESSO DELL'ADDA – (Pleistocene medio - superiore): risulta rappresentata da depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie con ciottoli arrotondati a supporto di clasti e matrice, con matrice in genere sabbiosa e sabbie spesso a laminazione incrociata. L'unità di Cantù rientra nel bacino dell'Adda che rappresenta il conoide edificato dalle alluvioni dell'Adda connesse alla glaciazione wurmiana.

4 Unità di Treviglio - COMPLESSO DEL BREMBO (Pleistocene medio - superiore): risulta rappresentata da depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa e ciottoli arrotondati; la stratificazione è grossolana e questi depositi risultano ricoperti da spessori decimentrici di limi a raro scheletro diffuso, riconducibili a limi di esondazione. L'unità di Treviglio rientra nel "Complesso del Brembo" che rappresenta il conoide edificato dalle alluvioni brembane connesse alla glaciazione wurmiana che nella zona di pianura è caratterizzato dall'assenza di coperture loessiche.

Facendo riferimento alle caratteristiche litologiche medie delle unità che costituiscono il territorio in esame si può affermare che il primo sottosuolo di Treviglio sia costituito in prevalenza da depositi con litologia analoga (ghiaie e sabbie) anche se di genesi differente; nel settore orientale vi è la presenza di uno strato argilloso-limoso superficiale con spessore variabile fino ad un massimo di 1-2 m.

4.3 Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico il territorio comunale di Treviglio risulta nella sua maggioranza pressoché pianeggiante con variazioni di modesta entità delle caratteristiche topografiche e morfologiche; tale continuità risulta interrotta da un **orlo di terrazzo**, che si dispone nel settore occidentale con andamento prevalentemente nord-sud: tale scarpata separa il ripiano morfologico principale (il cosiddetto "Livello Fondamentale della Pianura") con il bordo del sistema della valle del fiume Adda. Presenta un'altezza massima di circa 15 nel

settore settentrionale e diminuisce passando da nord verso sud, dove raggiunge mediamente i 6-7 m (foto seguente).



Scarpata morfologica (in primo piano i terreni alluvionali più recenti)

A questo orlo principale e ben visibile su terreno sono stati evidenziati ulteriori scarpate morfologiche presenti sul territorio, ma di modeste estensioni e differenza topografica (scarpate secondarie) ed a scarsa o nulla valenza ambientale.

Ulteriori elementi morfologici riscontrati sul territorio in seguito alla campagna di rilevamento sono le forme di origine antropica dovute alla necessità dell'uomo sia di creare manufatti (urbanizzazione, aree estrattive, infrastrutture), sia di rendere tali manufatti sicuri (ad es. argini del reticolo idrico per proteggersi dalle esondazioni dei corsi d'acqua) che di modellare il territorio per renderlo più produttivo.

La fitta **rete di canali irrigui** costituisce un elemento geomorfologico di rilevante entità, la cui presenza si manifesta attraverso il ribassamento del piano campagna (**foto seguente**).



Roggia Vignola

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

Un ulteriore elemento geomorfologico è legato alla presenza di aree soggette ad attività estrattiva passata ed in corso: le attività estrattive passate si localizzano nel settore

meridionale (senza emergenza di acqua di falda) e nel settore occidentale (con emergenza dell'acqua di falda).

Le attività estrattive in corso (ampliamento e/o nuova concessione), così come previsto dal Piano Cave della Provincia di Bergamo (anno 2008), si localizzano nel settore settentrionale del territorio comunale e risultano: l'ambito estrattivo **ATEg8** (foto seguente) ed il nuovo ambito **ATEg22.**

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



Ambito estrattivo ATEg8.

4.4 Inquadramento geopedologico

In un territorio come quello di Treviglio, 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.

Le caratteristiche principali del suolo utili ai fini geologici sono la sua natura (caratteri litologici) ed il suo sviluppo verticale (spessore).

I dati relativi alle caratteristiche podologiche sono stati tratti dalla pubblicazione *"I suoli del Trevigliese"* edita dall'ERSAL nel 1996 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, si nota come il territorio di Treviglio possa essere sommariamente suddiviso in due principali ambiti territoriali: il **settore centro-orientale**, localizzato sul livello fondamentale della pianura, ove sono presenti suoli piuttosto antichi e profondi, in quanto originatisi su substrato ghiaioso-sabbioso di origine fluvioglaciali ed il **settore occidentale** costituito dalle alluvioni antiche del fiume Adda, ove sono presenti suoli di origine più recente e più sottili.

Infatti dal punto di vista pedologico il territorio di Treviglio, localizzato in buona parte sul Livello Fondamentale della Pianura, è in gran parte caratterizzato dalla presenza di suoli piuttosto antichi, in quanto originatosi su substrato ghiaioso-sabbioso di origine fluvio-glaciale; il processo pedogenetico prevalente è rappresentato dall' "illuviazione dell'argilla", che ha portato alla formazione di un orizzonte di accumulo dell'argilla stessa (*orizzonte argillico*).

Solo nella porzione più occidentale del territorio costituito dalle alluvioni antiche e recenti del fiume Adda, sono presenti suoli di origine più recente, nei quali il processo pedogenetico più importante è quello di "alterazione del materiale parentale", che porta alla formazione di un orizzonte di alterazione (*orizzonte cambico*).

Nel territorio in studio il prevalere dell'uno o dell'altro fenomeno ha determinato le caratteristiche tassonomiche dei suoli.

A livello cartografico, nel territorio del Comune di Treviglio, sono state individuate tredici unità pedodologiche (ERSAF), così descrivibili:

CARTA PEDOLOGICA
(da Progetto "Carta pedologica - I SUOLI DEL TREVIGLIESE " ERSAL, 1996 - MODIFICATA)

SISTEMA E SOTTOSISTEMA	UNITA'	SOTTOUNITA'	U.C.	SIGLA	DESCRIZIONE DEL SUOLO	U.S.D.A. 1990	Classi d'uso
SISTEMA - L Piana fluvioglaciale e fluviale costituente il Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P.). Sottosistema LG Pinura ghiaoso-ciottolosa a monte della fascia delle risorgive, prevalentemente utilizzata a seminativo o prato.	Aree pianeggianti modali. Sono fortemente urbanizzate ed industrializzate.	Aree ben drenate, a substrato ciottoloso-sabbioso calcareo, con presenza in superficie di pietrosità moderata o comune, piccola.	2	CRZ1	Suoli profondi o moderatamente profondi, scheletro comune, tessitura media su moderatamente fine, reazione neutra, non calcarei drenaggio buono o mediocre.	Typic Hapludalfs fine, mixed, mesic.	IIws
			3	RVR1	Suoli moderatamente profondi limitati da substrato ciottoloso-sabbioso, scheletro comune o frequente, tessitura media, reazione neutra, non calcarei drenaggio buono.	Calcic Rhodudalfs fine-loamy, mixed, mesic	IIs
			4	MNS1	Suoli moderatamente profondi limitati da substrato ciottoloso-sabbioso, scheletro frequente o abbondante, tessitura media, reazione neutra, non calcarei drenaggio buono.	Typic Hapludalfs loamy-skeletal, mixed, mesic	IIIs
		Aree ben drenate, a substrato ciottoloso-sabbioso non calcareo, con pietrosità superficiale moderata o comune, piccola	5	TES1	Suoli moderatamente profondi limitati da substrato ciottoloso-sabbioso, scheletro frequente o abbondante, tessitura moderatamente grossolana, reazione neutra, non calcarei drenaggio moderatamente rapido.	Typic Argiudolls loamy-skeletal, mixed, mesic	IIIs
		Aree a substrato prevalentemente limoso-argillosi, non calcarei, sovrastanti ghiaie a drenaggio localmente rallentato, prive di pietrosità superficiale	6	LAL1	Suoli profondi o molto profondi, privi di scheletro, tessitura media in superficie e moderatamente fine in profondità, reazione neutra, non calcarei drenaggio buono o mediocre.	Typic Paleudalfs fine-silty, mixed, mesic	IIws
			7	MAS2	Suoli moderatamente profondi limitati da substrato ciottoloso-sabbioso alterato, privi di scheletro, tessitura media o moderatamente fine, reazione neutra, non calcarei, drenaggio buono, localmente mediocre.	Typic Hapludalfs fine-silty, mixed, mesic	IIs
	Aree subpianeggianti di transizione ai prinicipali sistemi fluviali e leggere depressioni fossili dovute a linee di flusso secondario. Il drenaggio è buono.	Aree piane a substrato ciottoloso-sabbosi, con pietrosità superficiale comune od elevata, piccola.	11	CPN1	Suoli da sottili a moderatamente profondi limitati da substrato scheletrico, scheletro frequento o abbondante, tessitura media o moderatamente grossolana, reazione subalcalina, scarsamente calcarei, drenaggio moderatamente rapido, localmente buono.	Typic Eutrochrepts loamy-skeletal, mixed, mesic	IIIs
		Aree a substrato ciottoloso-ghiaioso, di transizione al fiume Adda, con morfologia poco ondulata e presenza di terrazzi che si raccordano alla superficie modale. La pietrosità è comune, media.	12	CNU1	Suoli moderatamente profondi limitati da substrato ciottoloso-sabbioso, scheletro da comune a frequente, tessitura media, reazione neutra subalcalina, moderatamente calcarei, drenaggio buono.	Typic Eutrochrepts loamy-skeletal, mixed, mesic	IIIs
SISTEMA - V Valli alluvionali corrispondenti ai piani di divagazione dei corsi d'acqua attivi o fossili, rappresentanti il reticolato idrografico olocenico. SOTTOSISTEMA -VT- Aree terrazzate poste in posizione intermedia tra la pinuara (L.F.d.P.) e le piane alluvionali, generalmente interessate da dinamiche fluviali antiche.	Superfici alluvionali terrazzate subpianeggianti modali, variamente ribassate rispetto al Livello Fondamentale della Pianura. Sono utilizzate prevalentemente a seminativo o prato stabile.	Aree ribassate 5-10 m, costituite da depositi calcarei, di pertinenza dei fiumi Brembo e Adda. Pietrosità superficiale moderata o comune, piccola.	20	MLZ1	Suoli moderatamente profondi limitati da substrato ghiaioso-ciottoloso, scheletro frequente, tessitura media, reazione subalcalina, non calcarei, drenaggio buono.	Typic Argiudolls coarse-loamy, mixed, mesic	IIIs
		Aree ribassate mediamente di 10 m, talora inclinate, costituite in prevalenza da depositi ghiaioso ciottolosi, di pertinenza del fiume Brembo. Pietrosità, superficiale comune, piccola .	22	DER1	Suoli moderatamente profondi limitati da substrato ghiaioso-ciottoloso, scheletro comune o frequante, tessitura media o moderatamente fine, reazione neutra o subalcalina, non calcarei, drenaggio buono, a volte mediocre.	Typic Hapludalfs fine-loamy, mixed, mesic	IIs
		Aree ribassate mediamente di 5-15 m, a substrati limoso-sabbiosi s/o ciottolosi, prevalentemente di natura calcarea, di pertinenza del fiume Adda. Pietrosità, superficiale da comune ad elevata .	23	BAD1	Suoli moderatamente profondi limitati da substrato ghiaioso-sabbioso, scheletro frequente o abbondante, tessitura moderatamente grossolana, reazione alcalina, moderatamente calcarei, drenaggio moderatamente rapido.	Typic Hapludoll loamy-skeletal, mixed, mesic	IIIs
		Aree ribassate 5-15 caratterizzate da idromorfia. Pietrosità, superficiale elevata, piccola .	25	ARZ1	Suoli sottili limitati da falda permanente, scheletro comune, tessitura moderatamente grossolana, reazione subalcalina, scarsamente calcarei, drenaggio molto lento.	Typic Calciaquolls sandy-skeletal, mesic	IVws
	Aree lievemente depresse rispetto alle circostanti, a substrato ghiaioso-ciottoloso, corrispondenti ad alvei e meandri abbandonati. Sono coltivate a prato e presentano drenaggio imperfetto.	Aree comprendenti paleoalvei o paleomeandro. Pietrosità, superficiale da scarsa a comune, piccola .	27	BRB4	Suoli sottili limitati da substrato ghiaioso-ciottoloso, scheletro scarso, tessitura media, reazione alcalina, molto calcarei, drenaggio moderatamente rapido.	Entic Hapludolls coarse-loamy over sandy-skeletal, mixed, (calc.) mesic	IVs
	AREE URBANIZZATE						

Legenda Carta Geopedologica

Sulla base dei dati pedologici è possibile individuare le potenzialità agro-silvo-pastorali del territorio attraverso la sua suddivisione in aree che presentano limitazioni più o meno consistenti agli usi suddetti, in modo da ridurre il rischio di degradazione dei suoli.

Uno dei più importanti metodi di classificazione del territorio in aree a diverso grado di capacità d'uso dei suoli è quello elaborato dal "Soil Conservation Service" del Dipartimento dell'agricoltura degli Stati Uniti (USDA) denominato "Land Capability Classification".

Tale sistema, appositamente adattato alla realtà della Regione Lombardia, è stato adottato dall'ERSAL nell'ambito del "Progetto Carta Pedologica".

Esso è organizzato gerarchicamente in tre livelli (vedi tabella 1): classe, sottoclasse, ed unità.

Le classi previste sono otto, designate ciascuna con un numero romano che indica il grado di capacità d'uso, ovvero l'entità delle limitazioni all'utilizzo agro-silvo-pastorale dei suoli. Le limitazioni all'utilizzo agro-silvo-pastorale dei suoli crescono al crescere della classe.

Le sottoclassi, indicate con una lettera minuscola che segue il numero romano, individuano il tipo di limitazione prevalente.

Come si può evincere dalla Tavola 2, nel territorio di Treviglio sono del tutto assenti suoli di I classe di capacità d'uso, cioè suoli che non presentano limitazioni all'uso agricolo-forestale.

La maggior parte del territorio di Treviglio appartiene alla III classe di capacità d'uso, aree più limitate ma significative vengono attribuite alla classe II e IV.

Le limitazioni d'uso sono legate, per lo più, a caratteristiche intrinseche dei suoli quali la moderata profondità, l'abbondante presenza di scheletro e/o di pietrosità superficiale, il drenaggio rapido, ecc.

SUOLI ADATTI ALL'AGRICOLTURA	Classe I	Suoli con scarsi o nulli fattori limitanti, adatti ad ospitare una vasta gamma di colture arboree ed agrarie, che necessitano di ordinarie pratiche gestionali per il mantenimento della produttività.
	Classe II	Suoli con alcune limitazioni facilmente controllabili, che riducono la scelta delle colture e richiedono moderate pratiche di conservazione.
	Classe III	Suoli con severe limitazioni che riducono la scelta delle colture impiegabili e/o richiedono particolari pratiche di conservazione.
	Classe IV	Suoli con limitazioni molto severe, che restringono maggiormente la scelta colturale e richiedono pratiche di conduzione accurate, spesso difficoltose e dispendiose.
SUOLI ADATTI AL PASCOLO ED ALLA FORESTAZIONE	Classe V	Suoli con scarsi rischi erosivi, ma con altre limitazioni ineliminabili che restringono il loro uso al pascolo alla praticoltura, forestazione, ripopolamento faunistico od al mantenimento dell'ambiente naturale.
	Classe VI	Suoli con limitazioni così severe da renderli inadatti a qualsiasi tipo di coltivazione e limitarne l'uso al pascolo, alla produzione di foraggio, forestazione, ripopolamento faunistico od al mantenimento dell'ambiente naturale.
	Classe VII	Suoli dalle limitazioni così severe da renderli inadatti alle coltivazioni e da restringere il loro uso al pascolo brado, alla forestazione od al mantenimento dell'ambiente naturale.
SUOLI NON UTILIZZABILI AI FINI AGRO-SILVO-PASTORALI	Classe VIII	Suoli o porzioni di territorio con tali e tante limitazioni da precludere il loro uso a qualsiasi fine produttivo e da limitarne l'utilizzo alla protezione paesaggistica, per scopi ricreativi, ed alla difesa dei bacini imbriferi.

Tabella 1 – Classi di capacità d'uso dei suoli della *Land Capability Classification*

5. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

5.1 Idrografia

Il territorio comunale di Treviglio pur non essendo interessato direttamente da corsi d'acqua principali è inserito fra i fiumi Adda e Serio che ne influenzano profondamente le caratteristiche morfologiche ed idrogeologiche, in particolare con riferimento all'Adda.

In questo ultimo, all'altezza di Canonica d'Adda (a N-NW di Treviglio), si getta il fiume Brembo da cui si origina buona parte del sistema irriguo di Treviglio.

E' infatti notevole la ricchezza delle opere idrauliche e delle relative soluzioni ingegneristiche costituite principalmente in una serie di "chiuse" in grado di regolare il flusso delle acque nei vari canali e rogge; per una corretta gestione del territorio è indispensabile che si mantengano tali opere in perfetta efficienza; la funzionalità dei fossi e delle rogge è un elemento prioritario ed imprescindibile, se si vogliono evitare spiacevoli fenomeni esondativi.

Attraverso diversi cavi e manufatti (manufatto del Ponte di San Vittore a Brembate, rogge Vignola e Moschetta) le acque vengono suddivise in molteplici diramazioni che attraversano tutto il territorio comunale.

Dal partitore di Castel Cerreto si dipartono la Roggia Di Sopra e la roggia Visconti (o Brembilla di Brignano); dalle rogge Vignola e Moschetta si dipartono, tramite paratoie, la Roggia Melzi e la Roggia Pasciti.

Per quanto riguarda gli elementi puntuali più interessanti, si rimanda alla cartografia dove sono riportati tutti gli elementi utili per un corretto inquadramento delle condizioni idrologiche del sito:

Si ricorda che, a norma di legge (*attuazione del D.G.R. 25 gennaio 2002 n.7/7868 e successiva modifica del D.G.R. 1 Agosto 2003 n.7/13950*), è necessario provvedere all'identificazione del reticolo idrico minore sulla base di un apposito studio che esula dal presente incarico e studio e che, alla data della redazione e della consegna del presente elaborato sino è ancora disponibile; pertanto le indicazioni generali riportate in cartografia, vanno intese come preliminari e di salvaguardia ed andranno verificate e modificate quando lo studio per l'identificazione del reticolo idrico minore di competenza comunale sarà stato approvato. In particolare qualsiasi modifica introdotta da quest'ultimo studio dovrà essere

recepita automaticamente e sostituirà quanto ad essa si riferisce nel presente studio e nei relativi elaborati cartografici.

Pertanto la fascia riportata in cartografia è forzatamente indicativa sia per quanto riguarda la fascia segnalata che per quanto riguarda i tratti indicati.

Inoltre anche dal punto di vista della resa cartografica, visto la necessità di utilizzare determinate scale di stampa, la fascia di 10 metri posizionata sulla carta va verificata nella realtà. Per cui :

- La fascia vincolata andrà verificata in sito a partire dalla posizione reale delle sponde di ogni singolo corso idrico. La normativa vigente stabilisce la necessità di mantenere una distanza di rispetto da ogni corso d'acqua di 10 metri, riducibili a quattro in particolari , documentate e giustificate condizioni;

- Il vincolo in oggetto riguarda solo il reticolo idrico minore: si ricorda che la Regione Lombardia ha suddiviso il reticolo idrico regionale in :
  - Reticolo idrico Principale come definito nell'all. A della DGR 01.10.08 n. VIII/8127;
  - Canali di bonifica e irrigui di competenza dei consorzi di bonifica (allegato D della DGR 7/7868 del 25.01.02 e s.m.i., in particolare LR 7/03 e DGR 7/20552 del 11.02.05);
  - Reticolo idrico minore: i corsi d'acqua ed i canali che non rientrano nei primi due casi.

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 ed 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 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.

