
Comune di CAPPELLA CANTONE
Provincia di CREMONA



PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

**STUDIO GEOLOGICO,
IDROGEOLOGICO E SISMICO**

Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12
D.G.R. 30 novembre 2011, n. 9/2616

RELAZIONE GENERALE

Aprile 2014

GEOLAMBDA

Engineering S.r.l.

Sede operativa: via A. Diaz, 22 – 26845 Codogno (LO)
tel. (+39).0377.433021 - fax. (+39).0377.402035

www.geolambda.eu – pec:geolambda@geolambda.viapec.it
e-mail: marco.daguati@geolambda.it

SOMMARIO

1. OBIETTIVI e METODO DI STUDIO	4
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE.....	6
3. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO	10
4. CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE.....	13
4.1 Il “Sistema della valle del Serio Morto e del Retorto”	14
4.2 Il “Livello Fondamentale della Pianura” e le forme ad esso associate.....	15
4.3 Forme dovute all’attività antropica	16
5. INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA E PEDOLOGICA	17
5.1 Caratterizzazione litologica.....	17
5.2 Caratterizzazione pedologica	19
6. IDROGEOLOGIA.....	21
6.1 Caratteristiche idrogeologiche generali.....	21
6.2 Caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale	24
6.3 Assetto piezometrico locale	28
6.4 Vulnerabilità degli acquiferi	30
7. PERICOLOSITA’ SISMICA LOCALE.....	35
7.1 Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di Cappella Cantone.....	35
7.2 Descrizione della sismicità.....	40
7.2 Pericolosità sismica.....	47
8. CARTA DI SINTESI	53
9. CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI.....	55

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:** Carta della pericolosità sismica locale
- **Tavola 6:** Carta di sintesi
- **Tavola 7:** Carta dei vincoli geologici
- **Tavola 8:** Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano (scala 1:10.000)
- **Tavola 9:** Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano (scala 1:5.000)

1. OBIETTIVI e METODO DI STUDIO

Il presente studio, sviluppato in sintonia con quanto disposto dalla vigente disciplina regionale, risulta “adattato” alle esigenze e peculiarità del territorio comunale di Cappella Cantone. 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 territoriali 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 Reticolo Idrografico (Tavola 3) e dalla Carta Idrogeologica (Tavola 4). La lettura integrata delle informazioni relative alle tavole di analisi presentate in allegato ha consentito una comprensione in chiave interpretativa dei fenomeni morfogenetici e sedimentari che hanno dato vita al lembo di pianura occupato dal Comune di Cappella Cantone.

In questa fase è stata analizzata anche la sismicità del territorio e prodotta, quale elaborato sintetico, la Carta della pericolosità sismica locale (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 la Carta di Sintesi (Tavola 6) e la Carta dei Vincoli Geologici (Tavola 7) (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 quello di definire le limitazioni d’uso e proporre una zonazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità geologica e geotecnica 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 (Tavole 8 e 9), alla quale viene allegata una tabella riassuntiva degli elementi limitanti per ciascuna classe di fattibilità. L'elaborato è stato redatto sia in scala 1:10.000 (su base C.T.R.), sia in scala 1:5.000 (su carta derivata da rilievo aerofotogrammetrico).

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 continentali di origine fluviale e fluvioglaciale 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 a scopo di ricerca petrolifera, hanno permesso di rilevare una situazione strutturale complessa e non priva di significato neotettonico.

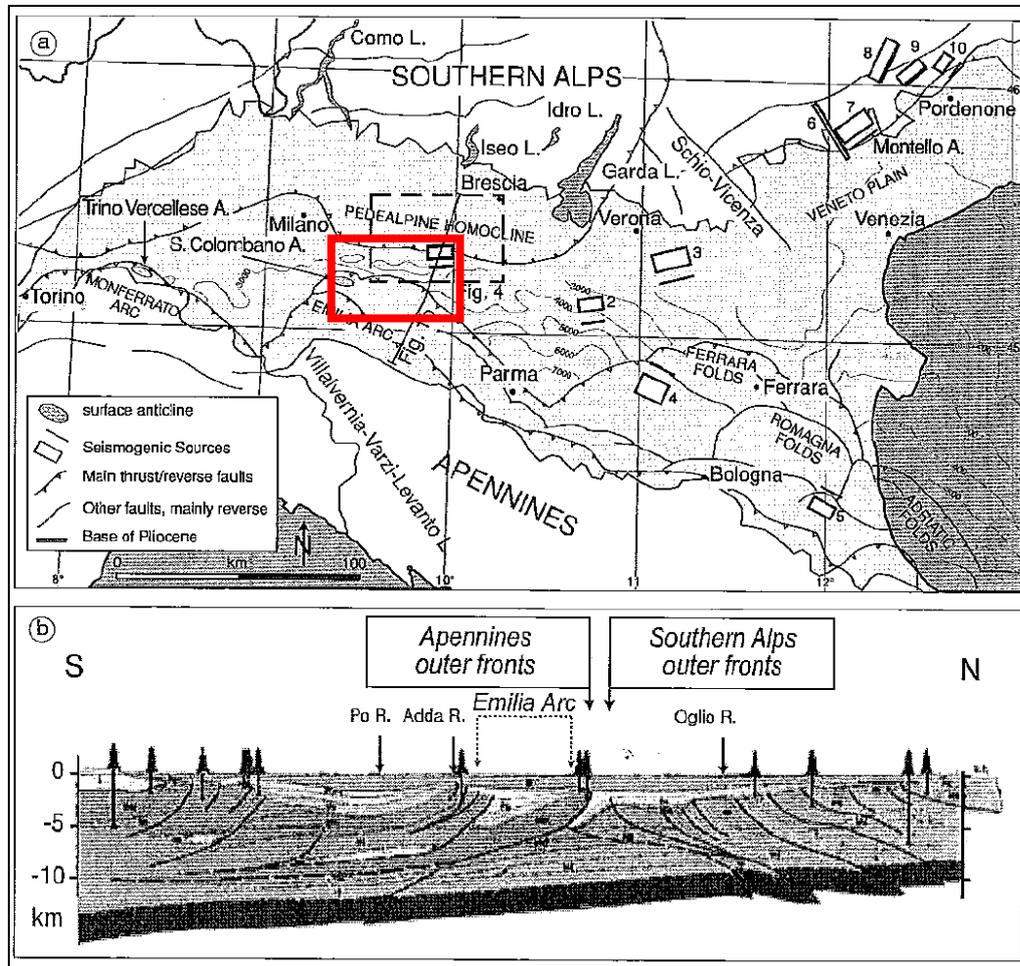
Lo sviluppo geologico di questo lembo di Pianura Padana, infatti, è strettamente legato all'evoluzione della catena appenninica in una fase tardiva della sua storia tettonogenetica e rappresenta il risultato del riempimento cominciato nel Pliocene, dapprima marino e poi continentale, dei bacini ampiamente subsidenti delle avanfosse padane: il materasso alluvionale è il risultato della fase di riempimento dei bacini di piggy-back, ospitati sui thrust embriciati che costituiscono la struttura del substrato sepolto.

