

---

**Comune di CALVATONE**  
**Provincia di CREMONA**



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

**Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12**  
**D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374**

**Ottobre 2008**

**RELAZIONE GENERALE**

**dott. Marco Daguati**  
*GEOLOGO*

---

*via A. Diaz, 22 – 26845 Codogno (Lo)*  
*tel e fax 0377.433021 – portatile 335.6785021*  
*e-mail: [marco.daguati@geolambda.it](mailto:marco.daguati@geolambda.it)*

## SOMMARIO

1. OBIETTIVI e METODO DI STUDIO .....	4
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE .....	6
3. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO.....	11
4. CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE .....	15
4.1 Il “Sistema dei terrazzi alluvionali inclusi nella fascia di meandreggiamento del F. Oglio”.....	16
4.2 Il “Livello Fondamentale della Pianura” e le forme ad esso associate .....	19
4.3 Forme dovute all’attività antropica.....	20
5. INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA E PEDOLOGICA .....	21
5.1 Caratterizzazione litologica .....	21
5.2 Caratterizzazione pedologica.....	23
6. RETICOLATO IDROGRAFICO .....	25
6.1 Il Fiume Oglio.....	28
7. IDROGEOLOGIA .....	35
7.1 Caratteristiche idrogeologiche generali .....	35
7.2 Caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale.....	38
7.3 Censimento e catalogazione dei pozzi .....	41
7.4 Indagine piezometrica.....	42
7.5 Vulnerabilità degli acquiferi .....	45
8. PERICOLOSITA’ SISMICA LOCALE .....	49
8.1 Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di Calvatone .....	49
8.2 Descrizione della sismicità .....	54
8.3 Pericolosità sismica.....	60
9. CARTA DI SINTESI .....	67
10. CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI .....	70
11. ALLEGATO 1: Risultati delle indagini geotecniche sul territorio .....	72
12. ALLEGATO 2: Stratigrafie disponibili dei pozzi.....	80
13. ALLEGATO 3: Valutazione degli effetti sismici di sito - Risultati dell’indagine eseguita su un’area campione .....	82
14. ALLEGATO 4: Indagine geofisica con metodologia MASW.....	92

## **TAVOLE ALLEGATE**

- **Tavola 1:** Carta geologica e geomorfologica
- **Tavola 2:** Carta pedologica e di prima caratterizzazione litotecnica
- **Tavola 3:** Carta del reticolato idrografico
- **Tavola 4:** Carta idrogeologica
- **Tavola 5:** Sezioni litostratigrafiche interpretative
- **Tavola 6:** Carta della pericolosità sismica locale
- **Tavola 7:** Carta di sintesi
- **Tavola 8:** Carta dei vincoli geologici
- **Tavola 9:** Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano (scala 1:10.000)
- **Tavola 10:** Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano (scala 1:5.000)

## **1. OBIETTIVI e METODO DI STUDIO**

In occasione della stesura del proprio Piano di Governo del Territorio, il Comune di Calvatone ha affidato allo scrivente l'incarico di redigere lo studio geologico, idrogeologico e sismico ai sensi dell'art. 57 della L.R. 12/05 e della D.G.R. n. 8/7374/2008.

Lo studio, sviluppato in sintonia con quanto disposto dalla vigente disciplina regionale, risulta "adattato" alle esigenze e peculiarità del territorio comunale di Calvatone: sin dall'inizio, infatti, gli sforzi e le attenzioni sono state concentrate sulle problematiche salienti di questo lembo di pianura, quali l'assetto morfologico ed idrogeologico, la vulnerabilità degli acquiferi, la caratterizzazione litotecnica dei depositi naturali, nonché la tutela e la salvaguardia delle emergenze naturali.

Secondo quanto previsto dalla disciplina regionale, lo studio è stato articolato in tre fasi:

- La prima fase (o fase di analisi) si è concretizzata con la raccolta dei dati bibliografici e delle informazioni necessarie alla definizione delle principali caratteristiche geologiche, litologiche, geomorfologiche, sismiche, idrogeologiche ed idrografiche del territorio.

Durante la fase di analisi è stata prodotta la cartografia di base e di inquadramento (scala 1:10.000) costituita dalla Carta geologica e geomorfologica (Tavola 1), dalla Carta pedologica e di prima caratterizzazione litotecnica (Tavola 2), dalla Carta del Reticolato Idrografico (Tavola 3) e dalla Carta Idrogeologica (Tavola 4). In questa fase è stata analizzata anche la sismicità del territorio e prodotta, quale elaborato sintetico, la Carta della pericolosità sismica locale (Tavola 6).

In assenza di una carta derivata da rilievo aerofotogrammetrico, per la redazione di tutta la cartografia è stata adottata la Carta Tecnica Regionale, mentre la Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano alla scala 1:5.000 è stata presentata su base derivata dalla cartografia catastale.

Parte della fase di analisi è stata dedicata anche alla ricerca di informazioni litostratigrafiche, indispensabili per descrivere le geometrie dei corpi idrici sotterranei. I risultati dell'operazione di correlazione ed interpretazione dei dati stratigrafici sono rappresentati nella sezione della Tavola 5.

- Durante la seconda fase sono stati interpretati e correlati i dati raccolti in precedenza con l'obiettivo di formulare proposte attraverso una lettura del territorio in chiave sia geologico-ambientale, sia delle vocazioni d'uso. A tale scopo è stata prodotta una Carta di Sintesi (Tavola 7) e una Carta dei Vincoli Geologici (Tavola 8) (entrambe alla scala 1:10.000), nelle quali vengono evidenziati gli aspetti più significativi emersi dalla fase di analisi e gli elementi normativi vincolanti sotto il profilo geologico. Lo scopo della cartografia è stato quello di definire le limitazioni d'uso e proporre una zonazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità geologica e della vulnerabilità idraulica e idrogeologica.

- Quale strumento finale vengono proposte le Norme Geologiche di Attuazione e la Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano (Tavola 9 e Tavola 10.).

L'intero studio, infine, viene illustrato dal presente rapporto finale nel quale, oltre a descrivere il metodo seguito, viene dato spazio al commento dei diversi elaborati prodotti, motivando la classificazione proposta.

## **2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE**

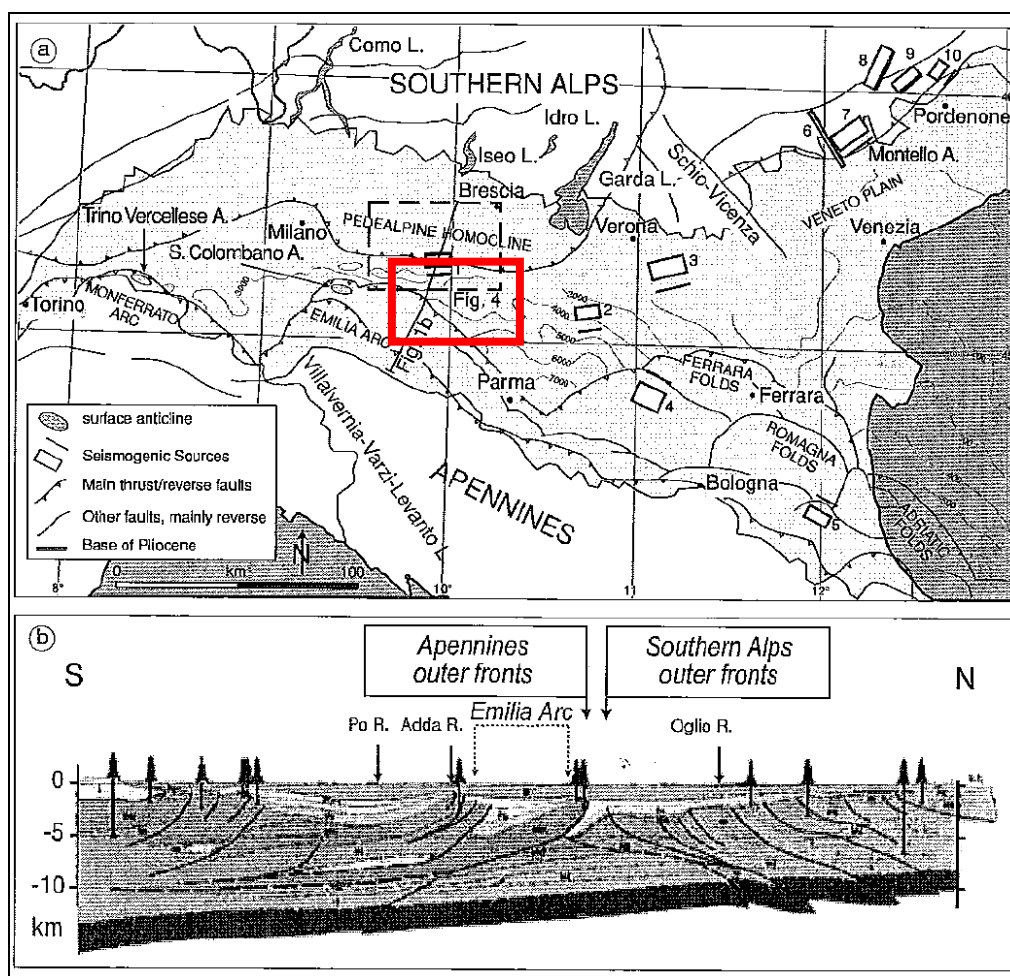
Il territorio in questione si inserisce nelle ampie strutture regionali della pianura: nel raggio di alcuni chilometri affiorano solo depositi di origine fluviale e fluvio-glaciale che, in questa zona, sono caratterizzati da condizioni di giacitura decisamente uniformi.

Al di sotto dei depositi continentali affioranti nell'ambito di indagine (che presentano spessori di diverse centinaia di metri), si sviluppa un basamento di origine marina per il quale le prospezioni geofisiche, eseguite nei decenni scorsi a scopo di ricerca petrolifera, hanno permesso di rilevare una situazione strutturale complessa e non priva di significato neotettonico.

In linea generale, l'evoluzione geologica del substrato della Pianura Padana deriva dalla convergenza della placca Africana e di quella Europea: sin dal tardo Cretacico, la Pianura Padana ha rappresentato la parte frontale di due catene di opposta convergenza, l'Appennino settentrionale (N-vergente) e le Alpi meridionali (S-vergenti).

Studi sulla base della sequenza plio-quadernaria nella porzione centrale e meridionale della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1981) mostrano lo sviluppo di tre grandi archi costituiti da thrust ciechi N-vergenti che costituiscono il fronte più avanzato della struttura appenninica settentrionale: l'Arco del Monferrato (Elter e Pertusati, 1973), l'Arco Emiliano e l'Arco Ferrarese-Romagnolo. Nella porzione centro-settentrionale della pianura, invece, il fronte esterno della catena Sud-Alpina si presenta come una serie di thrust embriciati sviluppati nella monoclinale pede-alpina, immergente verso S.

In tale contesto, il Comune di Calvatone si sviluppa sul lato N-orientale dell'Arco Emiliano, in prossimità di una struttura compressiva (piega antifforme) N-vergente nota con il nome di "Anticlinale di Piadena", il cui asse si sviluppa con direzione WNW-ESE a S dell'Oglio.



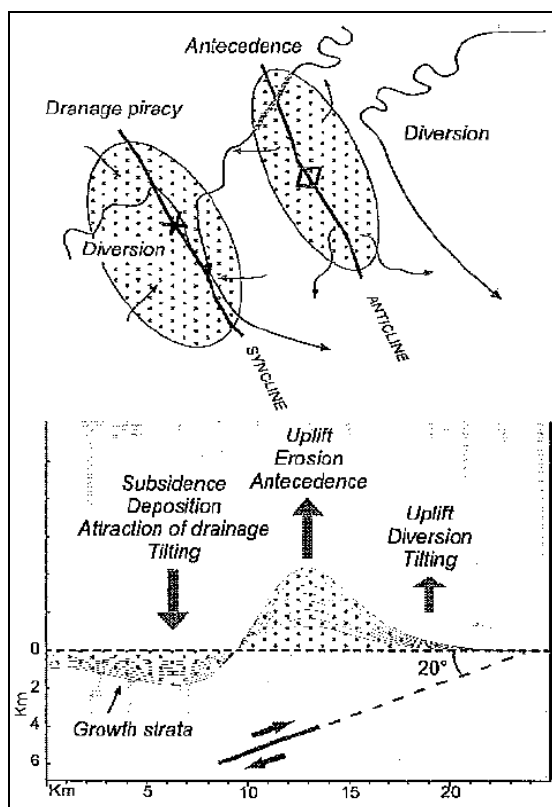
Schema tettonico del substrato della Pianura Padana  
 (“Pieri and Groppi, 1981” in “Burrato et al.”, 2003)

L’aspetto finale della Pianura Padana si è raggiunto attraverso il riempimento definitivo (cominciato nel Pliocene con depositi dapprima marini e poi continentali) delle avanfosse padane, sulle quali si sono modellati una serie di bacini di piggy-back (bacini sedimentari di tipo sin-orogenetici sul dorso di thrust embriciati) formatisi a seguito dei movimenti riconducibili a varie fasi tettoniche.

Sebbene la definitiva strutturazione del substrato sepolto venga tradizionalmente associata a una fase pliocenica media-inferiore (databile dalla discordanza esistente tra i sedimenti plio-pleistocenici marini ed il substrato più antico), è opinione sempre più diffusa che i depositi alluvionali quaternari siano stati coinvolti anche in fasi neotettoniche, condizionando la morfogenesi più recente (Braga et al., 1976; Pieri e Groppi, 1981; Burrato et. al., 2003).

A sostegno di questo fatto, molti Autori indicano sia gli affioramenti di sedimenti pre-würmiani che emergono sul “Livello Fondamentale della Pianura” in prossimità degli assi di

alcune strutture positive del substrato, sia alcune sintomatiche “anomalie” che si manifestano in taluni tratti dei principali corsi d’acqua: tra i probabili condizionamenti strutturali si evidenzia la brusca variazione di orientamento da NW-SE a WNW-ESE assunta dalla valle dell’Oglio in corrispondenza dell’asse strutturale dell’Anticlinale di Piadena, fenomeno che può essere giustificato con il classico meccanismo della “diversione” fluviale condizionata da un sollevamento del substrato.



Meccanismi di condizionamento tettonico della rete idrografica (Burrato et al., 2003)

A scala locale (in Comune di Calvatone), l’Oglio assume addirittura una direzione verso ENE (secondo una pendenza opposta a quella generale della pianura). Il cambio di direzione da quadranti S-orientali a quadranti N-orientali avviene in modo repentino immediatamente a valle della sezione di S. Paolo Ripa d’Oglio (poco a W del limite territoriale di Calvatone), ove il corso d’acqua giunge ad erodere direttamente il margine del Livello Fondamentale della Pianura (Tavola 1).



Fig. 2.3 – Carta geomorfologica della Pianura Padana (Castiglioni et. Al., 1997)  
(nel riquadro blu il territorio di Calvatone)

Nonostante i chiari sintomi di un coinvolgimento della copertura quaternaria in fasi neotettoniche, non si rilevano concrete situazioni di rischio derivanti da sismi di superficie; l'ambito comunale, infatti, risulta classificato, secondo la recente normativa (Ordinanza del Pres. Cons. Ministri n. 3274 del 20.03.2003), come zona 4.

A tale proposito va considerato come anche nelle aree sismicamente più attive della penisola italiana, i tempi di ritorno per i grandi terremoti siano superiori a 1000 anni, mentre l'attuale catalogo storico (considerato completo per eventi di magnitudo superiore a 5.5 solo dopo il 17° secolo) potrebbe non coprire adeguatamente il ciclo sismico della maggior parte delle aree sismogenetiche padane. Tuttavia, il confronto tra le deformazioni verticali a lungo termine (a partire dal Pleistocene superiore) e quelle a breve termine, calcolato utilizzando correlazioni geomorfologiche e misure geodetiche (De Martini et al., 1998), dimostra come per molti dei thrust attivi una buona parte dell'energia venga rilasciata in modo asismico: tale fattore giustificherebbe comunque l'attività neotettonica e il condizionamento della

sedimentazione e dei lineamenti morfologici di superficie (Burrato et al., 2003), pur riducendo il rischio sismico a cui è esposto questo lembo di Pianura Padana.

### 3. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

Come evidenziato dalla cartografia geologica ufficiale (Carta Geologica della Lombardia scala 1:250.000 e Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000), tutte le unità affioranti in un intorno significativo dell'area di analisi sono di origine continentale.

Tali unità, caratteristiche di ambienti deposizionali fluviali e di età compresa tra il Pleistocene medio e l'Olocene, sono:

- **Alluvioni attuali** - sono depositi sabbiosi o limosi, con lenti ghiaiose, presenti nell'alveo inciso del F. Oglio.

- **Alluvioni recenti (Olocene medio-superiore)** - si tratta delle alluvioni affioranti con continuità lungo una fascia più o meno ampia sulle sponde del F. Oglio; sono depositi terrazzati, fissati e coltivati, di poco sospesi sull'alveo inciso del Fiume.

- **Alluvioni antiche (Olocene inferiore)** - sono i depositi presenti in modo discontinuo ai margini della valle dell'Oglio, posti in posizione intermedia tra il Livello Fondamentale della Pianura e la piana alluvionale del corso d'acqua (non affiorano nel territorio comunale).

- **Fluviale Wurm (Pleistocene superiore)** - è costituito da depositi sabbiosi, limosi ed argillosi con lenti ghiaiose a ciottoli minuti; presentano un suolo bruno o brunastro, talora rossastro, per dilavamento di paleosuoli preesistenti a monte. I depositi costituiscono il substrato del Livello Fondamentale della Pianura (o Piano Generale Terrazzato) sviluppato a valle della linea delle risorgive.

- **Interglaciale Wurm-Riss (Pleistocene medio-superiore)** – sono depositi fluviolacustri argillosi, bancastro-giallastri o bruno-giallastri, talora con scarsi ciottolini e frequenti concrezioni calcaree e affiorano, secondo gli Autori della Carta Geologica d'Italia, in un ampio settore S-orientale del territorio comunale.

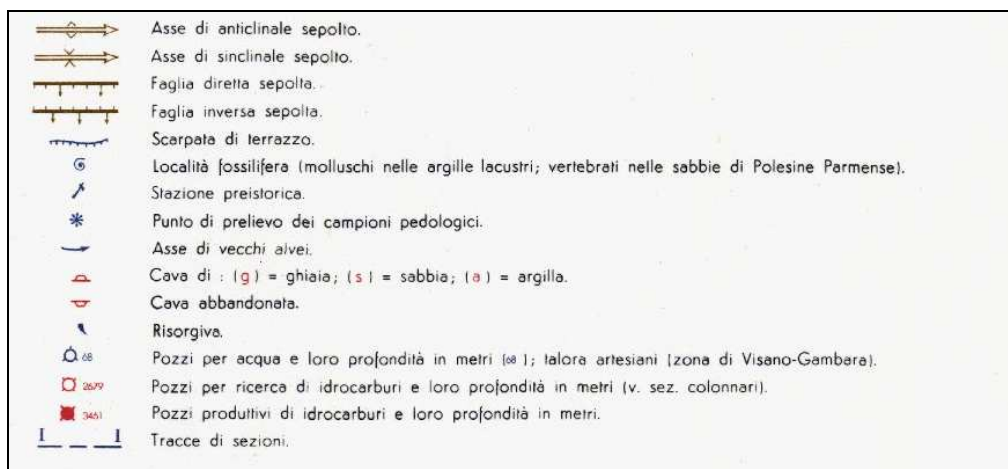
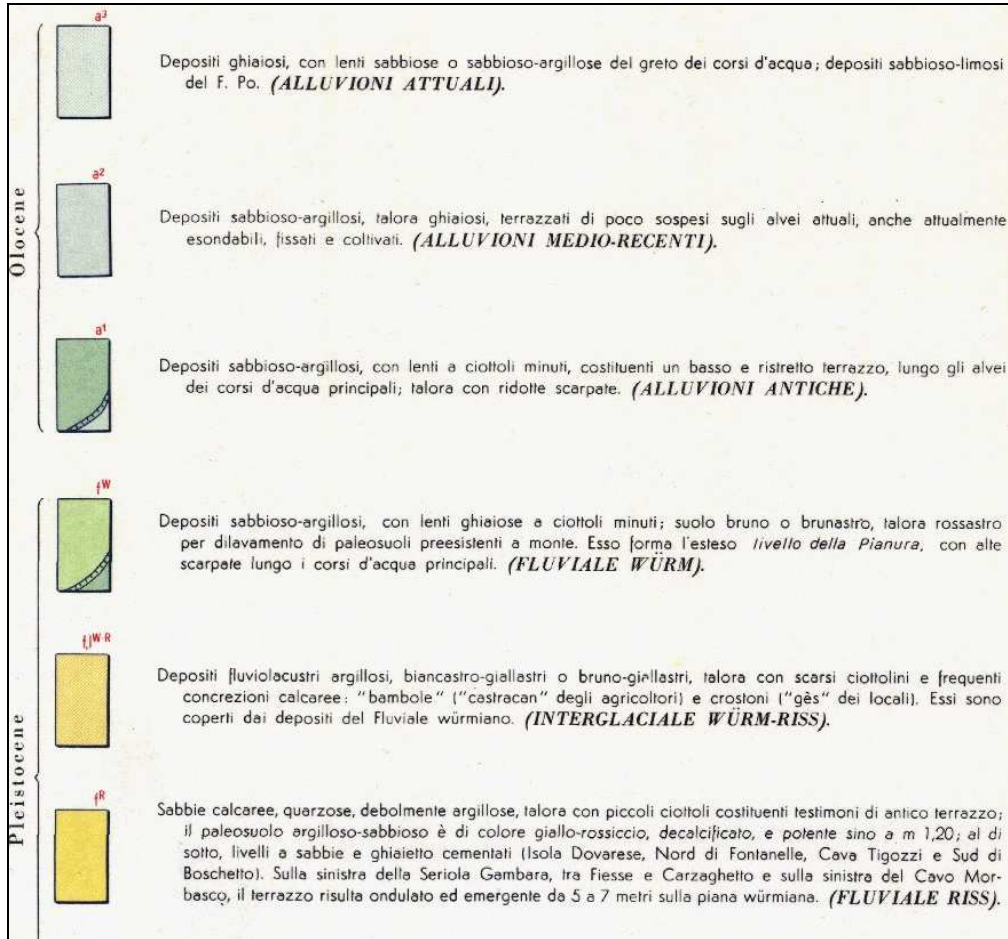
- **Fluviale Riss (Pleistocene medio)** – si tratta di sabbie calcaree, quarzose, debolmente argillose, talora con piccoli ciottoli costituenti testimonianze di un antico terrazzo; il paleosuolo argilloso-sabbioso è di colore giallo rossiccio, decalcificato e potente sino a 1.2 m.

Per un corretto inquadramento delle unità stratigrafiche descritte e affioranti, di seguito viene riprodotto uno stralcio della Carta Geologica d'Italia.