Sintetizzando quanto sopra riportato a livello generale, lo schema idrogeologico di riferimento per il territorio di Treviglio risulta costituita da tre principali unità idrogeologiche distinguibili per la loro omogeneità di costituzione e di continuità orizzontale e verticale, così descrivibili (dalla più superficiale alla più profonda):

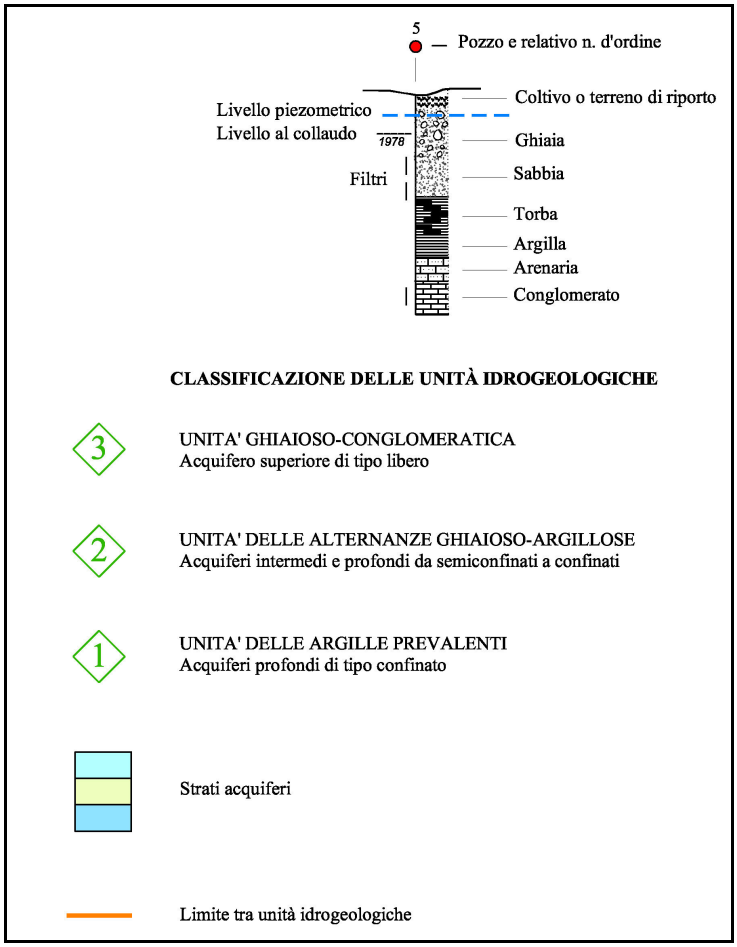
- **Unità ghiaioso-conglomeratica,** caratterizzata da depositi fluvioglaciali e fluviali ad elevata trasmissività, con prevalenza di termini ghiaioso-sabbiosi e conglomeratici. All'interno di tale unità sono localmente presenti orizzonti a bassa permeabilità rappresentati da sabbie limose, limi e argille, generalmente caratterizzati da una limitata estensione laterale. L'unità, dello spessore medio variabili da 50-65 m nel settore occidentale a 75-80 m nella parte più orientale, è sede dell'acquifero principale, di tipo libero o localmente semiconfinato, tradizionalmente captato dalla maggior parte dei pozzi pubblici e privati di Treviglio;

- **Unità delle alternanze ghaioso-argilose,** costituita da una successione di materiali nel complesso più fini, con argille grigie e gialle, talvolta fossilifere e torbose, caratterizzate da una discreta continuità laterale, cui si alternano strati di ghiaie sabbiose acquifere, conglomerati ed arenarie. Il limite superiore dell'unità mostra un andamento generalmente concorde con la superficie topografica, approfondendosi verso i settori meridionali. Nei livelli più grossolani e permeabili, sono presenti falde idriche intermedie e profonde da semiconfinate a confinate, generalmente riservate all'utilizzo idropotabile;

- **Unità delle argille prevalenti,** è costituita da depositi argilloso-limosi di origine transizionale e marina pressoché continui, attraversati solo dai pozzi più profondi (Treviglio Via Bellini, Treviglio Via Calvenzano).

La ricostruzione delle unità idrogeologiche sopra riportate si è basata sui dati stratigrafici dei pozzi presenti nel territorio di Treviglio e nei comuni limitrofi.

In figura 10 e 11 si riportano le sezioni idrogeologiche che mostrano la distribuzione degli strati acquiferi sopra descritti, tratte dal lavoro redatto dallo Studio Idrogeotecnico per la COGEIDE s.p.a. (anno 2006).



Legenda sezioni idrogeologiche

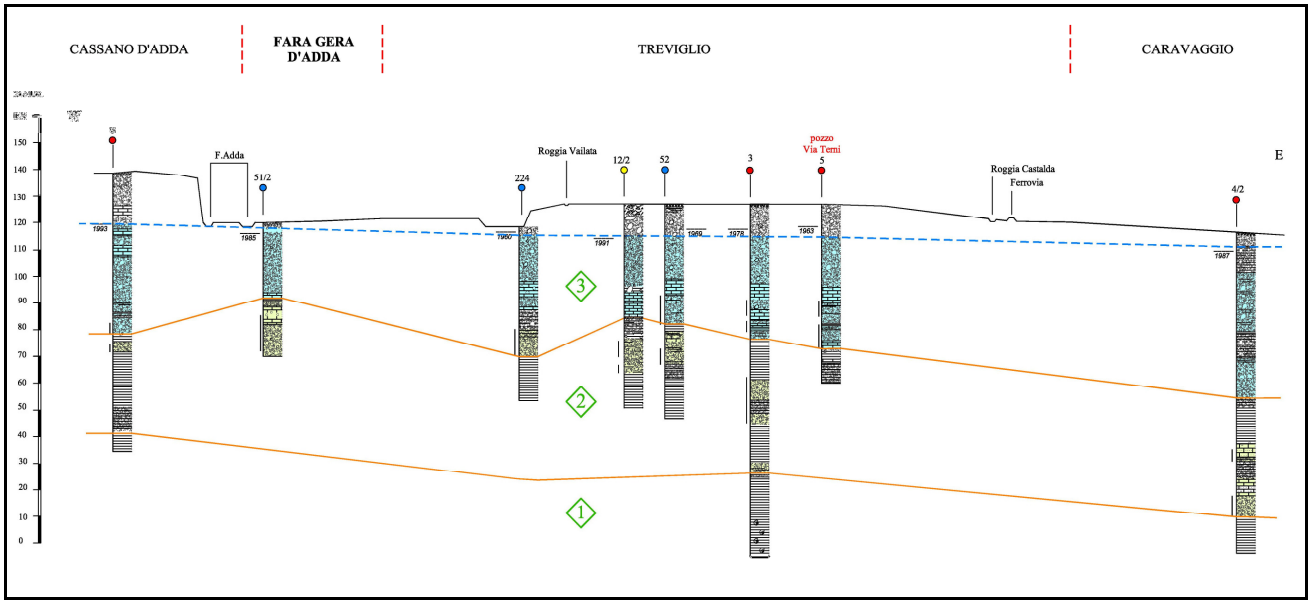


Figura 10: Sezione idrogeologica W-E passante per il settore centrale del territorio.

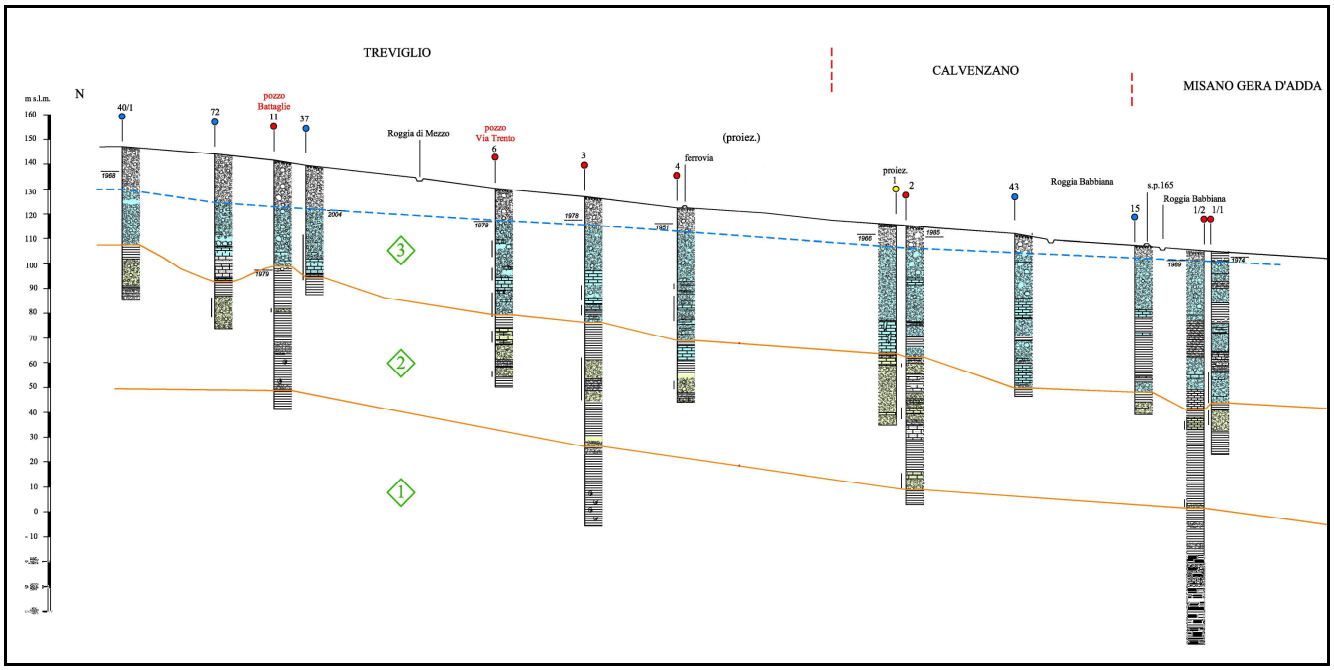


Figura 11: Sezione idrogeologica N-S.

5.2.2 La falda superficiale nel territorio del Comune di Treviglio

L'andamento della falda nel territorio del comune di Treviglio 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**).

Infatti nel settore occidentale si assiste ad una leggera rotazione delle linee di flusso che tendono ad orientarsi NE-SW: tale fenomeno è legato all'azione drenante esercitata dal fiume Adda.

Per quanto riguarda la morfologia della superficie piezometrica essa è stata ricostruita integrando i dati periodicamente rilevati dagli enti pubblici (Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca, la Provincia di Bergamo ed il comune di Treviglio) con la campagna di rilevamento effettuata nel 2008 nell'ambito del presente studio.

La superficie piezometrica presenta quote decrescenti passando da nord verso sud, comprese tra i 130 m s.l.m. ed i 113 m s.l.m.

Il gradiente idraulico medio decresce progressivamente in senso longitudinale, passando da valori di circa 8-10 ‰ nel settore settentrionale a valori di circa 1.5-1.8‰ nel settore centro-meridionale.

In tavola 3 si riporta inoltre l'ubicazione dei pozzi pubblici e privati presenti sul territorio comunale di Treviglio.

Confrontando la quota della superficie piezometrica con la quota topografica è possibile suddividere il territorio di Treviglio in 4 differenti classi di soggiacenza della la falda freatica che presentano una precisa distribuzione geografica:

- Il settore centro-settentrionale con soggiacenza media superiore ai 10 m;
- Il settore centro-meridionale e sud-occidentale con soggiacenza media compresa tra 5 e 10 m;
- Il settore sud-orientale con soggiacenza media compresa tra 2 e 5 m;
- il settore occidentale con soggiacenza media inferiore a 2 m.

Tali classi di profondità della falda sono da intendersi come medie con limiti indicativi, di tipo transizionale.

Per una completa disamine della profondità della falda freatica, bisogna tenere in considerazione anche il suo andamento nel tempo.

Analizzando le serie storiche dei pozzi di Treviglio (figura 12) si nota come i livelli piezometrici siano influenzati dalla pratica irrigua legata ai cicli colturali e dalle condizioni metereologiche (quantità delle precipitazioni).

A scala annuale le oscillazioni stagionali legate ai periodi irrigui determinano massimi piezometrici nel periodo tardo estivo o autunnale (agosto/settembre) e minimi nel periodo primaverile (aprile/magio) con escursioni variabili in funzione dell'andamento climatico della stagione irrigua.

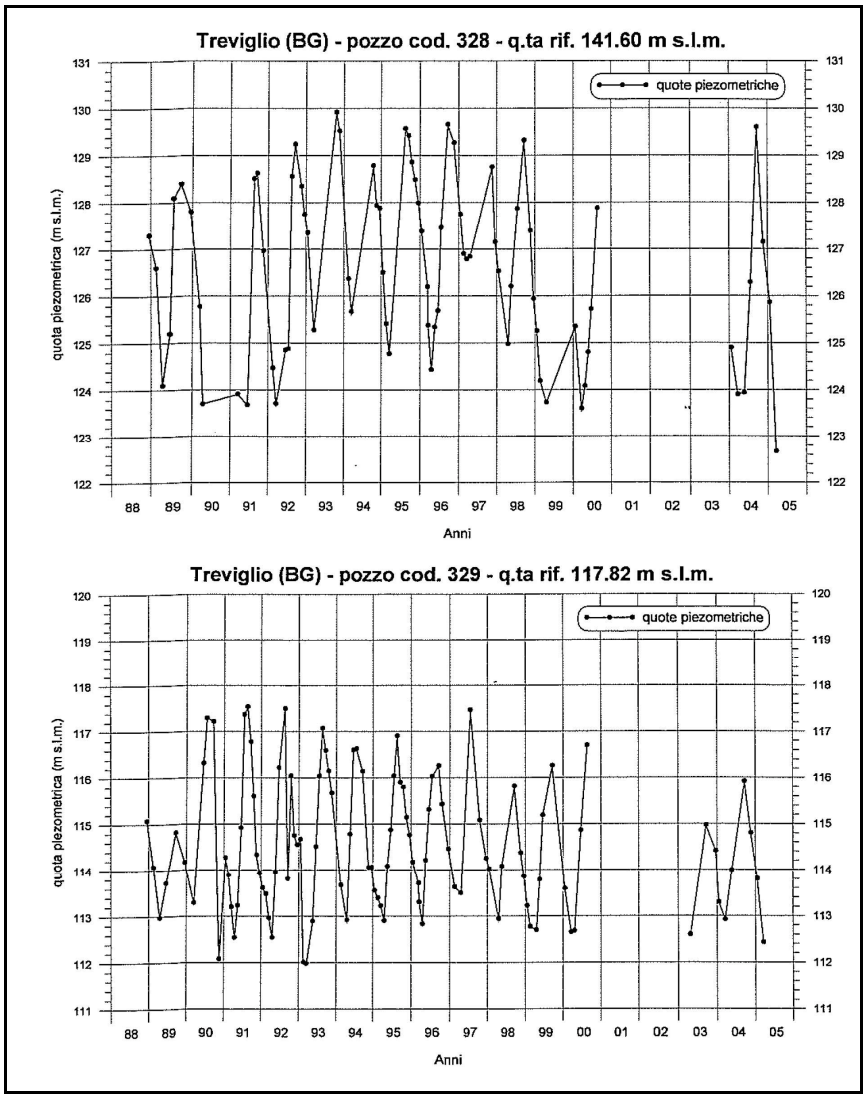


Figura 12: andamento delle quote piezometriche.

L'andamento dei valori estremi di oscillazione della falda mostra come le altezza minime corrispondano al periodo marzo-maggio per tutto il territorio mentre le altezze massime si presentano in corrispondenza di due periodi: agosto, per i pozzi posizionati nel settore orientale ed ottobre per tutti gli altri pozzi. Tale differenza risulta legata alla maggiore vicinanza alla linea dei fontanili.

Sempre a livello annuale, la massima escursione del livello piezometrico si presenta nella porzione settentrionale del territorio con valori dell'ordine di 5-7 m. Procedendo verso sud si osserva una progressiva riduzione dei valori di escursione che raggiungono mediamente i 3-4 m nella porzione centrale e circa 1-2 m per la zona più meridionale.

Come riportato in tavola 3, il territorio è stato inoltre suddiviso in classi di permeabilità che determinano assieme ad altri fattori il grado di protezione da una potenziale fonte di inquinamento proveniente dalla superficie (vulnerabilità intrinseca).

I valori di permeabilità sono stati stimati su grande scala utilizzando "range" di ragionevole ampiezza. In mancanza di prove di permeabilità e di portata, che per costi e caratteristiche non sono compatibili con lo scopo del lavoro, ci si è basati su un approccio empirico, fondato sui concetti teorici utilizzati negli studi idrogeologici generali.

Per una prima valutazione della permeabilità in terreni sciolti si è proceduto mediante il confronto fra i dati riportati in letteratura come tipici per le varie unità ed il confronto con semplice formule empiriche, di vasto utilizzo (anche se molto approssimative) quali la formula di Hazen, che si basa sulle dimensioni dei grani valutata mediante apposita granulometria (si sono utilizzate le granulometrie esistenti relative ai lavori pregressi).

La formula è la seguente :

$$K = (D_{10})^2$$

dove:

K = coefficiente di permeabilità espresso in m/s per 10^{-4}

D_{10} = diametro corrispondente al 10% di passante, espresso in millimetri

La permeabilità considerata è quella definita "subsuperficiale", ovvero quella porzione dei depositi che deve essere attraversata dalle acque meteoriche e/o dai fluidi provenienti dal piano campagna per raggiungere la falda acquifera.

Il tempo di deflusso dei fluidi dal p.c. alla zona satura (acquifero) è funzione, in senso lato, del grado di permeabilità e dello spessore dei materiali attraversati.

In sintesi i sedimenti in questione sono rappresentati da:

- SUOLO: porzione di sedimenti pedogenizzati, caratterizzata da un grado di permeabilità definita superficiale;

- SEDIMENTI COMPRESI NELLA ZONA DI AERAZIONE (senso lato), caratterizzati da un grado di permeabilità definita subsuperficiale.

Come terminologia relativamente alla permeabilità nella suddivisione delle unità si è fatto riferimento al seguente schema :

Valore di permeabilità	**Definizione**
$10 – 10^{-1}$ m/s	ELEVATA
$10^{-1} – 10^{-3}$ m/s	ALTA
$10^{-3} – 10^{-5}$ m/s	MEDIA
$10^{-5} – 10^{-8}$ m/s	BASSA
$10^{-8} – 10^{-12}$ m/s	NULLA

La valutazione della vulnerabilità dell'acquifero costituisce un valido strumento di pianificazione territoriale in quanto mette in evidenza le zone in cui maggiore è la facilità di contaminazione delle acque sotterranee da parte di una eventuale fonte inquinante.

Diversi sono i fattori principali che regolano la vulnerabilità dell'acquifero; questi fattori (Civita, 1994) da una parte sono legati alla velocità di passaggio dalla superficie alla falda dell'eventuale inquinante, dall'altra alle caratteristiche del deflusso sotterraneo e dai fenomeni di possibile attenuazione dell'impatto intrinseci all'ambiente.

Il tempo di transito dell'inquinante è legato a diversi fattori:

- la soggiacenza della falda, e cioè dallo spessore dell'aerato;
- le caratteristiche litostratigrafiche dell'aerato;
- le caratteristiche di permeabilità dell'aerato;
- le caratteristiche della copertura del suolo e la sua capacità di ritenzione specifica;
- la densità, viscosità e solubilità dell'inquinante;
- la ricarica attiva media globale della falda.

Il deflusso sotterraneo è funzione:

- delle caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero;
- della sua struttura, geometria e gradiente idraulico.

e quindi, la capacità di attenuazione dell'impatto degli inquinanti è regolata da:

- temperatura dell'acqua e delle rocce acquifere;
- caratteristiche dell'inquinante;
- spessore, tessitura, composizione mineralogica, ecc.. del suolo e dell'aerato, come visto nelle voci precedenti.

In primissima approssimazione gli elementi più importanti che concorrono a questa valutazione sono legati a due fattori:

- lo spessore, la litologia e la permeabilità della copertura superficiale (strato non saturo);
- la profondità e le caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero.

Gli elementi principali da considerare, soprattutto nella valutazione della vulnerabilità verticale sono quindi la velocità di infiltrazione (V_i), la soggiacenza della falda (S) e, di riflesso, il tempo di arrivo (T_a) del potenziale inquinamento in falda; questi fattori sono legati da un rapporto del tipo:

$$T_a = S/V_i$$

Analoghi concetti determinano la valutazione della vulnerabilità orizzontale (che tiene conto della diffusione dell'inquinante nell'acquifero) e della vulnerabilità complessiva (data dal rapporto fra la vulnerabilità verticale e quella orizzontale);la stima di questi fattori richiede però la conoscenza di parametri che nel nostro caso non sono disponibili e andranno ricercati puntualmente una volta nota l'area direttamente interessata da eventuali interventi in progetto.

Pertanto si è stimata una vulnerabilità verticale, con i dati in nostro possesso, utilizzando come riferimento la semplice tabella seguente dove la vulnerabilità di un

acquifero è legata direttamente alla durata del periodo necessario ad una sostanza inquinante per giungere dalla superficie alla falda.

TEMPO DI ARRIVO Ta	**CLASSE DI VULNERABILITA'**
> 20 ANNI	MOLTO BASSA
20 - 10 ANNI	BASSA
10 - 1 ANNO	MEDIA
1 ANNO - 1 SETTIMANA	ALTA
1 SETTIMANA - 24 ORE	ELEVATA
> 24 ORE	MOLTO ELEVATA

Come abbiamo visto nell'area sono presenti più falde sovrapposte; per la vulnerabilità si è quindi distinta quella relativa alla falda freatica (molto superficiale e vulnerabile) da quella profonda (profonda e meno vulnerabile).