In linea generale, l'evoluzione geologica della Pianura Padana deriva dalla convergenza della placca Africana e di quella Europea; il bacino sedimentario corrispondente alla Pianura Padana si colloca nell'estremità settentrionale della microplacca Adria (un promontorio della zolla africana). 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). Lo scontro tra le due catene ha strutturato la serie di bacini di piggy-back sopra menzionati, ospitati sul fronte della placca Adria, dove una potente successione sin-orogenetica si è progressivamente depositata.

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.

In tale contesto, il Comune di Cappella Cantone si sviluppa sul fronte settentrionale dell'Arco Emiliano; poco più a S del territorio comunale, il sottosuolo è interessato da un sistema compressivo modellato nei terreni pre-quadernari sepolti (un classico thrust costituito da

un'anticlinale e da una sinclinale separate da una faglia inversa) ad orientamento WNW-ESE e chiara vergenza settentrionale, caratterizzato da fenomeni di ondulazione assiale.



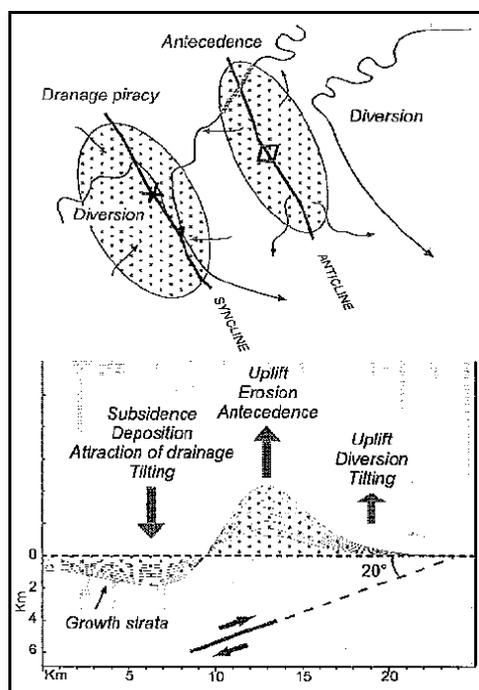
Schema tettonico del substrato della Pianura Padana
("Pieri and Groppi, 1981" in "Burrato et al.", 2003)

Sebbene la definitiva strutturazione del substrato sepolto venga tradizionalmente associata a una fase tettonica 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 in fasi neotettoniche, condizionando così anche 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 condizionamenti strutturali, il più noto ed evidente è l’antico percorso del Serio, noto anche come “Serio di Grumello”. Nell’olocene inferiore il Serio sfociava direttamente in Po ad Acquanegra Cremonese percorrendo una direzione N-S sino a giungere a monte di Roggione, ove piegava verso E per assumere un percorso sub-parallelo alla struttura tettonica sepolta innanzi citata: il fenomeno non può che essere interpretato come una “diversione” fluviale, condizionata dal substrato sepolto.



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

In una fase successiva il corso d’acqua è riuscito a superare l’ostacolo morfologico (grazie anche la complicità dei fenomeni di sovralluvionamento che caratterizzano i fiumi di pianura del tipo a meandri), accorciando il proprio percorso sino a sfociare in Adda nei pressi di Pizzighettone: del Serio di Grumello è rimasta così una valle “sospesa” sulla più recente valle del Serio Morto, all’interno della quale si leggono ancora taluni percorsi fluviali e le marcate scarpate di erosione ai margini dell’antica valle che conserva il tipico connotato “a cassetta”.

Dopo una certa persistenza all’interno della nuova valle con direzione circa NNE-SSW (la quale conduceva il Serio alla propria foce nei pressi di Pizzighettone), il corso d’acqua ha

abbandonato il suo percorso (anche in questo caso si può ipotizzare un fenomeno di condizionamento neotettonico) per sfociare in Adda molto più a N, nei pressi di Montodine, lasciando come testimone l'attuale Serio Morto e numerosi paleo-alvei.

Nonostante ciò, 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 tal 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 dei terremoti (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 giustificerebbe 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 esposta la 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 superiore e l'Olocene, sono:

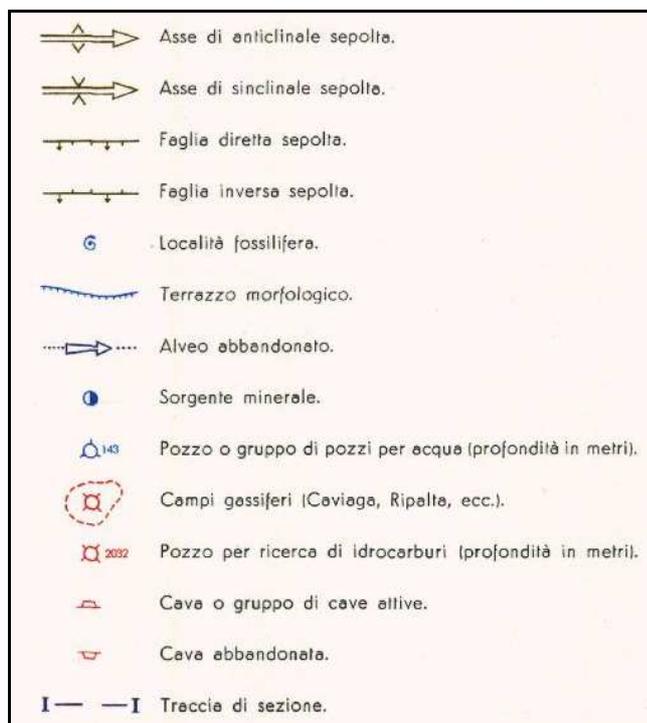
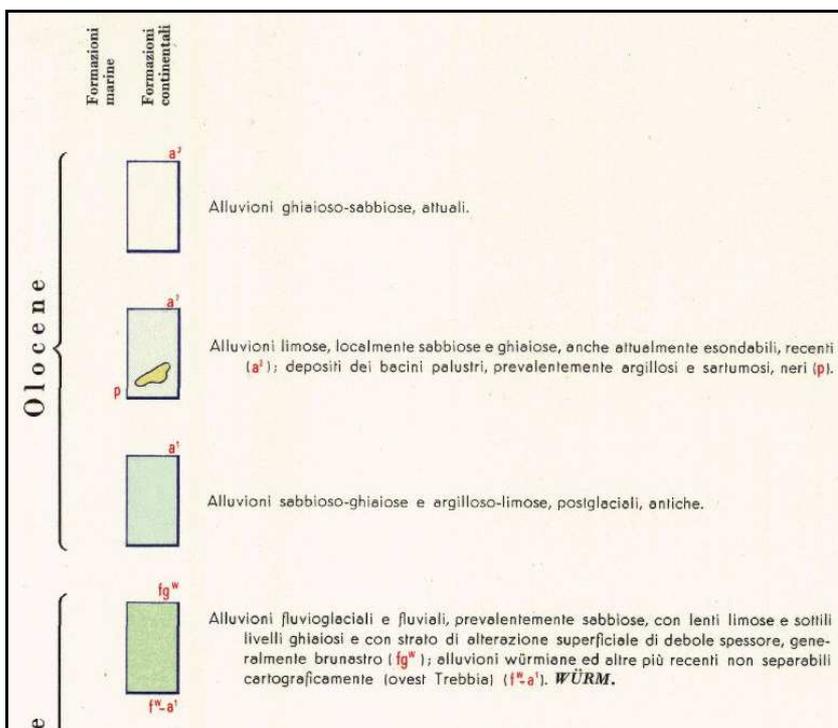
- *Alluvioni medio-recenti (Olocene medio)* – sono i depositi terrazzati che costituiscono il substrato del principale ripiano posto all'interno della valle del Fiume Serio (c.d. Serio Morto) e del Retorto.

- *Fluviale Wurm (Pleistocene superiore)* - è costituito da depositi prevalentemente sabbiosi, con lenti limose e sottili livelli ghiaiosi e con strato di alterazione superficiale di debole spessore, generalmente brunastro, affioranti nel substrato del Livello Fondamentale della Pianura (o Piano Generale Terrazzato).