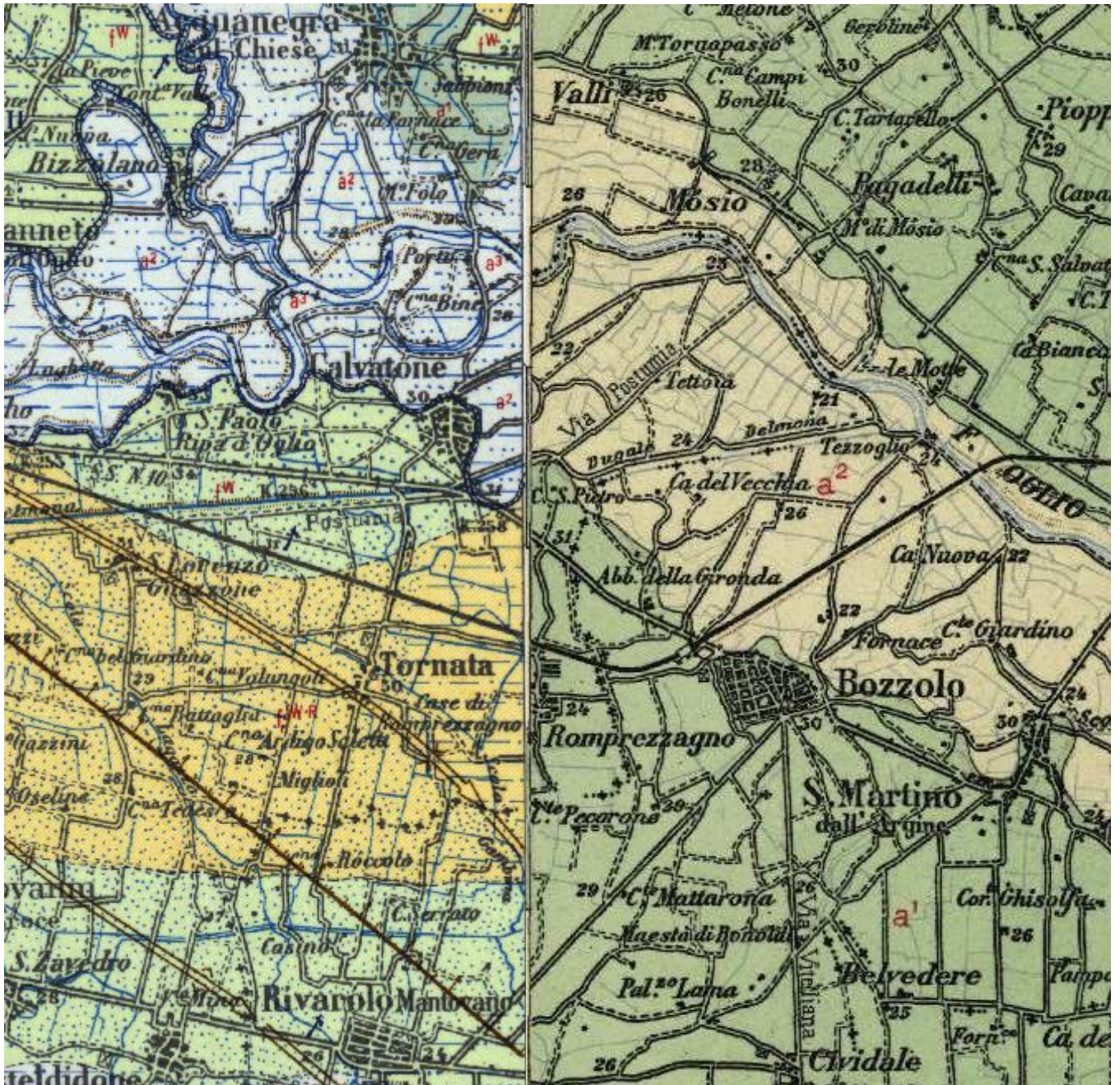
## CARTA GEOLOGICA

Estratta da Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 61 "Cremona" e foglio n. 62 "Mantova"

### LEGENDA



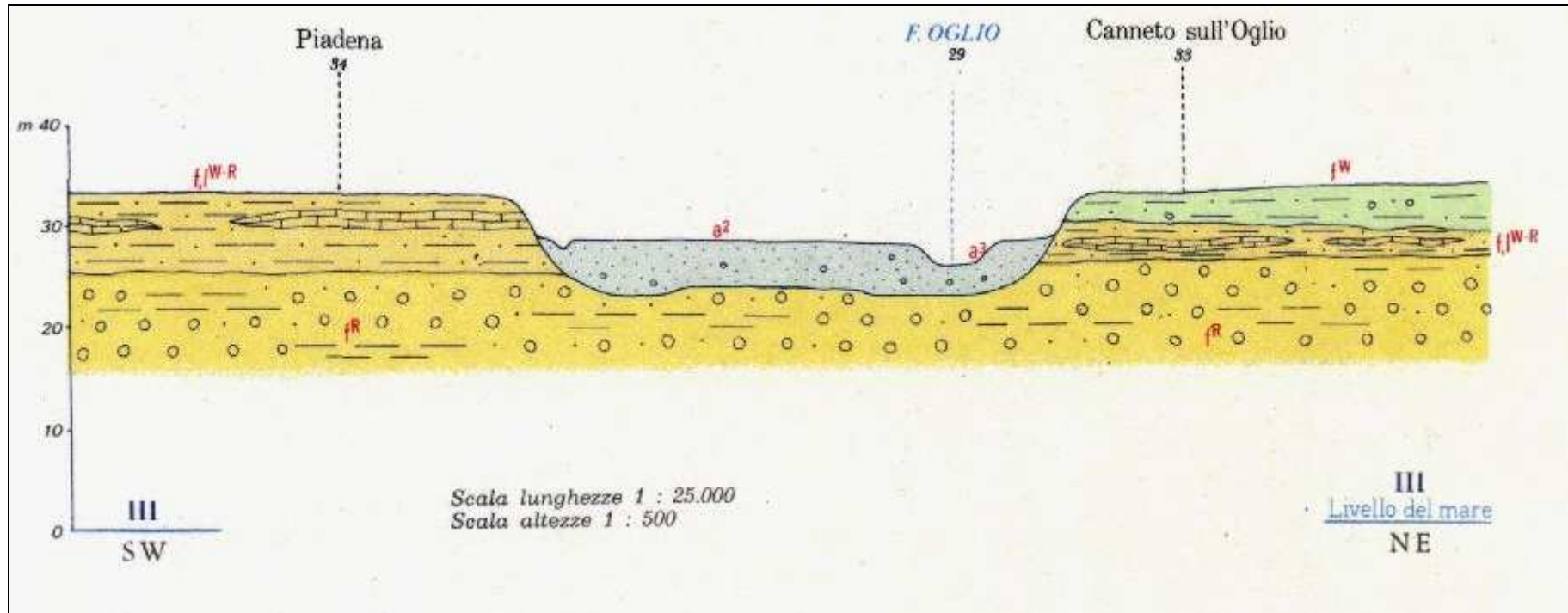
## CARTA GEOLOGICA



Foglio 61 "Cremona"

Foglio 62 "Mantova"

## SEZIONE GEOLOGICA DI RIFERIMENTO



All = Alluvione.

Qm = Quaternario marino.

Plms = Pliocene medio-sup.

Pli = Pliocene inferiore.

Ms = Miocene superiore.

Tor = Tortoniano.

Elv = Elveziano.

Mm = Miocene medio.

Mi = Miocene inferiore.

## **4. CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE**

La carta geomorfologica di Tavola 1 costituisce il primo elaborato della fase di analisi ed è stata redatta adottando come base di lavoro i criteri geomorfologici ad indirizzo applicativo proposti dal Gruppo Nazionale Geografia Fisica e Geomorfologia. Con la simbologia sono stati rappresentati sia le forme e i depositi più significativi, distinti in base all'agente morfogenetico che li ha generati, sia il loro stato di attività.

L'analisi territoriale ha grande rilevanza per la valutazione dei fenomeni caratterizzanti un'area di pianura, in quanto gli elementi geomorfologici costituiscono la testimonianza diretta dell'evoluzione che ha interessato la zona nell'ultimo periodo geologico.

In questo contesto e date le finalità applicative della cartografia da produrre, invece, gli elementi geologico-strutturali sono stati considerati unicamente come base su cui si sono modellate le forme superficiali.

Il territorio di Calvatone è posto nella porzione S-orientale della pianura cremonese, è interamente compreso fra le quote di 31 e 21 m s.l.m. e si presenta come una superficie sub-pianeggiante, sviluppata su una serie di ripiani altimetricamente separati: la continuità morfologica del territorio, infatti, è interrotta dalla serie di scarpate che, con direzione media WNW-ESE, terrazzano i depositi pleistocenici costituenti il substrato del Livello Fondamentale della Pianura sulla valle olocenica del fiume Oglio.

Nel complesso, quindi, l'aspetto è quello di un territorio caratterizzato dall'esistenza di terrazzi morfologici a forma di ripiani sovrapposti, di altezza variabile, dovuti ad una successione spazio-temporale di episodi di alterna erosione e sedimentazione, particolarmente evidenti avvicinandosi all'Oglio.

Durante la fase di rilevamento e di stesura della cartografia sono stati distinti i seguenti sistemi morfologici (dal più basso e più recente):

1. il "Sistema dei terrazzi alluvionali inclusi nella fascia di meandreggiamento del F. Oglio";
2. il "Livello Fondamentale della Pianura".

#### **4.1 Il “Sistema dei terrazzi alluvionali inclusi nella fascia di meandreggiamento del F. Oglio”**

All'interno di questo sistema morfologico si distinguono:

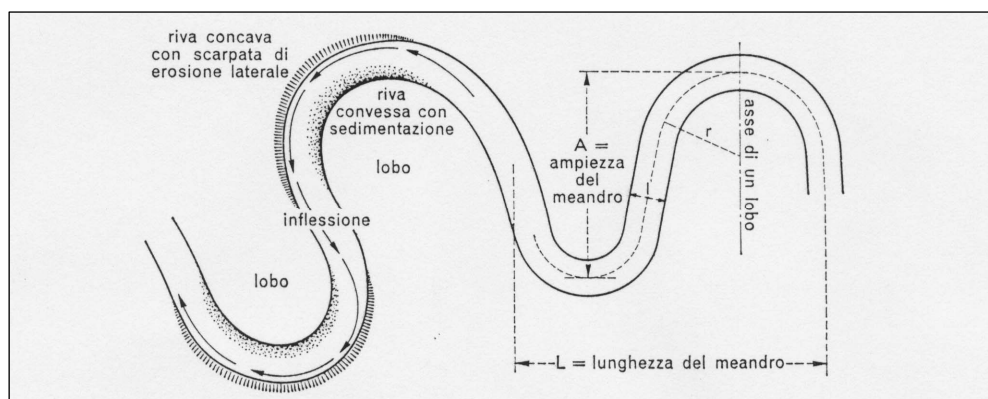
- L'alveo attivo del fiume Oglio e le forme ad esso associate (isole, barre ecc.), generalmente in evoluzione.
- Un ripiano sospeso sull'alveo attuale del fiume Oglio, costituito da depositi alluvionali medio-recenti e potenzialmente inondabile ove non adeguatamente protetto dagli argini di difesa.

Nel corso del rilevamento di dettaglio del territorio di Calvatone sono stati riconosciuti e parzialmente cartografati anche una serie elementi di origine fluviale: si tratta in genere di piccoli ripiani, dossi e depressioni la cui evidenza è debolissima e talvolta mascherata dall'intervento antropico. Un'analisi di maggior dettaglio del ripiano alluvionale dell'Oglio rivela una situazione non priva di una complessa articolazione, caratteristica di ripetuti fenomeni di divagazione compiuti dal corso d'acqua in un recente passato.

Per meglio interpretare i processi morfologici e sedimentari fluviali che hanno dato vita a questo lembo di territorio, vale la pena ricordare come, secondo lo schema introdotto da Trevisan (1968), il corso dell'Oglio presenta un tipico alveo di tipo “E”, cioè la caratteristica struttura a meandri di pianura alluvionale soggetta a inondazione durante le piene maggiori. I meandri sono forme fluviali in rapida evoluzione a causa della facile erodibilità delle sponde sabbiose. La pianura circostante, per effetto dei depositi abbandonati durante le inondazioni, tende ad innalzarsi, aumentando nel tempo il dislivello tra il fondo dell'alveo ed il piano di inondazione. L'innalzamento degli argini naturali limita a sua volta le esondazioni, cosicchè i materiali solidi, deposti in alveo durante le fasi di decrescita delle piene, determinano la pensilità del fiume sulla pianura circostante e ne favoriscono le esondazioni.

In relazione alla morfogenesi fluviale, è noto come il meandro di pianura mostri una spiccata tendenza ad accentuarsi. Il filone centrale della corrente, infatti, si sposta verso la parte esterna del meandro e corre in vicinanza della sponda concava, contrariamente a quanto avviene su quella convessa. In una successione di meandri, quindi, la corrente lambisce successivamente la riva destra e la sinistra, descrivendo sinuosità maggiori di quelle mostrate dall'alveo: la capacità erosiva del filone principale della corrente, perciò, tende ad aumentare

la sinuosità del fiume in ogni ansa, sottoponendo la riva concava ad una erosione progressiva; sulla sponda convessa, invece, la corrente, più lenta rispetto alla riva concava, abbandona una parte del carico trasportato e deposita la cosiddetta “barra di meandro o lobo” (di natura prevalentemente sabbiosa). Il risultato morfometrico è pertanto quello di una riva concava generalmente più ripida di quella convessa.



*Terminologia ed elementi morfologici dei meandri fluviali  
(da “Geomorfologia, 1989 – G.B. Castiglioni)*

La progressiva tendenza all'accentuazione di un meandro porta al fenomeno indicato come “salto di meandro”, la cui forma relitta è un ramo del corso d'acqua indicato con il nome di lanca o mortizza che, nel tempo, è soggetto ad un progressivo impaludamento ed interrimento con depositi fini (argilla e limo), caratterizzati da una diffusa componente organica.

Letto in chiave dinamica, il fenomeno morfogenetico assume significato sia come agente responsabile di una forma inattiva (i paleoalvei), sia come elemento di pericolosità in corrispondenza delle sponde concave del corso d'acqua (come accade nei pressi della C.na S. Maria).

Al proposito, si segnala come proprio all'ingresso del territorio comunale di Calvatone, l'Oglio rivolga una riva concava, esercitando una notevole pressione sulle ripe modellate direttamente nei depositi terrazzati tardo pleistocenici; in questo caso, la scarpata morfologica principale al margine del Livello Fondamentale della Pianura mostra una spiccata tendenza evolutiva per erosione al piede, determinando una situazione di generale pericolo. Come già descritto nei capitoli precedenti, non si esclude che tale fenomeno possa essere il risultato di condizionamenti neotettonici da parte delle strutture sepolte.

Fra le forme relitte più evidenti, invece, va segnalata la depressione meandriforme (lanca o mortizza) lungo il confine settentrionale del territorio, originatasi per taglio di un meandro del

corso d'acqua. Nella cartografia di Tavola 1, inoltre, sono state evidenziate anche altre evidenti anse meandriche che, seppur non più associate a lineamenti morfologici (causa l'intenso rimaneggiamento antropico), sono documentabili planimetricamente.

## **4.2 Il “Livello Fondamentale della Pianura” e le forme ad esso associate**

I depositi terrazzati tardo pleistocenici costituiscono un piano debolmente immergente verso ESE (caratterizzato da una marcata omogeneità planoaltimetrica), noto in letteratura con il nome di “Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P.)” o “Piano Generale Terrazzato (P.G.T.)”. Non più interessato dall'idrografia principale e segnato da tracce di idrografia abbandonata, il Livello Fondamentale della Pianura rappresenta una forma non attiva (fatta eccezione per fenomeni geomorfologici di minor entità attivi solo localmente): i processi che produssero la formazione di questa superficie sono indubbiamente polifasici e il corpo sedimentario è attribuibile a più eventi. La superficie continua ed arealmente estesa del Livello Fondamentale della Pianura testimonia l'arresto di ogni fase di aggradazione fluviale su di essa, verificatosi un momento prima dell'instaurarsi di condizioni fortemente erosive negli affluenti di sinistra del Po: quest'ultimi, infatti, scorrono entro larghe valli incassate, occupandone spesso una porzione estremamente ridotta.

Secondo gli Autori della Carta Geologica d'Italia, nel settore S-orientale del territorio comunale il ripiano pleistocenico sarebbe modellato nei depositi dell'interglaciale Wurm-Riss: tale informazione è stata riprodotta nella cartografia di Tavola 1, nonostante l'assenza di elementi morfologici che consentano una distinzione fra questa unità e quella più recente datata al Wurm.

La scarpata morfologica che terrazza il ripiano tardo-pleistocenico verso N, invece, rappresenta il lineamento più evidente di questa porzione di pianura e delimita l'ampio solco che ospita le alluvioni oloceniche del fiume Oglio. La scarpata morfologica presenta un'altezza variabile sino a un massimo di circa 5-6 m e, quando presenta caratteristiche naturali, assume i connotati di un versante molto acclive, ormai relitto e privo di significativi fenomeni di instabilità, fatto salvo esigue incisioni dovute al ruscellamento concentrato da parte delle acque superficiali (meteoriche o irrigue). Localmente, la scarpata morfologica risulta rimaneggiata da interventi antropici ed è ridotta a una caratteristica rottura di pendenza del piano di campagna (come accade nei pressi del capoluogo).

A S del capoluogo, infine, vanno segnalate le modeste scarpate secondarie ai margini dell'incisione morfologica operata dal Dugale Tagliata: in funzione della propria portata e di una discreta capacità erosiva (controllata da pendenza e velocità in prossimità della scarpata morfologica principale), infatti, il Dugale Tagliata ha parzialmente regolarizzato (“rasato”) la

rottura di pendenza che separava il terrazzo pleistocenico dalla valle dell'Oglio, nonostante la naturale tendenza sia in parte contrastata dall'azione antropica di regimazione idraulica.

### **4.3 Forme dovute all'attività antropica**

Sebbene non siano state ricostruite cronologicamente le azioni di bonifica che hanno modificato negli ultimi secoli l'assetto planoaltimetrico del territorio, si ritiene doveroso riconoscere l'importanza delle opere che hanno interessato il Comune di Calvatone a valle della scarpata morfologica principale, le quali, sovrapponendosi alla naturale tendenza evolutiva del territorio, hanno reso vivibili zone altrimenti paludose o soggette alle esondazioni dell'Oglio.

Sul Livello Fondamentale della Pianura, invece, si segnalano soprattutto interventi di livellamento effettuati a scopo agronomico, oltre alla presenza di un fitto reticolato idrografico finalizzato a distribuire acqua ad uso irriguo sull'intera superficie comunale, a raccogliere e smaltire le colature e, nelle aree più depresse, a bonificare terreni con acqua sub-affiorante.

Fra le forme di natura antropica è stato cartografato il rilevato arginale lungo l'Oglio che protegge il territorio dalle principali esondazioni del corso d'acqua.

La cartografia di Tavola 1, inoltre, evidenzia la depressione morfologica ai margini orientali del territorio comunale successivamente colmata mediante il riporto di inerti: si tratta di una discarica di materiale inerte regolarmente autorizzata, la cui coltivazione è ormai cessata.

## **5. INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA E PEDOLOGICA**

### **5.1 Caratterizzazione litologica**

La natura litologica dei terreni affioranti è stata definita attraverso una serie di trincee esplorative che hanno consentito di trarre considerazioni sui primi metri di suolo e sottosuolo. Tutti i dati disponibili (ubicati in Tavola 2), che ricordiamo costituire notizie puntiformi, sono poi stati oggetto di una attenta revisione critica durante il processo di interpretazione, correlando fra loro anche le informazioni dedotte da indagini di tipo stratigrafico (trincee e sondaggi), geotecnico e pedologico disponibili nell'archivio comunale, in quello dello scrivente e in letteratura (Allegato 1).

La finalità dell'indagine è stata anche quella di classificare i depositi più superficiali secondo intervalli di permeabilità, necessari per le successive valutazioni sulla vulnerabilità intrinseca dell'acquifero superficiale.

Le informazioni così acquisite hanno consentito una prima caratterizzazione litotecnica dei depositi naturali, conducendo a una prima e fondamentale distinzione fra terreni granulari incoerenti (resistenza al taglio caratterizzata dal solo angolo di attrito) e terreni fini (resistenza al taglio caratterizzata soprattutto dall'esistenza di legami coesivi).

In questo modo sono state definite le seguenti unità:

**UNITA' 1** – Sono depositi sabbiosi e sabbioso-limosi (classificazione U.S.C.S. tipo SW, SP e SM) con sottili e discontinue coperture di natura limosa – Area di affioramento: Livello Fondamentale della Pianura.

**UNITA' 2** – Si tratta di terreni superficiali da limo-argillosi a limo-sabbiosi (tipo CL, ML), di modesto spessore (generalmente limitato ai primi 2-3 metri) e saturi a profondità prossime al piano campagna, a copertura di depositi sabbiosi o sabbioso-limosi. Nella fascia più vicina all'Oglio (area golenale) sono frequenti eteropie verso terreni granulari (soprattutto in corrispondenza delle barre di accrescimento) con uno strato di alterazione superficiale poco sviluppato a causa del periodico apporto di nuovi sedimenti – Area di affioramento: valle olocenica dell'Oglio.

La cartografia di Tavola 2, inoltre, evidenzia con simbolo specifico l'area interessata dalla presenza di materiale inerte, messo in posto durante la coltivazione di una discarica all'interno di una originaria depressione morfologica.

Sulla base delle informazioni disponibili, quindi, si riconoscono limitazioni di natura geotecnica solamente in corrispondenza dell'affioramento dell'Unità 2, caratterizzata da depositi coesivi di mediocri proprietà geotecniche e ridotta capacità portante, le cui prestazioni sono ulteriormente peggiorate da uno stato di completa saturazione (acqua di falda) molto superficiale. Tale fattore trova un suo riscontro nella fattibilità geologica delle azioni di piano e condizionerà le scelte progettuali nel caso di nuovi edifici e infrastrutture: la presenza di acqua sotterranea e la relativa profondità, pertanto, diverranno oggetto di studi circostanziati nella modellizzazione geologica e geotecnica prevista dal D.M. 14.09.2005 e s.m.i..

Va tuttavia precisato che lo studio di prima caratterizzazione ha una funzione di supporto alla pianificazione generale, il cui scopo è quello di definire solo le linee fondamentali dell'assetto territoriale: come tali, le informazioni sopra esposte non possono essere considerate esaustive di tutte le problematiche geologico-tecniche e, soprattutto, non possono essere utilizzate per la soluzione di problemi progettuali a carattere puntuale (ove potrebbero verificarsi anomalie rispetto ai modelli proposti). Nella progettazione di qualsiasi struttura (opere di fondazione, infrastrutture ecc.), pertanto, sarà necessario eseguire specifiche indagini volte a definire il quadro geologico e geotecnico locale, così come previsto dalla normativa vigente.

## **5.2 Caratterizzazione pedologica**

Nella cartografia di Tavola 2 è stata rappresentata anche la distribuzione areale delle classi pedologiche tratte dal “Progetto Carta Pedologica – I suoli del Casalasco (ERSAL 1992)”: in questo modo è stato possibile associare, ad aspetti puramente litologici, anche indicazioni relative ai suoli presenti nel territorio comunale.

Una prima classificazione è stata compiuta alla scala delle unità di paesaggio (o morfologiche), operando una distinzione tra:

1. il Livello Fondamentale della Pianura, caratterizzato da superfici generalmente stabili delimitate da scarpate erosive;
2. i ripiani alluvionali del fiume Oglio.

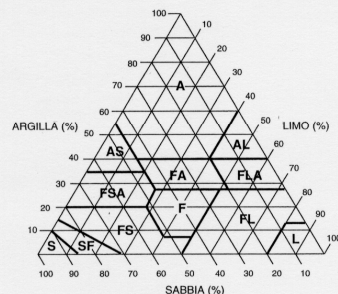
In corrispondenza del Livello Fondamentale della Pianura si sviluppano suoli da moderatamente profondi a molto profondi, con substrato da limoso a sabbioso-limoso (confermando così le informazioni derivate dalla campagna geognostica precedentemente illustrata) con drenaggio da buono a rapido.

Anche nel sistema di valle si rinvengono suoli da profondi a molto profondi, a tessitura da media a moderatamente fine (moderatamente grossolana solo in prossimità del fiume Oglio), con drenaggio molto variabile e substrato da limoso-sabbioso ad argilloso-limoso.

Nella tabella che segue sono riportati i criteri di classificazione utilizzati per la descrizione dei suoli nella legenda della Tavola 2.

<b>Profondità (cm)</b>  0 - 25 molto sottili 25 - 50 sottili 50 - 100 moderatamente profondi 100 - 150 profondi > 150 molto profondi	<b>Scheletro (%)</b>  <1 assente 1 - 5 scarso 5 - 15 comune 15 - 35 frequente 35 - 70 abbondante >70 molto abbondante	<b>Carbonati totali (%)</b>  < 0.5 non calcareo 0.5 - 5 scarsamente calcareo 5 - 10 moderatamente calcareo 10 - 20 calcareo > 20 molto calcareo	<b>Pietrosità superficiale</b> (utile all'approfondimento radicale)  < 0,1 % scarsa o nulla 0,1 - 3 % moderata 3 - 15 % comune 15 - 50 % elevata > 50 % eccessiva	<b>Dimensione pietre</b>  Ø < 7,5 cm piccole Ø 7,5 - 25 cm medie Ø > 25 cm grandi
<b>Saturazione (TSB) (%)</b>  <35 molto bassa 35 - 49 bassa 50 - 75 media >75 alta	<b>Reazione</b>  <4.5 molto acida 4.5 - 5.5 acida 5.6 - 6.5 subacida 6.6 - 7.3 neutra 7.4 - 7.8 subalcalina 7.9 - 8.4 alcalina 8.5 - 9.0 molto alcalina >9.0 estremamente alcalina	<b>Pendenza (%)</b>  <2 nulla o debole 2 - 5 bassa 5 - 15 moderata 15 - 25 moderatamente elevata 25 - 45 elevata 45 - 75 molto elevata >75 estremamente elevata	<b>Capacità di scambio cationico (CSC) (meq/g)</b>  < 10 bassa 10 - 20 media 20 - 30 elevata > 30 molto elevata	

#### Tessitura



S e SF	grossolana
FS grossolana e fine	moderatamente grossolana
FS m. fine, F, FL, L	media
FSA, FA, FLA	moderatamente fine
A, AS, AL	fine

#### Drenaggio

**Rapido:** l'acqua è rimossa dal suolo molto rapidamente; presenza di falda o falda sospesa rara o molto profonda, tessitura comunemente grossolana e permeabilità elevata; suoli in pendenza molto sottili.

**Moderatamente rapido:** l'acqua è rimossa dal suolo rapidamente; presenza di falda o falda sospesa rara o molto profonda, tessitura comunemente grossolana e permeabilità moderatamente elevata; suoli in pendenza e sottili.

**Buono:** l'acqua è rimossa prontamente dal suolo, ma non rapidamente; falda o falda sospesa profonda se transitoria o molto profonda se da transitoria a permanente; permeabilità moderata. Durante la stagione di crescita l'acqua facilmente disponibile non è mai in difetto ed eventuali brevi periodi di surplus di bilancio idrico non inibiscono in modo significativo la crescita delle radici. I suoli sono generalmente privi di caratteri redossimorfici che possono eventualmente manifestarsi oltre il metro di profondità.

**Mediocre:** in alcuni periodi dell'anno l'acqua è rimossa dal suolo piuttosto lentamente; falda o falda sospesa moderatamente profonda se transitoria, o profonda se da transitoria a permanente; permeabilità moderatamente bassa o più bassa in uno strato entro il metro di profondità; clima umido caratterizzato da periodiche forti precipitazioni.