Sulla base dei criteri sopra riportati è possibile identificare, così come riportato in **Tavola 3**, quattro principali unità a diversa permeabilità sub-superficiale ed a diversa vulnerabilità, così descrivibili:

1. TERRENI ALLUVIONALI CON COPERTURA POCO PERMEABILE COMPRESA TRA UNO E DUE METRI: comprende terreni limoso-argillosi a copertura di depositi alluvionali ghiaiosi o ghiaioso-sabbiosi; la permeabilità sub-superficiale varia da buona ad elevata. La vulnerabilità per la falda freatica varia da bassa a moderata; moderata la capacità protettiva del suolo.

2. TERRENI FLUVIO-GLACIALI CON COPERTURA PERMEABILE COMPRESA FRA UNO E DUE METRI: comprende i depositi fluvioglaciali di natura ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa limitati in superficie da una diffusa matrice limoso-argillosa; la permeabilità sub-superficiale varia da buona ad elevata, discreta in superficie. La vulnerabilità per la

falda freatica varia da moderata ad alta; bassa-moderata la capacità protettiva del suolo.

3. TERRENI FLUVIO-GLACIALI CON COPERTURA PERMEABILE INFERIORE A UN METRO: comprende i depositi fluvioglaciali di natura ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa generalmente privi di copertura superficiale; la permeabilità sub-superficiale varia da buona ad elevata. La vulnerabilità per la falda freatica risulta mediamente alta; bassa la capacità protettiva del suolo.

4. TERRENI ALLUVIONALI CON COPERTURA PERMEABILE COMPRESA FRA UNO E DUE METRI: comprende i depositi alluvionali di natura ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa limitati in superficie dalla presenza di locali matrici limoso-argillose; la permeabilità sub-superficiale varia da bassa ad elevata. La vulnerabilità per la falda freatica varia da alta ad elevata; bassa-moderata la capacità protettiva del suolo.

6. CARATTERI GEOLOGICO-TECNICI DEL TERRITORIO

Dopo aver individuato le unità litostratigrafiche, i caratteri geomorfologici ed idrogeologici del sito è possibile, sulla base dei dati esistenti, caratterizzare i terreni presenti in modo da fornire una prima suddivisione in unità a comportamento geologico-tecnico omogeneo.

Per caratterizzazione geologico-tecnica si intende, in questa sede, una prima definizione delle proprietà geotecniche in relazione ad interventi di modificazione del territorio ai fini pianificatori e costruttivi.

Tutte le indicazioni riportate in questo capitolo e nella cartografia allegata (**Tavola 4**) hanno un carattere di inquadramento generale e non vanno considerate come sufficienti per dimensionare la realizzazione di opere puntuali.

Per la definizione delle caratteristiche geologico-tecniche dei terreni si sono in una prima fase analizzati i dati provenienti dalle indagini geognostiche effettuate sul territorio di Treviglio, presenti nell'archivio comunale ed allegati alle varie pratiche edilizie, a progetti di interesse pubblico e a supporto di nuove infrastrutture.

Una seconda fasi di analisi è consistita nell'esecuzione di una campagna di trincee esplorative distribuite sul territorio in modo da avere una copertura omogenea delle informazioni ed operare un confronto con quelle già disponibili, in modo da omogeneizzare i criteri classificativi.

6.1 Criteri di classificazione dei terreni

La classificazione adottata e riportata in Tavola 4 si è basata sui seguenti criteri :

- descrizione litologico-tecnica secondo le norme di classificazione della Associazione Geotecnica Italiana A.G.I. 1977 (figura 13);
- classificazione granulometrica secondo le norme tecniche del Sistema Unificato USCS (Unified Soil Classification System) adottato dal Corps of Engineers dal Bureau of Reclamation degli U.S.A., basate sostanzialmente sulle norme ASTM (D2487-75,

ecc..) che permettono di dare una precisa definizione tecnica dei terreni. Nella tabella in figura 14 si riportano i criteri utilizzati in questa classificazione (una delle più diffuse in campo geotecnico) con il significato delle varie sigle;

- indicazioni generali sullo stato di consistenza (per i terreni fini, argilloso-limosi a comportamento coesivo) o di addensamento (per i terreni grossolani, sabbioso ghiaiosi, a prevalente comportamento incoerente): ci si è basati innanzitutto sulle raccomandazioni A.G.I.;

- valutazione qualitativa delle principali caratteristiche tecniche (capacità portante, cedimenti prevedibili, stabilità dei versanti, stato di saturazione, ecc...) basata su dati esistenti in letteratura per terreni dalla analoghe caratteristiche, confrontati con i nostri rilevamenti ed osservazioni.

Sulla base di questi criteri è possibile suddividere il territorio di Treviglio nelle seguenti unità a caratteristiche geologico-tecniche sostanzialmente omogenee (vedi Tavola 4):

Unità 1

LITOSTRATIGRAFIA: Terreni limo argillosi di spessore metrico (mediamente 1-2 m) a copertura di depositi ghiaiosi progressivamente meglio selezionati con la profondità (ghiaia con matrice limo-argillosa seguita da ghiaia con sabbia da fine a media).
SUOLO: da mediamente a molto profondo di tipo II ws e II s
CLASSIFICAZIONE U.S.C.S.: CL-ML superficiale, seguita da GP e GW
SOGGIACENZA MEDIA DELLA FALDA: superiore a 10 m
VALUTAZIONE GENERALE: terreni di mediocri proprietà geotecniche negli orizzonti più superficiali (1-2 m), progressivamente migliori nei depositi granulari sottostanti. Il piano di posa ottimale per le strutture di fondazione si colloca al di sotto dell'orizzonte limo-argilloso superficiale.

Unità 2

LITOSTRATIGRAFIA: Terreni limo argillosi di spessore metrico (mediamente 1-2 m) a copertura di depositi ghiaiosi progressivamente meglio selezionati con la profondità (ghiaia con matrice limo-argillosa seguita da ghiaia con sabbia da fine a media).

SUOLO: da mediamente a molto profondo di tipo II ws e II s

CLASSIFICAZIONE U.S.C.S.: CL-ML superficiale, seguita da GP e GW

SOGGIACENZA MEDIA DELLA FALDA: compresa tra 5 e 10 m

VALUTAZIONE GENERALE: terreni di mediocri proprietà geotecniche negli orizzonti più superficiali (1-2 m), progressivamente migliori nei depositi granulari sottostanti. Il piano di posa ottimale per le strutture di fondazione si colloca al di sotto dell'orizzonte limo-argilloso superficiale.

PRESCRIZIONI: falda relativamente poco profonda (5-10 m); nel caso di strutture interrate, andranno definite attraverso specifici studi le possibili interazioni tra falda e opere in progetto.

Unità 3

LITOSTRATIGRAFIA: ghiaia con matrice limoso argillosa nei primi 1-2 m di profondità, seguita da ghiaia con sabbia da fine a grossolana

SUOLO: da sottile a moderatamente profondo di tipo II s e III s

CLASSIFICAZIONE U.S.C.S.: GP-GW

SOGGIACENZA MEDIA DELLA FALDA: superiore a 10 m

VALUTAZIONE GENERALE: terreni di buone caratteristiche geotecniche.

Unità 4

LITOSTRATIGRAFIA: ghiaia con matrice limoso argillosa nei primi 1-2 m di profondità, seguita da ghiaia con sabbia da fine a grossolana.

SUOLO: da sottile a moderatamente

profondo di tipo II s e III s

CLASSIFICAZIONE U.S.C.S.: GP-GW

SOGGIACENZA MEDIA DELLA FALDA: compresa tra 5 e 10 m

VALUTAZIONE GENERALE: terreni di buone caratteristiche geotecniche

PRESCRIZIONI: falda relativamente poco profonda (5-10 m); nel caso di strutture interrate, andranno definite attraverso specifici studi le possibili interazioni tra falda e opere in progetto.

Unità 5

LITOSTRATIGRAFIA: ghiaia con matrice limoso argillosa nei primi 1-2 m di profondità, seguita da ghiaia con sabbia da fine a grossolana

SUOLO: da sottile a moderatamente profondo di tipo II s e III s

CLASSIFICAZIONE U.S.C.S.: GP-GW

SOGGIACENZA MEDIA DELLA FALDA: compresa tra 2 e 5 m

VALUTAZIONE GENERALE: terreni di buone caratteristiche geotecniche.

PRESCRIZIONI: falda relativamente superficiale (2-5 m), nel caso di strutture interrate, andranno definite attraverso specifici studi le possibili interazioni tra falda e opere in progetto

Unità 6

LITOSTRATIGRAFIA: ghiaia sabbiosa e ghiaia con sabbia da fine a grossolana.

SUOLO: da sottile a moderatamente profondo di tipo II s e III s

CLASSIFICAZIONE U.S.C.S.: GP-GW

SOGGIACENZA MEDIA DELLA FALDA: superiore a 10 m

VALUTAZIONE GENERALE: terreni di ottime caratteristiche geotecniche.

Unità 7

LITOSTRATIGRAFIA: ghiaia sabbiosa e ghiaia con sabbia da fine a grossolana.

SUOLO: da sottile a moderatamente profondo di tipo II s e III s

CLASSIFICAZIONE U.S.C.S.: GP-GW

SOGGIACENZA MEDIA DELLA FALDA: compresa tra 5 e 10 m

VALUTAZIONE GENERALE: terreni a ottime caratteristiche geotecniche.

PRESCRIZIONI: falda relativamente poco profonda (5-10 m); nel caso di strutture interrate, andranno definite attraverso specifici studi le possibili interazioni tra falda e opere in progetto.

Unità 8

LITOSTRATIGRAFIA: ghiaia, localmente caratterizzata da una matrice limoso argillosa superficiale, seguita da ghiaia con sabbia da fine a grossolana

SUOLO: moderatamente profondo di tipo II s, III s IV s e IV sw

CLASSIFICAZIONE U.S.C.S.: GP-GW

SOGGIACENZA MEDIA DELLA FALDA: compresa tra 2 e 5 m

VALUTAZIONE GENERALE: terreni di buone caratteristiche geotecniche.

PRESCRIZIONI: falda relativamente superficiale (2-5 m); nel caso di strutture interrate, andranno definite attraverso specifici studi le possibili interazioni tra falda e opere in progetto

Unità 9

LITOSTRATIGRAFIA: ghiaia con matrice limoso argillosa nei primi 1-2 m di profondità, seguita da ghiaia con sabbia da fine a grossolana

SUOLO: moderatamente profondo di tipo II s, III s IV s e IV sw

CLASSIFICAZIONE U.S.C.S.: GP-GW

SOGGIACENZA MEDIA DELLA FALDA: inferiore a 2m

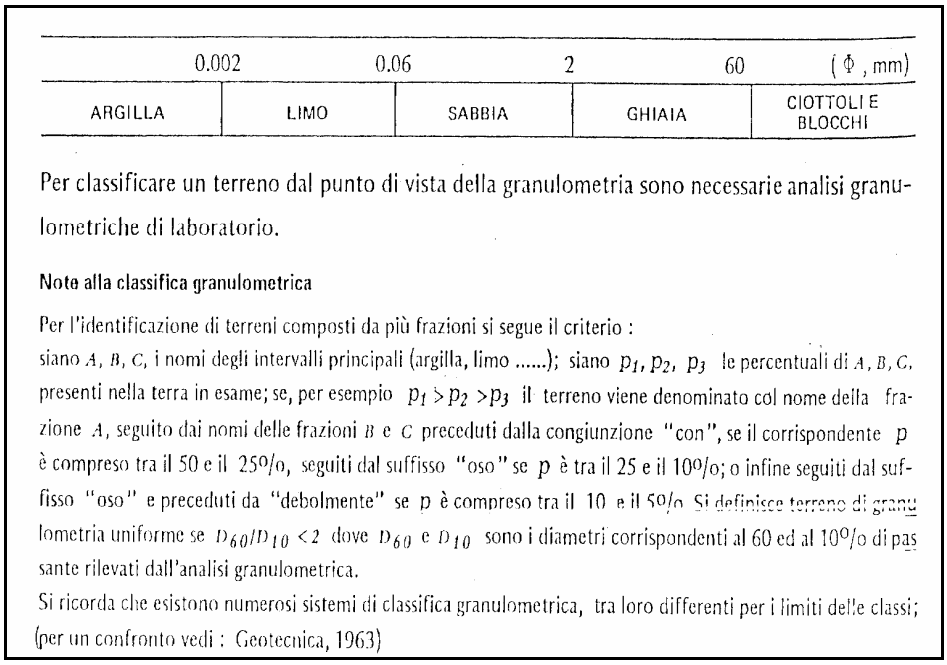
VALUTAZIONE GENERALE: terreni di buone caratteristiche geotecniche.

PRESCRIZIONI: in fase di progettazione di strutture interrate andranno debitamente valutate sia le possibili interferenze tra opere di progetto e falda, sia la riduzione di capacità portante derivante dalla saturazione dei terreni di fondazione.

Sulla base di quanto osservato e descritto si ritiene che il territorio di Treviglio sia sostanzialmente costituito da depositi con caratteristiche geotecniche generalmente buone e compatibili con qualsiasi tipo di intervento edificatorio, opera o manufatto.

Talvolta il primo livello presenta parametri più mediocri, ma sempre per spessori limitati (inferiori a 1-2 metri).

E' comunque necessario per ogni opera od intervento rispettare tutta la normativa vigente in materia; in particolare si ricorda che il presente studio, con la tavola cartografica in oggetto ha una funzione pianificatoria e generale e che per ogni intervento od opera sarà necessario procedere ad un apposita caratterizzazione geotecnica, sulla base di puntuali indagini geognostiche adeguate per numero e tipologia alle dimensioni degli interventi, con l'obiettivo di arrivare ad una modellazione geotecnica con specifici parametri, calcoli e dimensionamenti finalizzati al progetto in esame.



0.002	0.06	2	60	(Φ , mm)
ARGILLA	LIMO	SABBIA	GHIAIA	CIOTTOLI E BLOCCHI

Per classificare un terreno dal punto di vista della granulometria sono necessarie analisi granulometriche di laboratorio.

Note alla classifica granulometrica

Per l'identificazione di terreni composti da più frazioni si segue il criterio :
siano A, B, C, i nomi degli intervalli principali (argilla, limo .....); siano p_1, p_2, p_3 le percentuali di A, B, C, presenti nella terra in esame; se, per esempio $p_1 > p_2 > p_3$ il terreno viene denominato col nome della frazione A, seguito dai nomi delle frazioni B e C preceduti dalla congiunzione "con", se il corrispondente p è compreso tra il 50 e il 25%, seguiti dal suffisso "oso" se p è tra il 25 e il 10%; o infine seguiti dal suffisso "oso" e preceduti da "debolmente" se p è compreso tra il 10 e il 5%. Si definisce terreno di granulometria uniforme se $D_{60}/D_{10} < 2$ dove D_{60} e D_{10} sono i diametri corrispondenti al 60 ed al 10% di passante rilevati dall'analisi granulometrica.
Si ricorda che esistono numerosi sistemi di classifica granulometrica, tra loro differenti per i limiti delle classi; (per un confronto vedi : Geotecnica, 1963)

Figura 13: descrizione litologico-tecnica secondo le norme A.G.I. 1977

CLASSIFICAZIONE U.S.C.S.			
PRINCIPALI SUDDIVISIONI		SIGLA	DESCRIZIONE
TERRE A GRANA GROSSA	TERRE A GRANA GHIAIOSA	GW	Ghiaie a granulometria ben assortita o miscele di ghiaia e sabbia, con frazione fine scarsa o assente.
		GP	Ghiaie a granulometria poco assortita o miscele di ghiaia e sabbia, con frazione fine scarsa o assente.
		GM	Ghiaie limose, miscele di ghiaia, sabbia e limo.
		GC	Ghiaie argillose, miscele di ghiaia, sabbia e argilla.
	SABBIE E TERRE SABBIOSE	SW	Sabbie a granulometria ben assortita o sabbie ghiaiose, con frazione fine scarsa o assente.
		SP	Sabbie a granulometria poco assortita o sabbie ghiaiose, con frazione fine scarsa o assente.
		SM	Sabbie limose, miscele di sabbia e limo.
		SC	Sabbie argillose, miscele sabbia e argilla.
TERRE A GRANA FINE	LIMI E ARGILLE WL<50	ML	Limi inorganici e sabbie molto fini, sabbie fini limose o argillose o limi argillosi leggermente plastici.
		CL	Argille inorganiche con plasticita' da bassa a media, argille ghiaiose, argille sabbiose, argille limose.
		OL	Limi organici e argille limose organiche a bassa plasticita'.
		MH	Limi inorganici e terreni limosi o finemente sabbiosi, micacei o diatomacei.
	LIMI E ARGILLE WL>50	CH	Argille inorganiche di bassa plasticita'.
		OH	Argille organiche di media o alta plasticita', limi organici.
TERRE FORTEMENTE ORGANICHE		Pt	Torba e altre terre altamente organiche.

Figura 14: classificazione granulometrica secondo le norme tecniche del Sistema Unificato USCS

7. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO

L'analisi del rischio sismico del territorio di Treviglio è stata condotta secondo i criteri contenuti nella DGR 7/7374 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 ***PSL= Pericolosità sismica locale***		
	1° Livello Fase pianificatoria	***2° Livello Fase pianificatoria***	***3° Livello Fase progettuale***
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 Treviglio appartiene alla **zona sismica 4** (si veda la figura 15).

L'appartenenza alla zona sismica 4 (sismicità bassa) 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 dal periodo di osservazione della stessa.

In figura 16 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***), sopratutto 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).

Si sottolinea che la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale (Figura 16) è stata elaborata basandosi su nuovi dati ed utilizzando approcci leggermente differenti rispetto a quelli utilizzati per la redazione della mappa del 1998.

Questo ha determinato, per alcune aree, la presenza di valori di a_g diversi (sia in eccesso che in difetto) rispetto a quelli previsti dalla classe sismica di appartenenza.

Con il D.M. 14.01.2008 tale limitazione è stata in parte superata: si è introdotto un nuovo criterio metodologico nella stima della pericolosità sismica di base che non risulta più associata alla zona sismica di appartenenza (criterio zona dipendente – D.M. 14.09.2005)

ma al valore di accelerazione massima orizzontale attesa su base probabilistica ad uno specifico sito (criterio sito dipendente).

Ciò ha di fatto permesso di superare la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e i valori previsti dalla normativa antisismica per un stesso suolo di riferimento, anche se l'appartenenza ed il riferimento alla zona sismica di appartenenza sono rimasti invariati.

Esistono tuttavia alcune problematiche insiste nella distribuzione dei vertici della griglia di riferimento dei valori di accelerazione e l'ubicazione di un sito.

Pertanto si consiglia di utilizzare nella progettazione di opere strategiche e rilevanti il D.M. 14.01.2008.

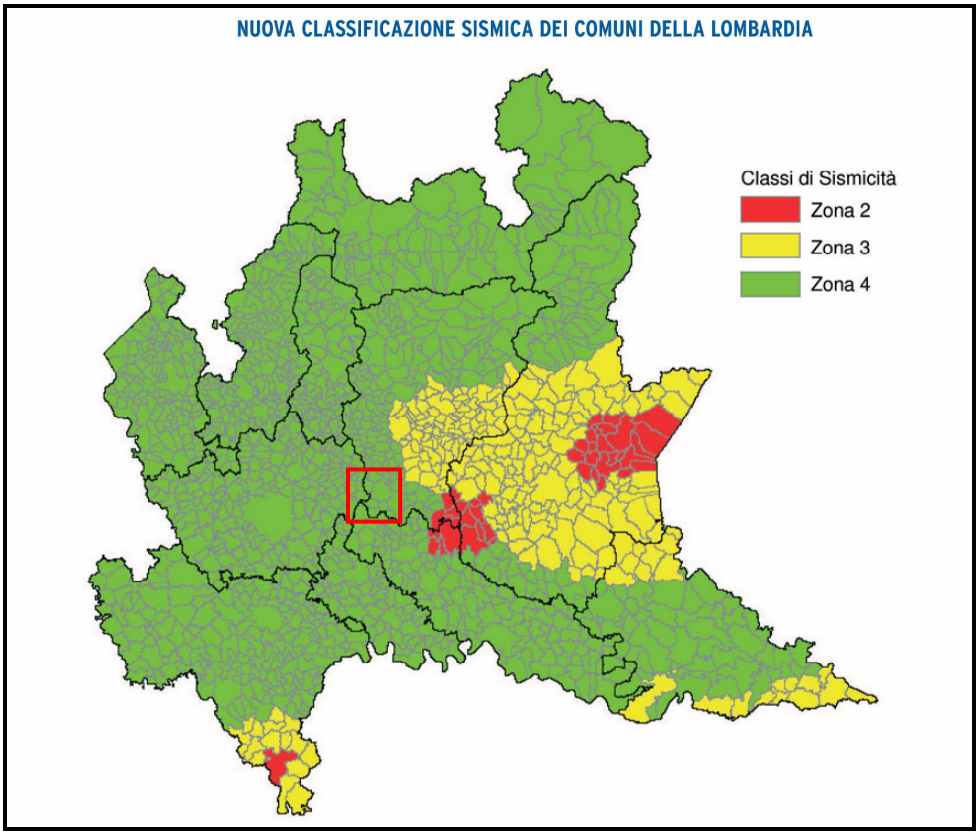


Figura 15: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all'Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n.7/14964 del 7 novembre 2003).