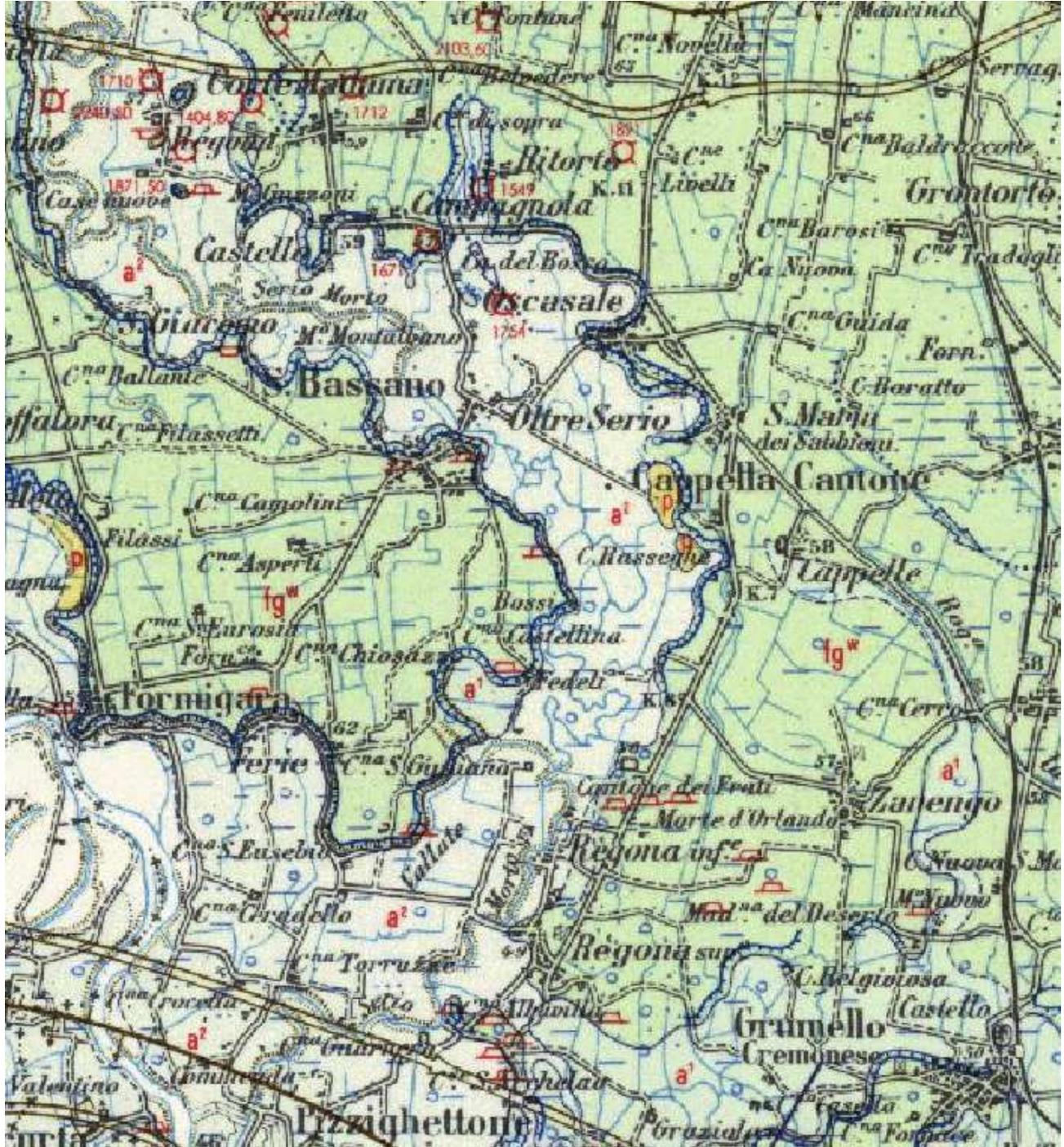
CARTA GEOLOGICA

Estratta da Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 60 "Piacenza"

LEGENDA



CARTA GEOLOGICA



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 Cappella Cantone si sviluppa nella porzione Sud-occidentale della pianura cremonese, è interamente compreso fra le quote di 65 e 48 m s.l.m. (quote dedotte dalla C.T.R.) e si presenta come una serie di ripiani sub-pianeggianti fra loro altimetricamente sfalsati: la continuità morfologica del Comune di Cappella Cantone, infatti, è interrotta dalle scarpate che terrazzano i depositi tardo pleistocenici sull'incisione olocenica del fiume Serio. Nella porzione N-occidentale del territorio comunale è presente inoltre l'incisione del Retorto, proveniente da N, la cui valle si immette in quella del Serio, formando con essa un unico ripiano morfologico.

Nel complesso, il risultato è quello di una serie di terrazzi morfologici a forma di ripiani sovrapposti, di altezza variabile, dovuti ad una successione spazio-temporale di episodi di alterna erosione e sedimentazione ad opera del fiume Serio che ha delineato una tipica valle "a cassetta" nel settore occidentale del territorio comunale.

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 della valle del Serio Morto e del Retorto";

2. il “Livello Fondamentale della Pianura”.

4.1 Il “Sistema della valle del Serio Morto e del Retorto”

Nella cartografia di Tavola 1 è stata evidenziata la valle abbandonata del fiume Serio (c.d. Serio Morto) che si origina nel cremasco e termina in quella dell’Adda a Pizzighettone. Dopo l’abbandono della valle di Pizzighettone e il suo spostamento più a N, la valle del Serio è rimasta solcata soltanto da un vaso colatore (noto come “Serio Morto”) che assolve la funzione di bonifica di un territorio in cui la falda è decisamente superficiale. L’alveo ha subito un’importante rettificazione (che ha occultato in parte l’originario tracciato meandriforme). L’andamento sinuoso (talora meandriforme) originale è testimoniato dalle tracce di paleoalvei che, ancora oggi, si leggono sul terreno.

Nel corso del rilevamento di dettaglio del territorio di Cappella Cantone sono stati riconosciuti e parzialmente cartografati una serie di elementi di origine fluviale: si tratta in genere di piccoli ripiani, dossi e depressioni, talora delimitati da scarpate di modesta entità, la cui evidenza è spesso mascherata dall’intervento antropico. Un’analisi di maggior dettaglio dei ripiani alluvionali del Serio, infatti, rivela una situazione non priva di una complessa articolazione, caratteristica di ripetuti fenomeni di divagazione compiuto dal corso d’acqua in un recente passato.

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

I depositi terrazzati tardo pleistocenici costituiscono un piano debolmente immergente verso S, 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 caratterizzato 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.

Le scarpate morfologiche che terrazzano il piano tardo-pleistocenico sulla valle olocenica del Serio rappresentano i lineamenti più evidenti di questa porzione di pianura, delimitando gli ampi solchi formatisi per infossamento del fiume. Le scarpate morfologiche presentano un'altezza variabile sino a un massimo di circa 8-10 m (porzione settentrionale del territorio comunale) e, quando presentano caratteristiche naturali, assumono i connotati di un versante molto acclive, ormai relitto e privo di significativi fenomeni di instabilità. Frequentemente la scarpata morfologica risulta rimaneggiata da ripetuti interventi antropici (finalizzati all'estrazione di inerti) mentre localmente è ridotta a una caratteristica rottura di pendenza del piano di campagna.

A N del capoluogo (S. Maria dei Sabbioni), la cartografia evidenzia un ripiano leggermente terrazzato sospeso sul Livello Fondamentale della Pianura: esso potrebbe essere il testimone di un condizionamento da parte della struttura anticlinale di Soresina (il cui asse si sviluppa poco più a N) e/o una forma di erosione fluviale di un antichissimo percorso fluviale del paleo-Serio. A tal proposito, lungo l'asse S. Maria dei Sabbioni-Cappelle, si segnala una lunga scarpata morfologica orientata circa NE-SW, a valle della quale si rilevano tracce di un percorso fluviale, probabilmente correlabile alla Valle del “Serio di Grumello”.

4.3 Forme dovute all'attività antropica

Pur non avendo ricostruito 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 Cappella Cantone a valle delle scarpate morfologiche principali, le quali, sovrapponendosi alla naturale tendenza evolutiva del territorio, hanno reso vivibili zone altrimenti paludose o soggette alla dinamica evolutiva del Serio Morto.

Fra le forme di natura antropica sono state cartografate numerose e vaste superfici ribassate per asportazione di materiale inerte, che hanno generato altrettante scarpate morfologiche artificiali ai margini dei principali ripiani morfologici.

5. INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA E PEDOLOGICA

5.1 Caratterizzazione litologica

La natura litologica dei terreni affioranti è stata definita correlando fra loro informazioni dedotte da indagini di tipo stratigrafico (trincee e sondaggi), geotecnico e pedologico disponibili nell'archivio comunale, in quello dello scrivente e in letteratura.