**Lento:** l'acqua è rimossa lentamente dal suolo il quale è periodicamente bagnato per periodi significativi durante la stagione di crescita; falda o falda sospesa poco profonda se transitoria, o moderatamente profonda se da transitoria a permanente; permeabilità bassa o molto bassa; apporti idrici quasi continui.

**Molto lento:** l'acqua è rimossa così lentamente che i suoli sono periodicamente bagnati a poca profondità per lunghi periodi durante la stagione di crescita; falda o falda sospesa persistente poco profonda o superficiale, eventualmente transitoria; permeabilità bassa o molto bassa; apporti idrici quasi continui.

**Impedito:** l'acqua è rimossa così lentamente che i suoli sono periodicamente bagnati in superficie o in prossimità di questa per lunghi periodi durante la stagione di crescita; falda o falda sospesa superficiale persistente o permanente; glacitura depressa concava e priva di drenaggio esterno; elevati apporti idrici praticamente continui, associati anche a suoli in pendenza.

## 6. RETICOLATO IDROGRAFICO

Per effetto dell'art. 1 della L. 36/94 e del successivo regolamento di applicazione (DPR 238/99), il concetto di acqua pubblica è stato innovato rispetto al vecchio T.U. n. 1775/1933, introducendo nell'ordinamento il principio di pubblicità di tutte le acque superficiali e sotterranee. La L.R. 1/2000, in attuazione del D.Lgs. n. 112/98, ha previsto l'obbligo per la Regione di individuare il reticolo principale sul quale la Regione stessa continuerà a svolgere le funzioni di polizia idraulica (ex R.D. n. 523/1904), trasferendo ai comuni o ai consorzi le competenze sul reticolo idrico minore e su quello principale di bonifica.

Nel corso del presente lavoro, sulla base della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 "Determinazione del reticolo idrico principale..." e della successiva modifica con D.G.R. n. 7/13950 del 01.08.2003, viste le dirette conseguenze urbanistiche derivanti dall'applicazione della norma di pubblicità di tutto il reticolato idrografico (principale e minore), il Comune di Calvatone ha affidato allo scrivente il compito di predisporre gli elaborati tecnici e cartografici richiesti dalla specifica normativa della Regione Lombardia.

Nella Carta del Reticolo Idrografico di Tavola 3, estratta dallo specifico studio, è stato individuato l'intero reticolato idrografico definito sulla base dei criteri disposti dalla D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 e s.m.i.

Il risultato relativo alla definizione del reticolo idrografico è sintetizzato nei seguenti elenchi e nella Tavola 3.

<b><u>Elenco 1</u></b> <b><u>RETICOLO PRINCIPALE</u></b> <b><u>di COMPETENZA DELLA REGIONE LOMBARDIA</u></b> <b><u>(allegato A della DGRL 01.10.2008 n. 8/8127)</u></b>	
<b>Codice</b>	<b>Denominazione</b>
CR011	Fiume Oglio
CR012	Colatore Dugale Delmona Tagliata

<b><u>Elenco 2</u></b> <b><u>RETICOLO IDRICO</u></b> <b><u>di COMPETENZA DEL CONSORZIO DUGALI</u></b> <b><u>(DGRL 11.02.2005 n. 7/20552, modificata dalla DGR 8/8127/2008)</u></b>	
<b>Codice</b>	<b>Denominazione</b>
	Gambina di Rompezzagno
	Magio

<b><u>Elenco 3</u></b> <b><u>RETICOLO IDRICO</u></b> <b><u>di COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA NAVAROLO</u></b> <b><u>(DGRL 11.02.2005 n. 7/20552)</u></b>	
<b>Codice</b>	<b>Denominazione</b>
	Arginoni
	Canale Bozzolo
	Fornace
	Canale d'Irrigazione Navarolo
	Canale d'Irrigazione Navarolo Comprensorio Mantovano
C0092	Principale Alto
C0091	Principale Basso
	Quartieri
	Sabbioni
	Val Delmona
	Vallone

<b><u>Elenco 4</u></b> <b><u>RETICOLO MINORE di COMPETENZA</u></b> <b><u>DEL COMUNE DI CALVATONE</u></b>	
<b>Codice</b>	<b>Denominazione</b>
CAL01	Risorgive di S. Andrea
CAL02	Risorgive del Principale Alto
CAL03	Risorgive del Principale Basso
CAL04	Risorgive del Val Delmona
CAL05	Risorgive del Vallone
CAL06	Risorgive delle Serche
CAL07	Risorgiva della Regona
CAL08	Dugale Tagliata

Come innanzi precisato, l'analisi morfologica del territorio comunale di Calvatone ha condotto all'individuazione di due unità topograficamente, morfologicamente e idraulicamente distinte, separate dalla netta scarpata che si sviluppa con direzione media WNW-ESE: il lineamento morfologico terrazzo il Livello Fondamentale della Pianura sulla più recente depressione valliva del fiume Oglio.

1. La prima unità morfologica si presenta come una superficie sub-pianeggiante, modestamente immergente verso ESE e caratterizzata da una significativa monotonia planare. Nel sottosuolo, la falda idrica si sviluppa a profondità variabile (fortemente influenzata dall'effetto drenante esercitato dall'Oglio a valle della scarpata morfologica principale) e il reticolo idrico presenta due modalità di alimentazione:
  - da W attraverso derivazioni di acqua utilizzata principalmente a scopi irrigui;
  - dalla raccolta delle colature sia di natura irrigua che meteorica.
  
2. La seconda Unità si articola a valle delle scarpata morfologica principale, occupa la depressione olocenica del fiume Oglio ed è caratterizzata da un reticolo alimentato:
  - a. dalle colature provenienti dal sovrastante terrazzo;
  - b. da fenomeni di affioramento della falda idrica sotterranea.

Nel riconoscere l'assenza di fattori di rischio derivanti dallo sviluppo dei corsi d'acqua minori, è stato evidenziato l'importante ruolo svolto dal reticolo idrico e la necessità di tutelarne quale opera di difesa idraulica ed idrogeologica: tale esigenza si è tradotta nel Regolamento di gestione del reticolo idrico minore.

## **6.1 Il Fiume Oglio**

L'elemento principale del reticolato idrografico di questo lembo di pianura è costituito dal fiume Oglio, il quale scorre all'interno di una tipica "valle a cassetta" incisa entro il Livello Fondamentale della Pianura.

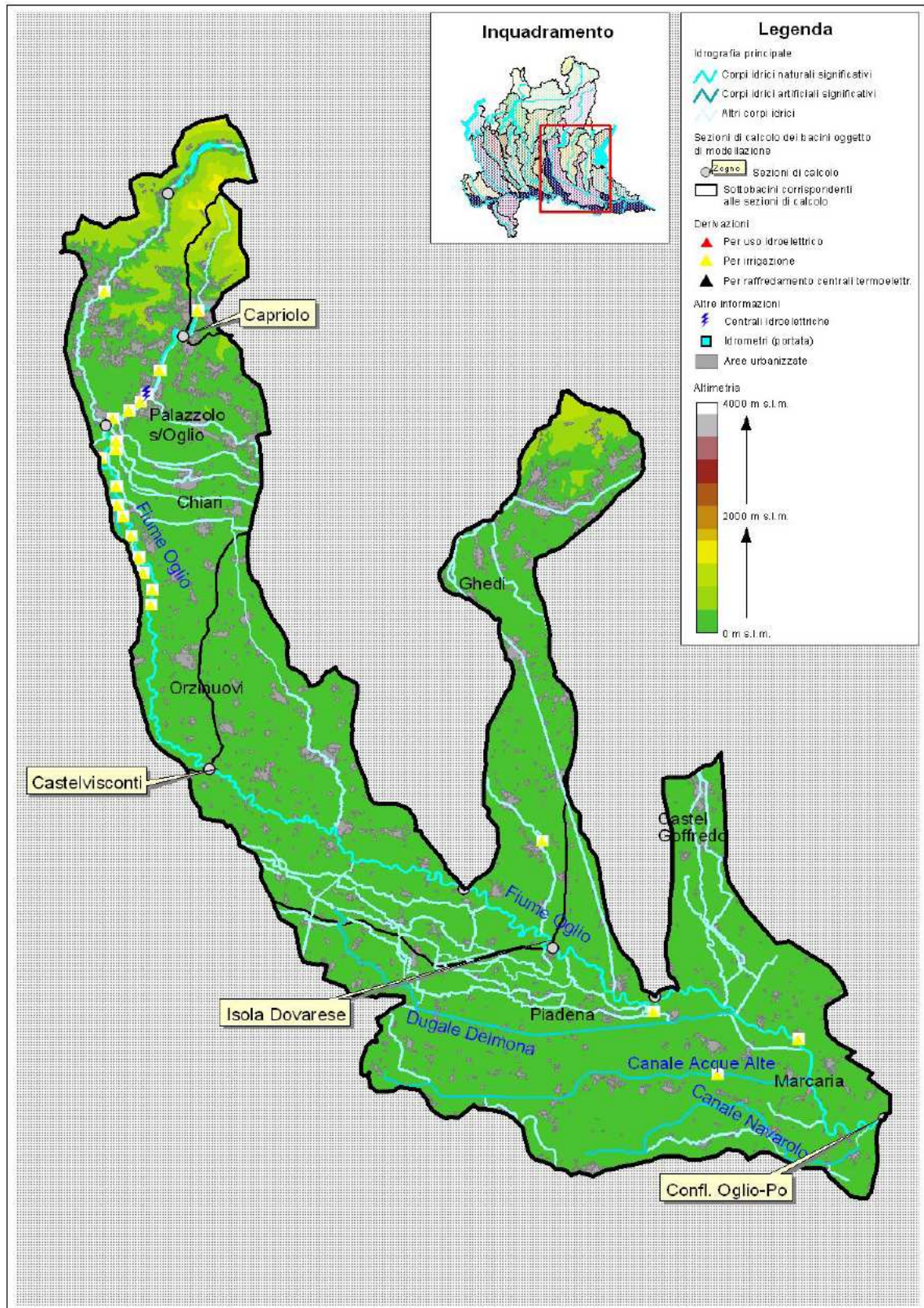
Il Fiume Oglio si distende con un percorso di circa 280 km ed interessa un'area di circa 6.650 km<sup>2</sup>. Il suo corso è diviso in tre tratti distinti: il bacino sopralacuale, il Lago d'Iseo e il comprensorio di pianura a valle del lago.

Il corso dell'Oglio sublacuale segue nella prima parte del suo percorso la direzione nord-sud per circa 60 km, per poi piegare verso quadranti orientali; in tale zona riceve le acque dei due affluenti principali, il Mella e il Chiese.

L'attuale evoluzione del corso d'acqua nel tratto sub-lacuale è chiaramente "guidata" dalle difese spondali, dalle arginature (pressochè continue dalla foce del Mella sino alla confluenza con il Po) e dalle opere idrauliche esistenti: in questo contesto, perciò, non ha significato definire la tendenza evolutiva naturale mentre sarebbe interessante cercare di prevedere quali effetti gli interventi antropici possano produrre nel tempo. Questi interventi, infatti, implicano generalmente la variazione di alcuni parametri geomorfologici ed idraulici (pendenza, larghezza, profondità, scabrezza, ecc.), ai quali il corso d'acqua reagisce adeguandosi con la variazione di altri parametri idraulici (velocità di flusso, capacità di trasporto, ecc.).

Nel complesso, gli studi generali del P.A.I. evidenziano per l'Oglio una ridotta evoluzione morfologica per effetto dell'ampio bacino lacustre (lago d'Iseo); vengono comunque segnalati, a scala locale, evidenti fenomeni di dissesto delle sponde.

I principali problemi di dissesto/squilibri segnalati dal P.A.I. derivano dagli argini non sempre adeguati in quota, da una limitazione delle aree di espansione (spesso legate a infrastrutture viarie interferenti) e da una instabilità planimetrica a livello puntuale.



Le informazioni idrologiche<sup>1</sup> dell'Oglio sono quelle desumibili dal Programma Tutela e Uso Acqua (P.T.U.A.) della Regione Lombardia, il quale, tra le sezioni disponibili, analizza quelle ubicate a Isola Dovarese e a Foce Po; considerato che il tratto di nostro interesse (Calvatone) si sviluppa a valle della confluenza del Chiese, si ritiene come maggiormente significativa quella di Foce Oglio.

Per il bacino dell'Oglio alla confluenza in Po, la portata media annua naturale superficiale  $Q_{ANS}$  viene calcolata dal contributo unitario del bacino dell'Oglio a Castelvisconti, riscalato mediante il rapporto tra le precipitazioni medie annue dei due bacini. Nella procedura non sono state considerate l'area del Mella e del Chiese, le cui portate medie annue sono state aggiunte direttamente. Alla portata media annua naturale superficiale  $Q_{ANS}$  è stata quindi aggiunta la portata drenata dalla falda che è stata stimata pari a  $4.10 \text{ m}^3/\text{s}$ , la portata del Mella alla confluenza pari a  $27.16 \text{ m}^3/\text{s}$  e la portata del Chiese alla confluenza pari a  $40.09 \text{ m}^3/\text{s}$ , ottenendo così una portata media annua naturale  $Q_{AN} = 173.91 \text{ m}^3/\text{s}$  con un contributo unitario di  $27.71 \text{ l/s km}^{-2}$ .

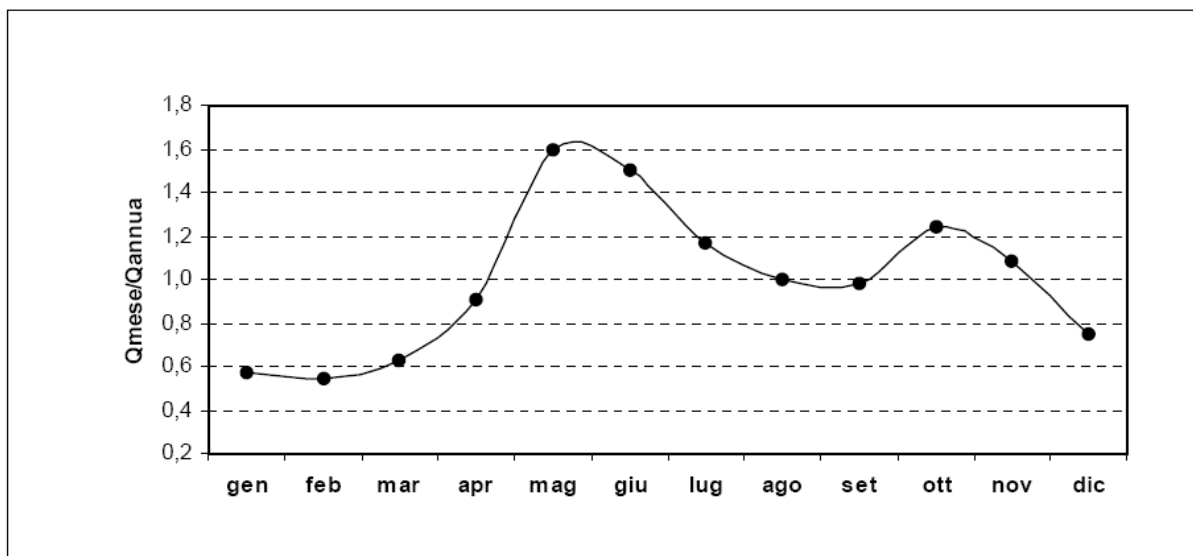
Nella tabella seguente, invece, sono riportati i valori delle portate medie mensili calcolate dal P.T.U.A. mentre il grafico successivo rappresenta gli andamenti mensili in termini percentuali rispetto alla corrispondente media annua.

	<i>gen</i>	<i>feb</i>	<i>mar</i>	<i>apr</i>	<i>mag</i>	<i>giu</i>	<i>lug</i>	<i>ago</i>	<i>set</i>	<i>ott</i>	<i>nov</i>	<i>dic</i>	<i>media annua</i>
naturali (Poli03)	98.77	94.17	108.43	158.58	278.81	262.30	203.73	173.68	171.36	214.44	188.14	129.54	173.91

*Portate medie mensili naturali calcolate alla confluenza in Po ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).*

---

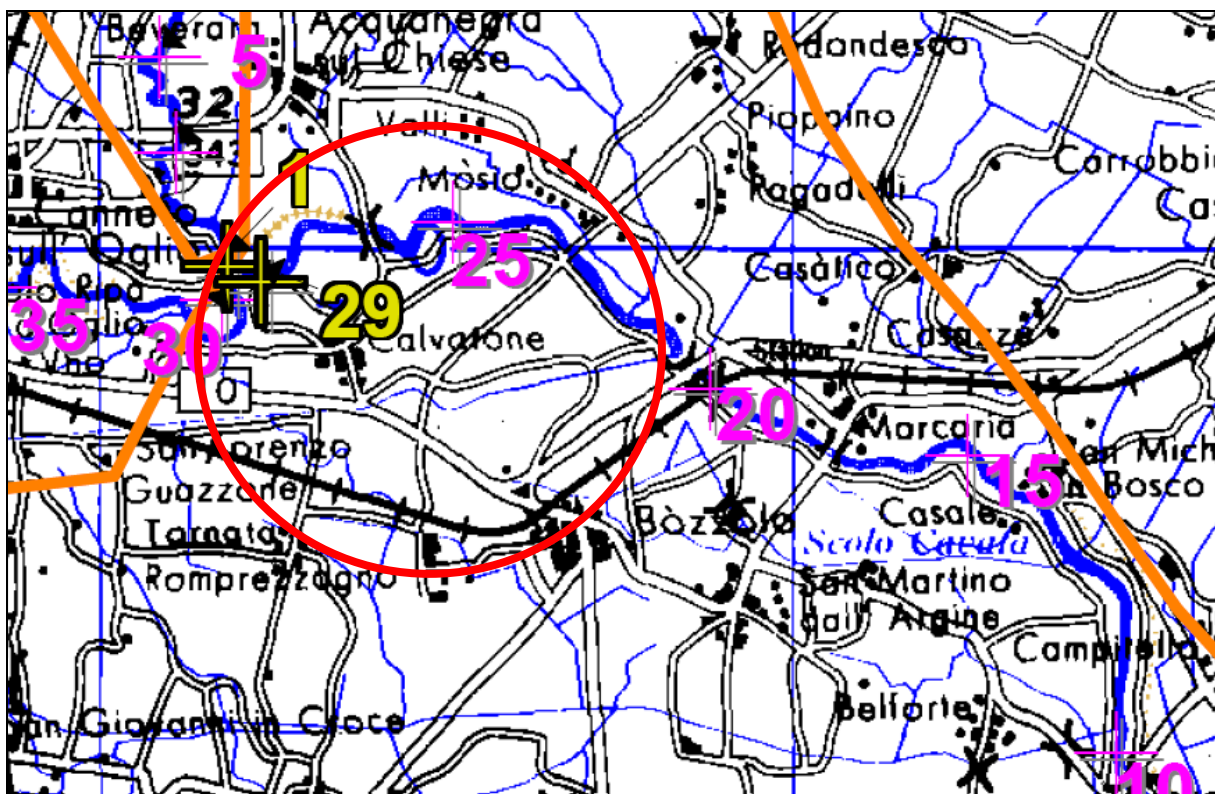
<sup>1</sup> Dati estratti da P.T.U.A. – Programma Tutela e Uso Acque della Regione Lombardia



*Andamenti percentuali rispetto alla media annua delle portate medie mensili naturali per l'Oglio alla confluenza in Po.*

Dai dati disponibili, pertanto, si evince come il fiume sia esposto a due periodi di piena annui: nel periodo tardo-primaverile (maggio-giugno) e in quello autunnale (ottobre-novembre); le portate reali, tuttavia, risultano fortemente modificate rispetto a quelle naturali soprattutto a causa delle derivazioni idriche (portate antropizzate).

Considerata la pericolosità per il territorio insita negli eventi di piena dell'Oglio, nel corso del presente studio è stata posta particolare attenzione nella perimetrazione delle fasce di rispetto previste dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in funzione dei principali eventi di piena. A monte della perimetrazione di suddette fasce, il P.A.I. ha condotto uno specifico studio volto a definire portate e inviluppo del profilo delle piene in corrispondenza di specifiche sezioni.



Estratto da “Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti - 7. Norme di attuazione: Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 5: Portate e inviluppo del profilo idrico di piena di progetto per i corsi d’acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali – tav. 18” – La numerazione si riferisce alle sezioni individuate all’interno del P.A.I.

Per la zona di Calvatone, compreso tra le sezioni del P.A.I. n. 030 e n. 022, l’andamento del profilo del tirante idrico corrispondente ad una piena con tempo di ritorno di 200 anni (la cui portata è calcolata in  $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ) è compreso tra una quota di 28,92 m s.l.m. e una quota di 27,64 m s.l.m..

Tale quote confermano come i rilevati arginali costituiscano un importante presidio idraulico contro i principali fenomeni alluvionali che, diversamente, interesserebbero l’intera “valle” dell’Oglio.

Tabella 35: profilo di piena per il fiume Oglio sottolacuale

Sez.	Progr. (km)	T = 200 anni		Sez.	Progr. (km)	T = 200 anni		Sez.	Progr. (km)	T = 200 anni	
		Quota idrometrica (m s.m.)	Q (m3/s)			Quota idrometrica (m s.m.)	Q (m3/s)			Quota idrometrica (m s.m.)	Q (m3/s)
179	101.702	186.50	500	119	142.115	76.73		059	196.625	36.78	
178	102.107	184.96		118	143.105	74.92		058	196.825	36.65	
177	102.953	183.76		117	143.935	72.37		057	197.695	36.53	
176	103.566	181.31		116	144.515	70.74		056	198.555	36.47	
175	103.919	180.02		115	144.715	70.59		055	199.195	36.43	
174	104.429	178.17		114	145.705	68.05		054	200.195	36.31	
173	104.813	176.69		113	146.805	66.61		053	201.115	36.01	
172	105.553	173.22		112	147.955	65.28		052	202.335	35.54	
171	105.730	171.86		111	148.705	63.95		051	203.225	35.11	
170	106.161	170.09		110	149.655	62.82		050	204.345	34.63	
169	106.644	168.06		109	150.325	61.73		049	205.395	34.09	
168	107.134	166.52		108	151.305	60.20		048	206.435	33.60	
167	107.796	164.93		107	152.305	58.12		047	207.085	33.32	
166	108.088	164.23		106	153.355	56.82		046	208.115	33.06	
165	108.629	163.88		105	154.447	54.81		045	209.225	32.59	
164	109.076	163.08		104	155.407	53.26		044	209.445	32.47	
163	109.469	162.61		103	156.107	52.09		043	210.895	32.13	
162	110.265	160.01		102	157.182	50.66		042	212.345	31.71	
161	110.790	157.91		101	158.177	50.39		041	213.435	31.52	
160	111.289	156.86		100	159.050	49.45	630	040	215.005	31.17	
159	112.012	154.98		099	160.290	48.84		039	215.945	30.86	
158	112.250	154.14		098	161.070	48.07		038	217.055	30.40	
157	112.356	154.01		097	162.150	47.51		037	217.255	30.31	
156	112.710	153.36		096	163.010	47.19		036	218.025	30.02	
155	113.270	152.48		095	163.785	46.92		035	218.675	29.71	
154	113.845	150.79		094	164.775	46.72		034	220.225	29.51	
153	114.259	149.00		093	165.565	46.62		033	221.125	29.43	
152	115.349	146.38		092	165.765	46.40		032	221.815	29.29	
151	116.310	144.02		091	166.475	46.14		031	222.995	29.05	
150	117.259	140.65		090	167.305	45.94		030	224.185	28.92	
149	117.959	138.48		089	167.925	45.83		029	225.485	28.78	1500
148	118.050	138.07		088	168.860	45.62		028	226.795	28.49	
147	118.699	136.53		087	170.090	44.81		027	226.995	28.35	
146	119.749	134.21		086	171.330	43.82		026	227.655	28.26	
145	120.560	133.45		085	171.910	43.30		025	229.115	28.13	
144	121.580	131.66		084	173.770	43.18		024	229.985	27.92	
143	122.645	129.11		083	174.860	43.09		023	230.835	27.71	
142	123.300	126.86		082	175.500	43.00		022	231.865	27.64	
141	124.450	125.46		081	176.590	42.94		021	233.475	27.52	
140	124.650	125.30		080	176.790	42.81		020	234.035	27.48	
139	125.200	124.31		079	177.640	42.71		019	234.235	27.45	
138	126.950	116.21		078	178.355	40.93		018	235.205	27.39	
137	127.560	115.44		077	179.365	40.89		017	236.495	27.33	
136	127.760	114.26		076	180.265	40.51		016	237.645	27.28	
135	128.725	111.65		075	181.155	39.94		015	238.685	27.22	
134	129.545	109.90		074	182.195	39.86		014	239.605	27.13	
133	130.320	107.70		073	182.395	39.76		013	241.085	27.00	
132	131.335	104.28		072	183.395	39.60		012	242.255	26.95	
131	132.035	103.01		071	184.255	39.37		011	243.495	26.88	
130	132.835	100.83		070	185.255	39.28		010	244.555	26.84	
129	134.025	96.35		069	186.695	39.13		009	245.785	26.73	
128	134.860	95.14		068	187.795	38.41		008	246.885	26.63	
127	135.480	93.39		067	187.995	38.15		007	248.245	26.54	
126	136.305	90.63		066	189.185	38.09		006	249.555	26.50	
125	137.015	89.36		065	190.145	37.63		005	250.805	26.42	
124	137.865	87.07		064	190.795	37.51		004	251.755	26.37	
123	138.745	83.96		063	192.165	37.46		003	252.955	26.36	



## 7. IDROGEOLOGIA

### 7.1 Caratteristiche idrogeologiche generali

Come accennato in precedenza, la geologia del sottosuolo comprende notevoli variazioni laterali e verticali in funzione degli eventi neotettonici e sedimentari che hanno coinvolto l'area nel Quaternario.