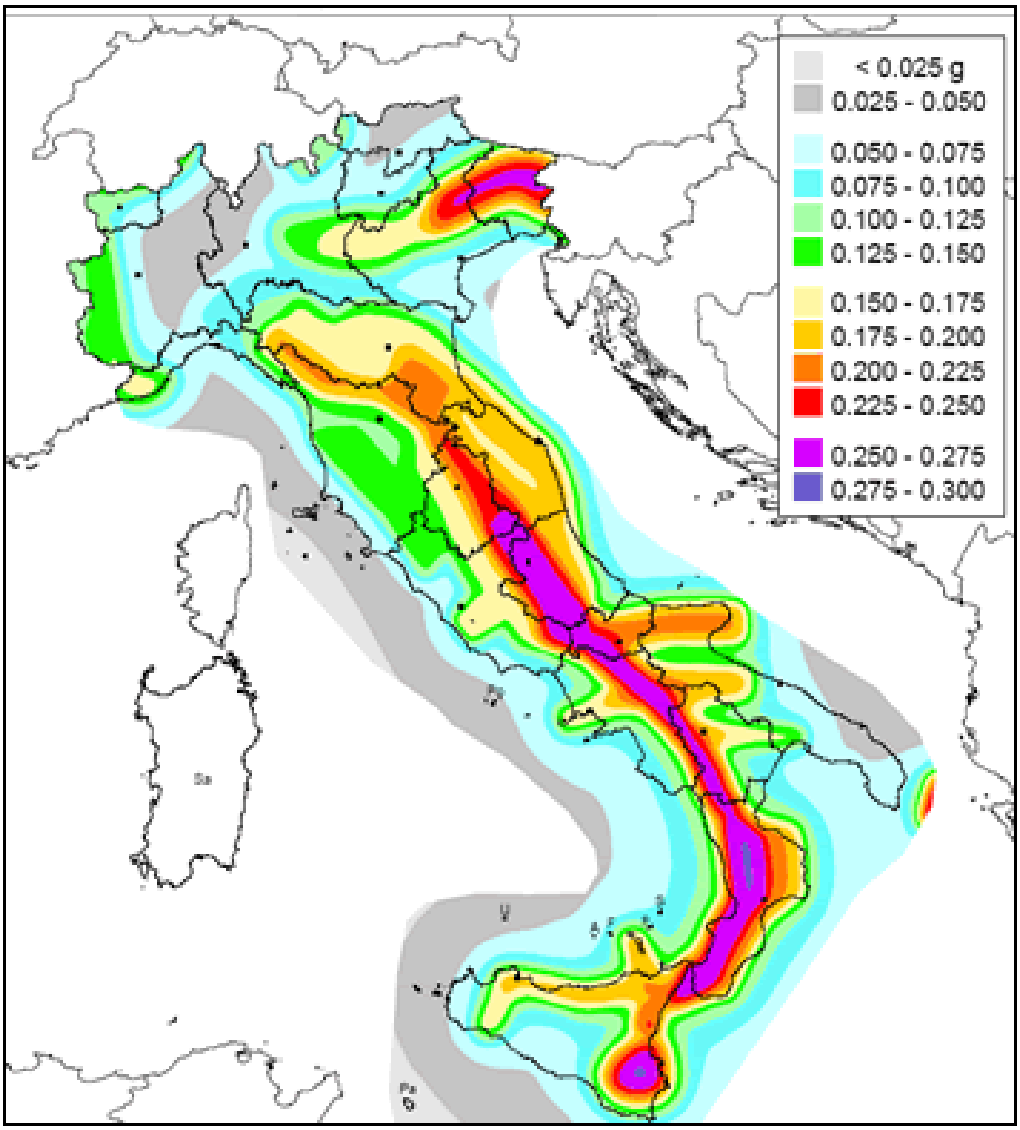


Figura 16: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale i cui si riporta il valore di PGA che ha la probabilità del 10% di essere ecceduto almeno una volta nei prossimi 50 anni.

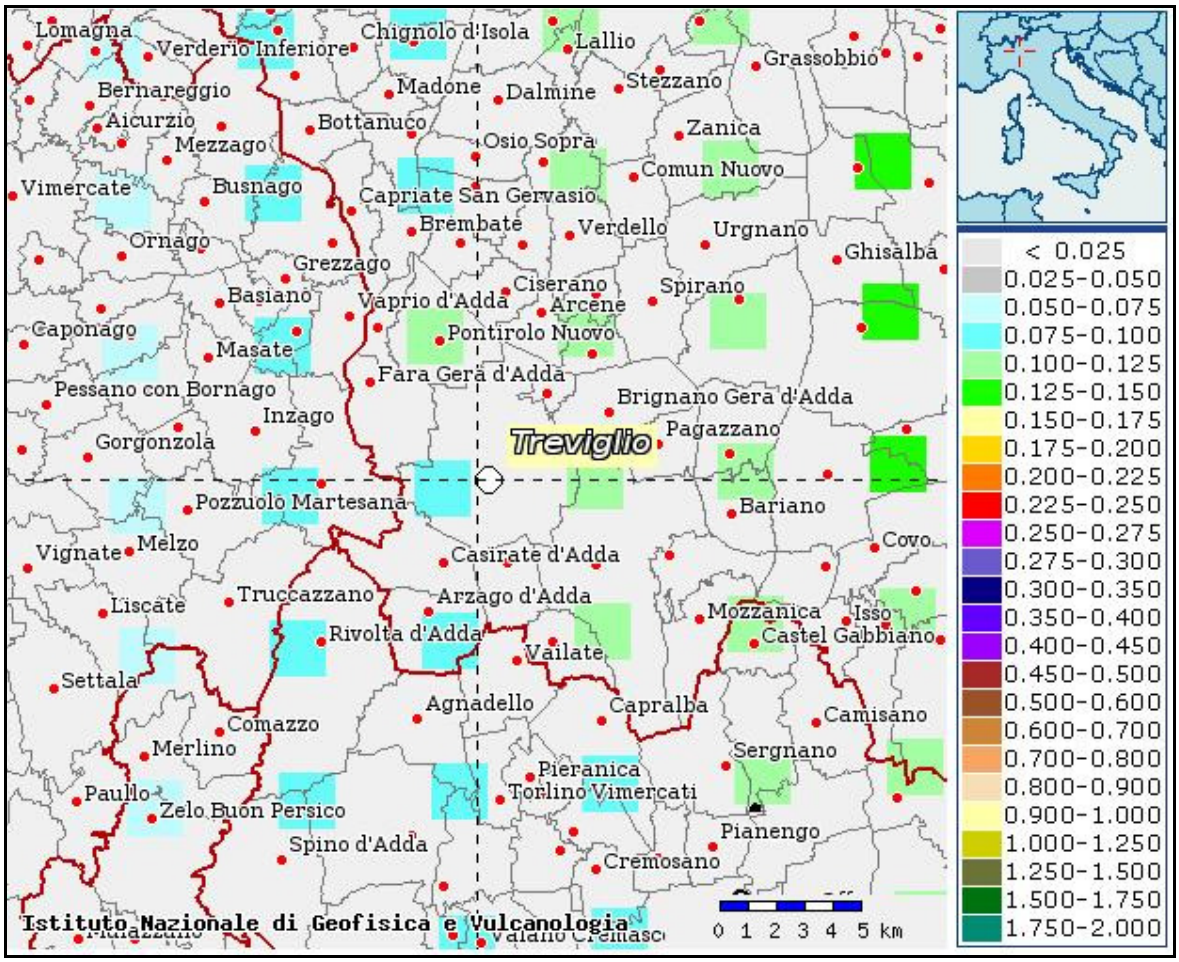


Figura 17: ingrandimento della figura 16 relativo al territorio di Treviglio.

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 Nazione di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e disponibili in rete; nello specifico si è fato 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];
- 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 piuttosto sporadici e di intensità massima rilevata dell'ordine del VI-VII grado della scala Mercalli (vedi figura 18);

- 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.

Nel complesso si può affermare che le informazioni disponibili dalla consultazione dei cataloghi sismici, redatti ai fine del calcolo della pericolosità, delineano un quadro in cui la pericolosità appare determinata dal contemporaneo apporto di eventi di media magnitudo con brevi distanze epicentrali e di eventi di maggiori dimensioni localizzati a distanze epicentrali maggiori.

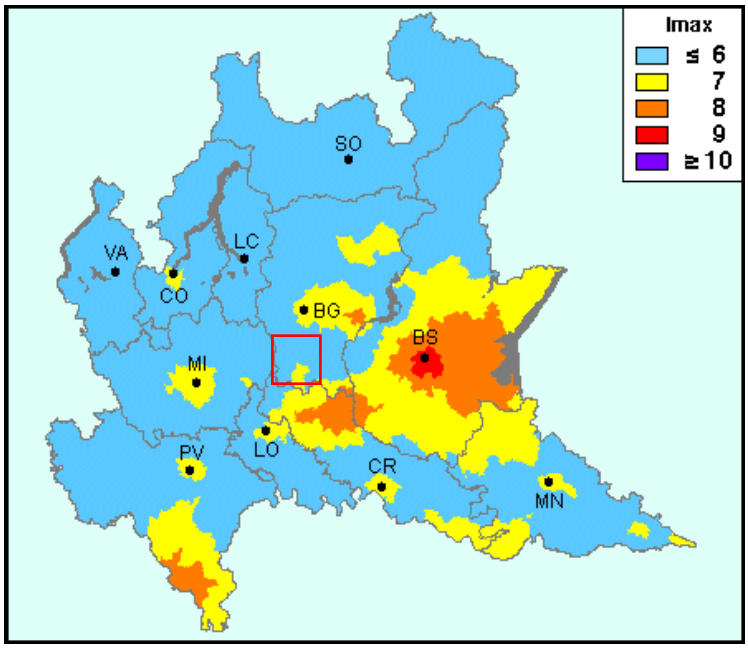


Figura 18: Carta della massima intensità macrosismica attesa in Lombardia (Moliniet et al., 1996).

Per quanto riguarda l'analisi della sismicità attuale, 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 19 si nota l'assenza di terremoti di una certa entità localizzati in prossimità del territorio di Treviglio, 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 20).

Infine in figura 21 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 (rettangoli rossi) di Soncino (1802) e Caravaggio (1781).

Tale zona racchiude l'insieme delle strutture tettoniche a comportamento omogeneo in grado di generare terremoti (tettonica recente - Olocene).

In figura 21 si è riportato inoltre l'ubicazione del comune di Treviglio (stella gialla).

Si nota come il territorio in esame non sia compreso nella zona sismogenetica ma posta nelle sue vicinanze e dunque potenzialmente interessato da eventi che si potrebbero generare in tale zona (effetti sismici in funzione dell'energia rilasciata, dalla distanza epicentrale e dalla natura dei terreni o effetti locali).

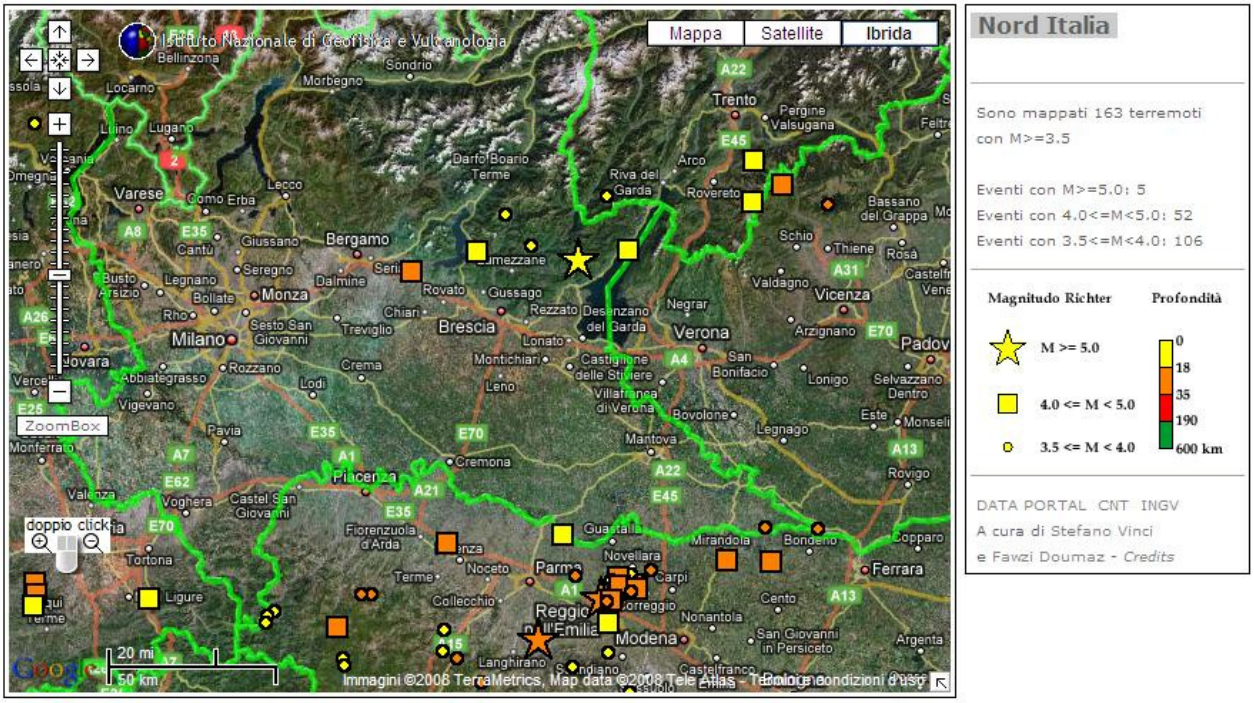


Figura 19: Ubicazione dei terremoti recenti – periodo 1981-2006 (INGV).

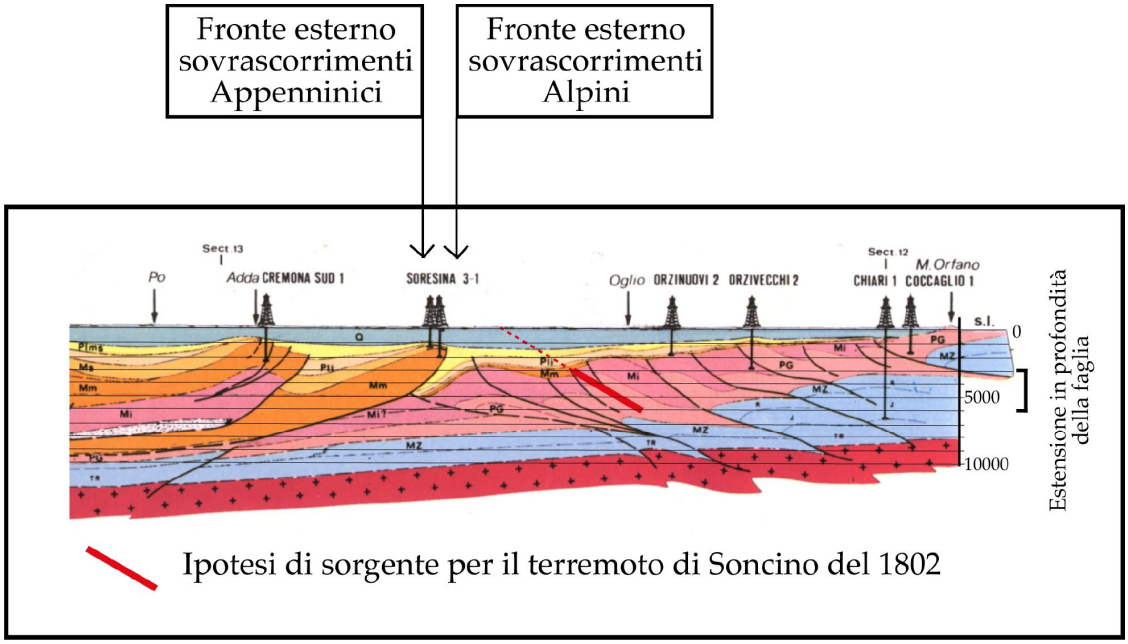


Figura 20: Sezione geologica-geofisica interpretativa (da Cassano et al. 1986, modificata da Burrato et al 2007).

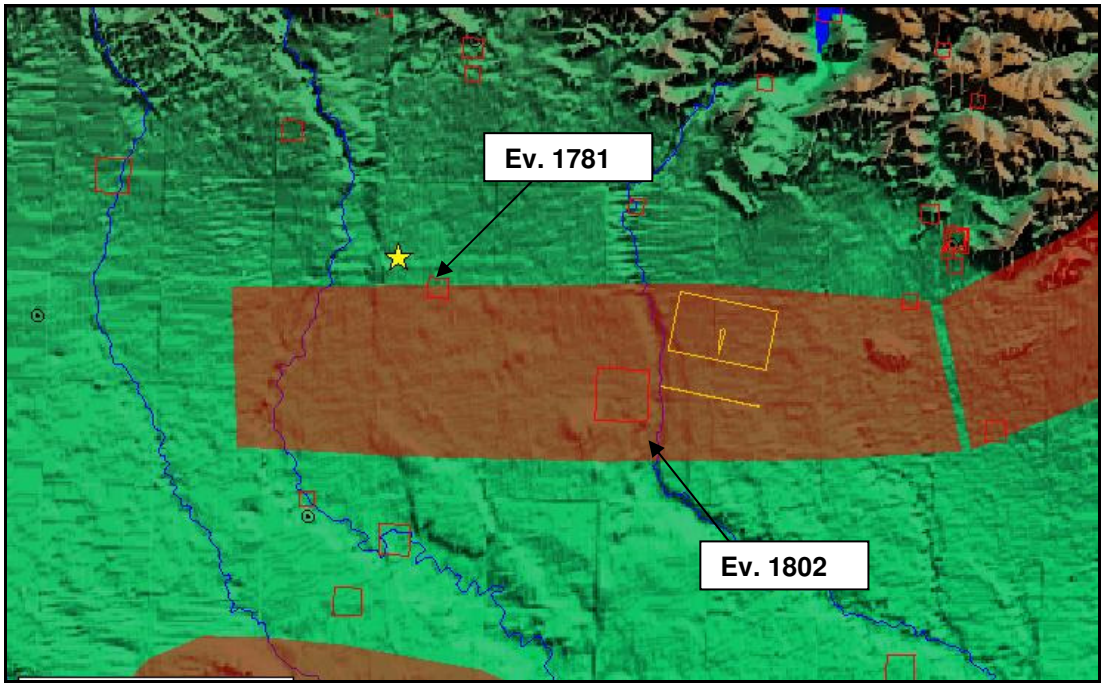


Figura 21: zona sismogenetica "Bagnolo Mella – Spino d'Adda" (Burrato et al 2007).

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 2).

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 di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali 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 2: scenari di Pericolosità Sismica Locale

Nel caso specifico del Comune di Treviglio, 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 2).

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

Considerati gli scenari di pericolosità sismica locale individuati sul territorio di Treviglio, in caso di pianificazione o progettazione di strutture strategiche e rilevanti (classificate dal D.d.u.o. n. 19904/03 della Regione Lombardia), si dovranno affrontare successivi livelli di approfondimento, così come previsto dalla D.G.R. n. 8/7374/2008.

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 Treviglio 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:

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***
Treviglio	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***
Treviglio	1.7	2.4	4.3	3.1

Tabella 3 : valori di soglia del fattore di amplificazione Fa per il comune di Treviglio.

Il due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di Fa 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 posso essere ricavati con metodi differenti ciascuno contraddistinto da un diverso grado di attendibilità, così come riportato nella tabella 4:

Dati	***Attendibilità***	***Tipologia***
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone 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 i foro o sismica superficiale)

Tabella 4: 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.

Lo scenario di pericolosità sismica Z3a (presente in prossimità della scarpata morfologica nel settore occidentale e in corrispondenza delle scarpate dell'ambito estrattivo ATEg8) non è stato approfondito nel seguito anche se considerato in prima analisi in quanto come prevede la normativa, in caso di sovrapposizione di più scenari di PSL si deve scegliere quello più gravoso, ovvero in questo caso (esteso a tutto il territorio di Treviglio) lo **scenario Z4a.**

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 (**Trev1-Trev10**) integrata con l'esecuzione di n. 1 profilo di sismica attiva (**MASW1**).

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 consento 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 delle distruzioni causate da un terremoto.

- Il profilo sismico con la metodologia MASW consente di ricostruire con un elevato dettaglio l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità(Vs-z o modello sismico monodimensionale);

Le misure di sismica passive sono state in seguito elaborate con l'apposito codice di calcolo ModelHVSR (Herak, 2007-2009) il quale, attraverso una procedura iterativa tipo Monte Carlo consente di ricostruire un modello di distribuzione della velocità delle onde di taglio con la profondità (modello sismico monodimensionale).