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 – Depositi prevalentemente sabbiosi con una frazione limosa superficiale frequentemente derivante da fenomeni di alterazione pedogenetica - Classificazione U.S.C.S. tipo SW, SP e SM con SM e ML superficiali – Area di affioramento: Livello Fondamentale della Pianura.

UNITA' 2 – Si tratta di terreni alluvionali di natura prevalentemente sabbiosa e sabbioso-ghiaiosa, con locali eteropie verso terreni fini - Classificazione U.S.C.S.: SP, SM prevalenti – Area di affioramento: Valle del Serio Morto e del Retorto.

UNITA' 3 – Alternanze di sabbie e terreni fini, frequentemente associati a una elevata componente organica (quali argille organiche di media-alta plasticità, torbe, resti vegetali, etc., caratteristici di ambienti a bassa energia); quest'ultimi sono più frequenti in corrispondenza delle aree di meandro abbandonato. I rapporti latero-verticali tra le differenti facies litologiche sono complessi e decisamente articolati - Classificazione U.S.C.S.: SP, SW, SM, ML, CL prevalenti; OL, OH, Pt subordinati – Area di affioramento: Valle del Serio Morto.

UNITA' 4 – Aree frequentemente interessate da depositi di paleoalveo e meandro abbandonato, con orizzonti torbosi e/o argilloso-limosi a elevata componente organica, caratterizzati da alta plasticità e scarsa consistenza – Classificazione U.S.C.S.: OL, OH, Pt, ML, CL prevalenti - Area di affioramento: meandri abbandonati della Valle del Serio Morto.

Sulla base dell'indagine eseguita si riconoscono aree con significative limitazioni di natura geotecnica soprattutto nelle zone di paleomeandro, ove sono presenti depositi di natura organica. Nella valle olocenica del Serio, inoltre, la presenza di acqua di falda a ridotta profondità contribuisce ad una saturazione dei terreni e a un generale peggioramento delle caratteristiche geotecniche dei terreni naturali. 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: le caratteristiche geotecniche dei terreni e la soggiacenza della falda dovranno divenire oggetto di studio circostanziato nella modellizzazione geologica e geotecnica prevista dal D.M. 14.01.2008 e s.m.i..

Va comunque 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.

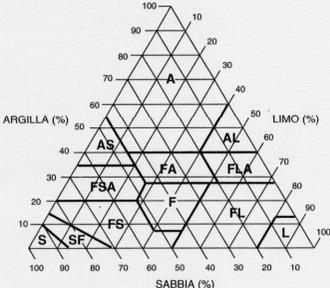
5.2 Caratterizzazione pedologica

Nella cartografia di Tavola 2 è stata rappresentata la distribuzione areale delle classi pedologiche tratte dal “Progetto Carta Pedologica – I SUOLI DELLA PIANURA CREMONESE CENTRALE (ERSAL, 2000)”: in questo modo è stato possibile associare, ad aspetti puramente litologici, anche indicazioni relative allo sviluppo e alle caratteristiche dei 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 Sistema del Livello Fondamentale della Pianura, ove si sviluppano suoli da moderatamente profondi a molto profondi, con substrato generalmente sabbioso, talora sabbioso-limoso o limoso, a tessitura da moderatamente fine a grossolana, con capacità di drenaggio in genere da mediocre a buona, a scala locale moderatamente rapida.
2. Il Sistema della valle alluvionale del fiume Serio, in cui sono presenti suoli da poco a molto profondi, con substrato generalmente sabbioso, talora sabbioso-limoso o torboso, tessitura da media a grossolana e capacità di drenaggio da mediocre a buona, localmente lenta (controllato da numerosi fattori, tra cui la profondità della falda e la natura litologica dei depositi di substrato).

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

<p>Profondità (cm)</p> <p>0 - 25 molto sottili 25 - 50 sottili 50 - 100 moderatamente profondi 100 - 150 profondi > 150 molto profondi</p>	<p>Scheletro (%)</p> <p><1 assente 1 - 5 scarso 5 - 15 comune 15 - 35 frequente 35 - 70 abbondante >70 molto abbondante</p>	<p>Carbonati totali (%)</p> <p>< 0,5 non calcareo 0,5 - 5 scarsamente calcareo 5 - 10 moderatamente calcareo 10 - 20 calcareo > 20 molto calcareo</p>	<p>Pietrosità superficiale (utile all'approfondimento radicale)</p> <p>< 0,1 % scarsa o nulla 0,1 - 3 % moderata 3 - 15 % comune 15 - 50 % elevata > 50 % eccessiva</p> <p>Dimensione pietre</p> <p>Ø < 7,5 cm piccole Ø 7,5 - 25 cm medie Ø > 25 cm grandi</p>										
<p>Saturazione (TSB) (%)</p> <p><35 molto bassa 35 - 49 bassa 50 - 75 media >75 alta</p>	<p>Reazione</p> <p><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</p>	<p>Pendenza (%)</p> <p><2 nulla o debole 2 - 5 bassa 5 - 15 moderata 15 - 25 moderatamente elevata 25 - 45 elevata 45 - 75 molto elevata >75 estremamente elevata</p>	<p>Capacità di scambio cationico (CSC) (meq/g)</p> <p>< 10 bassa 10 - 20 media 20 - 30 elevata > 30 molto elevata</p>										
<p>Tessitura</p>  <table data-bbox="1137 707 1478 831"> <tbody> <tr> <td>S e SF</td> <td>grossolana</td> </tr> <tr> <td>FS grossolana e fine</td> <td>moderatamente grossolana</td> </tr> <tr> <td>FS m. fine, F, FL, L</td> <td>media</td> </tr> <tr> <td>FSA, FA, FLA</td> <td>moderatamente fine</td> </tr> <tr> <td>A, AS, AL</td> <td>fine</td> </tr> </tbody> </table>				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
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												
<p>Drenaggio</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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; giacitura depressa concava e priva di drenaggio esterno; elevati apporti idrici praticamente continui, associati anche a suoli in pendenza.</p>													