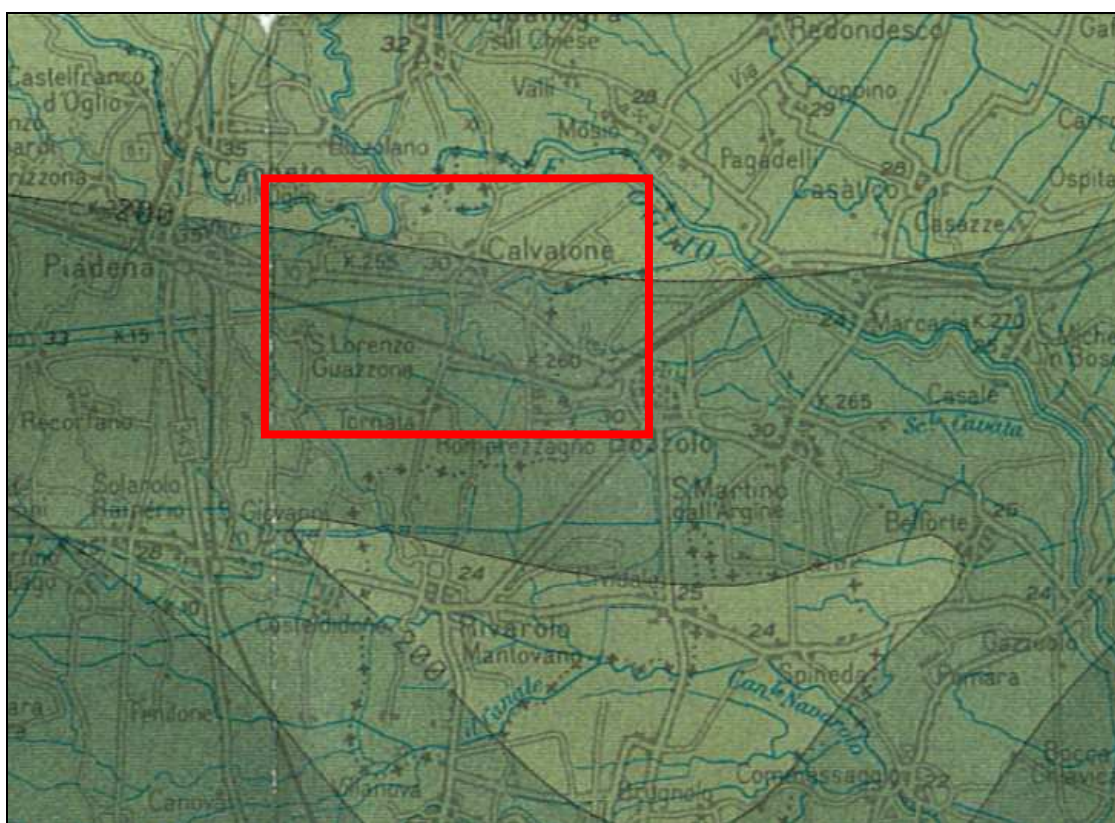
La successione idrogeologica a scala regionale è definita, sulla base dei dati di cui si dispone, da tre unità ben distinte anche se non sempre individuabili altrettanto chiaramente.

Dalla più superficiale alla più profonda le unità affioranti sono le seguenti:

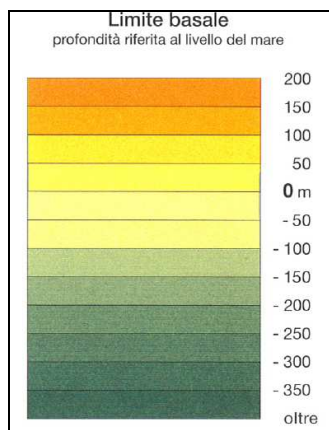
- Unità ghiaioso-sabbiosa: è costituita nella parte più settentrionale del territorio padano dalle formazioni moreniche, sfumanti verso sud alle coltri fluvio-glaciali e fluviali recenti. Questa unità è costituita da depositi alluvionali (recenti ed antichi) e da quelli fluvio-glaciali wurmiani, in cui le frazioni limose e argillose risultano più limitate. Essa rappresenta la litozona più superficiale con ambiente di sedimentazione tipicamente continentale, fluviale e fluvio-glaciale. E' costituita da granulometrie progressivamente più fini da N a S; il colore dei sedimenti fini denota condizioni ossidanti tipiche di un ambiente di sedimentazione sub-aereo. L'Unità ghiaioso-sabbiosa è la sede della struttura idrica più importante e tradizionalmente utilizzata in quanto caratterizzata da valori di trasmissività molto elevati. L'elevata permeabilità consente la ricarica dell'acquifero da parte delle acque meteoriche e di quelle di infiltrazione da corsi d'acqua o canali artificiali; la conducibilità idraulica che caratterizza questa unità è compresa tra valori di  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$  m/s mentre la trasmissività è, in linea generale, superiore a  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.
- Unità sabbioso-argillosa: sottostante alla litozona ghiaioso-sabbiosa, è da questa separata da un contatto graduale e di difficile ubicazione. E' suddivisibile in due sub-unità, la prima costituita da argille, limi e sabbie con frequenti livelli torbosi o lignitosi e caratteristica di ambienti fluvio-palustri, la seconda indica invece condizioni marine costiere ed è costituita da alternanze di ghiaie e sabbie con argille e limi. Ovviamente la permeabilità è molto variabile nelle due sub-unità in funzione delle differenze granulometriche. Trattandosi di litotipi a granulometria estremamente fine, i valori di conducibilità idraulica sono piuttosto bassi e dell'ordine di  $10^{-5}$  –  $10^{-6}$  m/s nei livelli più produttivi; anche la trasmissività risulta mediocre ed in genere inferiore a  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Per quanto riguarda le acque sotterranee,



In corrispondenza del Comune di Calvatone, lo studio sopra citato indica, per la base del Gruppo Acquifero A, una quota di -200 m s.l.m., con una immersione pronunciata verso quadranti meridionali. Poco più a S del confine comunale, tuttavia, si delinea un marcato (ed isolato) sollevamento (probabile effetto del condizionamento strutturale del substrato profondo di cui si è fatto cenno in precedenza).



*Profondità del limite basale del Gruppo Acquifero "A"  
(Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia, 2002)*



Unità Idrostratigrafica gruppo acquifero	Età (MA)	Scala Cronostratigrafica (MA)
<b>A</b>	~ 0.45	Pleistocene superiore 0.125
<b>B</b>	~ 0.65	Pleistocene medio
<b>C</b>	~ 0.8	
<b>D</b>	~ 1.6	Pleistocene inferiore 0.89
Acquifero basale	1.73	Pliocene medio superiore 1.73

## 7.2 Caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale

La presenza di acqua nel sottosuolo del territorio comunale di Calvatone, così come per l'intero territorio Cremonese, è legata a caratteristiche strutture stratigrafiche e deposizionali che ne governano l'accumulo ed il transito.

Nel tentativo di ricostruire le geometrie del complesso acquifero sotterraneo è stata realizzata una sezione litostratigrafica (Tavola 5) disposta circa N-S.

Dall'esame delle stratigrafie disponibili e della sezione litostratigrafica si evince come l'assetto geometrico-strutturale del sottosuolo sia assimilabile ad un materasso alluvionale nel quale i corpi acquiferi, di natura prevalentemente sabbiosa, si alternano a livelli impermeabili. Dai risultati di correlazione, si rileva come, a scala sovracomunale, si sviluppi un complesso acquifero di tipo "multifalda", all'interno del quale sono riconoscibili due circuiti chiaramente separati:

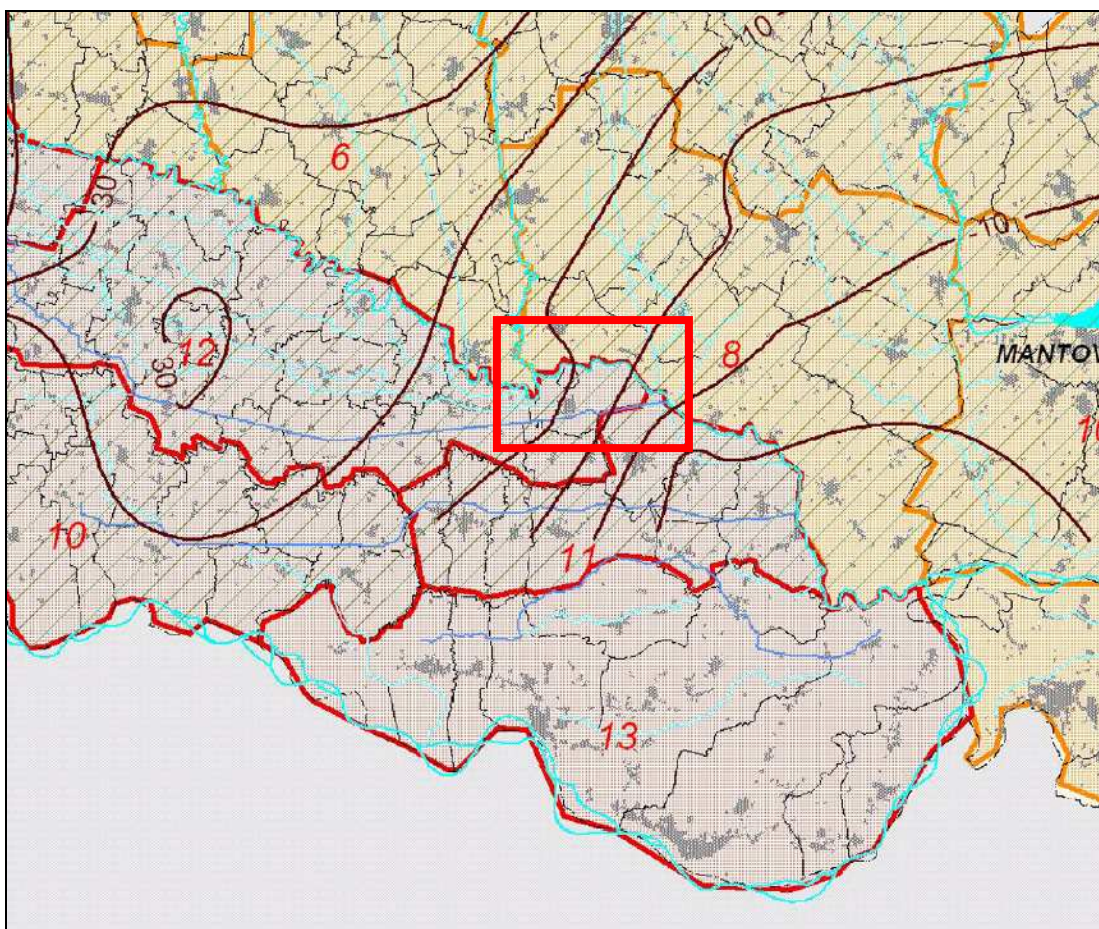
1. un esile circuito superficiale, che nel sottosuolo di Calvatone assume caratteristiche da libere a confinate (si rammenta la diffusa presenza di coperture fini) e viene alimentato sia da monte (secondo la direzione di deflusso idrogeologico), sia per infiltrazione diretta (a seguito di precipitazioni meteoriche o durante la pratica irrigua);
2. un circuito profondo (o confinato-artesiano), ospitato in orizzonti sabbiosi protetti al tetto da depositi impermeabili di significativo spessore ed estensione laterale; nel circuito profondo avviene un flusso in senso laterale con alimentazione da aree poste idrogeologicamente a monte.

Sulla base dei dati disponibili, tuttavia, è doveroso segnalare come i depositi permeabili che costituiscono la struttura acquifera più superficiale presentano spessori compresi entro una decina di metri, riducendo di molto la produttività del circuito idrogeologico rispetto alla media del territorio. Oltre tale quota (circa 20 m s.l.m.) compaiono i primi orizzonti di spessore e continuità laterale significativa

Una significativa anomalia, invece, potrebbe delinarsi nel settore occidentale del territorio comunale, ovvero in corrispondenza dell'incisione olocenica dell'Oglio, parzialmente colmata dai depositi alluvionali più recenti. Non essendo disponibili stratigrafie di pozzi sulla

verticale dei terrazzi olocenici dell'Oglio, tale ipotesi viene solo graficamente rappresentata nella sezione di Tavola 5.

Per quanto concerne il P.T.U.A. della Regione Lombardia, esso assume il modello interpretativo già proposto da vari Autori (Martinis & Mazzarella, 1971; Francani & Pozzi, 1981), secondo il quale la struttura acquifera viene suddivisa in acquifero tradizionale (Unità ghiaioso-sabbiosa) e in acquifero profondo (Unità sabbioso-argillosa). Nell'acquifero tradizionale si riconosce una struttura superficiale (o primo acquifero) separata da una sottostante (o "secondo acquifero", anch'esso appartenente all'acquifero tradizionale). In corrispondenza del Comune di Calvatone, l'orizzonte di separazione tra la falda superficiale e la falda confinata dell'acquifero tradizionale è posto a una quota media di circa 10 m s.l.m. (dedotta dalle isolinee di cui alla Tavola 3 del P.T.U.A.), confermando nelle linee più generali il modello stratigrafico innanzi esposto (nonostante la modesta differenza di quota).



Base dell'acquifero superficiale (Tavola 3 – Programma di tutela e Uso delle Acque)

Per il bacino Adda-Oglio - settore 12 (a cui appartiene il Comune di Calvatone), il P.T.U.A. definisce il seguente bilancio idrico:

<b>SETTORE 12</b>			
<b>Prelievo medio areale</b>			0,52 l/s · km <sup>2</sup>
<b>Elementi del bilancio idrico:</b>			
<b>Entrate:</b>			
Afflusso della falda da monte	Settore 9	0,05	(m <sup>3</sup> /s)
Infiltrazione (piogge efficaci + irrigazioni)		0,22	(m <sup>3</sup> /s)
<b>TOTALE</b>		<b>0,27</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Uscite:</b>			
Deflusso della falda verso valle	Settore 11	0,07	(m <sup>3</sup> /s)
Deflusso laterale della falda	Settore 10	0,05	(m <sup>3</sup> /s)
Drenaggio del fiume Oglio		0,01	(m <sup>3</sup> /s)
Prelievi da pozzo		0,14	(m <sup>3</sup> /s)
<b>TOTALE</b>		<b>0,27</b>	<b>(m<sup>3</sup>/s)</b>

Per lo stesso settore viene definita una Classe Quantitativa “A” (rapporto prelievi-ricarica=0.63), corrispondente a una situazione attuale di compatibilità tra disponibilità ed uso della risorsa. Per le acque sotterranee è prevedibile un uso sostenibile senza sostanziali conseguenze negative nel breve-medio periodo.

<b>Classe Quantitativa:</b> (Prelievi/Ricarica = 0,63)	A
	situazione attuale di compatibilità fra disponibilità e uso della risorsa: Uso sostenibile delle acque sotterranee senza prevedibili sostanziali conseguenze negative nel breve- medio periodo
<b>Classificazione livello di falda</b>	-2
<b>Classificazione stato quantitativo secondo D.Lgs. 152</b>	A

### 7.3 Censimento e catalogazione dei pozzi

Considerato che in un'area di pianura la principale fonte di approvvigionamento idrico è costituita da pozzi, l'indagine idrogeologica è stata orientata sin dall'inizio alla ricerca e classificazione delle opere di captazione.

E' stato svolta una ricerca della documentazione esistente presso i principali Enti che in qualche modo hanno "rapporti" con le acque sotterranee o che si occupano della loro gestione: i pozzi cartografati nella Tavola 4 sono quelli censiti presso il Comune di Rivarolo del Re, nell'Atlante Ambientale della Provincia di Cremona e nell'elenco delle concessioni pubblicate sul B.U.R.L..

I pozzi censiti sul territorio con relativa numerazione, ubicazione e profondità, sono riportati nella tabella seguente che ne consente una facile individuazione sulla cartografia di Tavola 4.

ID	PROPRIETÀ	USO	PROFONDITÀ
1	Padania Acque	Acquedotto	168
2	Vezzoni Primo	Zootecnico	115
3	Az Agr Anghinoni	Zootecnico	105
4	Boscaini Desiderio	Zootecnico	180
5	Az Agr Conti Stefano	irriguo	80
6	Az Agr Fiorini Francesco	irriguo	120
7	Patelli Angelo	irriguo	80
8	Pini Carlo di Silvio	irriguo	78
9	Rizzardi Gianni	zootecnico	108
10	Compagnoni Antonio	irriguo	80
11	Az Agr Conti Stefano	irriguo	80
12	Martinelli Delio	irriguo	54
13	Az Agr Zambelli Fabrizio	irriguo	41
14	Stediman	antincendio	40
15	Az Agr IRIS	irriguo	-
16	Az Agr IRIS	irriguo	-
17	Az Agr IRIS	domestico	-
18	Az Agr IRIS	domestico	-
19	Marocchi	domestico	100
20	Casoni	domestico	100
21	Allevamento le Baite	zootecnico	130
22	Dazzi	domestico	107
23	Marocchi	domestico	60



Calvatone): si delinea in questo modo un chiaro spartiacque sotterraneo tra il bacino idrogeologico dell'Oglio e quello del Po, il cui asse è orientato in direzione WNW-ESE.

Il particolare assetto si traduce anche in termini di gradienti e di soggiacenza della superficie piezometrica: la soggiacenza maggiore si rileva sul Livello Fondamentale della Pianura in prossimità del suo margine settentrionale mentre le soggiacenze più ridotte (frequentemente inferiori a 2 m) si misurano in corrispondenza della valle dell'Oglio e, in particolare, al piede delle scarpate morfologiche, ove si manifestano numerosi fenomeni sorgentizi (“sorgenti di terrazzo”). Si rammenta, tuttavia, che le linee isopiezometriche descrivono una situazione media dei potenziali piezometrici i quali, nella realtà, possono presentare significative anomalie; quest'ipotesi è più attendibile in corrispondenza dei margini del terrazzo wurmiano o in prossimità del fiume Oglio.

Nella carta di tavola 4, sulla base dei rilievi e delle considerazioni di cui sopra, il territorio è stato suddiviso per classi di soggiacenza della superficie piezometrica, ovvero:

1. Soggiacenza compresa fra 2 e 5 m, in corrispondenza di una stretta fascia sviluppata ai margini dell'Oglio che, per effetto della sua azione drenante, abbatte la superficie piezometriche a quote pari a quella idrometrica (il Fiume costituisce il livello di base delle acque circolanti nel sottosuolo di questo settore di pianura). Questa condizione, tuttavia, va intesa come un valore medio di primo riferimento, in quanto la superficie piezometrica è soggetta a consistenti escursioni piezometriche correlabili con il regime idrometrico del Fiume.
2. Soggiacenza inferiore a 2 m, in una vasta fascia della valle del fiume Oglio, all'interno della quale i valori più bassi si misurano al piede della scarpata morfologica principale.
3. Soggiacenza compresa fra 2 e 5 m, nell'ampia area comunale posta sul Livello Fondamentale della Pianura.

Quanto sopra conferma come il sistema idrografico di superficie, centrato sulla presenza del fiume Oglio verso N, ed il complesso delle acque sotterranee siano fra loro interconnessi secondo un delicato equilibrio. Nonostante in tutto il territorio comunale non siano note registrazioni sistematiche delle oscillazioni piezometriche che consentano di effettuare considerazioni idrogeologiche in merito a possibili variazioni delle linee di deflusso nel breve periodo (periodi di minima e massima escursione annuale) e nel lungo periodo, si esclude che

la pratica irrigua o le precipitazioni meteoriche, anche se intense o concentrate in taluni periodi dell'anno, siano in grado di modificare in modo sostanziale le linee di deflusso sotterraneo, ad eccezione delle aree più vicine all'Oglio. Esperienze maturate dallo scrivente in contesti analoghi, infatti, indicano come, durante i periodi di piena del Fiume, la falda superficiale subisca oscillazioni verso l'alto, con localizzate e temporanee inversioni del deflusso sotterraneo (alimentazione Fiume-falda).

## **7.5 Vulnerabilità degli acquiferi**

La vulnerabilità degli acquiferi è definita dalla possibilità di infiltrazione e propagazione degli agenti inquinanti provenienti dalla superficie o da altre falde più superficiali già compromesse.

Questo concetto implica uno stato di potenziale minaccia della qualità originaria delle acque sotterranee, determinato unicamente dalle condizioni ambientali, sia naturali che antropiche, esistenti e indipendenti dalle sorgenti inquinanti.

Considerando la possibilità di accesso verso le falde profonde di potenziali agenti inquinanti, appare evidente come i sedimenti permeabili offrano scarse difese mentre per gli acquiferi più profondi si riscontrano buone condizioni di isolamento e protezione. Hanno infatti un peso preponderante i seguenti fattori geologici e idrogeologici:

- la idro-litologia (ovvero il tipo e il grado di permeabilità verticale e orizzontale, che determina la velocità di percolazione dell'inquinante e l'azione di attenuazione insita nei diversi terreni);
- il tipo e lo spessore di un'eventuale copertura fine a bassa permeabilità, elemento di protezione per l'acquifero sottostante;
- la soggiacenza della superficie piezometrica media dell'acquifero, la quale definisce lo spessore della zona insatura (direttamente proporzionale all'azione di autodepurazione);
- le condizioni di interscambio da parte di corsi d'acqua naturali e di canali artificiali, veicoli di inquinanti.

Allo scopo di quantificare i fattori sopra citati, e conseguentemente la vulnerabilità degli acquiferi, sono stati integrati i dati a disposizione.

Una prima valutazione trova riscontro nelle misure della soggiacenza del tetto della falda dal piano campagna; al proposito si rammenta come la campagna di misure piezometriche abbia evidenziato delle aree a soggiacenza caratteristica, come illustrato nel paragrafo precedente e rappresentato in Tavola 4.

In relazione alla permeabilità verticale e orizzontale dell'acquifero superficiale e del mezzo insaturo sovrastante, non esistono dati differenti rispetto alle semplici osservazioni granulometriche: ai depositi superficiali sono associabili valori di permeabilità secondo i criteri stabiliti in bibliografia.

Tipo di terreno	K (m/s)
Ghiaia pulita	$10^{-2} \div 1$
Sabbia pulita, sabbia e ghiaia	$10^{-5} \div 10^{-2}$
Sabbia molto fine	$10^{-6} \div 10^{-4}$
Limo	$10^{-8} \div 10^{-6}$
Argilla omogenea al disotto della falda	$< 10^{-9}$
Argilla sovraconsolidata fessurata	$10^{-8} \div 10^{-4}$

Valori orientativi del coefficiente di permeabilità "K" (da "Lancellotta, 1987)

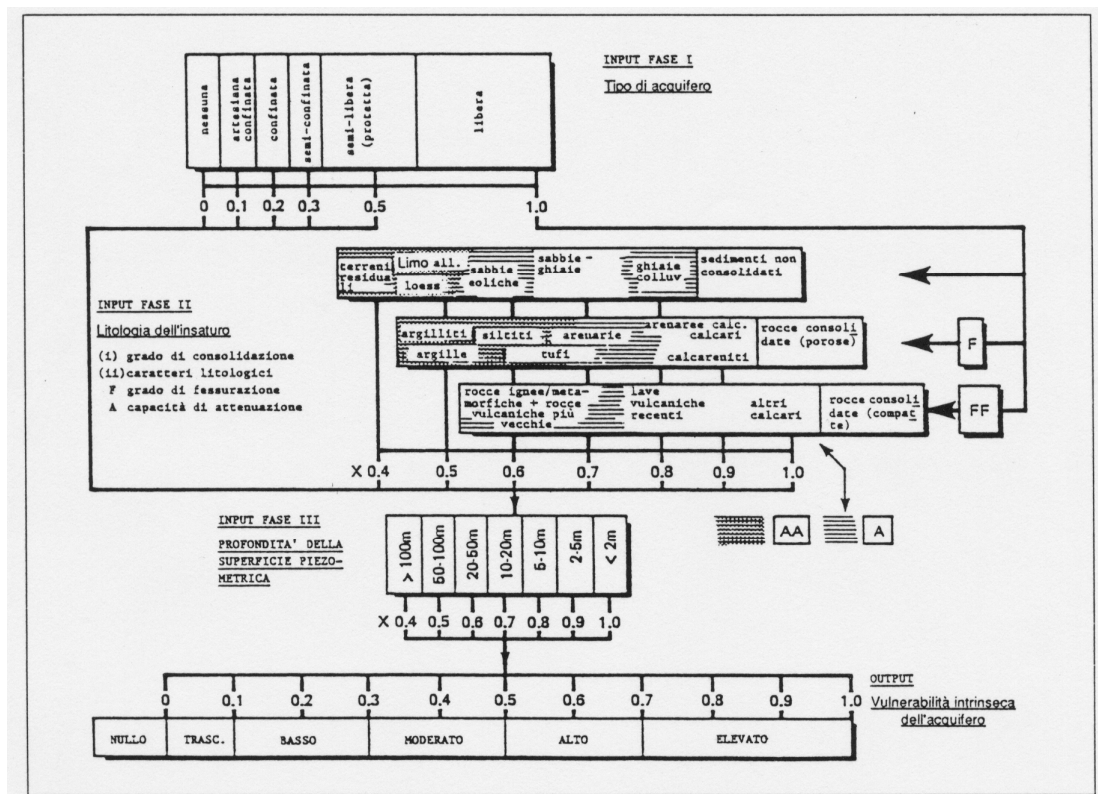
La pratica geotecnica, infatti, insegna come nei terreni sciolti la permeabilità sia controllata, oltre che dall'uniformità del terreno e dal suo stato di addensamento (Prugh, 1959), soprattutto dalla granulometria della frazione più fine (Hazen, 1911). Nella Tavola 4 sono state cartografate le aree per classi di permeabilità utilizzando il seguente criterio di valutazione:

k (cm/s)	$10^2$	10	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
k (m/s)	1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite		Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie		Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi		Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi		Argille omogenee e compatte		

Classi di permeabilità (Casadio & Elmi, 1995)

Si tratta in genere di terreni superficiali con permeabilità discreta sul Livello Fondamentale della Pianura (quasi ovunque affiorano depositi sabbiosi o limo-sabbiosi), mentre nella valle dell'Oglio la permeabilità si riduce in modo consistente causa la presenza di coperture da limose ad argillose (fatta eccezione per i depositi che caratterizzano l'area golenale in cui le coperture sono meno diffuse).