Le aree all'interno delle quali sono state effettuate le indagini geofisiche sono state scelte con l'intento di ottenere 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 possibile 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 11 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 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 frequenza 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:

$$Freq_edificio = 10Hz / n° piani$$

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

$$Fo_sito = Vs/4H$$

in cui Vs 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 22 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),

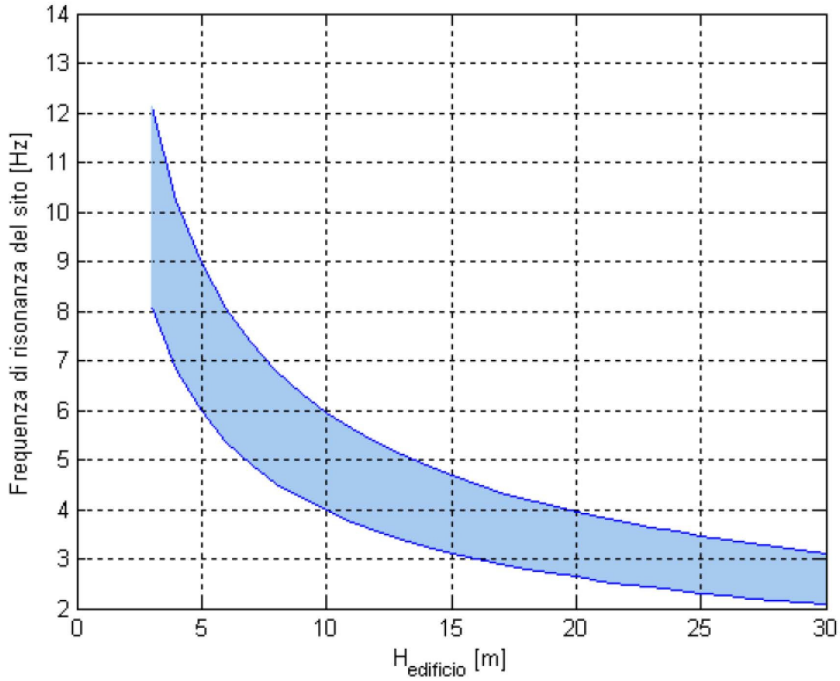


Figura 22: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.

Dall'osservazione delle curve H/V riportate in allegato e relative alle dieci aree di misura si nota la presenza di 3 picchi principali localizzati a circa 1Hz, 4-5Hz e 30Hz.

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 introno 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 40-50 m; la relativa debole ampiezza di questo picco può essere attribuita ad un possibile scarso contrasto di impedenza tra il deposito i questione e la sottostanze litozona.

Infine facendo riferimento alla figura 22, si può affermare che gli edifici più vulnerabili da un punto di vista degli effetti di doppia risonanza sono quelli con altezze superiori ai 11-12 m (edifici con 4 o più piani) e quelli con altezze inferiori ai 1-2 m, che non hanno praticamente interesse ai fini ingegneristici.

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.

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 seconda 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 sismiche appositamente realizzate, si ottengono i seguenti risultati:

Area	Scheda	Curva	Periodo T_o	Fa (0.1-0.5)	Fa (0.5-1.5)
1	Limoso-argillosa2	3	0.277 s	**1.75**	**1.21**
2	Limoso-argillosa2	3	0.283 s	**1.76**	**1.22**
3	Limoso-argillosa2	3	0.269 s	**1.74**	**1.21**
4	Limoso-argillosa2	3	0.304 s	**1.79**	**1.24**
5	Limoso-argillosa2	3	0.294 s	**1.78**	**1.23**
6	Limoso-argillosa2	3	0.249 s	**1.72**	**1.19**
7	Limoso-argillosa2	3	0.253 s	**1.73**	**1.19**
8	Limoso-argillosa2	3	0.258 s	**1.74**	**1.19**
9	Limoso-argillosa2	3	0.263 s	**1.72**	**1.20**
10	Limoso-argillosa2	3	0.246 s	**1.68**	**1.18**
11	Limoso-argillosa2	2	0.245 s	**1.96**	**1.18**

Tabella 5: stima del fattore di amplificazione Fa per effetti litologici.

7.3.4 Analisi dei dati e considerazioni

A questo punto, i valori di Fa proprio del sito devono essere confrontati con il valore Fa di soglia (tabella 3) 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	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*, caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	> 800	-	-
B	*Rocce tenere e da grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	180-360	15-50	70-250
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180	<15	<70
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con Vs>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:

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

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 Vs-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	414.8	B
2	410.6	B
3	414.7	B
4	395.4	B
5	397.2	B
6	430.7	B
7	424.3	B
8	425.9	B
9	430.0	B
10	424.1	B
11	410.3	B

Tabella 6: parametro Vs30 e categoria di suolo di fondazione.

da cui risulta che:

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

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 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;

Si sottolinea che l'applicazione dello spettro previsto dalla normativa anche se mediamente sufficiente (Fa norma > Fa sito) potrebbe non cogliere alcuni aspetti principali come processi di amplificazione molto marcati per specifici periodi: per questo si consiglia in fase di progettazione degli edifici pubblici e con valenza strategico-rilevante di effettuare l'approfondimento sismico di 3° livello).

I risultati ottenuti per le aree campione sono da considerare come mediamente rappresentativi del territorio di Treviglio 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 (con le accortezze sopra riportate).

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, così riassumibili:

Vincoli di polizia idraulica (R.D. 523 del 1904, L. 1/2000, D.G.R. 7/7868 e 7/13950) sul reticolo idrografico così come riportato in Tavola, il cui tracciato, non esistendo apposito studio redatto ai sensi della d.g.r. 7/7868 e 7/13950 ed approvato a norma di legge, è stato assunto quello indicato preliminarmente dal Consorzio di Bonifica per conto del comune (shapefiles del reticolo irriguo consortile); si ricorda che, a norma di legge (*attuazione del D.G.R. 25 gennaio 2002 n.7/7868 e successiva modifica del D.G.R. 1 Agosto 2003 n. 7/13950*), è necessario provvedere all'identificazione del reticolo idrico minore sulla base di un apposito studio; pertanto le indicazioni e le aste idiche riportate in cartografia, vanno intese come preliminari e di salvaguardia ed andranno verificate e modificate quando lo studio per l'identificazione del reticolo idrico minore di competenza comunale sarà stato approvato. In particolare qualsiasi modifica introdotta da quest'ultimo studio dovrà essere recepita automaticamente e sostituirà quanto ad essa si riferisce nel presente studio e nei relativi elaborati cartografici.

- **Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile** (D.P.R. n. 236 del 24.05.1988, D.Lgs. 152/99,D.Lgs 258/2000), per la salvaguardia dei requisiti di qualità delle acque emunte destinate al consumo umano. E' stata individuata attorno alle opere di captazione, una zona di tutela assoluta (ZA), avente un'estensione di 10 m di raggio che deve essere adeguatamente protetta ed adibita esclusivamente alle opere di captazione ed infrastrutture di servizio, ed una di rispetto (ZR) di 200 m per le quali si disciplinano gli interventi ammissibili e le attività vietate.

  L'attuazione degli interventi e delle attività elencate nell'art. 5 comma 6 del D.Lgs 258/00 (tra le quali, in particolare, interventi di edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione, fognature, opere viarie ed in genere infrastrutture di servizio) deve seguire i criteri e le indicazioni contenute nella D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 *("Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo*

umano"). Tale direttiva specifica tra l'altro che qualora non venga proposta ed approvata una ridelimitazione della zona di rispetto secondo il criterio temporale o idrogeologico e venga mantenuta la delimitazione geometrica di 200 m, per la realizzazione di tali interventi "… si renderà necessario uno studio idrogeologico, idrochimico ed ambientale ai sensi della D.G.R. n. 15137/96 da valutarsi in sede di autorizzazione degli interventi".

- **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 – ATEg8 e ATEg22 settore sabbia e ghiaia****;*
  - ***Parco di interesse sovracomunale PLIS della Gera D'Adda;***
  - ***Laghetto Treviza e relativa fascia di rispetto*** *(300 m dalla linea di battigia) - bene tutelato ai sensi del comma 1 lettera b) dell'art. 142 del D.LGS. 42/2004;*
  - ***Perimetro provvisorio dell'area inquinata*** *ai sensi dell'art.17 del d.lgs. 22/1997 e dell'art. 10 del D.M. 471/1999 (Decreto n. 32918 del 19 dicembre 2000).*

8.1 Raccordo con gli strumenti di pianificazione sovraordinata

8.1.1 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 obbiettivi strategici del PTCP si sviluppano su due direttrici fondamentali:

a. Obbiettivi di contesto (si rivolgono ai principali ambiti territoriali che caratterizzano il territorio della provincia).
b. Obbiettivi 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.

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".*

8.1.2 AMBITI ED ELEMENTI DI RILEVANZA PAESISTICA

Il comune di Treviglio 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 23).

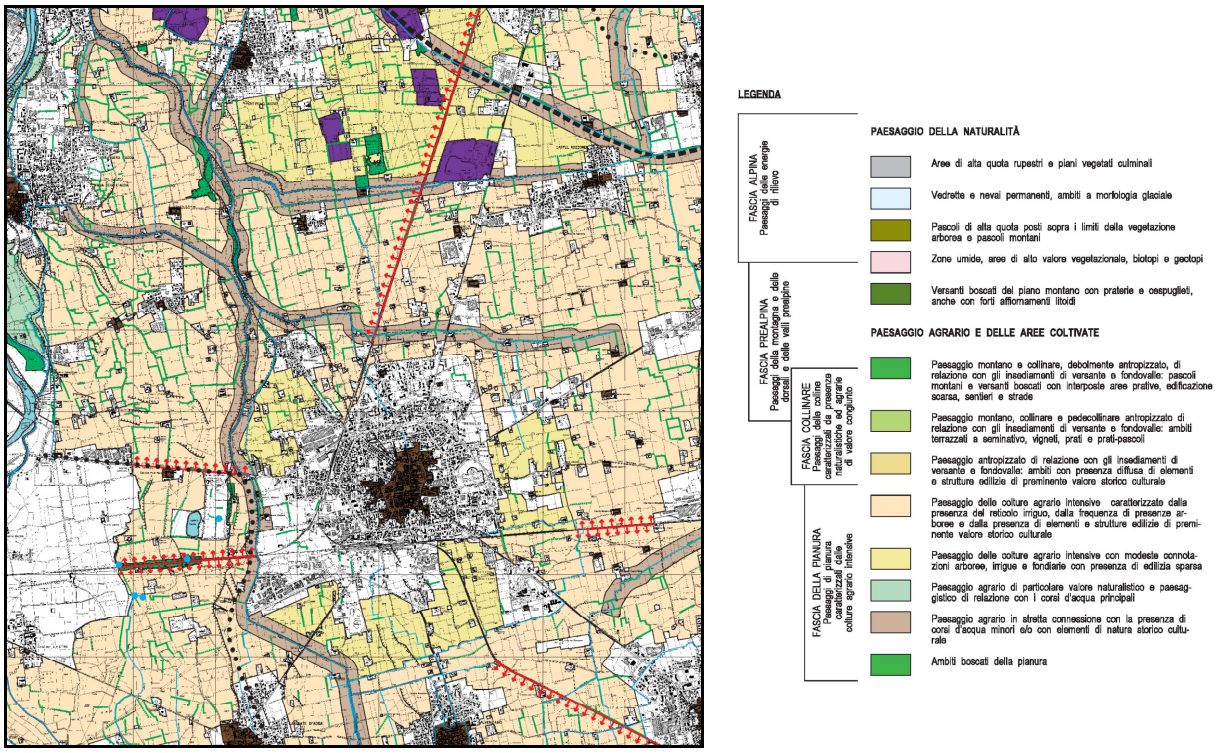


Figura 23 : Estratto da Tav. E5.4 del PTCP – Ambiti ed Elementi di rilevanza paesistica

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

- Paesaggio delle colture agrarie intensive caratterizzate dalla presenza del reticolo irriguo, dalla frequenza di presenze arboree e dalla presenza di elementi e strutture edilizie di preminente significato storico culturale.

- Paesaggio delle colture agrario intensive con modeste connotazioni arboree, irrigue e fondiarie con presenza di edilizia sparsa.

- 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 60, 61 e 64 delle Norme di Attuazione del PTCP, Titolo II – Paesaggio e Ambiente.

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

Il Comune di Treviglio è inquadrato nella tavola E1 del PTCP della Provincia di Bergamo (Figura 24) tra gli "*ambiti di pianura nei quali gli interventi di trasformazione territoriale devono essere assoggettati a puntuale verifica di compatibilità geologica ed idraulica*".

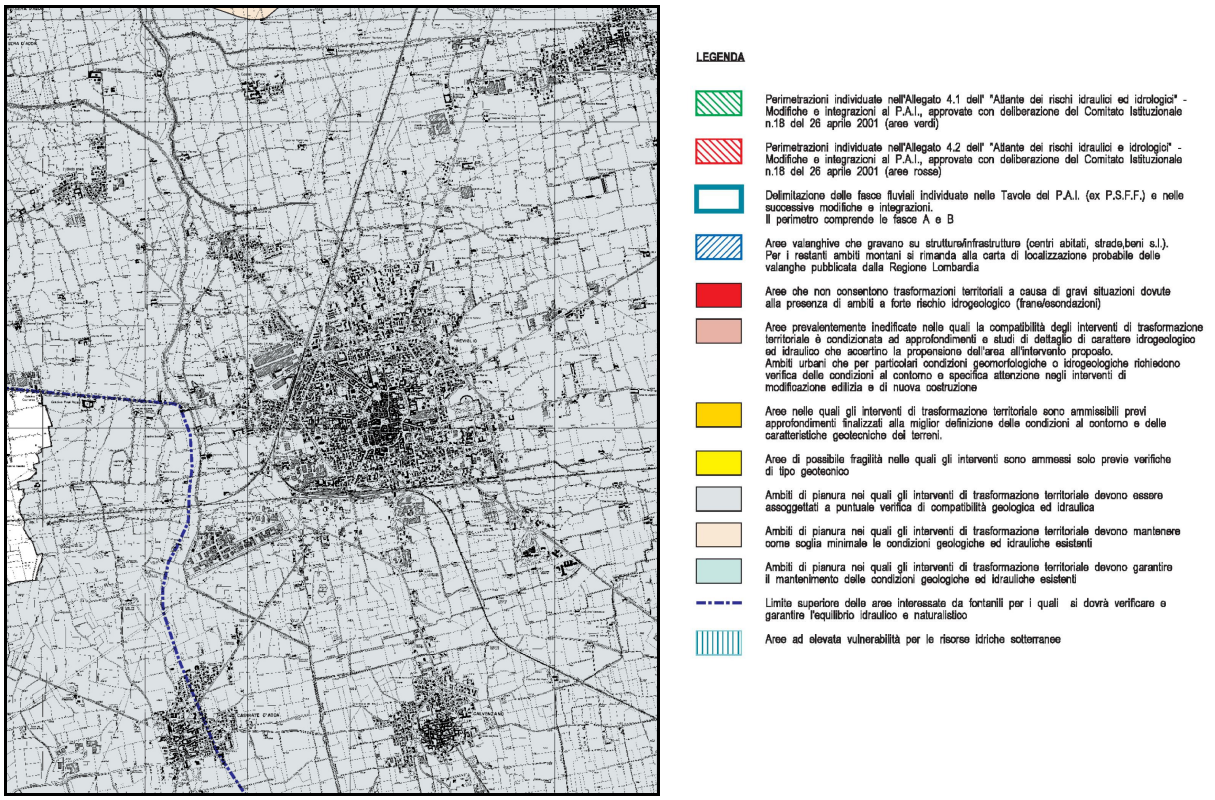


Figura 24: Estratto da Tav. E1 del PTCP – Elementi di pericolosità e di criticità.

Per tali ambiti l'art. 44 delle Norme di Attuazione del PTCP al comma 2 cita: "*Si tratta di ambiti con presenza della coltre superficiale di contenuta potenzialità ma con falda profonda rispetto al piano campagna e caratterizzati da una elevata densità di pozzi che vengono a costituire zone di connessione per le acque contenute in strati acquiferi*".

In tali aree dovranno comunque essere effettuati, per ambiti, analisi e studi che diano indicazioni atte a garantire interventi che non riducano le condizioni di assetto idrogeologico vigenti.

8.1.4 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.

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.

8.1.4.1 PAI per il Comune di Treviglio

Il territorio comunale di Treviglio è compreso tra i fiumi Adda ad Ovest e Serio ad Est: come si può constatare dall'estratto cartografico riportato di seguito (Figura 25), il comune di Treviglio è esterno alle fasce fluviali di entrambi i fiumi e pertanto non soggetto alle norme d'attuazione che le governano.

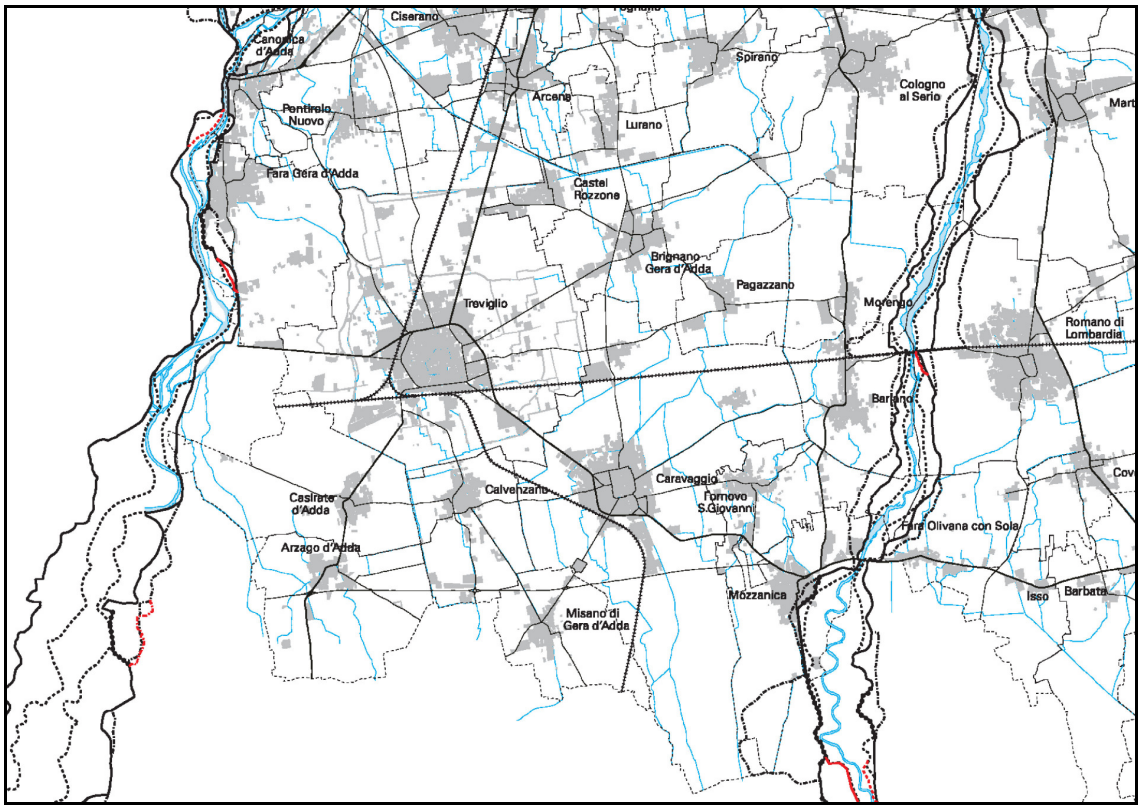


Figura 25: Fasce Fluviali dei fiumi Adda e Serio.

8.1.5 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 obbiettivi 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 obbiettivi di qualità ambientale fissati dalle Direttive Europee.

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

8.1.5.1 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 Treviglio rientra nel Bacino Idrografico 4, Settore 3 (Figura 26).

I limiti occidentale e orientale sono definiti rispettivamente dai fiumi Adda e Serio, mentre i limiti settentrionale e meridionale sono individuati in corrispondenza dei confini comunali, mentre la base dell'acquifero superficiale è posta a quote comprese tra i 85 e i 100 m s.l.m.