6. IDROGEOLOGIA

6.1 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} m²/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} m²/s. Per quanto riguarda le acque sotterranee, questa

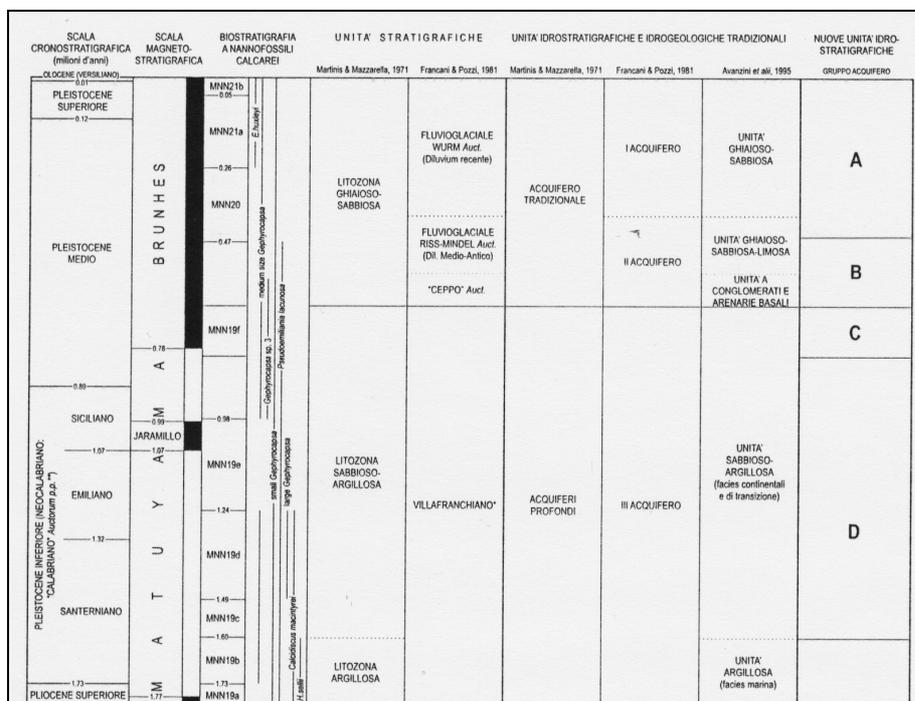
unità rappresenta il substrato dell'acquifero tradizionale; l'acqua è contenuta in livelli sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi; si tratta principalmente di falde confinate con presenza talora di sostanze tipiche di ambiente riducente.

- Unità argillosa: è l'unità più profonda e più antica nell'ambito dei sedimenti quaternari e corrisponde a condizioni di sedimentazione tipicamente marine. Presenta permeabilità scarsa o nulla con rari livelli acquiferi; viene generalmente considerata il substrato idrogeologico delle unità soggette ad eventuali captazioni.

L'intera successione quaternaria, dunque, viene interpretata come fase terminale del progressivo riempimento del bacino padano, con condizioni di sedimentazione da marine a continentali.

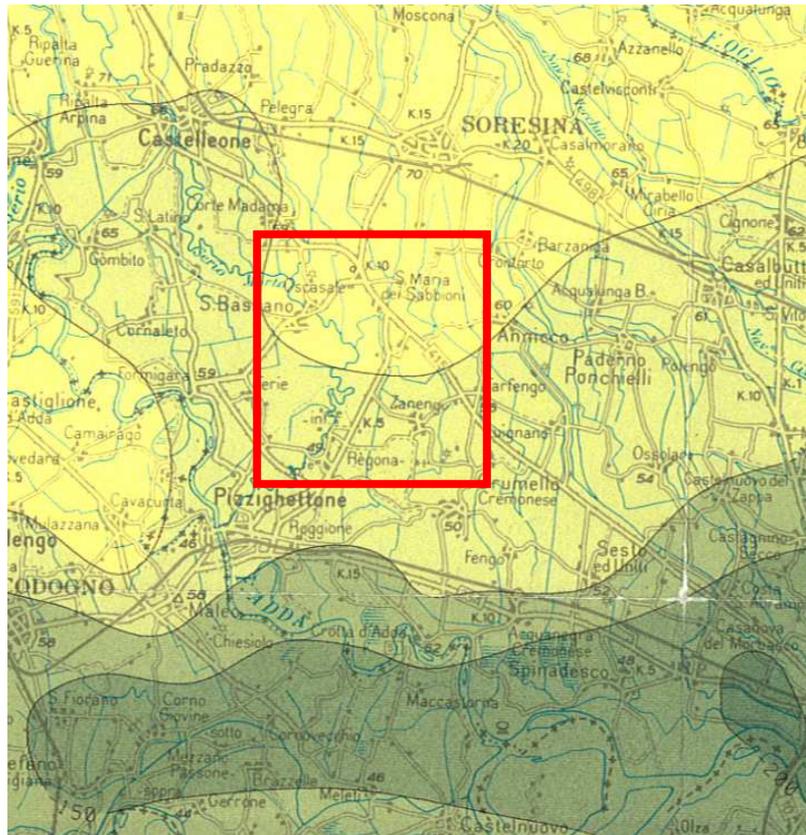
Sulla scorta di tale osservazione e applicando i criteri della "Sequence Stratigraphy", la Regione Lombardia, in collaborazione con ENI (Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia, 2002), ha recentemente classificato le unità acquifere del sottosuolo sotto forma di "Sequenze Deposizionali" (sensu Mitchum et Al., 1977).

Il bacino padano viene così ridefinito in nuove Unità Idrostratigrafiche ("Gruppi Acquiferi"), secondo quanto schematizzato di seguito.