Integrando i dati disponibili, l'acquifero più superficiale è stato successivamente valutato anche in termini di vulnerabilità intrinseca attraverso il metodo GOD (messo a punto dal British Geological Survey - Foster, 1987), il quale utilizza come dati d'ingresso le seguenti proprietà (indicizzate): il tipo di acquifero, la litologia dell'insaturo e la profondità della superficie piezometrica.



*Il metodo GOD per la valutazione della vulnerabilità intrinseca (da "Foster e Hirata, 1988" in "Civita, 1994")*

In questo modo sono state definite le seguenti classi di vulnerabilità:

1. VULNERABILITA' DA BASSA A MODERATA - L'acquifero è generalmente confinato o semiconfinato da depositi fini (seppure di spessore modesto), i quali mitigano l'esposizione di una falda a quote prossime al piano campagna (valle alluvionale dell'Oglio); sono tuttavia possibili locali incrementi degli indici di vulnerabilità nel caso di eteropie verso termini granulari (soprattutto nella fascia golenale del Fiume).
2. VULNERABILITA' DA MODERATA AD ALTA - L'acquifero si presenta da semilibero a libero e l'eventuale frazione limosa non è in grado di proteggere l'acquifero

sottostante, la cui soggiacenza è generalmente modesta; all'interno della stessa classe, gli indici di vulnerabilità diminuiscono progressivamente in direzione N, ovvero in prossimità dei margini del terrazzo pleistocenico ove si rileva la maggior soggiacenza.

Sulla base di quanto esposto si evince come la vulnerabilità intrinseca costituisca un fattore caratteristico del territorio: sarà pertanto necessario valutare puntualmente la vulnerabilità intrinseca dell'acquifero ogni volta che ci si appresta alla progettazione di attività potenzialmente impattanti sulle acque sotterranee.

Con il termine di “vulnerabilità intrinseca”, infatti, viene generalmente indicata la sensibilità specifica dell'acquifero nei confronti di agenti inquinanti liquidi o idroveicolabili, i quali possono venire dispersi a campagna o immessi nelle acque superficiali. Associando al grado di vulnerabilità la presenza di potenziali fonti di inquinamento sarà possibile determinare il livello di rischio idrogeologico degli acquiferi.

## **8. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE**

### **8.1 Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di Calvatone**

L'Ordinanza 3274 e s.m.i. stabilisce una nuova classificazione sismica del territorio italiano, in risposta sia alle nuove conoscenze scientifiche in materia sismica (acquisite dopo la precedente legge di indirizzo sismico del '74), sia al ripetersi di eventi calamitosi che hanno interessato anche zone precedentemente non classificate come sismiche (sempre facendo riferimento alla Legge 64/74). La nuova classificazione, che in parte utilizza e aggiorna la classificazione sismica proposta nel 1998 dal Gruppo di Lavoro istituito dal Servizio Sismico Nazionale, è articolata in 4 zone: le prime tre corrispondono, dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge 64/74, alle zone di sismicità alta ( $S=12$ ), media ( $S=9$ ) e bassa ( $S=6$ ), mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

In linea generale, la valutazione del rischio sismico deriva da una stima delle conseguenze al sistema socio-economico locale potenzialmente derivanti dal terremoto considerato "probabile" nell'area di riferimento. Nella valutazione del rischio sismico, pertanto, l'aspetto principale consiste nella definizione della pericolosità sismica, ovvero la descrizione della possibile attività sismica ottenuta assegnando, in ogni area, le grandezze rappresentative del moto del suolo.

Come innanzi premesso, una prima classificazione della pericolosità sismica è stata ottenuta a scala nazionale suddividendo il territorio in zone sismiche: tale semplificazione, sebbene riduttiva, è risultata necessaria per l'applicazione di norme tecniche aventi come obiettivo un adeguato livello di protezione sismica.

Il primo atto formale di classificazione del territorio nazionale risale al 1909 (dopo il forte terremoto che investì l'area calabro-messinese il 28 dicembre 1908), con il quale vennero definite le norme tecniche per la ricostruzione nelle aree colpite dal sisma e individuate le zone nelle quali tali norme dovevano applicarsi in ambito edilizio.

L'aspetto più significativo dal punto di vista della zonazione sismica era rappresentato dall'estensione della zona interessata dal Decreto del 1909: oltre all'area dello Stretto di Messina, che presentava i maggiori danni, vi erano incluse parte della provincia di Messina e tutta la Calabria. Tale strumento derivava anche dal ricordo del terremoto che aveva colpito il

golfo di Santa Eufemia nel 1905 e, soprattutto, dei terremoti che avevano sconvolto la Calabria nel 1783.

La normativa sismica non vide sostanziali novità fino al 1925, quando un forte terremoto investì un tratto della costa marchigiana, a nord di Ancona, successivamente classificata a rischio sismico.

Al Decreto del 1925 fece seguito nel 1927 un nuovo Decreto di notevole ampiezza, il quale classificava tutte le località colpite da terremoti in due categorie distinte in relazione al loro grado di sismicità ed alle loro caratteristiche geologiche.

Risale al 1962 la Legge che, per la prima volta, dettò le “Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica” le quali, contrariamente alle precedenti finalizzate alla ricostruzione delle zone colpite da terremoto, assunsero un significato di prevenzione sismica.

Il terremoto nel Belice del 1968 e quello nel Friuli del 1976 condussero ad una classificazione con l’introduzione di un elemento di novità, costituito dal criterio utilizzato per distinguere le zone di prima e di seconda categoria. In precedenza, infatti, tale distinzione era abbastanza casuale, basata su un giudizio di gravità del danno; nei decreti del 1976 e 1979, invece, la classificazione si basava sul valore della probabilità di superamento di assegnate soglie dell’accelerazione del suolo in un prefissato intervallo di tempo.

Il terremoto Irpino-Lucano del 1980 segnò la svolta decisiva nella storia della classificazione sismica in Italia: il grande impatto sull’opinione pubblica e la constatazione che le zone colpite dal terremoto erano in gran parte non classificate, condussero il Ministero dei Lavori Pubblici alla proposta di riclassificazione elaborata nell’ambito del Progetto finalizzato geodinamica del CNR attraverso una serie di Decreti emanati tra il 1981 ed il 1984. La nuova classificazione si basò per la prima volta su parametri quantitativi definiti in modo omogeneo per tutto il territorio nazionale, come la soglia di sismicità, l’intensità risentita e la scuotibilità, e prevede la suddivisione in tre categorie con grado di severità sismica decrescente dalla prima alla terza.

Nell’aprile 1997, la Commissione per la previsione dei Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile decise di istituire un gruppo di lavoro con l’obiettivo di formulare una proposta di aggiornamento della classificazione sismica nazionale, anche alla luce di nuove ricerche e dell’esperienza di altri paesi.

La nuova classificazione, denominata “Proposta 98”, determinò la suddivisione del territorio nazionale sempre nelle tre categorie sismiche a cui si aggiunse una categoria ulteriore per i

comuni non classificati; l'appartenenza di un'area ad una particolare categoria sismica avvenne sulla base di parametri quantitativi legati al moto del suolo previsto (approccio probabilistico):

1. l'accelerazione massima del terreno  $a_{max}$  (detta anche PGA) con il 10% di probabilità di essere superata in 50 anni, la cui distribuzione è rappresentata nella carta della pericolosità sismica (Slejko et al. 1998);
2. l'integrale dello spettro di risposta in pseudovelocità, detto "intensità di Housner";
3. il valore della massima intensità sperimentata nell'ultimo millennio.

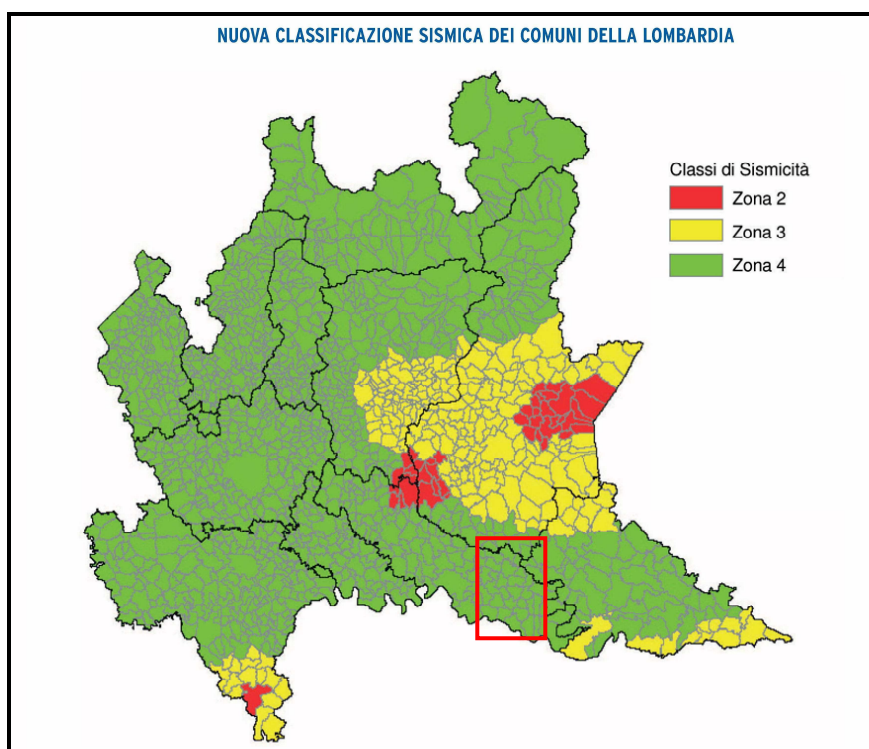
In seguito al terremoto del 31 ottobre 2002 che provocò a San Giuliano di Puglia il crollo di una scuola e al verificarsi di eventi sismici calamitosi in zone non classificate sismiche (il Comune di San Giuliano di Puglia era classificato come non sismico) sono stati emanati i "Criteri per l'individuazione, la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche" e le nuove norme tecniche per la costruzione in zona sismica (OPCM 3274 del 20 marzo 2003).

Rispetto alle classificazioni precedenti, l'O.P.C.M. 3274 stabilisce una nuova classificazione sismica del territorio nazionale utilizzando e aggiornando la classificazione sismica proposta nel 1998. La nuova classificazione è articolata in 4 zone, ciascuna contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (si veda la tabella 8.1), eliminando di fatto la presenza di aree del territorio classificate come non sismiche: in questo modo, a ciascuna area del territorio nazionale viene attribuito un differente livello di protezione sismica.

In ottemperanza all'art. 2 della OPCM 3274 e s.m.i. e secondo quanto disposto dal D.Lgs n. 112/1988 che attribuiva alle Regioni la competenza di classificare il territorio secondo criteri generali, la Regione Lombardia, con D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003, ha provveduto ad aggiornare i propri elenchi delle zone sismiche.

L'O.P.C.M. 3274 e s.m.i. è entrata in vigore il 23 ottobre 2005 in coincidenza con quella delle nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14 settembre 2005).

A far tempo da tale data è quindi vigente la classificazione sismica del territorio nazionale; per la Regione Lombardia la classificazione sismica è mostrata in figura 8.1:



**Figura 8.1:** Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all'Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n. 7/14964 del 7 novembre 2003).

Secondo la classificazione vigente, il territorio comunale di Calvatone appartiene alla **zona sismica 4** e risulta identificato da un valore di accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento con la probabilità del 10 % di essere superato nei prossimi 50 anni (periodo di ritorno uguale a 475 anni) pari a 0.05g.

Zona	Valori di $a_g$
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

**Tabella 8.1:** valori di accelerazione orizzontale massima in funzione della zona sismica.

Sebbene la nuova classificazione preveda che ogni area del territorio nazionale sia classificata e identificata da un valore soglia di pericolosità sismica, si delineano alcune criticità:

- le Regioni sollecitate dalla O.P.C.M. 3274 hanno classificato il proprio territorio basandosi su precedenti studi di pericolosità sismica (soprattutto quelli prodotti nell'ambito del gruppo di lavoro del 1998) e hanno inserito i comuni non classificati in zona 4 senza valutare i livelli di accelerazione attesi;
- come disposto dalla O.P.C.M. 3274 e s.m.i. e dal D.M. 14.09.2005, la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale è stata aggiornata sulla base di nuovi dati utilizzando approcci leggermente differenti rispetto a quelli utilizzati per la redazione della mappa elaborata nel 1998 (INGV, 2006 – OPCM 351/06); questo ha determinato, per alcune aree, la presenza di valori di  $a_g$  diversi rispetto a quelli previsti dalla classe sismica di appartenenza.

Sulla base di quanto sopra riportato, è chiaro come la classificazione sismica del territorio nazionale derivi da una semplificazione nella valutazione dei livelli di pericolosità sismica che, seppur necessaria per l'applicazione di una normativa di primo riferimento, deve essere considerata come punto di partenza per la realizzazione di studi sismici a maggior dettaglio e a minor scala (*microzonazione sismica*), soprattutto in fase di pianificazione urbanistica. In questo modo si può indirizzare lo sviluppo edificatorio e, in determinate situazioni, aumentare i livelli di protezione sismica previsti dalla normativa (livello minimo).

Le “*Norme tecniche per le costruzioni*” di cui al D.M. 14.01.2008 hanno introdotto un nuovo elemento metodologico nella stima della pericolosità sismica di base, la quale non risulta più associata alla zona sismica di appartenenza (criterio zona dipendente ex 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 permesso di superare la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e valori previsti dalla normativa antisismica per un suolo di riferimento. Esistono tuttavia alcune problematiche insistenti nella distribuzione dei vertici della griglia di riferimento dei valori di accelerazione e l'ubicazione dell'area d'indagine.

Un'ulteriore novità, sempre introdotta dal D.M. 14.01.2008, è la formulazione dello spettro di risposta differente per ciascuna categoria di suolo di fondazione non accorpendo più, come in precedenza, la categoria di suolo di fondazione B e C.

## **8.2 Descrizione della sismicità**

L'analisi della sismicità, intesa come distribuzione spazio-temporale dei terremoti in una determinata area, costituisce il primo tassello per gli studi di valutazione della pericolosità sismica di base.

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

Il territorio di Calvatone e un suo ragionevole intorno non rientrano in alcuna delle zone sismogenetiche (zonazione ZS9, figura 8.2), sottolineando l'assenza di strutture geologiche in grado di generare terremoti (le cosiddette "faglie capaci").

Dalla consultazione dei cataloghi sismici redatti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità risulta che:

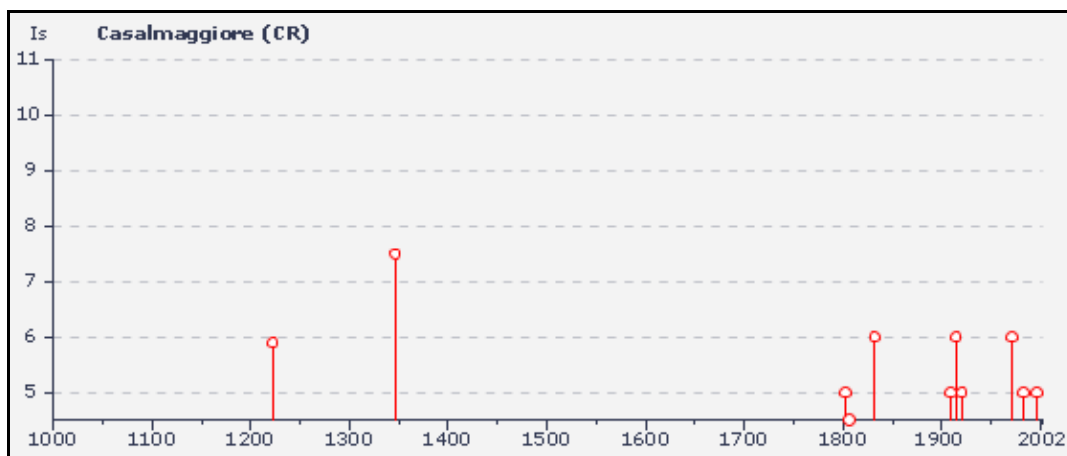
- l'area comunale e quella bassa cremonese, nel loro complesso, sono caratterizzate da eventi sismici piuttosto sporadici e di intensità massima rilevata dell'ordine del VI-VII grado della scala Mercalli;
- le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche) provengono da zone appartenenti alle province vicine, corrispondenti al Veronese, al Bresciano, al Bergamasco, al Cremasco e, soprattutto, all'Appennino Emiliano-Romagnolo.

Tale fatto è compatibile con la storia sismica locale così come deducibile dal catalogo DBMI04, il database utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI04) aggiornato al maggio 2004 (a cura di M. Stucchi et al.), nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative a Casalmaggiore e Piadena, i centri più importanti fra quelli vicini catalogati.

### Storia sismica di Casalmaggiore (CR)

Osservazioni disponibili: 25

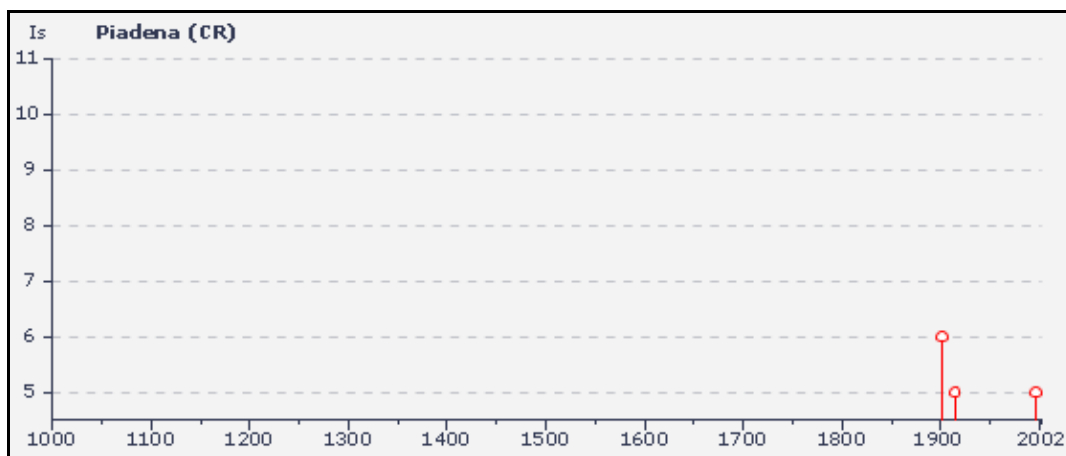
Effetti	In occasione del terremoto:							AE	Io	Mw
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se				
7-8	1346	02	22	11			Ferrara	7-8	5.81	
6-7	<u>1829</u>	<u>09</u>	<u>06</u>	<u>19</u>	<u>30</u>		CREMONA	6-7	5.03	
6	1832	03	13	03	30		Reggiano	7-8	5.59	
6	1914	10	27	09	22		GARFAGNANA	7	5.79	
6	1971	07	15	01	33	23	Parmense	7-8	5.61	
5	1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	8	5.67	
5	1909	01	13	45			BASSA PADANA	6-7	5.53	
5	1920	09	07	05	55	40	Garfagnana	9-10	6.48	
5	1983	11	09	16	29	52	Parmense	6-7	5.10	
5	1996	10	15	09	55	60	CORREGGIO	7	5.44	
5-6	<u>1522</u>	<u>10</u>	<u>05</u>	<u>08</u>			CREMONA	5-6	4.63	
4-5	1806	02	12				NOVELLARA	7	5.26	
4	1913	11	25	20	55		VAL DI TARO	5	4.85	
4	1919	06	29	15	06	13	Mugello	9	6.18	
F	1276	07	28	18	30		Italia settent.	6	5.11	
F	1857	02	01				PARMENSE	6-7	5.26	
F	1986	12	06	17	07	19	BONDENO	6	4.56	
3-4	1810	12	25	45			NOVELLARA	7	5.28	
3-4	1916	05	17	12	50		Alto Adriatico	8	5.85	
3-4	1987	05	02	20	43	53	REGGIANO	6	5.05	
3-4	1989	09	13	21	53	60	PASUBIO	6	4.96	
3	1907	04	25	04	52		BOVOLONE	6	4.94	
2-3	1931	04	14	22	13		GIUDICARIE	6	4.89	
NC	1222	12	25	11			Basso bresciano	8-9	6.05	
NF	1904	06	10	11	15	28	Frignano	6	5.08	
NF	1911	02	19	07	18	30	Romagna meridionale	7	5.38	
NF	1915	01	13	06	52		AVEZZANO	11	6.99	



### Storia sismica di Piadena (CR)

Osservazioni disponibili: 7

Effetti	In occasione del terremoto:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw
6	1901	10	30	14	49	58	Salò'	8	5.67
5	1914	10	27	09	22		GARFAGNANA	7	5.79
5	1996	10	15	09	55	60	CORREGGIO	7	5.44
4	1983	11	09	16	29	52	Parmense	6-7	5.10
4	1987	05	02	20	43	53	REGGIANO	6	5.05
3	1989	09	13	21	53	60	PASUBIO	6	4.96
NF	1900	03	04	16	55		VALDOBBIADENE	6	5.22



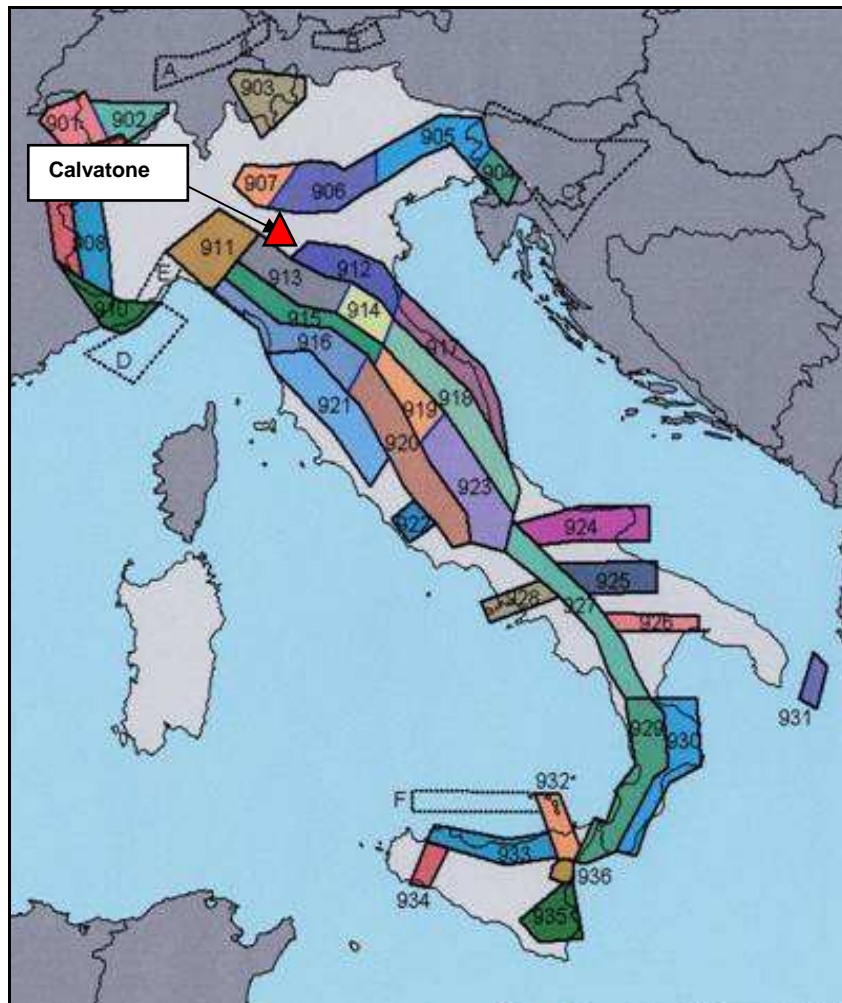
Parametro	Descrizione	Provenienza
NDBMI04	Identificativo del record	
NCPTI04	Identificativo del terremoto	CPTI04
An	Tempo origine: anno	CPTI04
Me	Tempo origine: mese	CPTI04
Gi	Tempo origine: giorno	CPTI04
Or	Tempo origine: ora	CPTI04
Mi	Tempo origine: minuti	CPTI04
Se	Tempo origine: secondi	CPTI04
AE	Denominazione dell'area dei maggiori effetti	CPTI04
Rt	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (compatto)	CPTI04
Rt1	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (esplicitato)	
Np	Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto	CPTI04
Np1	Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto in DBMI04	
Io	Intensità epicentrale nella scala MCS	CPTI04
Ix	Intensità massima nella scala MCS	CPTI04
LatEp	Latitudine dell'epicentro	CPTI04

<b>LonEp</b>	Longitudine dell'epicentro	CPTI04
<b>Maw</b>	Magnitudo momento	CPTI04
<b>Daw</b>	Errore associato alla stima di Maw	CPTI04
<b>Top</b>	Denominazione della località	DIR04
<b>Sc</b>	Casi particolari	DIR04
<b>Lat</b>	Latitudine	DIR04
<b>Lon</b>	Longitudine	DIR04
<b>Is</b>	Intensità al sito (scala MCS)	
<b>Cou</b>	Codice della nazione di appartenenza della località	
<b>Istat01</b>	Codice ISTAT 2001 del comune di appartenenza della località	
<b>Pr</b>	Sigla della provincia di appartenenza della località	
<b>LocOr</b>	Denominazione della località secondo lo studio originale	Originale
<b>LatOr</b>	Latitudine della località secondo lo studio originale	Originale
<b>LonOr</b>	Longitudine della località secondo lo studio originale	Originale
<b>IsOr</b>	Intensità al sito secondo lo studio originale	Originale

Dal catalogo si nota come nessun sisma risulti localizzato entro il territorio del Comune di Calvatone mentre gli eventi più vicini sono quelli del 1829 e del 1522 con epicentro a Cremona, lontano da importanti zone sismogenetiche: si potrebbe trattare di fenomeni di rilascio tensionale legati a una struttura profonda (nota anche come “Sinclinale di Cremona”) considerata ancora attiva nel Quaternario.