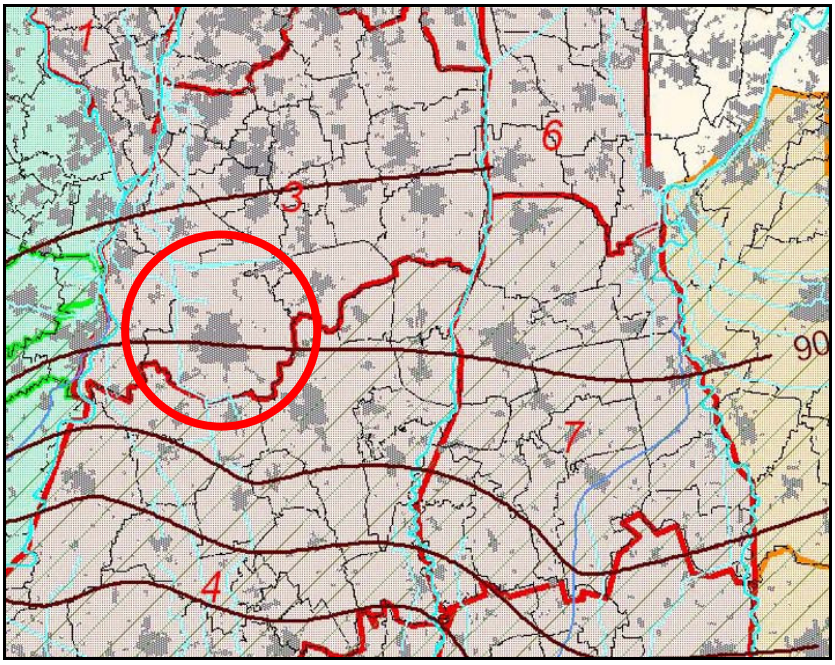


Figura 26: Estratto da Tavola 3 del PTUA – Corpi idrici sotterranei significativi e bacini idrogeologici di pianura

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 Treviglio è identificato nel PTUA in classe B (Figura 27) 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".

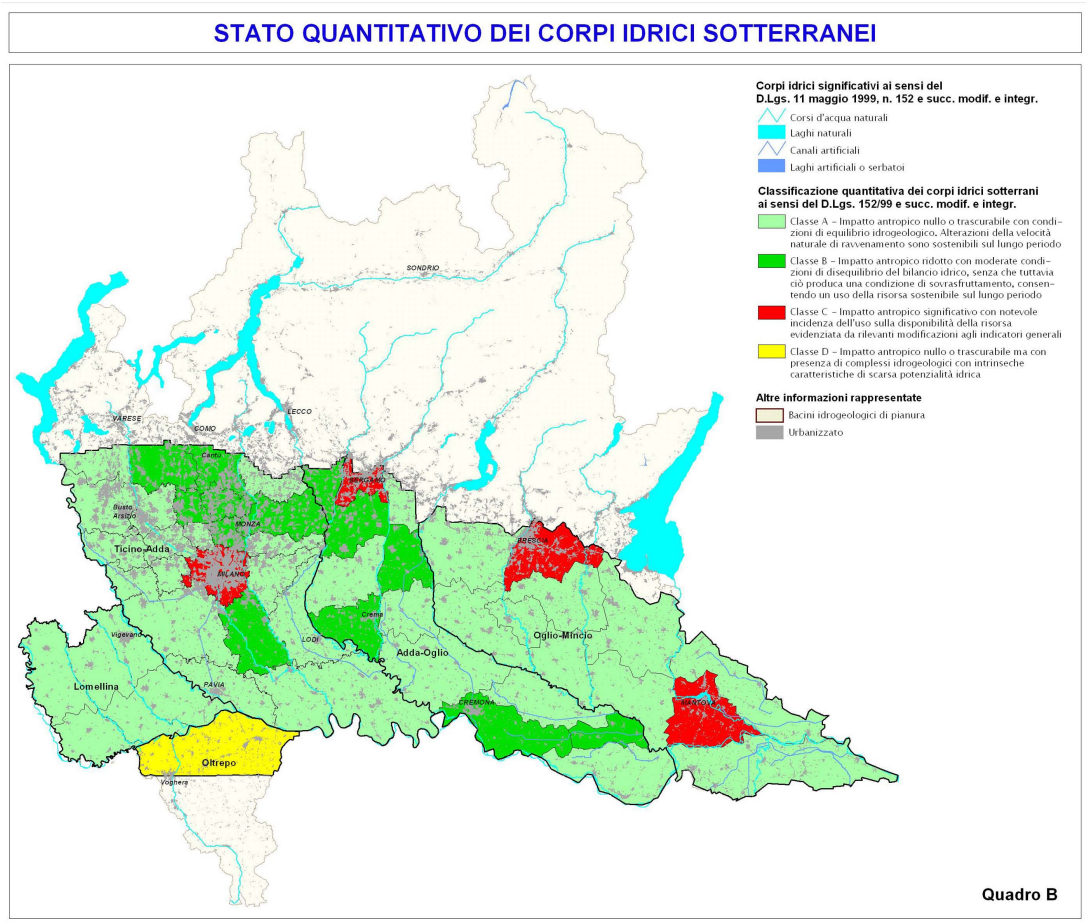


Figura 27 : Stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei (estratto Tavola 4 del PTUA)

Infine per la tutela delle acque destinate al consumo umano il PTUA identifica specifiche aree di salvaguardia (Figura 28) 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 Treviglio rientra solo per la porzione settentrionale nelle aree di ricarica degli acquiferi profondi mentre non rientra nelle aree di riserva.

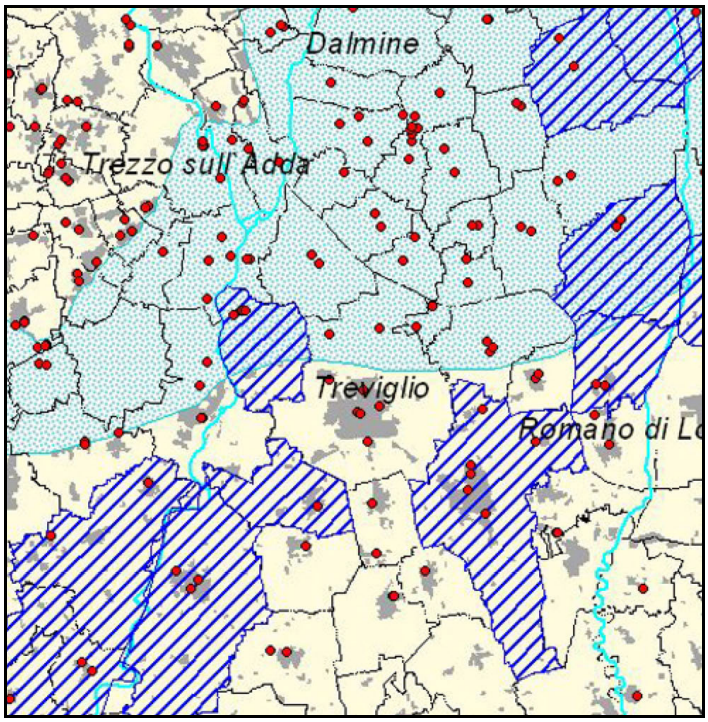


Figura 28: Estratto da Tavola 9 del PTUA – Aree di riserva e di ricarica e captazioni ad uso potabile

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 a partire dal contesto geologico sl, 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 cha la genera, considerando 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 di scarpata fluviale*** in evoluzione e con la possibilità di instaurarsi di piccoli smottamenti per fenomeni di soliflusso e di fenomeni di arretramento degli orli per azione delle acque superficiali;

  B. ***le aree estrattive*** *;* in carta sono state riportate le aree appartenenti all'ambito estrattivo ATEg8 e ATEg22 così come riportato nel Piano Cave della Provincia di Bergamo (anno 2008) e le aree soggette nel passato ad attività estrattiva;

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

  A. ***le aree con emergenza della falda (sorgente di terrazzo)***;

  B. le aree con emergenza della falda in seguito ad attività estrattiva*;*

C. ***l'ubicazione dei pozzi pubblici ad uso idropotabile*** con relativa fascia di rispetto (ZS, limite geometrico di 200 m di raggio) e di tutela assoluta (ZA, limite geometrico di 10 m di raggio) a salvaguardia delle acque sotterranee captate;

- ✓ **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 e massimi dell'ordine dei 2 m (settore più orientale del territorio comunale).

In Tavola 7 si sono inoltre riportati **i perimetri delle aree interessate da interventi di bonifica ambientale o soggette a verifica**. Tale aree sono identificate in carta con apposito retino e legenda *"area con matrici ambientali contaminate o soggette a verifica ai sensi del D.Lgs 152/2006"*.

10. CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO

10.1 Generalità

La suddivisione del territorio comunale di Treviglio 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 Treviglio sono state individuate aree appartenenti a tutte le classi di fattibilità eccezione 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 **Tavola 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:

- 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 in questo paragrafo e nel successivo (paragrafo 10.3) costituisce le "Norme geologiche di piano" che andranno integralmente inserite nel Piano delle Regole e nel Documento di Piano del P.G.T, ai sensi del della D.G.R. n. 8/7374 del 28 Maggio 2008.

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.

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 maggior parte del territorio comunale caratterizzata da una vulnerabilità della falda freatica da moderata ad alta.

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. 14.01.2008 e smi.*
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 soprattutto nella porzione più meridionale del territorio.

SOTTOCLASSE II B.

DESCRIZIONE La sottoclasse definisce quelle aree poste nel settore orientale del territorio 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: *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. 14.01.2008 e smi.*
La scelta del piano di posa e delle opere fondazionali va supportato da apposite indagini e studi geotecnici che mettano in evidenza la successione litostratigrafica (in particolare, ove esiste, del primo livello a mediocri caratteristiche geotecniche) ed il modello geologico e geotecnico.

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 da una falda a più bassa soggiacenza (inferiore a 1.5-2.0 m) e dalla maggiore probabilità di incontrare livelli significativi superficiali di materiale a scadenti caratteristiche geotecniche.*

PRESCRIZIONI: *Per tutti i nuovi interventi e per qualsiasi modificazione significativa dell'esistente che abbia una incidenza sul suolo ed il sottosuolo sarà necessario allegare all'istanza di approvazione della concessione l'apposita relazione specialistica (geologica e/o geomorfologica e/o idrogeologica e/o geotecnica) che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la relativa situazione geologica. Va inoltre applicato integralmente quanto contenuto nel D.M. 14.01.2008 e smi; la scelta del piano di posa e delle opere fondazionali va supportato da apposite indagini e studi geotecnici che mettano in evidenza la successione litostratigrafica (in particolare, ove esiste, del primo livello a mediocri caratteristiche geotecniche), il modello geologico e geotecnico ed idrogeologico (in particolare la profondità della falda).*

A questo proposito va valutato l'eventuale impatto sulla falda di eventuali interventi che possano provocare interazioni negative dal punto di vista ambientale con il primo acquifero. Si sconsiglia fortemente di realizzare manufatti interrati".

SOTTOCLASSE III B

DESCRIZIONE*: La sottoclasse delimita come da normativa vigente, la fascia di rispetto dei pozzi pubblici definita con metodo geometrico (fascia con raggio di 200 m intorno al pozzo).*

PRESCRIZIONI: *L'attuazione degli interventi o delle attività elencate all'art. 5 comma 6 del D.lgs 258/2000 entro le zone di rispetto è subordinata ad un apposita relazione idrogeologica che accerti la compatibilità dell'intervento in progetto con lo stato di eventuale vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee e da apposite prescrizioni sulle modalità di attuazione degli interventi stessi. Si fa presente la possibilità di potere approvare una riperimetrazione/riduzione della fascia di rispetto secondo i criteri temporale ed idrogeologico sulla base delle indicazioni contenute nel DGR 6/15137 del 27.06.1996 e s.m.i.*

SOTTOCLASSE III C

DESCRIZIONE*:* La sottoclasse delimita quelle aree interessate dalla presenza di scarpate morfologiche con altezza inferiore ai 10 m.

PRESCRIZIONI: *essendo questo uno dei pochi elementi geo-morfologici significativi e peculiari del territorio si ritiene importante preservarne il più possibile la presenza e l'identità; pertanto oltre a valere le prescrizioni disposte per la precedente classe III A con particolare riferimento allo studio geomorfologico e geotecnico del sito (stabilità dei versanti), sarà possibile realizzare sul gradone solo le opere non altrimenti localizzabili*

SOTTOCLASSE III D

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

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.*

SOTTOCLASSE III E

DESCRIZIONE*:* La sottoclasse delimita quelle aree con matrici ambientali (suolo e/o acqua) contaminate o soggette a bonifiche.

PRESCRIZIONI: *questa zona è soggetta alle norme ed agli interventi previsti dalla normativa del D.Lgs. 152/06, dalle s.m.i. e dalle convenzioni e prescrizioni conseguenti da parte degli enti controllo; una volta completata e certificata l'avvenuto recupero ambientale dei siti l'area verrà declassata e verrà compresa all'interno della circostante sottoclasse II A, di cui assumerà le prescrizioni*

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 definisce le zone di tutela assoluta (ZA) dei pozzi pubblici (fascia con raggio di 10 m).

PRESCRIZIONI: *Come previsto dal D.Lgs. 258/2000 art. 5 comma 4, queste aree devono essere adeguatamente protette con il vincolo di inedificabilità assoluta; sono possibili solo opere di captazione ed infrastrutture di servizio della rete idrica.*

SOTTOCLASSE IV B

DESCRIZIONE*:* La sottoclasse delimita la fascia di rispetto dei corsi idrici appartenenti al reticolo idrico (fascia di 10 m e 5 m per la sola zona centrale del centro storico da misurarsi da entrambe le sponde);

PRESCRIZIONI: *Aree di inedificabilità assoluta fatto salvo opere di difesa ambientale o di sistemazione fluviale. In assenza di 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 vale quanto disposto dal R.D. 523/1904. Si ricorda il carattere provvisorio del reticolo indicato, in attesa dell'approvazione del reticolo idrico minore individuato a norma di legge: in particolare qualsiasi modifica introdotta da quest'ultimo studio dovrà essere recepita automaticamente e sostituirà quanto ad essa si riferisce nel presente studio e nei relativi elaborati cartografici*.

SOTTOCLASSE IV C

DESCRIZIONE*:* La sottoclasse individua le depressioni morfologiche con acqua di falda affiorante.

PRESCRIZIONI: *Non sono consentite opere di carattere edificatorio, in un interno di 50 m e tutte le attività che possano costituire un pericolo reale o potenziale o possibile per la falda.*

SOTTOCLASSE IVD

DESCRIZIONE: La sottoclasse definisce le zone geomorfologicamente attive caratterizzate da aree in pendenza a morfologia terrazzata e soggette a processi geomorfologici attivi da parte delle acque superficiali.

PRESCRIZIONI: *Dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione e alla messa in sicurezza dei siti o non altrimenti localizzabili.*

SOTTOCLASSE IVE

DESCRIZIONE: La sottoclasse individua la sorgente di terrazzo e la relativa fascia di tutela.

PRESCRIZIONI: *Per analogia con la classe IVA, come queste aree devono essere adeguatamente protette con il vincolo di inedificabilità assoluta.*

10.3 Normativa antisismica ed ulteriori prescrizioni generali

Come evidenziato dall'analisi del rischio sismico e come riportato nella Carta di fattibilità da un apposito retino "trasparente", l'intero territorio comunale è soggetto a fenomeni di amplificazione locale (effetti di sito) non adeguatamente valutati dall'attuale normativa antisismica (classe di pericolosità H2).

Per questi motivi, qualsiasi trasformazione d'uso del suolo legata alla realizzazione di edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n.19904/03) dovrà essere preventivamente accompagnata da una valutazione della pericolosità sismica locale, secondo quanto riportato nell'allegato 5 della D.G.R. 8/17374, attraverso l'attuazione del 2° livello di approfondimento specificamente sul sito in oggetto mediante la realizzazione di apposite indagini geofisiche per la misura diretta dei valori di Vs (Down-hole, Masw, od altra tecnica analoga)

Qualora risulti - come probabile- che il fattore Fa di sito sia maggiore di quello di soglia, in fase di presentazione degli elaborati progettuali (Permesso di costruire, DIA, ecc..) si dovrà allegare apposita relazione che definisca l'azione sismica di progetto 8analisi sismica di terzo livello secondo l'allegato 5 al DGR 8/7374 del 2008 che dovrà essere recepita nei calcoli e nelle progettazioni strutturali.

Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti per le classi di fattibilità 2, 3 e 4 devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione dello stesso.

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) o, per gli interventi ove previsto, nelle Denunce di Inizio Attività.

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” con le specifiche normative sismiche e geotecniche e le normative ambientali (D.Lgs. 152/08 e smi).

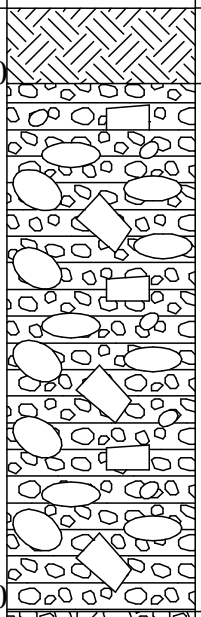
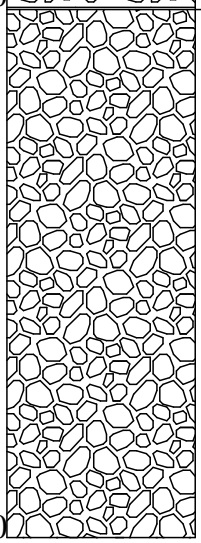
ALLEGATO A

- TRINCEE ESPLORATIVE –

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T1

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.20		terreno vegetale				
	1.60		Materiale di riporto (ghiaia, pezzi di laterizio, calcinacci) e con argilla limosa				
	3.00		Ghiaia (ciottoli da millimetrici a centimetrici) con sabbia da fine a media				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

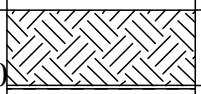
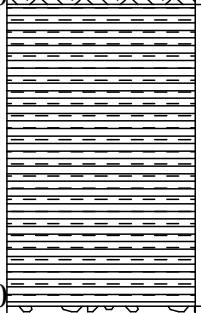
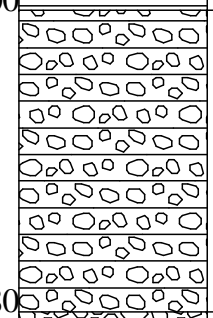
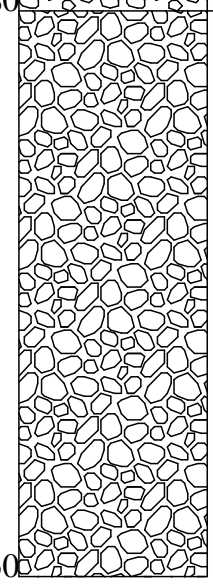
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T2

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.20		terreno vegetale				
	0.60		Limo argilloso consistente poco plastico di colore rossastro		4 4.5 5 3.5		
	1.40		Ghiaia (ciottoli da millimetrici a centimetrici) con matrice limo-argillosa di colore rossastro				
	2.10		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine.				
	2.40		Sabbia fine con ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici)				
	3.20		Ghiaia sabbiosa (sabbia fine) di colore grigio				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

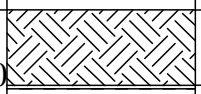
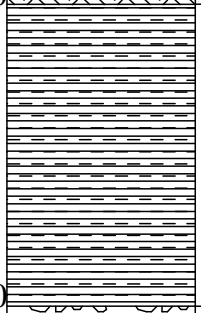
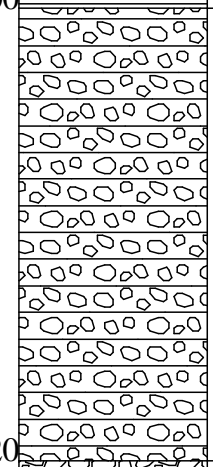
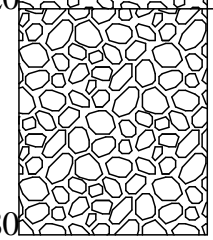
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T3

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.20		terreno vegetale				
	1.00		Limo argilloso molto consistente poco plastico di colore nocciola		1.5 1.5 1.5		
	1.80		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) in matrice limo-argillosa di colore marrone				
	3.30		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia fine				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

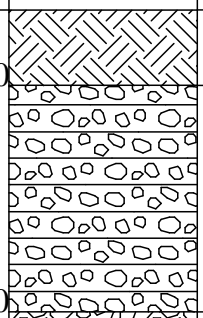
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T4

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.20		terreno vegetale				
	1.00		Limo con poca argilla molto consistente poco plastico di colore nocciola				
	2.20		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con matrice limo argillosa di colore marrone				
	2.80		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia media				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

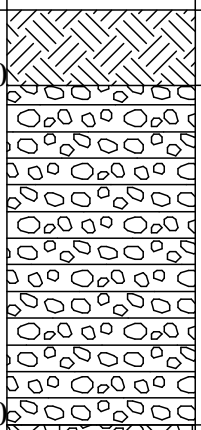
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T5

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.20		terreno vegetale				
	0.80		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con matrice argilloso-limosa di colore marrone				
	2.50		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da fine a media				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