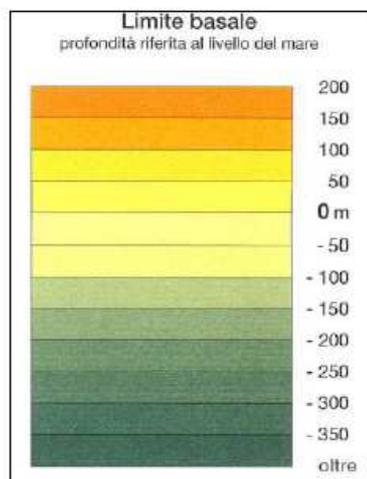


Schema dei rapporti stratigrafici
(Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia, 2002)

In corrispondenza del Comune di Cappella Cantone, lo studio sopra citato indica, per la base del Gruppo Acquifero A, una quota media compresa tra 0/-50 (nel settore settentrionale) e tra -50/-100 m s.l.m. (in prossimità del suo margine sud), con una pronunciata immersione verso quadranti meridionali.



*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)
A	~ 0.45	Pleistocene superiore
		0.125
B	~ 0.65	Pleistocene medio
C	~ 0.8	
D	~ 1.6	Pleistocene inferiore
Acquitrando basale	1.73	Pliocene medio superiore

6.2 Caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale

Nell'ambito di tutto il territorio cremonese si rinviene un complesso idrogeologico sotterraneo la cui porzione più superficiale è in stretta relazione con il sistema idrografico.

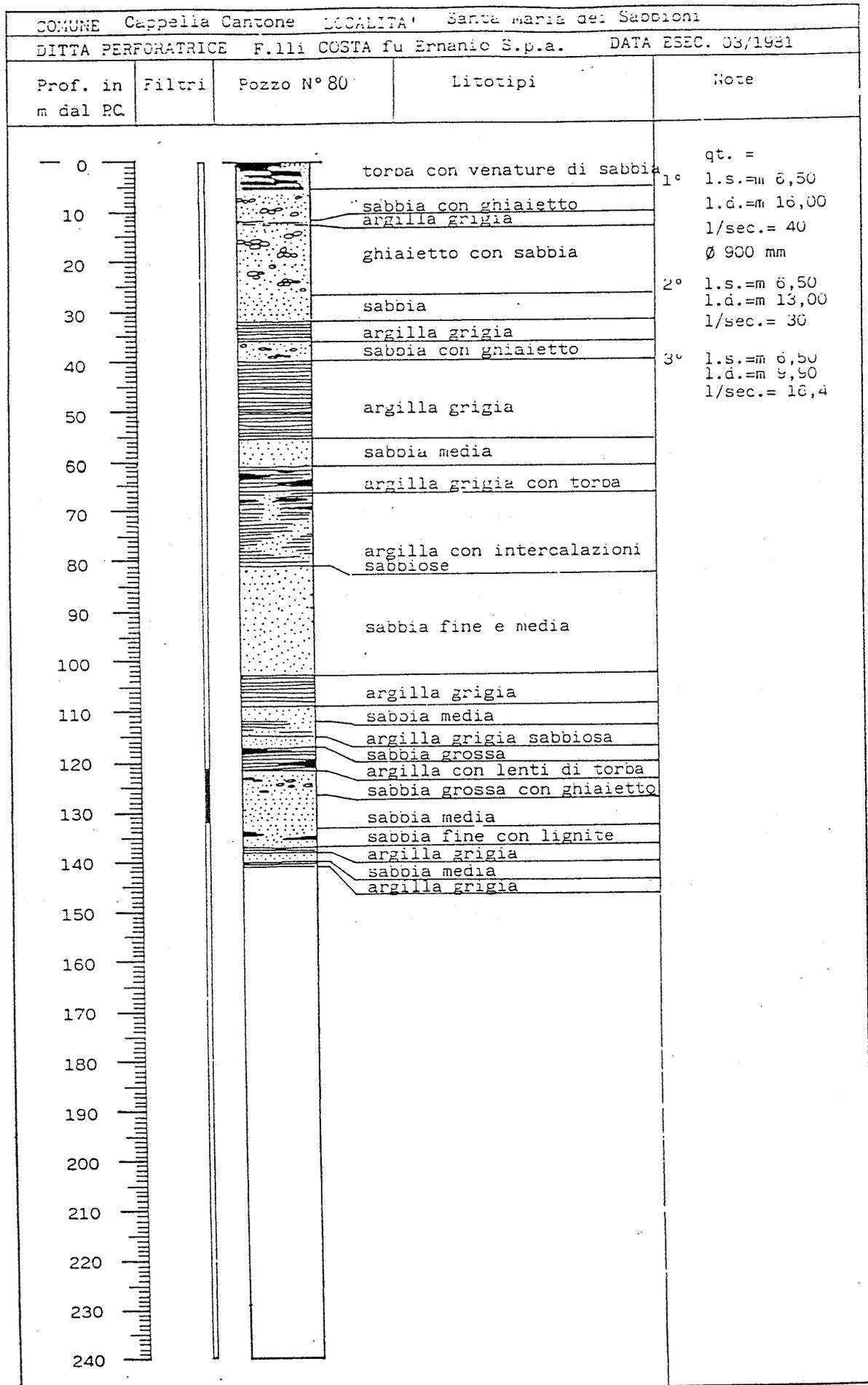
L'idrogeologia del territorio comunale di Cappella Cantone è legata ad aspetti climatici ed antropici, nonché a caratteristiche strutture stratigrafiche e deposizionali che governano l'accumulo ed il transito delle acque sotterranee.

Dall'esame delle stratigrafie disponibili si evince come l'assetto geometrico-strutturale del sottosuolo sia assimilabile ad un materasso alluvionale in cui i corpi acquiferi, di natura prevalentemente sabbiosa, sono ospitati entro potenti successioni impermeabili. A scala sovracomunale si sviluppa un complesso acquifero di tipo "multifalda", all'interno del quale si riconoscono due circuiti chiaramente separati:

1. Un circuito superficiale, che nel sottosuolo di Cappella Cantone assume caratteristiche da freatiche a localmente confinate (in presenza di terreni fini di copertura) 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 permeabili protetti al tetto da depositi impermeabili di significativo spessore ed estensione laterale; contrariamente a quello di superficie, nel circuito profondo il deflusso avviene solo in senso laterale con alimentazione da aree poste idrogeologicamente a monte.