A completamento delle osservazioni macrosismiche, nella figura 8.4 si mostra la distribuzione della sismicità “recente” rispetto al territorio in esame, riportando le localizzazioni epicentrali degli eventi registrati dalla rete Sismica Nazionale nell’intervallo di tempo compreso tra il 1981 ed il 2006 (Catalogo della sismicità italiana C.S. 1.0).

Anche in questo caso si evidenzia l’assenza di terremoti di una certa entità localizzati in prossimità del territorio di Calvatone, dimostrando come l’area sia caratterizzata da una bassa potenzialità sismica il cui aspetto principale risulta legato agli effetti risentiti e prodotti da terremoti di energia elevata ( $ML > 4$ ) avvenuti in aree epicentrali esterne e lontane dall’area in esame (soprattutto provenienti dalla zona del margine dell’Appennino romagnolo).



**Figura 8.2:** Individuazione delle zone sismogenetiche in cui è suddiviso il territorio nazionale - zonazione sismogenetica ZS9 (INGV 2004).

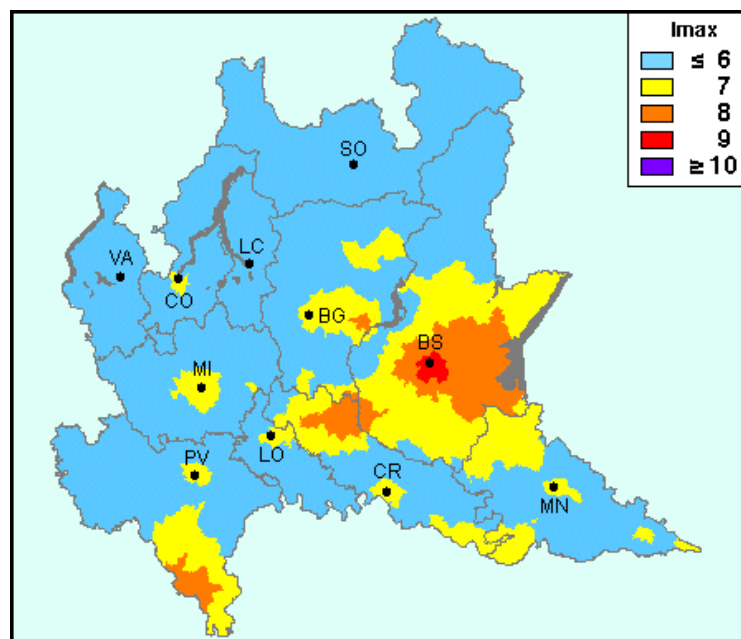


Figura 8.3: Carta della massima intensità macrosismica attesa in Lombardia (Molinet et al., 1996).



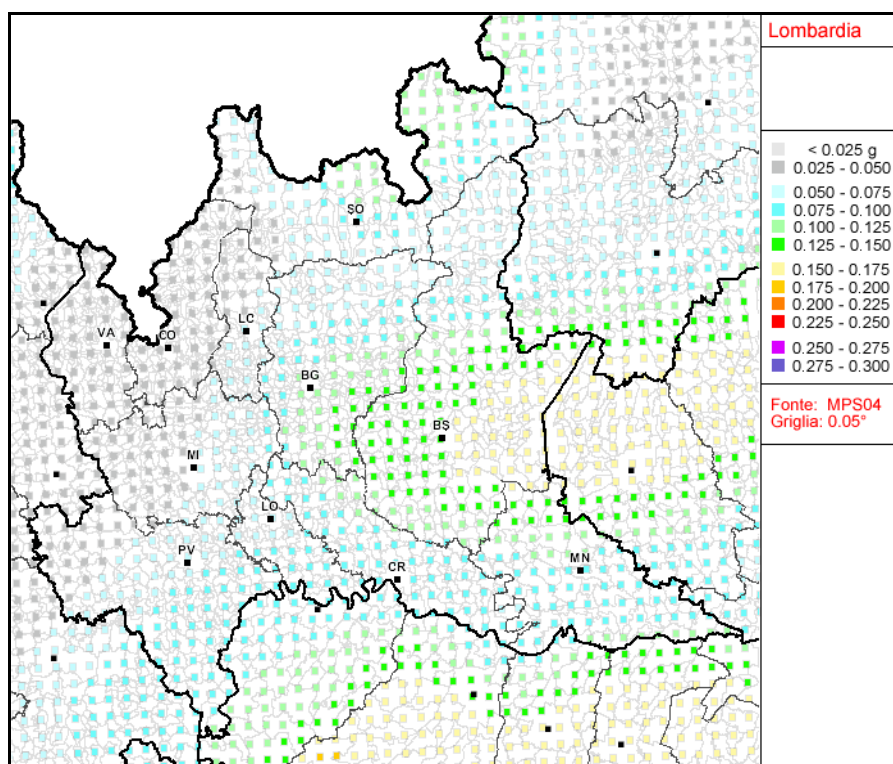
Figura 8.4: Ubicazione dei terremoti recenti – periodo 1981-2006 (INGV).

### 8.3 Pericolosità sismica

Come accennato nel paragrafo precedente, in seguito all'emanazione della O.P.C.M. 3274/2003 e del D.M. 14.09.2005, è stata prodotta una nuova versione della Carta della Pericolosità Sismica del territorio nazionale (INGV anno 2004 e 2006).

La mappa riporta il valore dell'accelerazione orizzontale massima  $a_g$  che ha la probabilità di essere superato almeno una volta nei prossimi 50 anni; tale valore di probabilità, che corrisponde ad un periodo di ritorno di 475 anni, è assunto come riferimento dalla normativa sismica vigente.

Nella figura seguente si riporta l'estratto della mappa di pericolosità sismica relativa alla Regione Lombardia, da cui si ricava che per il territorio di Calvatone il valore di  $a_g$  atteso risulta compreso tra **0.075** e **0.100** g, ovvero può assumere valori superiori rispetto a quello previsto dalla normativa per la zona sismica 4 (D.M. 14.09.2005, tabella 8.1).



**Figura 8.5:** Mappa della pericolosità sismica della Regione Lombardia: si riportano i valori dell'accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di riferimento come frazione di g (INGV anno 2006).

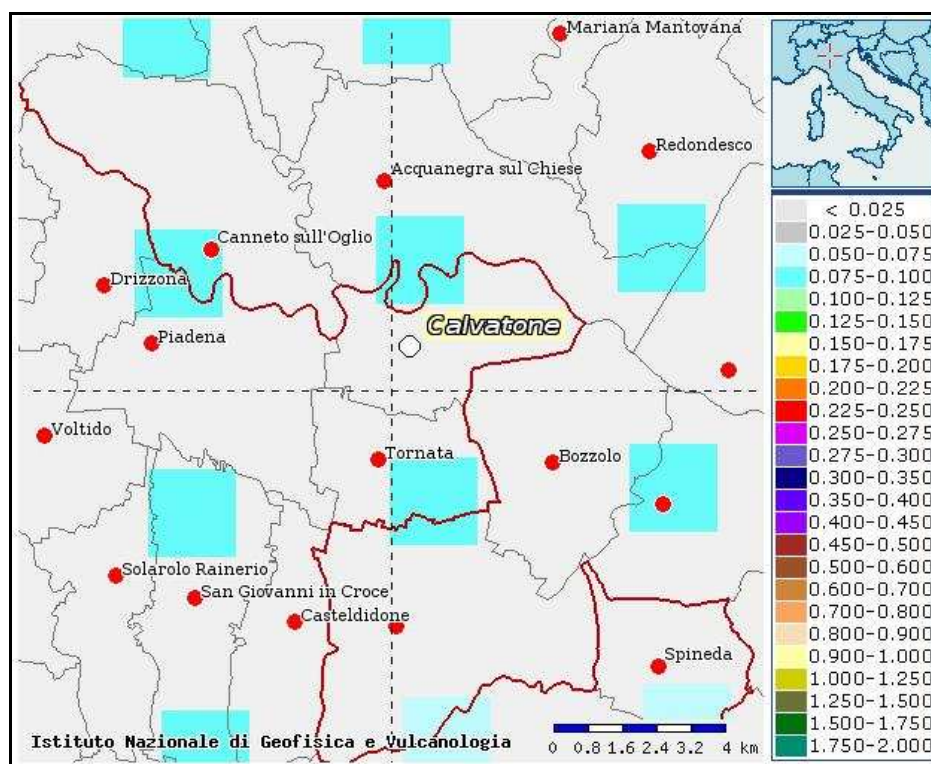
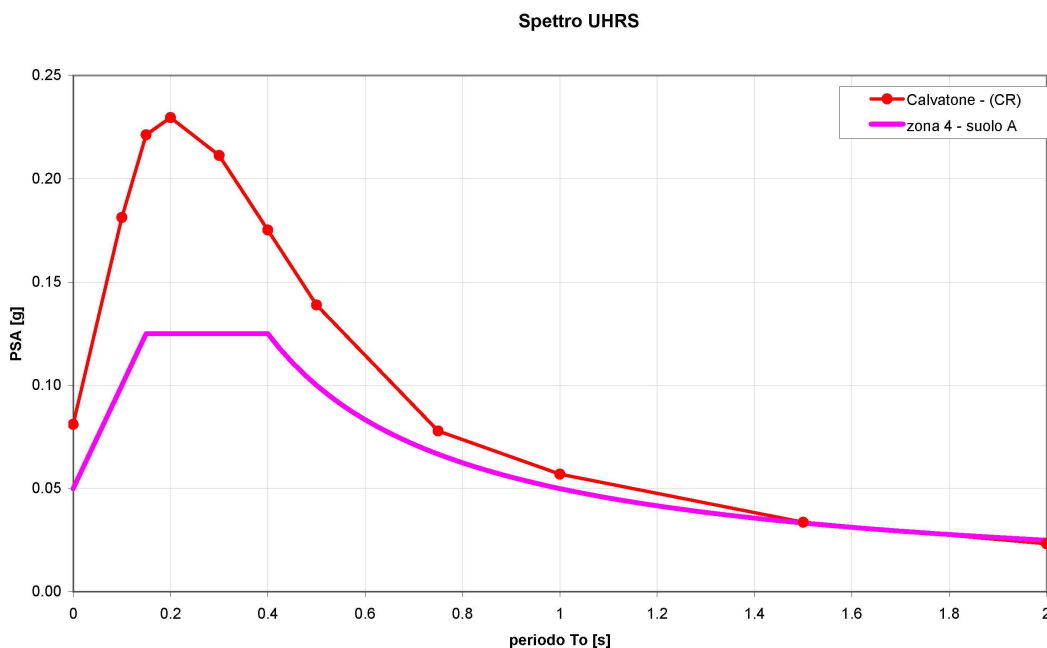


Figura 8.6: Mappa della pericolosità sismica relativa all'area di Calvatone.

Tuttavia, i soli valori di  $a_g$  non sono sufficienti a descrivere le caratteristiche del moto atteso in un sito: esso viene identificato dallo spettro a probabilità uniforme (UHRS), che risulta costituito, per un intervallo di periodi, dai valori di accelerazione che hanno la stessa probabilità del 10% di essere superati nei prossimi 50 anni. Lo spettro UHRS deriva dagli studi di pericolosità sismica condotti a livello nazionale dall'Istituto di geofisica e vulcanologia secondo una metodologia di tipo probabilistico (approccio Cornell).

In figura si riporta lo spettro UHRS (calcolato dalla media pesata dei valori relativi ai 4 vertici della griglia di accelerazioni - reticolo di riferimento per il calcolo degli studi di PS – INGV, 2006-2008 - che comprendono il sito in esame così come definito nell'Allegato A e B del D.M. 14.01.2008) e quello previsto dalla normativa antisismica per la classe 4, entrambi per un suolo di riferimento: dal confronto si rileva come lo spettro previsto dal D.M. 14.09.2005, basato sul criterio "zona dipendente", risulti "inferiore" a quello previsto dagli studi di PS basato sul criterio "sito dipendente" (D.M. 14.01.2008).



**Figura 8.7:** Spettro di risposta a probabilità uniforme (in rosso) per un periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5% a confronto con lo spettro di risposta previsto dal D.M. 14.09.2005 (in magenta).

Lo spettro UHRS individua la pericolosità sismica di base dell'area, ovvero identifica su base probabilistica le caratteristiche dello scuotimento del suolo (*macrozonazione sismica*) senza considerare alcuna modificazione che può subire il moto del suolo causata dal contesto geologico e geomorfologico dell'area, cioè senza modificazioni dovute *a effetti locali*.

Va tuttavia fatto osservare come le locali condizioni geologiche e geomorfologiche possano influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area.

Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei terreni e dei materiali coinvolti; pertanto, gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione dei possibili effetti locali, distinguibili in due grandi gruppi: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità (o effetti cosismici).

Mentre gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente tale nei confronti delle sollecitazioni sismiche (esempio i versanti, le frane quiescenti, ecc.), gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche

attese. Quest'ultimi sono rappresentati dall'insieme di modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le strutture locali.

Gli effetti di sito si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nella stessa area:

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

Al fine di individuare gli effetti di sito locali, la D.G.R. 8/7374/2008 prevede che, in fase di pianificazione urbanistica, venga affrontata una analisi della pericolosità sismica del territorio secondo livelli di approfondimento successivi.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio crescente: i primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza), mentre il terzo è obbligatorio in fase di

progettazione; nella tabella seguente si riportano gli adempimenti in funzione della zona sismica di appartenenza:

	<b>LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE</b> <i>PSL= Pericolosità sismica locale</i>		
	<i>1° Livello</i> <i>Fase pianificatoria</i>	<i>2° Livello</i> <i>Fase pianificatoria</i>	<i>3° Livello</i> <i>Fase progettuale</i>
<b>Zona sismica 2-3</b>	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
<b>Zona sismica 4</b>	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

Nel caso specifico del Comune di Calvatone, l'analisi territoriale (basata sui dati innanzi acquisiti) 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.

Secondo le informazioni stratigrafiche e di prima caratterizzazione geotecnica, si tratta di depositi granulari da poco a mediamente addensati e terreni limo-argillosi, presumibilmente identificabili con una categoria di suolo del tipo C (Depositati di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s)<sup>2</sup>).

<sup>2</sup>  $V_{s30}$  è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, calcolata come

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

Solo localmente (ovvero ai margini occidentali del territorio comunale), la scarpata morfologica raggiunge altezze potenzialmente insidiose in termini di amplificazione sismica. Ove il terrazzo pleistocenico viene eroso al piede dal fiume Oglio, infatti, la scarpata raggiunge un'altezza che complessivamente è stimabile in circa 8-10 m: si delinea così uno scenario di pericolosità sismica locale Z3a, per il quale è atteso un effetto di amplificazione topografica.

In questa fase di studio, l'analisi sismica si è limitata al 1° livello di approfondimento (secondo quanto stabilito dalla D.G.R. n. 8/7374/2008) e il risultato finale è rappresentato nella cartografia di Tavola 6.

<i>Sigla</i>	<i>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>EFFETTI</i>
<b>Z1a</b>	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
<b>Z1b</b>	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
<b>Z1c</b>	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
<b>Z2</b>	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
<b>Z3a</b>	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
<b>Z3b</b>	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
<b>Z4a</b>	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.	Amplificazioni litologiche e geometriche
<b>Z4b</b>	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
<b>Z4c</b>	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
<b>Z4d</b>	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	

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

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.

<b>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</b>	<b>Classe di Pericolosità Sismica</b>
<b>Z1a</b>	H3
<b>Z1b</b>	H2- livello di approfondimento 3°
<b>Z1c</b>	
<b>Z3a</b>	H2- livello di approfondimento 2°
<b>Z3b</b>	
<b>Z4a</b>	H2- livello di approfondimento 2°
<b>Z4b</b>	
<b>Z5</b>	H2- livello di approfondimento 3°

Considerati gli scenari di pericolosità sismica locale individuati sul territorio di Calvatone, 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.

Nell'allegato 3 è stato sviluppato il tematismo riguardante gli effetti di sito per un'area ritenuta rappresentativa delle condizioni medie del capoluogo di Calvatone.

Si precisa, tuttavia, che tale valutazione ha valore generale e una funzione di supporto alla pianificazione, definendo solo alcune linee fondamentali. Le informazioni raccolte, pertanto, non potranno venire utilizzate per la soluzione di problemi progettuali a carattere puntuale, per i quali dovranno essere eseguiti specifici studi.

## 9. CARTA DI SINTESI

La Carta di Sintesi (Tavola 7) costituisce il documento nel quale vengono riassunti tutti i fenomeni naturali ed antropici che costituiscono una limitazione geologica alle scelte urbanistiche: realizzata alla scala 1:10.000, l'elaborato contiene gli elementi più significativi emersi nella fase di analisi.

Nella cartografia di sintesi di Tavola 7 sono stati rappresentati i lineamenti più significativi dopo aver classificato l'intero territorio comunale per aree omogenee; in quest'ultima operazione sono stati presi in considerazione i seguenti parametri:

1. **LITOLOGIA DEI TERRENI SUPERFICIALI** - Per quanto riguarda l'aspetto litologico e geotecnico dei terreni (trattato in specifico capitolo), si ritiene che esso costituisca un fattore limitante solamente per l'area a valle delle scarpate che terrazzano il Livello Fondamentale della Pianura, nella quale sono presenti coperture coesive (con una presumibile riduzione della capacità portante) associate a una falda molto superficiale: la condizione sarà quella di verificare la natura litologica e geotecnica dei terreni di fondazione in caso di nuove strutture, ricorrendo ad adeguate indagini geognostiche in conformità a quanto previsto dal D.M. 11.03.1988 e dal D.M. 14.09.2005 e ss.mm.ii..
2. **SOGGIACENZA MEDIA DELLA PRIMA FALDA** - Vista la presenza di una falda a anche a profondità ridotta, è presumibile che la generale saturazione dei depositi naturali contribuisca ad un peggioramento delle loro caratteristiche geotecniche, da considerare nella caratterizzazione geotecnica dei terreni. Oltre a ciò, nel caso di realizzazione di nuovi edifici dovrà essere considerata la massima quota raggiunta dalla falda, al fine di evitare interferenze dannose tra acqua sotterranea e strutture in progetto (fondazioni, piani interrati, ecc.). Saranno soggette a specifica limitazione le aree caratterizzate da falda sub-affiorante (soggiacenza inferiore a 2 m).
3. **VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE** - Tale fattore costituisce un elemento distintivo, emerso nella fase di analisi e parzialmente vincolante nella fattibilità geologica delle azioni di piano. Per questo elemento è stato sviluppato un discorso a parte in quanto, di fatto, la prima falda presenta indici di vulnerabilità intrinseca variabili, legati soprattutto alla soggiacenza dell'acquifero ed allo sviluppo di

locali coperture fini di protezione dell'acquifero. Si ribadisce come qualsiasi intervento che possa rappresentare un potenziale centro di pericolo per la risorsa idrica sotterranea debba richiedere un puntuale studio in relazione alla locale vulnerabilità dei corpi acquiferi.

Tra i lineamenti morfologici sono state rappresentate *le scarpate* ai margini dei più importanti ripiani morfologici, sia perchè considerate elementi potenzialmente insidiosi per ogni intervento di edificazione o urbanizzazione, sia in quanto elementi costitutivi del paesaggio (per i quali sussiste una tutela specifica). In tema di pericolosità, è stata evidenziata con colore rosso la scarpata morfologica a margine del terrazzo pleistocenico nel settore occidentale del territorio comunale, soggetta ad erosione al piede da parte dell'Oglio ed esposta a potenziali fenomeni di instabilità.

Nella stessa cartografia di sintesi sono state evidenziate *le depressioni morfologiche con acqua di falda affiorante e le principali manifestazioni sorgentizie*, soprattutto in considerazione della vulnerabilità estremamente elevata della falda in corrispondenza del suo affioramento a piano campagna.

Tra i lineamenti idrogeologici/idrografici, sono stati cartografati tutti *i corpi idrici superficiali* già assoggettati a specifico regolamento di polizia idraulica, e il *rilevato arginale* del fiume Oglio (in quanto elemento primario per la protezione del territorio) e quello del Colatore Dugale Delmona Tagliata.

Sono state cartografate le aree a rischio idraulico e, in particolare:

1. la fascia di esondazione dell'Oglio (fascia A e fascia B del P.A.I.), contenuta entro i rilevati idraulici;
2. la fascia di esondazione in caso di piena catastrofica (fascia C del P.A.I.)

Sebbene di origine antropica, è stato evidenziato il **pozzo acquedottistico e le relative fasce di tutela assoluta e di rispetto** in quanto aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico (già assoggettate a specifico vincolo normativo).

La cartografia di sintesi, inoltre, evidenzia la **discarica autorizzata di inerti** (posta ai margini orientali del territorio comunale), la cui coltivazione risulta cessata da tempo.

## 10. CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI

Nella Tavola 8 sono stati cartografati i vincoli normativi di natura fisico-ambientale e geologica, limitanti nella fattibilità geologica delle azioni di piano.

In particolare, nella Tavola dei Vincoli sono state cartografate le fasce del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), adottato dall'Autorità di Bacino del fiume Po con Deliberazione n. 18 del 26.04.2001 e approvato con D.P.C.M. del 24 maggio 2001.

Le fasce fluviali e le disposizioni normative contenute nel P.A.I. integrano quelle del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, approvato con DPCM il 24/7/1998.

Per suddette fasce è vigente una specifica disciplina, meglio descritta nelle “Norme di Fattibilità Geologica”.

Le fasce vengono così definite<sup>3</sup>:

- **Fascia A** di deflusso della piena: è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena.

- **Fascia B** di esondazione: esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Con l'accumulo temporaneo in tale fascia di parte del volume di piena si attua la laminazione dell'onda di piena con riduzione delle portate di colmo. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata;

- **Fascia C** di inondazione per piena catastrofica: è costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente, può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

Tra i vincoli, inoltre, sono stati cartografati:

---

<sup>3</sup> da “Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti; adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 in data 11.05.1999; Secondo piano stralcio delle fasce fluviali: Relazione generale”

1. il **reticolato idrografico** (definito sulla base della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 e s.m.i.); le attività consentite e quelle vietate, così come le fasce di rispetto, sono normate da specifico regolamento di polizia idraulica (R.D. 368/1904; R.D. 523/1904 e s.m.i.);
2. le **zone di protezione del pozzo ad uso potabile-acquedottistico** per il quale la normativa vigente (D.Lgs. 152/06) fissa, secondo criteri geometrici, una fascia di rispetto estesa 200 metri dalle strutture di captazione e una fascia di tutela assoluta di 10 m;
3. le **zone umide e i bodri (tutelate dal P.T.C.P., art. 16.7)**;
4. gli **orli di scarpata principali (tutelati dal P.T.C.P., art. 16.5) e quelle secondarie (art. 16.5)** per i quali, anche in questo caso, sussiste specifica disciplina;
5. il **Sito di Importanza Comunitaria (S.I.C.) e la Riserva naturale (ai sensi dell'art. 11, l.r. 86/83)** nei pressi di Cà le Bine **(tutelati dal P.T.C.P., art. 15.1)**.