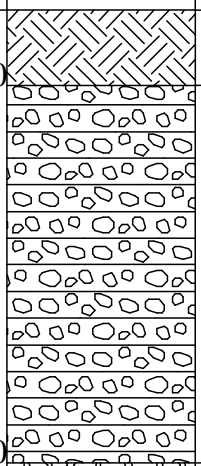
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T6

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.20		terreno vegetale				
	1.10		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con matrice argilloso-limosa di colore marrone				
	2.80		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da fine a media				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T7

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.20		terreno vegetale				
	1.20		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con matrice argilloso-limosa di colore marrone				
	2.50		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da fine a media				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

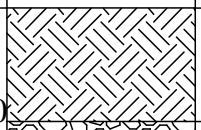
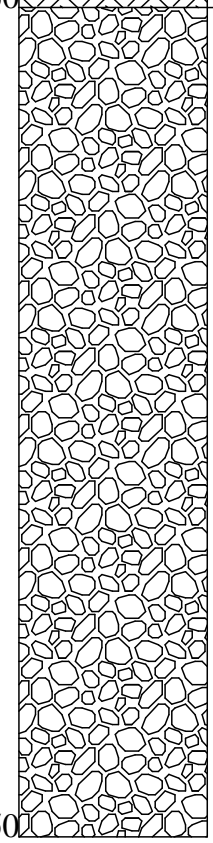
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T8

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.30		terreno vegetale				
	2.20		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia (sabbia grossolana)				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

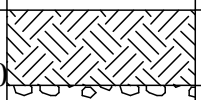
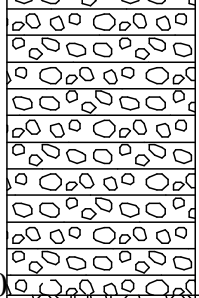
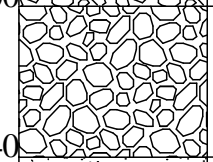
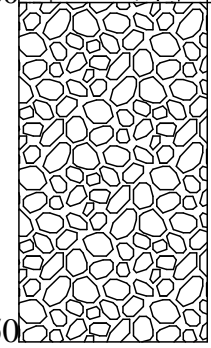
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T9

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.30		terreno vegetale				
	2.50		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia (sabbia da media a grossolana)				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T10

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.20		terreno vegetale				
	1.00		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) in matrice limo-argillosa di colore marrone				
	1.40		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia da fine a media)				
	160		Sabbia (da fine a media) ghiaiosa (con ciottoli da centimetrici a decimetrici)				
	2.50		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia da fine a media)				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

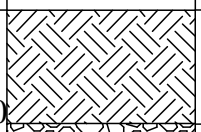
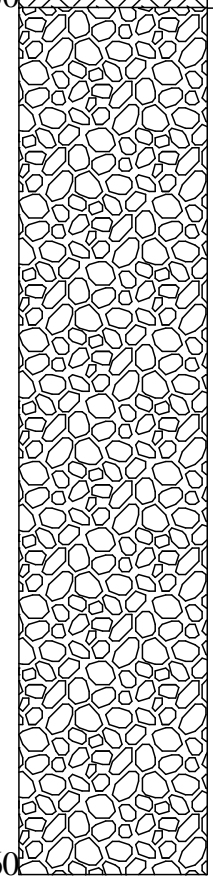
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T11

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.30		terreno vegetale				
	2.60		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia (sabbia da fine a media)				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

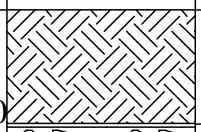
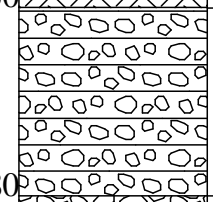
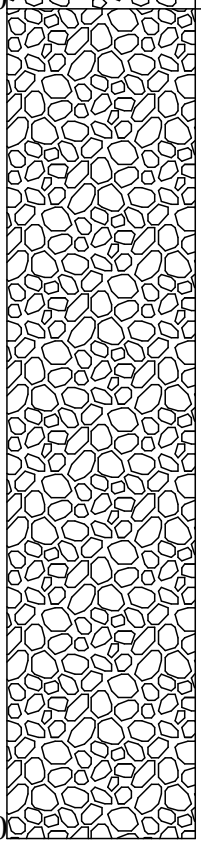
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T12

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.30		terreno vegetale				
	2.60		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia da fine a media) di colore nocciola				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

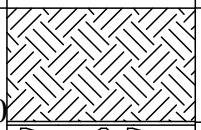
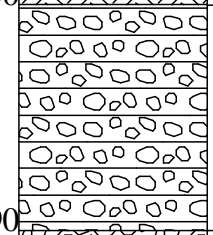
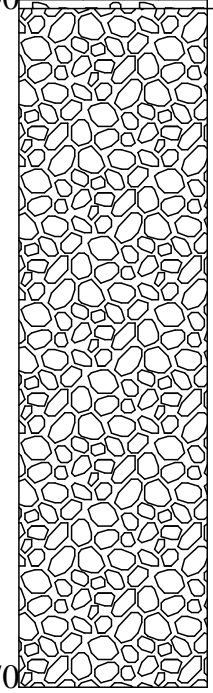
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T13

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.30		terreno vegetale				
	0.80		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) in matrice limo-argillosa di colore marrone				
	3.00		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) sabbiosa (sabbia da fine a media)				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

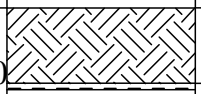
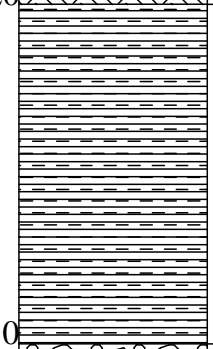
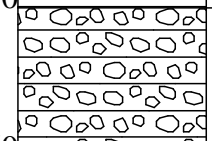
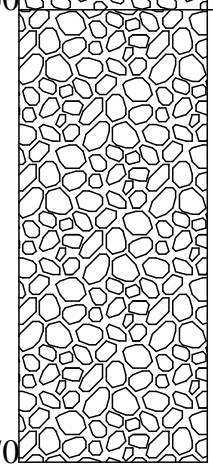
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T14

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.30		terreno vegetale				
	0.90		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) in matrice limo-argillosa di colore marrone				
	2.70		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici)				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

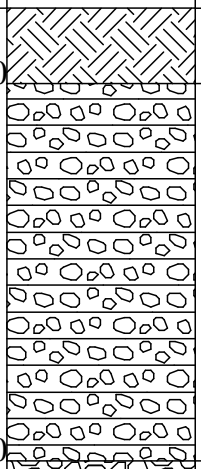
SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T15

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.20		terreno vegetale				
	1.10		Limo argilloso molto consistente poco plastico di colore marrone				
	1.50		Limo argilloso di colore marrone con ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici)				
	2.70		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia grossolana e limo di colore nocciola				

Dott. Geol. Francesco Serra
Dott. Geol. Marco Daguati
Dott. Geol. Daniele Gerosa

Committente: Comune di Treviglio (BG)
Località: Treviglio (BG)

SCALA 1:20 Data 30/10/2008 Sigla T16

Quota (m)	Profodità (m)	Stratigrafia	Descrizione litologica	Campioni	Pocket	Vane test	Falda
	0.20		terreno vegetale				
	1.20		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) in matrice limo-argillosa di colore marrone				
	2.50		Ghiaia (ciottoli da centimetrici a decimetrici) con sabbia da media a grossolana				

ALLEGATO B

- 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 Ottobre-Novembre 2008 nell'ambito della valutazione della componente sismica del piano di governo del territorio del comune di Treviglio (BG).

Scopo delle indagini è quello di ricostruire l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (Vs-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. 10 misure di sismica passiva a stazione singola (HVSR) e n. 1 stendimento sismico 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/s^2]^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 (Vs-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	
Frequenza di campionamento	*128 Hz*
Lunghezza registrazione	*20 minuti*
GPS	*attivo*



Figura 1: Vista dello strumento utilizzato.

2.1 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.

Successivamente si passa al processo di inversione attraverso il quale si ottiene l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità (modello Vs-z).

L'inversione viene eseguita utilizzando l'apposito codice di calcolo ModelHVSR (Herak, 2007-2009) il quale, attraverso una procedura iterativa tipo Monte Carlo, consente di ricostruire il modello sismico monodimensionale .

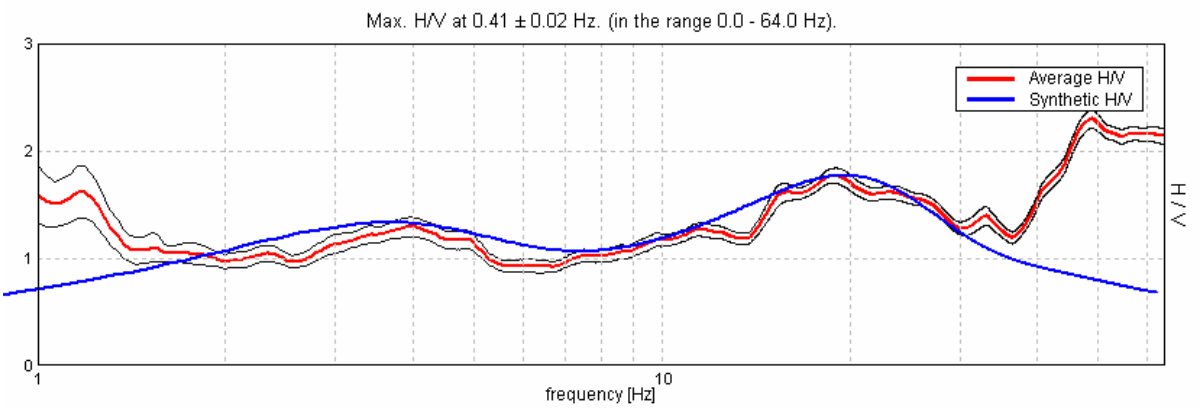
Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva H/V sintetica fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

2.2 Risultati

Di seguito si riportano per ciascuna area investigata il modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità ed il confronto tra la curva H/V misurata e quella sintetica.

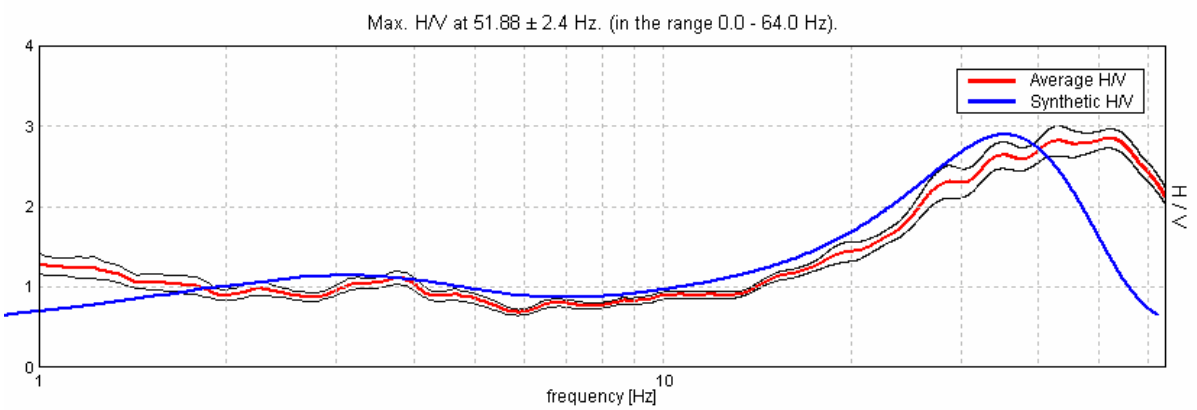
Area 1

Modello			
Strato	**Spessore [m]**	**Vs [m/s]**	**Profondità**
1	1.25	**200.00**	1.25
2	2.25	**290.00**	3.50
3	16.00	**395.00**	19.50
4	12.00	**590.00**	31.50
5	5.00	**850.00**	36.50



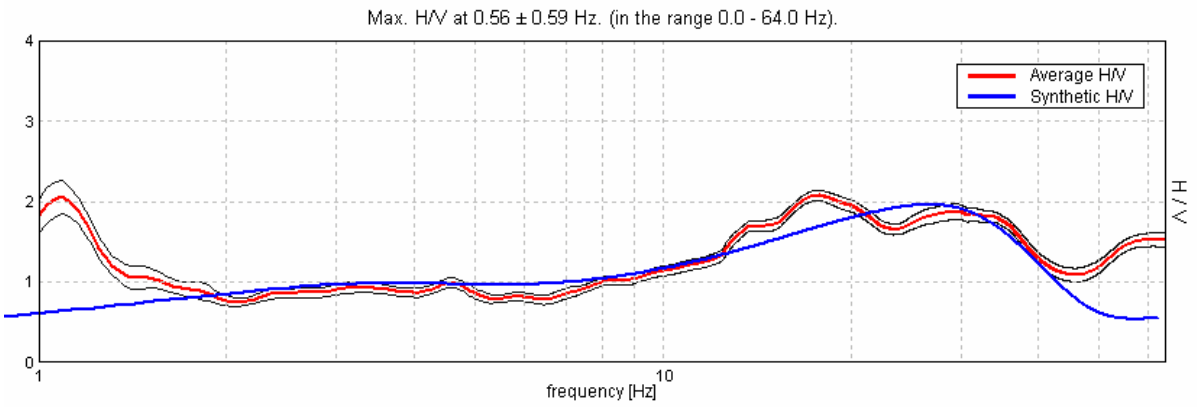
Area 2

Modello			
Strato	**Spessore [m]**	**Vs [m/s]**	**Profondità**
1	1.00	**175.00**	1.00
2	1.00	**315.00**	2.00
3	19.00	**395.00**	21.00
4	10.00	**560.00**	31.00
5	5.00	**830.00**	36.00



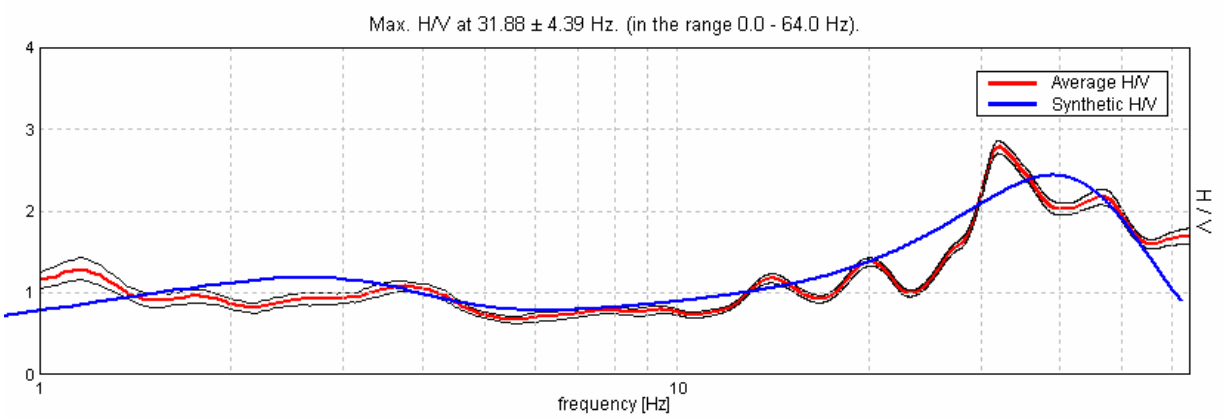
Area 3

Modello			
Strato	**Spessore [m]**	**Vs [m/s]**	**Profondità**
1	1.50	**190.00**	1.50
2	4.00	**360.00**	5.50
3	16.00	**400.00**	21.50
4	8.00	**600.00**	29.50
5	5.00	**810.00**	34.50



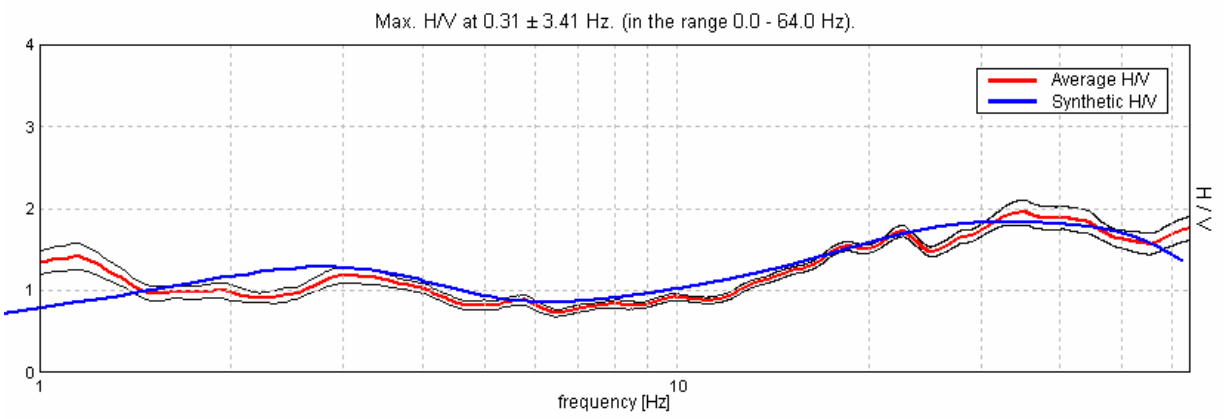
Area 4

Modello			
Strato	**Spessore [m]**	**Vs [m/s]**	**Profondità**
1	1.00	**180.00**	1.00
2	1.00	**345.00**	2.00
3	22.00	**380.00**	24.00
4	10.00	**630.00**	34.00
5	5.00	**820.00**	39.00



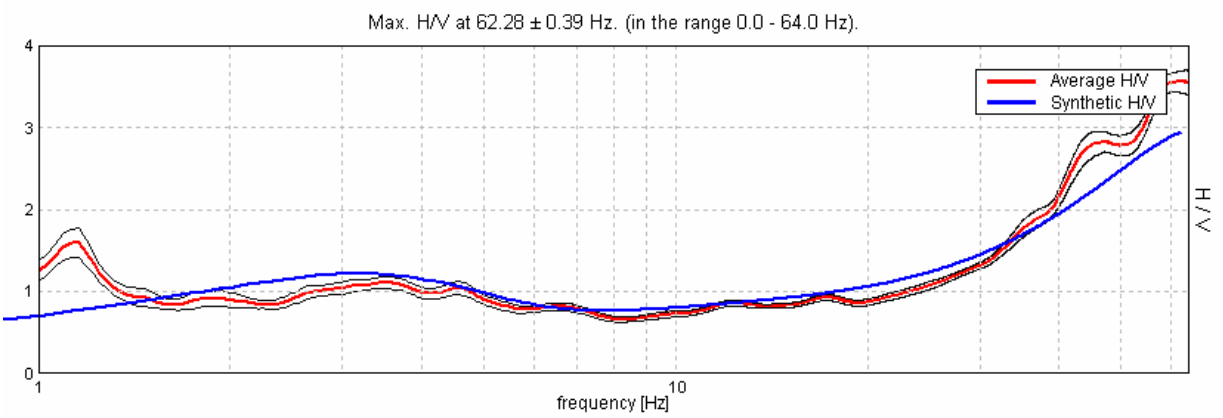
Area 5

Modello			
Strato	**Spessore [m]**	**Vs [m/s]**	**Profondità**
1	0.50	**160.00**	0.50
2	0.50	**210.00**	1.00
3	2.00	**310.00**	3.00
4	20.00	**380.00**	23.00
5	10.00	**640.00**	33.00
6	5.00	**830.00**	38.00



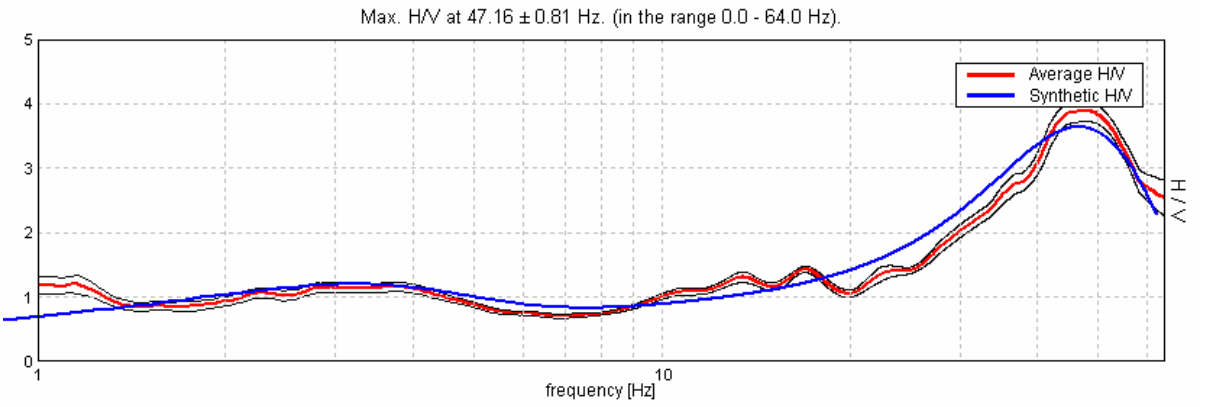
Area 6

Modello			
Strato	**Spessore [m]**	**Vs [m/s]**	**Profondità**
1	0.50	**150.00**	0.50
2	1.00	**325.00**	1.50
3	18.00	**380.00**	19.50
4	9.00	**640.00**	28.50
5	5.00	**830.00**	33.50