## **11. ALLEGATO 1: Risultati delle indagini geotecniche sul territorio (4)**

---

<sup>4</sup> La numerazione si riferisce alle prove rappresentate in Tavola n. 2 “Carta pedologica e di prima caratterizzazione litotecnica”

## TRINCEE ESPLORATIVE

<b>T1:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.20		Terreno vegetale
Da	0.20	a	0.60	CL	Argilla limosa consistente poco plastica di colore marrone
Da	0.60	a	1.30	ML	Limo con sabbia molto fine di colore nocciola
Da	1.30	a	1.80	ML	Sabbia molto fine limosa di colore nocciola
Da	1.80	a	2.10	ML	Limo molto consistente poco plastico di colore nocciola
Da	2.10	a	3.30	SM	Sabbia molto fine limosa di colore nocciola
<i>falda: - 3.10 m</i>					

<b>T2:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.70		Terreno vegetale
Da	0.70	a	2.10	ML	Limo poco consistente poco plastico di colore grigio chiaro
Da	2.10	a	2.80	SW	Sabbia fine media ben assortita di colore grigio chiaro
<i>falda: assente</i>					

<b>T3:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.30		Terreno vegetale
Da	0.30	a	0.50	CL	Argilla limosa consistente plastica di colore nocciola
Da	0.50	a	1.40	OH	Resti vegetali con matrice argillosa limosa
Da	1.40	a	2.50	ML	Limo consistente poco plastico di colore nocciola
Da	2.50	a	2.80	ML	Limo sabbioso (molto fine) di colore azzurro
<i>falda: - 2.80 m</i>					

<b>T4:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.30		Terreno vegetale
Da	0.30	a	0.70	SW	Sabbia da fine a media limosa di colore marrone
Da	0.70	a	1.40	SW	Sabbia media ben assortita di colore marrone
Da	1.40	a	1.50	SW	Sabbia da fine a media ben assortita di colore grigio
<i>falda: - 1.50 m</i>					

<b>T5:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0,00	a	0.20		Terreno vegetale
Da	0.20	a	0.50	ML	Limo argilloso poco consistente plastico di colore nocciola
Da	0.50	a	2.00	ML	Limo con sabbia molto fine di colore nocciola
Da	2.00	a	2.40	SW	Sabbia fine ben assortita di colore nocciola
<i>falda: - 2.10 m</i>					

<b>T6:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.20		Terreno vegetale
Da	0.20	a	0.70	CL	Argilla limosa consistente poco plastica di colore marrone
Da	0.70	a	1.20	SM	Sabbia fine limosa di colore nocciola
Da	1.20	a	2.00	SW	Sabbia fine ben assortita di colore grigio
Da	2.00	a	3.10	SW	Sabbia media ben assortita di colore grigio
<i>falda: - 2.80 m</i>					

<b>T7:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0,00	a	0,20		Terreno vegetale
Da	0.20	a	0.70	SM	Sabbia limosa di colore marrone
Da	0.70	a	1.50	SW	Sabbia da fine a media di colore grigio
<i>falda: assente</i>					

<b>T8:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.20		Terreno vegetale
Da	0.20	a	0.70	ML	Limo argilloso consistente plastica di colore marrone
Da	0.70	a	2.60	SW	Sabbia fine ben assortita di colore marrone
<i>falda: - 2.50 m</i>					

<b>T9:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.40		Terreno vegetale
Da	0.40	a	1.80	CL	Argilla con limo molto consistente poco plastica di colore marrone
<i>falda: 1.60 m</i>					

<b>T10:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.20		Terreno vegetale
Da	0.20	a	1.10	CL	Argilla limosa consistente poco plastica di colore marrone
Da	1.10	a	1.90	ML	Limo sabbioso di colore marrone
Da	1.90	a	2.90	SW	Sabbia da fine a media ben assortita di colore grigio
Da	2.90	a	3.50	SM	Sabbia fine limosa di colore grigio
<i>falda: assente</i>					

<b>T11:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.40		Terreno vegetale
Da	0.40	a	1.30	CL	Argilla molto consistente poco plastica di colore marrone
Da	1.30	a	2.10	CL	Argilla limosa consistente poco plastica di colore marrone
Da	2.10	a	2.40	CL	Argilla grigia consistente plastica nocciola
<i>falda: -2.20 m</i>					

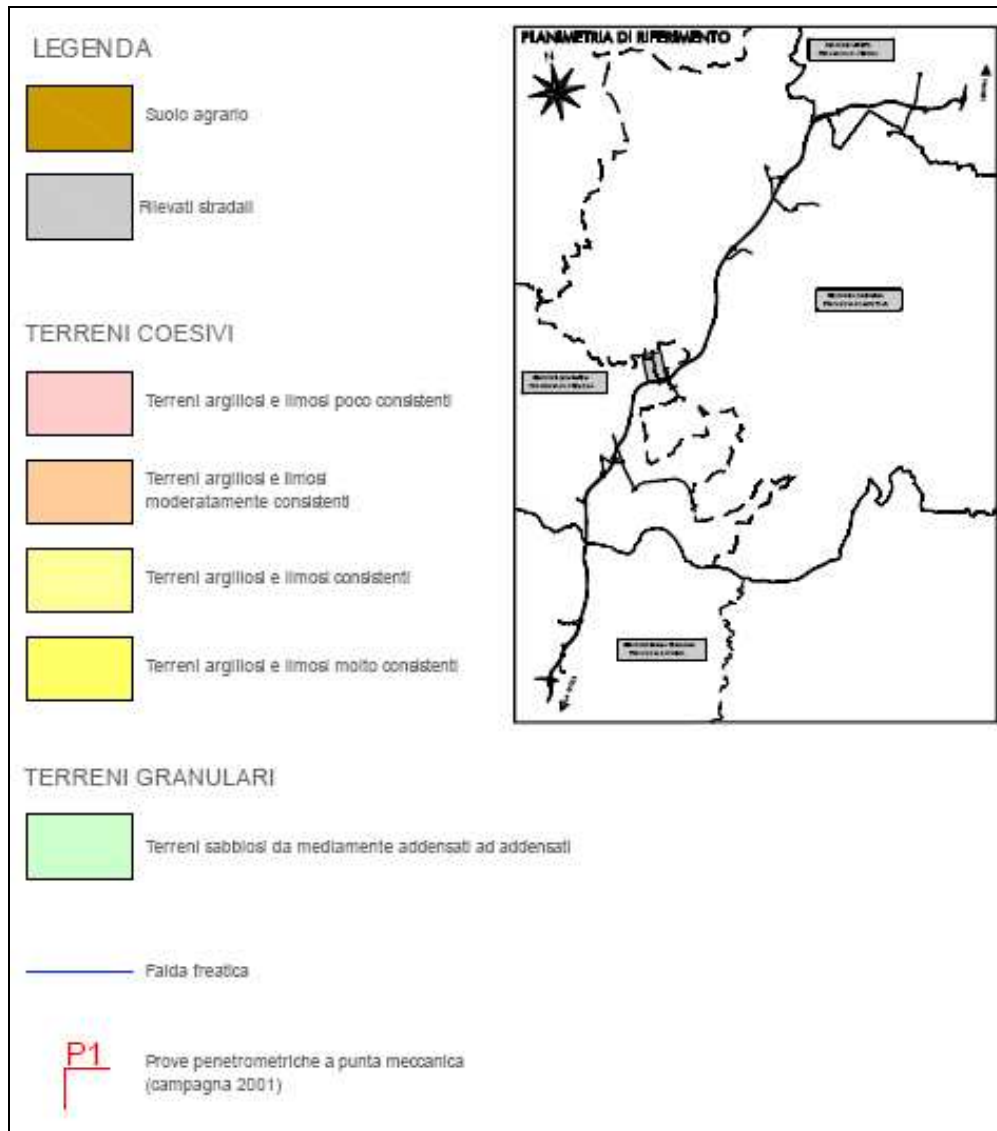
<b>T12:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.20		Terreno vegetale
Da	0.20	a	1.50	CL	Argilla molto consistente poco plastica di colore marrone
Da	1.50	a	1.70	CL	Argilla limosa molto consistente poco plastica di colore grigio
Da	1.70	a	1.90	SM	Sabbia media con limo di colore grigio
<i>falda: -1.50 m</i>					

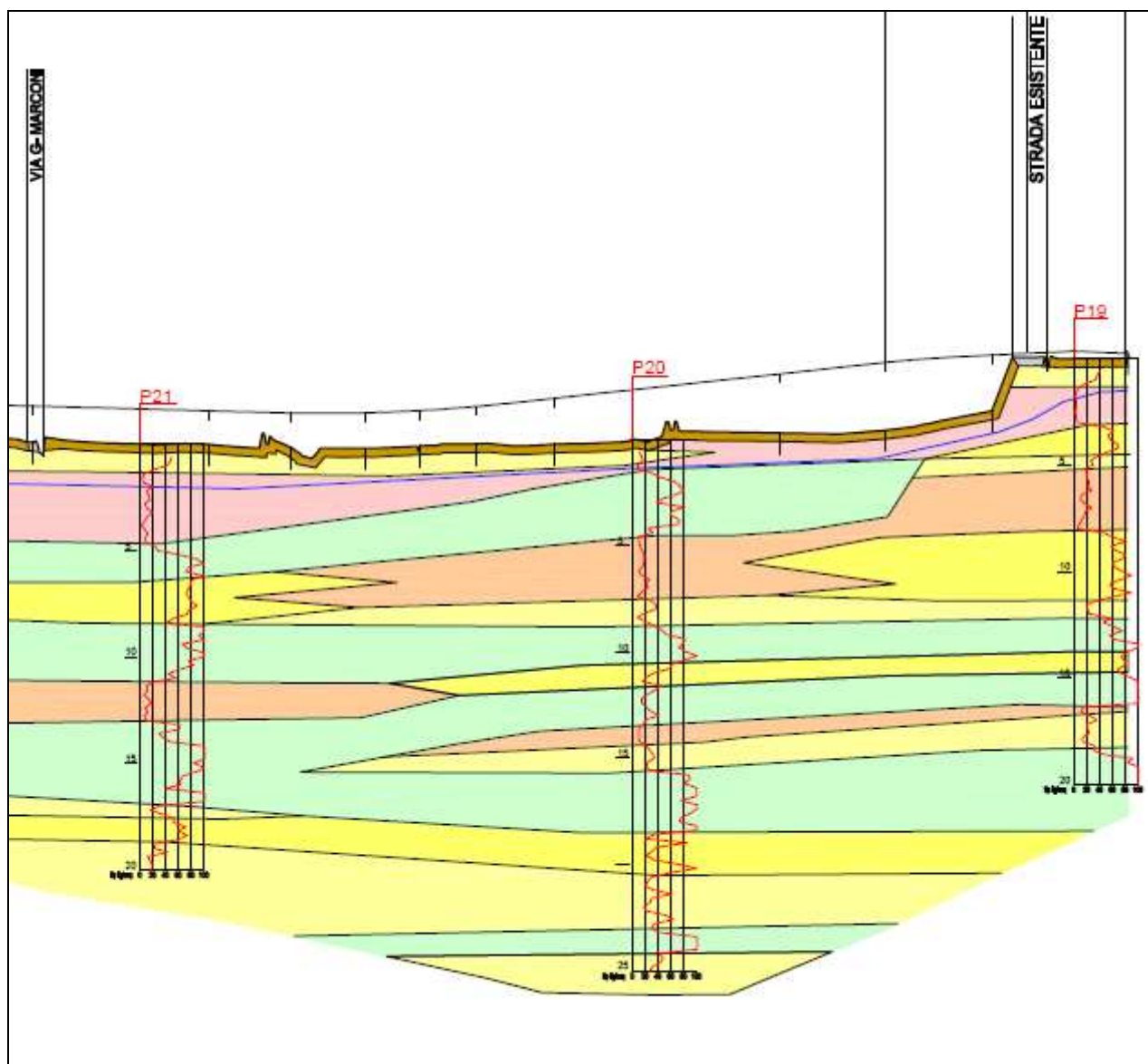
<b>T13:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.30		Terreno vegetale
Da	0.30	a	1.10	CL	Argilla limosa molto consistente poco plastica di colore marrone
Da	1.10	a	1.70	ML	Limo con sabbia molto fine di colore nocciola
Da	1.70	a	2.40	SM	Sabbia molto fine limosa di colore grigio
Da	2.40	a	2.50	SW	Sabbia media ben assortita di colore grigio
<i>falda: -1.40 m</i>					

<b>T14:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.20		Terreno vegetale
Da	0.20	a	1.20	CL	Argilla limosa molto consistente poco plastica di colore nocciola
Da	1.20	a	1.50	ML	Limo argilloso consistente poco plastico di colore nocciola
<i>falda: 1.20 m</i>					

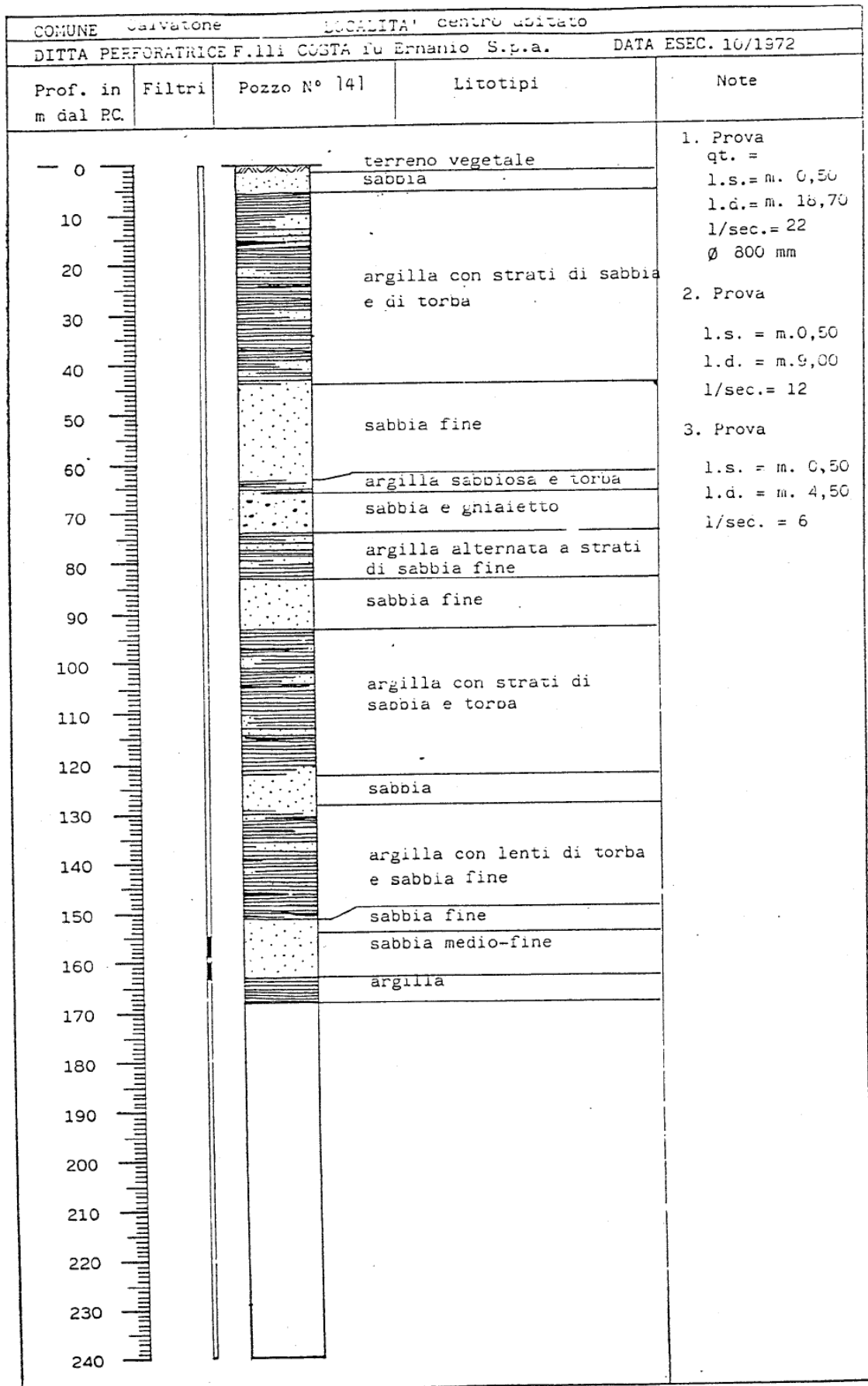
<b>T15:</b>					
<u>profondità (m. da p.c.)</u>				<u>Classificazione</u> <u>USCS</u>	<u>Natura dei terreni</u>
Da	0.00	a	0.30		Terreno vegetale
Da	0.30	a	0.90	CL	Argilla limosa molto consistente poco plastica di colore marrone
Da	0.90	a	1.60	CL	Argilla limosa molto consistente poco plastica di colore marrone
Da	1.60	a	2.30	SW	Sabbia molto fine ben assortita di colore grigio
<i>falda: 1.70 m</i>					

**SEZIONE GEOTECNICA: Estratta da “AUTOSTRADA DELLA CISA S.p.A. – Corridoio plurimodale Tirreno-Brennero – Sezione geotecnica relativa alla variante sp 31 all’abitato di Calvatone” (Progetto Definitivo disponibile presso l’Archivio Comunale)**





**12. ALLEGATO 2: Stratigrafie disponibili dei pozzi  
presenti sul territorio comunale**



**13. ALLEGATO 3: Valutazione degli effetti sismici di sito - Risultati dell'indagine eseguita su un'area campione**

## VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO

L'analisi sismica di I livello ha individuato due scenari di pericolosità sismica, come descritto nel capitolo 8 e sintetizzato nella Tavola 6 “Carta di pericolosità sismica locale”.

Come previsto dalla D.G.R. 8/7374/2008, in caso di contemporaneità di effetti litologici (Z4) e morfologici (Z3), in fase di pianificazione/progettazione di strutture considerate strategiche o rilevanti si deve procedere all'analisi dei fattori di amplificazione di entrambi i casi per poi scegliere quello più sfavorevole (analisi di II livello).

La procedura di cui all'Allegato 5 prevede il confronto del valore di Fa dell'area rispetto al 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.

Il risultato conduce a due situazioni: il valore di Fa è inferiore o uguale al valore di soglia oppure superiore. Nel primo caso la normativa antisismica è sufficiente nel considerare i possibili effetti di amplificazione topografica/litologica del sito, consentendo l'applicazione dello spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1); viceversa la normativa è insufficiente e devono essere effettuate analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione strutturale (classe di pericolosità H2).

Per il Comune di Calvatone i valori di Fa di soglia (stabiliti con D.G.R. 8/7374), 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
Calvatone	1.4	1.8	2.1	1.9

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
Calvatone	1.7	2.3	3.9	2.9

**Tabella:** valori di soglia del fattore di amplificazione Fa per il comune di Calvatone.

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

### AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Lo scenario della zona di scarpata (Z3a) è caratterizzato da una irregolarità morfologica con fronti di altezza ( $H$ ) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione ( $\alpha$ ) del fronte principale uguale o superiore a  $10^\circ$ . In figura 1 si riportano i criteri di riconoscimento che consentono di individuare la relativa classe di riferimento.

Sulla base delle caratteristiche geometriche della scarpata morfologica in esame, la classe di appartenenza risulta essere la n. 1, caratterizzata da un **fattore di amplificazione  $F_a = 1.1$**  ed una zona di influenza  $A$  dei fenomeni di amplificazione sismica pari all'altezza della scarpata.

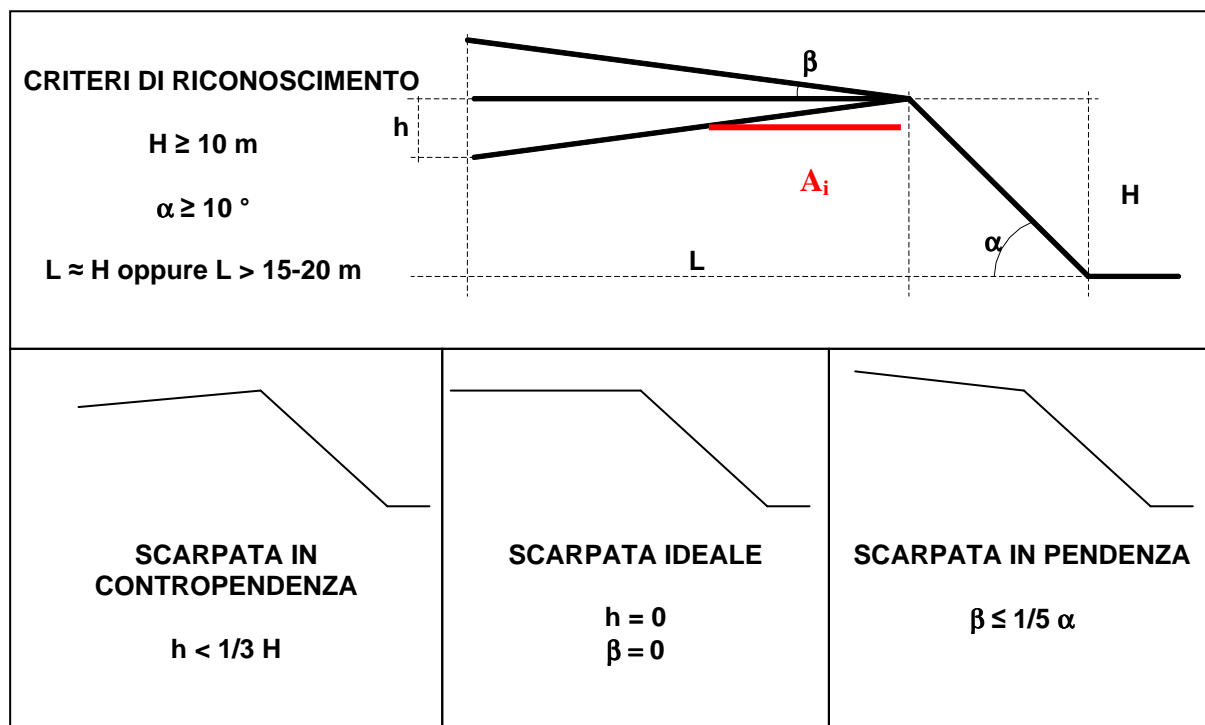


Figura 1: criteri geometrici di riconoscimento per le scarpate.

<i>Classe di appartenenza</i>	<i>Classe altimetrica</i>	<i>Classe di inclinazione</i>	<i>Valore di Fa</i>	<i>Area di influenza</i>
A	$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
B	$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
C	$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
		$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
		$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
		$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
		$\alpha > 70^\circ$	1.1	

*Classi di appartenenza per amplificazione sismiche di tipo topografico.*

### **AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA**

Lo scenario sismico Z4a identifica la possibilità che si verifichino effetti di amplificazione sismica legati alle caratteristiche lito-stratigrafiche e meccaniche dei terreni che costituiscono il sottosuolo.

Al fine di valutare tali effetti, ai margini del centro abitato (soggetto ad uno sviluppo edificatorio), è stata scelta un'area campione, procedendo per questa alla valutazione dei fattori di amplificazione litologica.

Per effettuare l'analisi di 2° livello con uno scenario Z4a 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 ciascuno strato.

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

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

*Livelli di attendibilità per la stima del rischio sismico e delle amplificazioni di sito.*

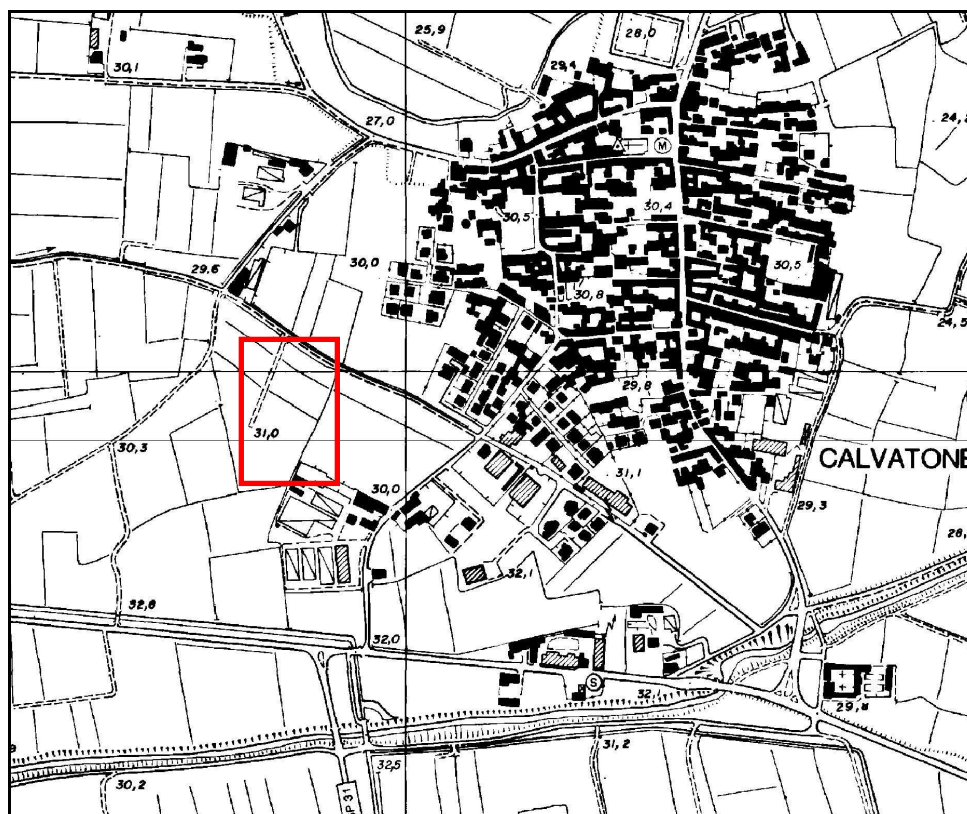
Al fine di valutare le possibili influenze sulla pericolosità sismica di base dovute alle proprietà litotecniche dei terreni che costituiscono il territorio comunale, è stata scelta un'area campione sulla quale è stato eseguito un profilo con la metodologia MASW per ricostruire il modello sismico monodimensionale (Vs-z); per i particolari relativi alla strumentazione utilizzata ed all'elaborazione della prova si rimanda all'allegato 4 "Indagini geofisiche con metodologia MASW".