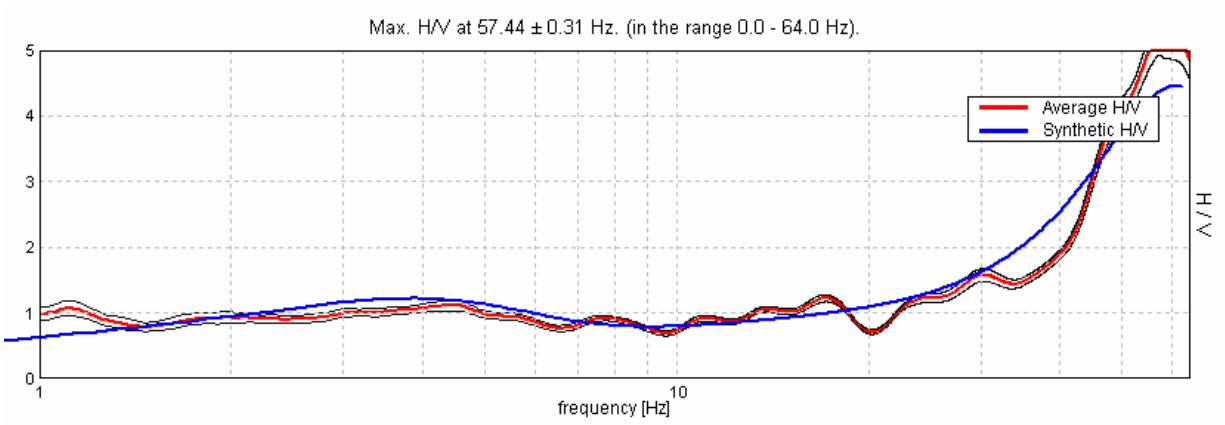
Area 7

Modello			
Strato	**Spessore [m]**	**Vs [m/s]**	**Profondità**
1	0.70	**145.00**	0.70
2	1.00	**310.00**	1.70
3	17.50	**380.00**	19.20
4	10.00	**640.00**	29.20
5	5.00	**820.00**	34.20



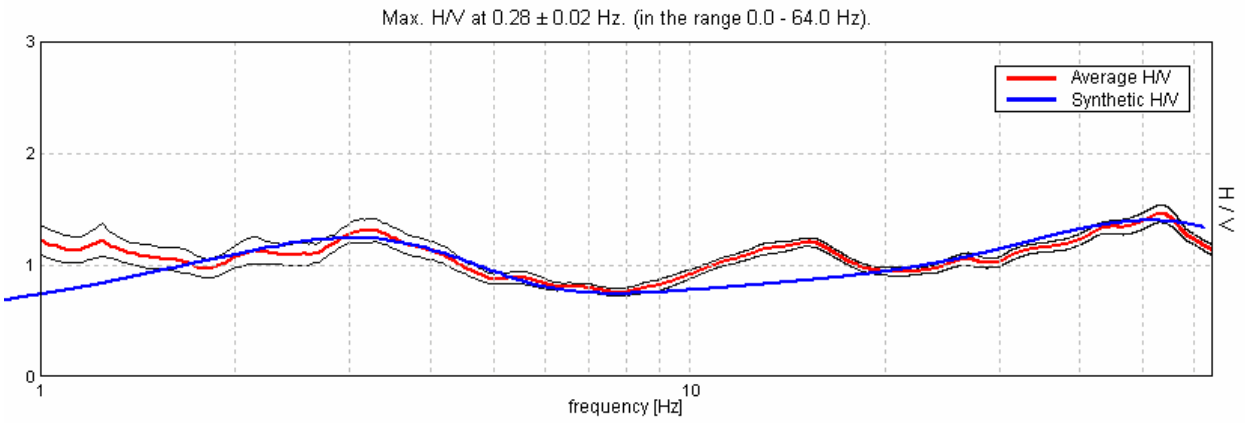
Area 8

Modello			
Strato	**Spessore [m]**	**Vs [m/s]**	**Profondità**
1	0.50	**145.00**	0.50
2	0.50	**330.00**	1.00
3	18.00	**375.00**	19.00
4	11.00	**630.00**	30.00
5	5.00	**820.00**	35.00



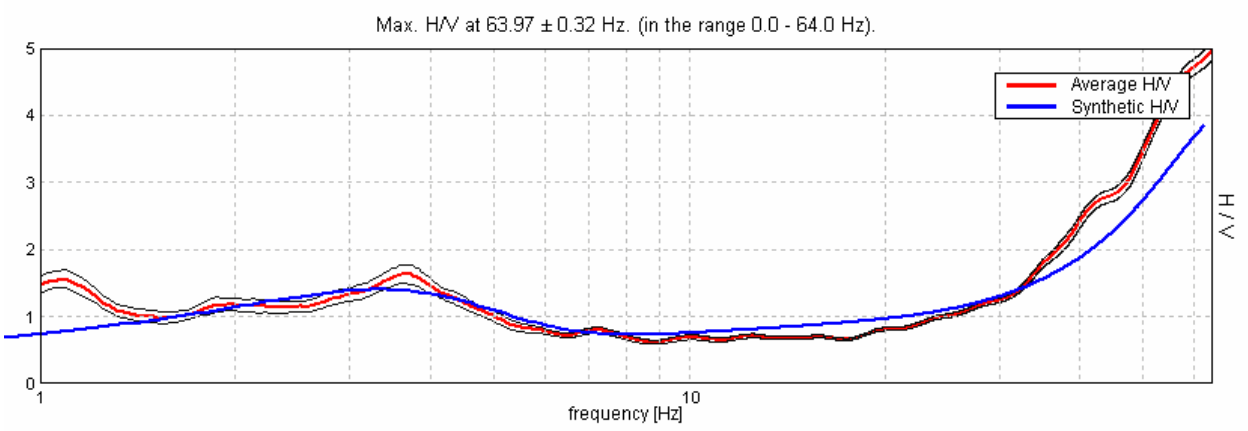
Area 9

Modello			
Strato	**Spessore [m]**	**Vs [m/s]**	**Profondità**
1	0.50	**225.00**	0.50
2	0.75	**295.00**	1.25
3	19.00	**380.00**	20.25
4	10.50	**650.00**	30.75
5	5.00	**840.00**	35.75

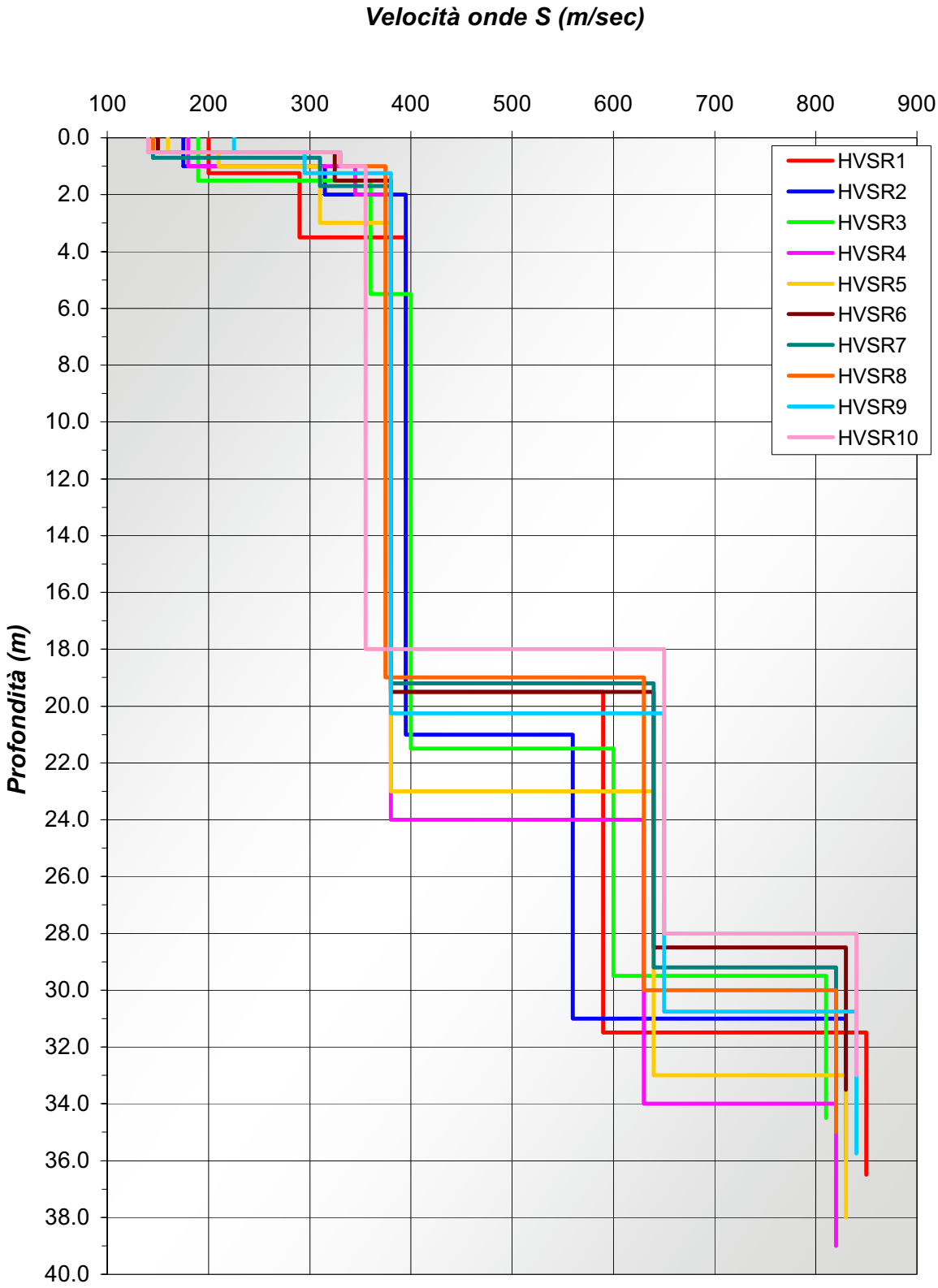


Area 10

Modello			
Strato	**Spessore [m]**	**Vs [m/s]**	**Profondità**
1	0.50	**140.00**	0.50
2	0.50	**330.00**	1.00
3	17.00	**355.00**	18.00
4	10.00	**650.00**	28.00
5	5.00	**840.00**	33.00



Shear-Wave Velocity Profile from H/V inversion



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 rigidezza 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 rigidezza 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	
Spaziatura tra i geofoni	*2.0 m*
Distanza sorgente 1° geofono	*6 e 10 m*
Tempo di campionamento	*1.0 ms*
Tempo di registrazione	*1.6 s*

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

2.3 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.

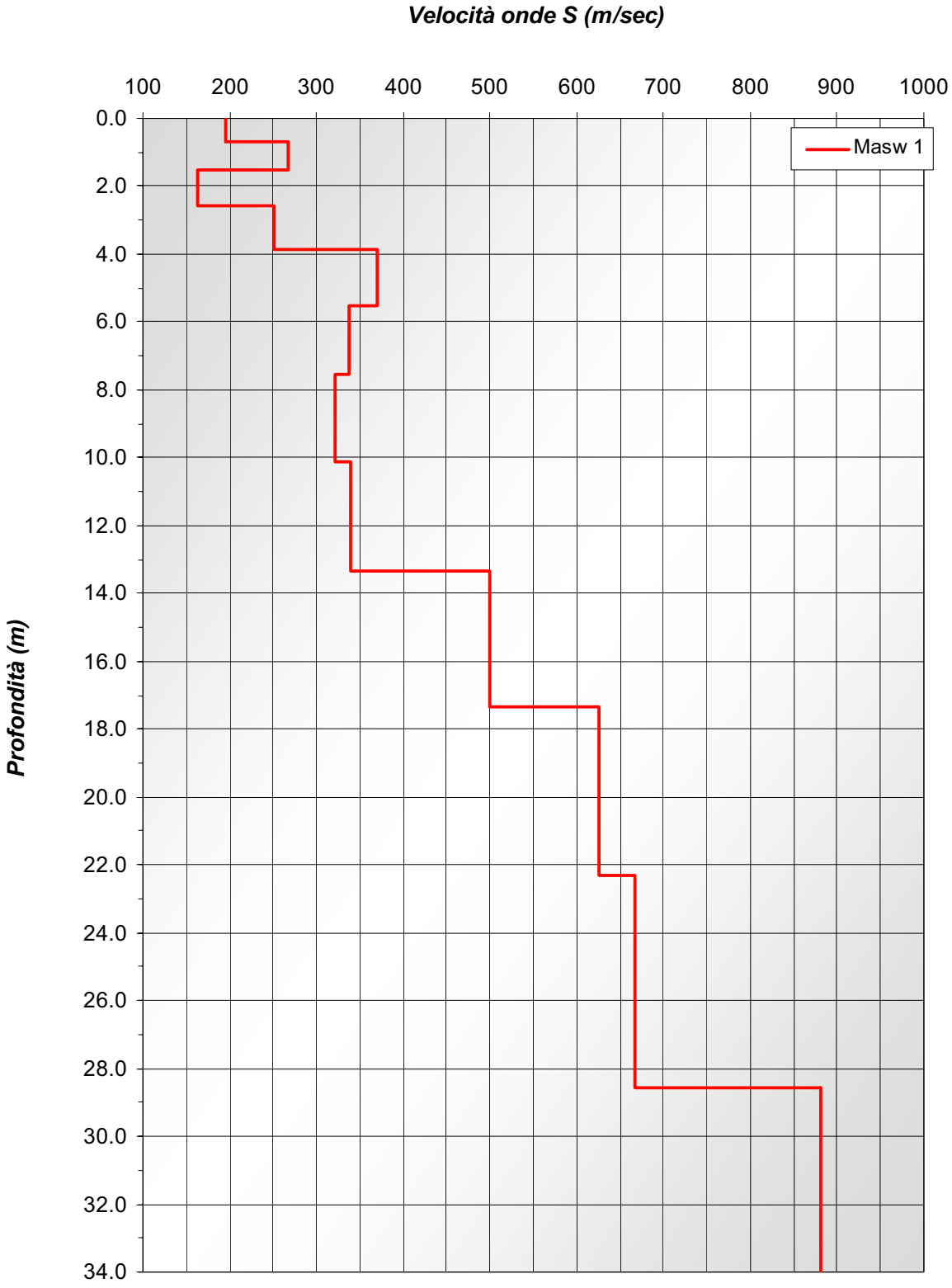
L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

Dall'inversione della curva di dispersione si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata (stendimento complessivo di circa 60 m):

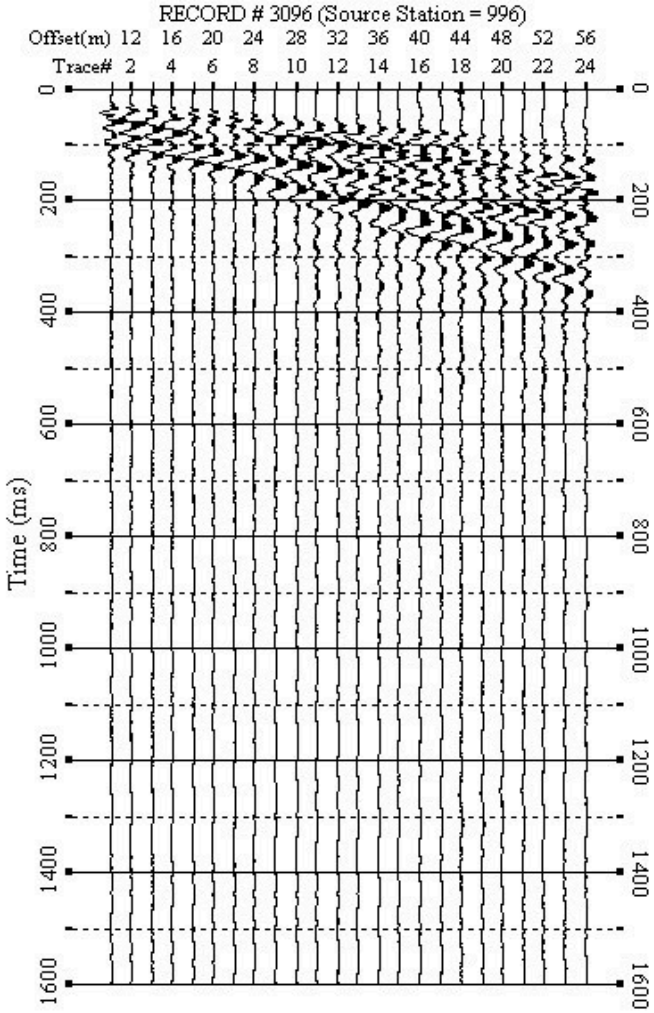
Modello 1			
Strato	**Spessore [m]**	**Vs [m/s]**	**Profondità**
1	0.67	**196.19**	0.67
2	0.84	**266.88**	1.51
3	1.05	**163.73**	2.56
4	1.31	**250.86**	3.87
5	1.64	**370.17**	5.51
6	2.05	**337.26**	7.56
7	2.56	**320.72**	10.12
8	3.20	**339.46**	13.32
9	4.00	**499.93**	17.32
10	5.00	**624.96**	22.33
11	6.25	**666.25**	28.58
12	7.15	**881.62**	35.72

Tabella 1: modello sismico monodimensionale.

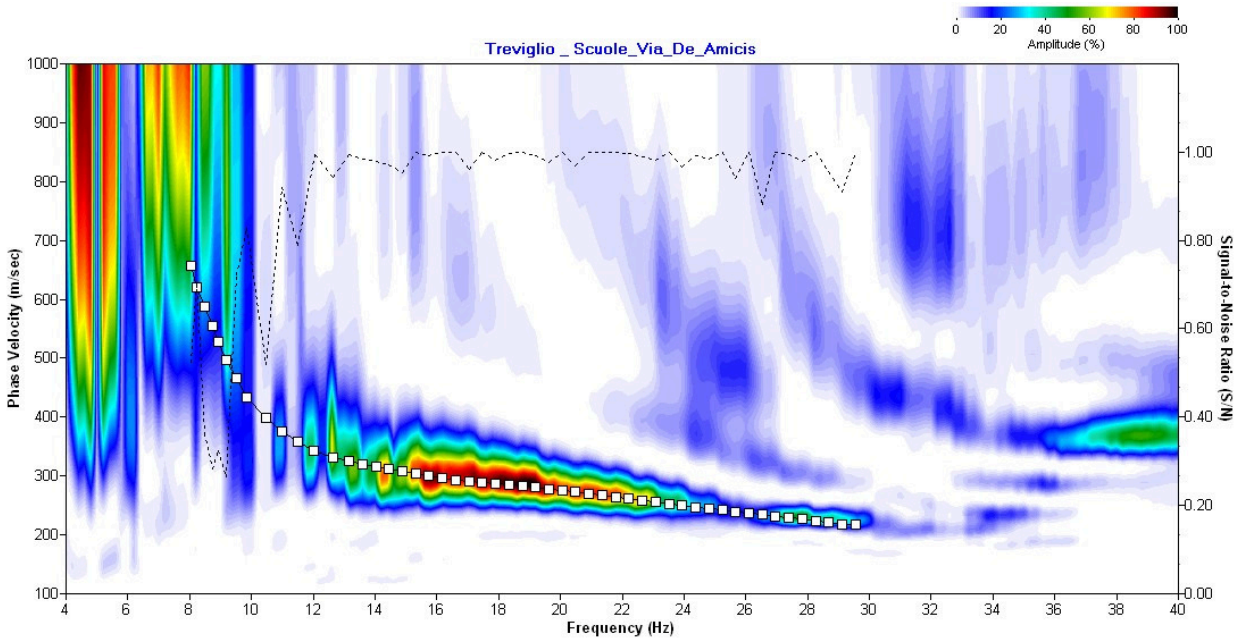
Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion



REGISTRAZIONE MASW ATTIVA



CURVA DI DISPERSIONE



4. CALCOLO DELLE V_{S30}

A partire dai modello 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):

area1 : V_{s30} = 414.8 m/s
area 2 : V_{s30} = 410.6 m/s
area 3 : V_{s30} = 414.7 m/s
area 4 : V_{s30} = 395.4 m/s
area 5 : V_{s30} = 397.2 m/s
area 6 : V_{s30} = 430.7 m/s
area 7 : V_{s30} = 424.3 m/s
area 8 : V_{s30} = 425.9 m/s
area 9 : V_{s30} = 430.0 m/s
area 10 : V_{s30} = 424.1 m/s
MASW1 : V_{s30} = 410.3 m/s