#### **Individuazione dell' area campione: ubicazione e caratteristiche**

Per l'area in esame si è proceduto all'esecuzione di un profilo sismico con la metodologia MASW, attraverso il quale si è ricostruito il modello sismico monodimensionale (Vs-z) proprio del sito.

Per i particolari relativi alla strumentazione utilizzata ed all'elaborazione della prova MASW si rimanda all'Allegato 4 - "Indagini geofisiche".

L'area campione è localizzata ai margini del centro abitato, come mostrato nella figura seguente.

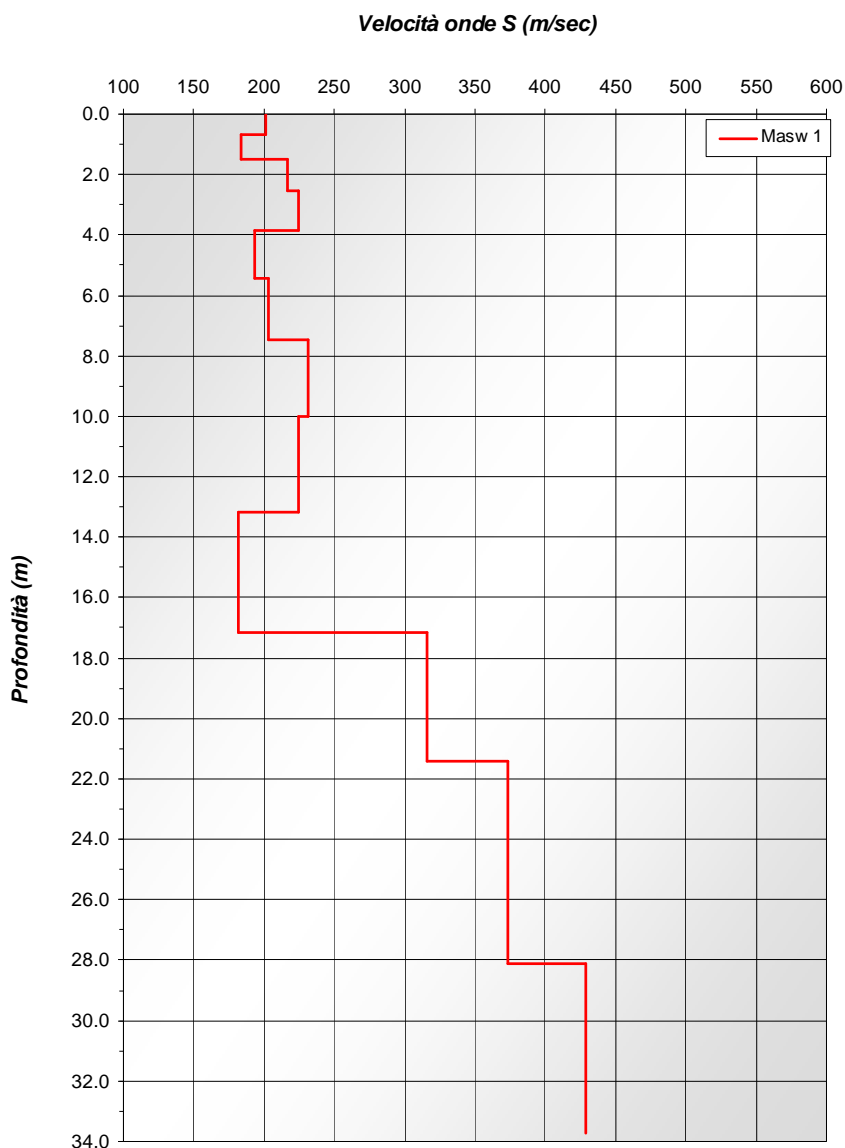


*Figura: Ubicazione della zona campione.*

Per tale area il modello di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità ottenuto dal profilo sismico MASW è il seguente:

<b>Modello 1</b>			
<b>Strato</b>	<b>Spessore [m]</b>	<b>Vs [m/s]</b>	<b>Profondità</b>
1	0.66	<b>200.72</b>	0.66
2	0.83	<b>183.89</b>	1.49
3	1.04	<b>216.96</b>	2.53
4	1.30	<b>224.57</b>	3.83
5	1.62	<b>193.36</b>	5.45
6	2.03	<b>202.87</b>	7.48
7	2.53	<b>231.50</b>	10.01
8	3.17	<b>224.60</b>	13.18
9	3.96	<b>181.53</b>	17.14
10	4.29	<b>315.56</b>	21.42
11	6.70	<b>373.27</b>	28.12
12	5.61	<b>429.23</b>	33.73

*Tabella: modello sismico monodimensionale.*



**Figura 8:** andamento Vs-profondità per l'area campione.

### **Stima degli effetti litologici**

Secondo la procedura prevista per il 2° livello di approfondimento, il primo passo consiste nell'individuare la scheda litologica di riferimento che meglio approssima l'andamento del profilo Vs-z proprio del sito in esame (andamento Vs-z posto all'interno del "campo di validità" della scheda<sup>5</sup>). All'interno della scheda stabilita, in funzione della profondità e della

<sup>5</sup> Allo stato attuale sussistono dei limiti di nell'applicazione dell'analisi di 2° livello derivante dalla messa a punto da parte della Regione Lombardia di una metodologia basata su schede di riferimento ricavate da un numero limitato di dati geofisici (andamento delle Vs con la profondità). Tale fattore può comportare che il profilo Vs-z relativo alla litologia che caratterizza il sito sia differente da quello previsto dalla stessa litologia nella scheda di riferimento.

velocità delle onde S dello strato superficiale, è stata scelta la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa, calcolando successivamente il periodo proprio del sito con la seguente espressione:

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

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato  $i$ -esimo del modello.

In questo modo, utilizzando l'equazione propria della curva stabilita è stato possibile determinare il fattore di amplificazione Fa.

Sulla base del modello monodimensionale ricostruito, si ottengono i seguenti risultati:

Area	Curva	Scheda	Periodo $T_0$	Fa (0.1-0.5)	Fa (0.5-1.5)
I	1	Limoso-sabbiosa 2	0.46 s	2.35	1.44

**Tabella** : valutazione dei fattori di amplificazione per l'area campione.

Dalla stima dei fattori di amplificazione si deduce come, anche nel caso di sovrapposizione di effetti (Z4a e Z3a), quello preponderante, di cui tenere considerazione, deriva dalle caratteristiche meccaniche dei terreni (effetto di amplificazione litologica).

Gli approfondimenti contenuti nelle integrazioni all'Allegato 5 del febbraio 2006 - F. Pergalani, M. Compagnoni e V. Petri - prevedono quindi che, nel caso in cui l'andamento delle Vs con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda litologica corrispondente, sia utilizzata la scheda che presenta l'andamento delle Vs più simile a quello riscontrato nell'indagine.

### Analisi dei dati e considerazioni

I valori di  $F_a$  proprio del sito sono stati confrontati con il valore  $F_a$  di soglia (tabella 4), differente per le diverse categorie di suolo.

Le categorie di suolo di fondazione, secondo l'OPCM 3274 e il DM 14.09.2005, risultano così identificate:

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

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

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

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 più superficiali.

A partire dal profilo  $V_s$ -profondità ricostruito per l'area campione è possibile calcolare, con la formula sopra riportata, il valore di  $V_{s30}$  (i 30 m di profondità sono stati misurati convenzionalmente dal piano campagna), ottenendo il seguente risultato:

Area	$V_{s30}$ [m/s]	Categoria di suolo
1	251.01	C

e confrontando i valori del fattore di amplificazione del sito con quelli di soglia risulta che

$Fa_{\text{sito}} > Fa_{\text{soglia}}$ per $0.1 < T_0 < 0.5$ s $Fa_{\text{sito}} < Fa_{\text{soglia}}$ per $0.5 < T_0 < 1.5$ s
--

Ciò implica che la normativa antisismica (D.M. 14.09.2005 e D.M. 14.01.2008) non considera in modo esaustivo i possibili effetti di amplificazione litologica, rendendo insufficiente l'applicazione dello spettro previsto dalla normativa per edifici con periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s.

Considerata la sostanziale uniformità che caratterizza l'area comunale in corrispondenza dell'urbanizzato (ovvero a monte del terrazzo morfologico pleistocenico), è probabile che l'intero territorio sia soggetto a fenomeni di amplificazione sismica locale tali da produrre valori di  $Fa$  di sito superiori a quello di soglia comunale nell'intervallo tra 0.1 e 0.5 s.

Tale considerazione supporta ulteriormente la necessità (già imposta dalla D.G.R. 8/7374/2008) che, per qualsiasi trasformazione d'uso del suolo legata alla realizzazione di edifici strategici e rilevanti, il cui periodo proprio sia contenuto nell'intervallo tra 0.1 e 0.5 s (edifici con massimo 5 piani, rigidi), venga preventivamente valutata la pericolosità sismica locale attraverso il 2° livello di approfondimento (Allegato 5 della D.G.R. 8/7374); qualora venisse confermato il superamento del  $Fa$  di soglia, si dovrà procedere alla definizione dell'azione sismica di progetto attraverso l'analisi di 3° livello.

## **14. ALLEGATO 4: Indagine geofisica con metodologia MASW**

**Signa srl**  
**INDAGINI GEOFISICHE**

**Committente:** dott. geol. Marco Daguati

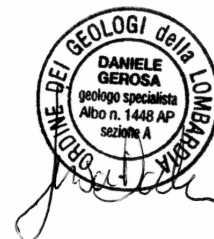
**Località:** Calvatone (Cr)

**Indagine:** Indagine geofisica con la metodologia MASW

## RAPPORTO TECNICO

Codice documento: 35b-08			Numero pagine: 17		
A	10/07/08	EMISSIONE	DG	DG	DG
<i>Rev.</i>	<i>Data</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Redatto</i>	<i>Controllato</i>	<i>Approvato</i>

**SIGNA srl**  
Via A. Diaz, 22 – 26845 Codogno (Lo)  
Tel/Fax 0363-79065 – Cell. 347-1445663  
Cod.Fisc. e P.IVA 05388280967  
[www.signasrl.it](http://www.signasrl.it); e-mail: [info@signasrl.it](mailto:info@signasrl.it)



SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	10/07/08
	N. Commessa	35b-08
	C. Documento	01
<b>Indagine geofisica con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

## INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	3
2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	5
3. ELABORAZIONE DATI .....	9
4. CALCOLO DELLE $V_{s30}$ .....	12

### ALLEGATI

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	10/07/08
	N. Commessa	35b-08
	C. Documento	01
<b>Indagine geofisica con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

## 1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La presente relazione riporta le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di un profilo sismico con la metodologia MASW effettuato ai margini del centro abitato di Calvatone (CR). La campagna di indagine è stata eseguita nella giornata del 08 Luglio 2008 su incarico del dott. geol. Marco Daguati nell'ambito dello studio geologico, idrogeologico e sismico previsto dalla nuova Legge per il Governo del Territorio (D.G.R. n. 8/1566 e D.G.R. n. 8/7374 recante "*Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio in attuazione dell'art. 57 della L. R. n. 11 marzo 2005 n. 12*").

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

In figura 1 si riporta l'ubicazione della prova sismica effettuata.

Data	10/07/08
N. Commessa	35b-08
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

**Indagine geofisica con la metodologia MASW**



**Figura 1:** ubicazione della prova MASW effettuata.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	10/07/08
	N. Commessa	35b-08
	C. Documento	01
<b>Indagine geofisica con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

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

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

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

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

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

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

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30-35 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	10/07/08
	N. Commessa	35b-08
	C. Documento	01
<b>Indagine geofisica con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

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" 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 10 e 14 m dal primo geofono (*Optimum Field Parameters of an MASW Survey*"; Park et al., 2005).

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

Data	10/07/08
N. Commessa	35b-08
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

**Indagine geofisica con la metodologia MASW****Figura 2:** Strumentazione utilizzata per la prova MASW.

<b>Riassunto modalità esecutive della prova MASW ATTIVA</b>	
<i>Spaziatura tra i geofoni</i>	2.0 m
<i>Distanza sorgente 1°geofono</i>	10 e 14 m
<i>Tempo di campionamento</i>	0.5 ms
<i>Tempo di registrazione</i>	1.6 s

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

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	10/07/08
	N. Commessa	35b-08
	C. Documento	01
<b>Indagine geofisica con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc



**Figura 3:** Vista dello stendimento MASW.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	10/07/08
	N. Commessa	35b-08
	C. Documento	01
<b>Indagine geofisica con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

### 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 (si veda la curva di dispersione combinata presentata in allegato).

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.

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	10/07/08
	N. Commessa	35b-08
	C. Documento	01
<b>Indagine geofisica con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

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):

<b>Modello 1</b>			
<b>Strato</b>	<b>Spessore [m]</b>	<b>Vs [m/s]</b>	<b>Profondità</b>
1	0.66	<b>200.72</b>	0.66
2	0.83	<b>183.89</b>	1.49
3	1.04	<b>216.96</b>	2.53
4	1.30	<b>224.57</b>	3.83
5	1.62	<b>193.36</b>	5.45
6	2.03	<b>202.87</b>	7.48
7	2.53	<b>231.50</b>	10.01
8	3.17	<b>224.60</b>	13.18
9	3.96	<b>181.53</b>	17.14
10	4.29	<b>315.56</b>	21.42
11	6.70	<b>373.27</b>	28.12
12	5.61	<b>429.23</b>	33.73

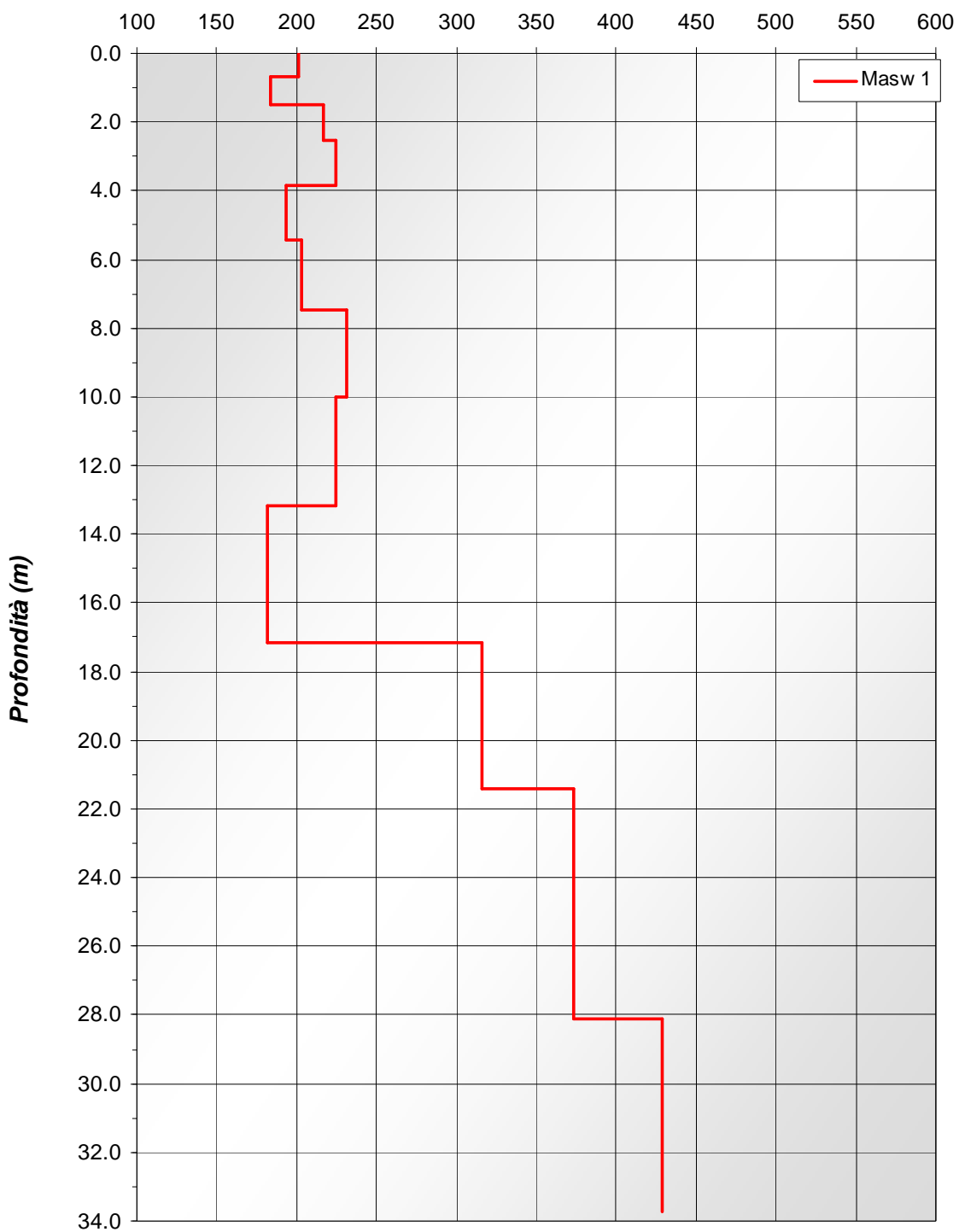
**Tabella 1:** modello sismico monodimensionale.

Data	10/07/08
N. Commessa	35b-08
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

**Indagine geofisica con la metodologia MASW**

**Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion**

Velocità onde S (m/sec)



SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	10/07/08
	N. Commessa	35b-08
	C. Documento	01
<b>Indagine geofisica con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

#### 4. CALCOLO DELLE $V_{s30}$

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nel capitolo precedente, è possibile calcolare il valore delle  $V_{s30}$ , che rappresenta la “velocità media” 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 ottiene il seguente valore (quota iniziale = piano campagna attuale):

$$V_{s30} = 251.01 \text{ m/s}$$

a cui corrisponde la **categoria di suolo di fondazione di tipo C**, ovvero “*depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri*” (si veda la tabella seguente).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	10/07/08
	N. Commessa	35b-08
	C. Documento	01
<b>Indagine geofisica con la metodologia MASW</b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

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

**Tabella 2:** categorie di suolo di fondazione (D.M. 14.09.2005; D.M. 14.01.2008).

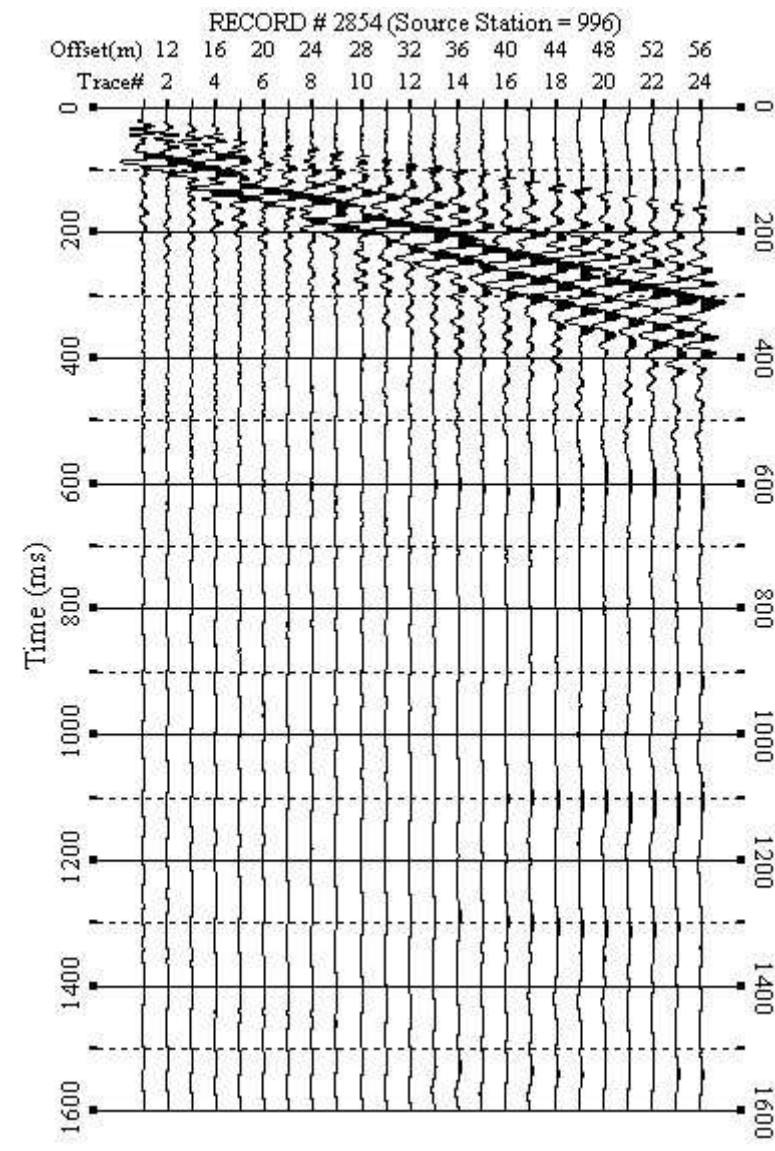
SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	10/07/08
	N. Commessa	35b-08
	C. Documento	01
<b><i>Indagine geofisica con la metodologia MASW</i></b>	Revisione	A (DG)
	Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

## **ALLEGATI**

Data	10/07/08
N. Commessa	35b-08
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

**Indagine geofisica con la metodologia MASW**

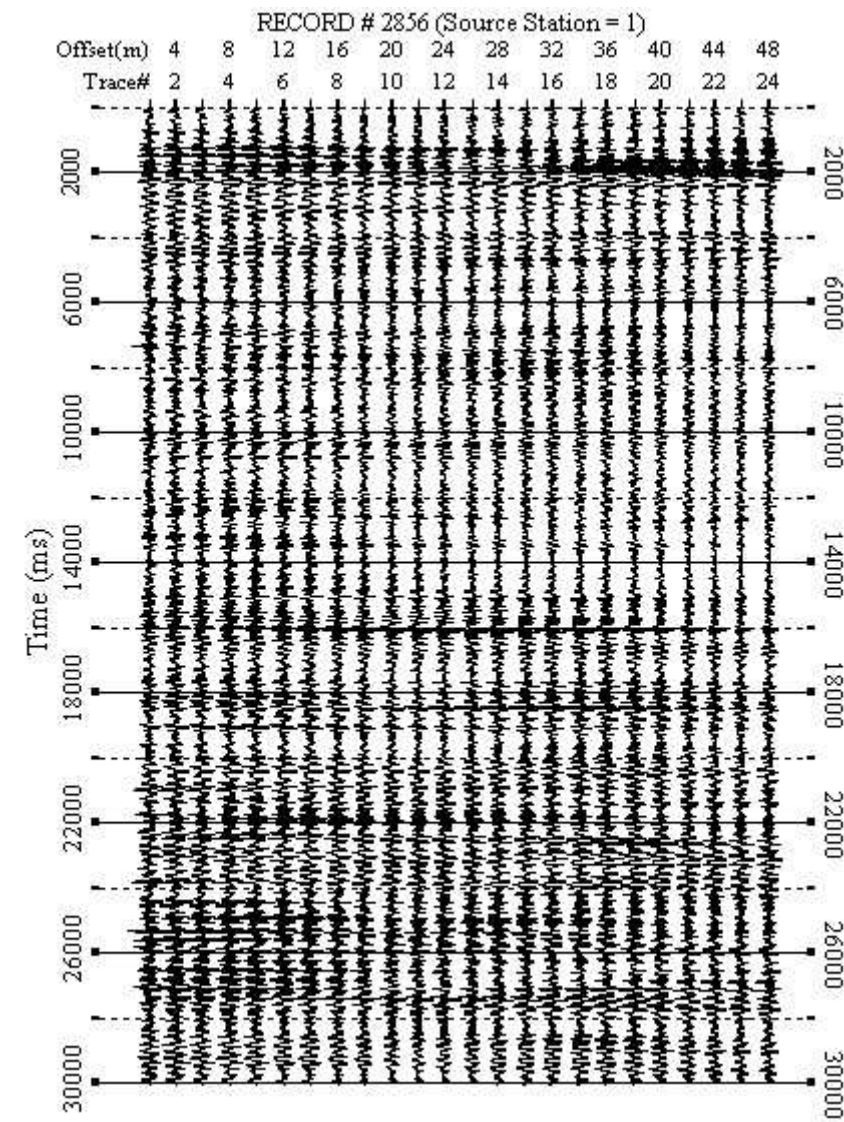
**Registrazione MASW attiva**



Data	10/07/08
N. Commessa	35b-08
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

**Indagine geofisica con la metodologia MASW**

**Registrazione MASW passiva**



Data	10/07/08
N. Commessa	35b-08
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	RelazioneMASW-Calvatone.doc

## CURVA DI DISPERSIONE COMBINATA