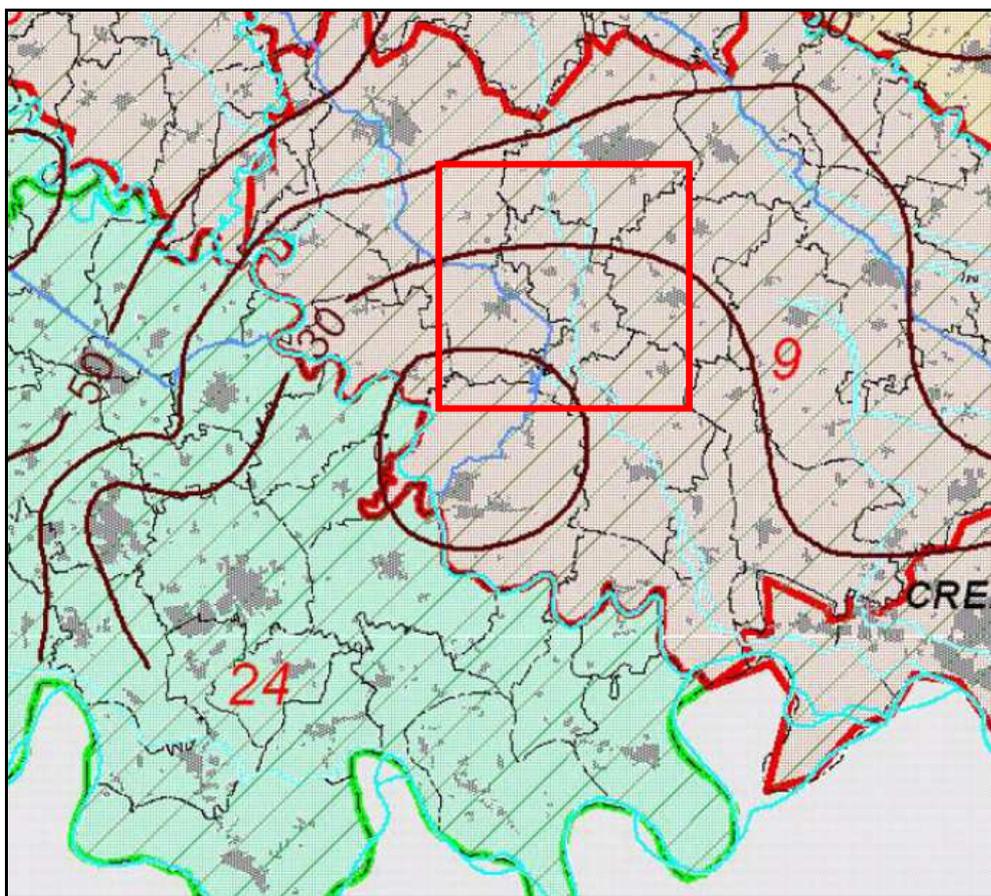
Sulla base dei dati disponibili si evince come i depositi permeabili che costituiscono la struttura acquifera superficiale presentino spessori medi di circa 30-35 m in corrispondenza del Livello Fondamentale della Pianura, sulla verticale del capoluogo (stratigrafia in figura seguente).

Nella valle del Serio, invece, le geometrie deposizionali si complicano causa l'intreccio di superfici d'erosione, le più importanti delle quali corrispondono superficialmente alle scarpate morfologiche ai margini della valle olocenica del Serio.



1

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 (litozona ghiaioso-sabbiosa) e in acquifero profondo (litozona 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). Per il bacino 4 "Adda-Oglio", settore 9 (a cui appartiene il Comune di Cappella Cantone), il limite di separazione tra la falda superficiale e la falda confinata dell'acquifero tradizionale è posto alla quota media di circa 30 m s.l.m., ovvero a una profondità di circa 26 m, confermando in linea generale i dati stratigrafici disponibili e il modello innanzi esposto.



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

Il Programma di Tutela e Uso delle Acque (P.T.U.A.) della Regione Lombardia, inoltre, definisce per il settore 9 il seguente bilancio idrico:

Elementi del bilancio idrico:			
Entrate:			
Afflusso della falda da monte	Settore 8	0,25	(m ³ /s)
Infiltrazione (piogge efficaci + irrigazioni)		1,13	(m ³ /s)
TOTALE		1,38	(m ³ /s)
Uscite:			
Deflusso della falda verso valle	Settori 10 e 12	0,24	(m ³ /s)
Drenaggio del fiume Oglio		0,20	(m ³ /s)
Drenaggio del fiume Adda		0,19	(m ³ /s)
Prelievi da pozzo		0,75	(m ³ /s)
TOTALE		1,38	(m ³ /s)

Per lo stesso settore viene definita una Classe Quantitativa “A” (rapporto prelievi-ricarica=0.66), corrispondente a una situazione di compatibilità fra disponibilità e uso della risorsa sotterranea, ovvero un uso sostenibile delle acque sotterranee senza prevedibili sostanziali conseguenze negative nel breve-medio periodo.

Classe Quantitativa: (Prelievi/Ricarica = 0.66)	A
	situazione attuale di compatibilità tra disponibilità ed uso della risorsa. Uso sostenibile delle acque sotterranee senza prevedibili e sostanziali conseguenze negative nel breve-medio periodo.
Classificazione livello di falda	3
Classificazione stato quantitativo secondo D.Lgs. 152	A

superficie piezometrica si riscontrano lungo il piede delle scarpate morfologiche, ove si manifestano numerosi fenomeni sorgentizi (“sorgenti di terrazzo”).

Fra i principali fenomeni sorgentizi vanno ricordati quelli che alimentano alcuni corpi idrici appartenenti al reticolo idrico minore.

Quanto sopra conferma come il sistema idrografico di superficie, centrato sulla presenza del Serio Morto e 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, considerato il particolare contesto morfologico ed idrogeologico 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 flusso sotterraneo.

6.4 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 i dati disponibili abbiano evidenziato delle aree a soggiacenza caratteristica, come illustrato nel paragrafo precedente e rappresentato in Tavola 4.

Nella carta di tavola 4 il territorio è stato suddiviso per classi di soggiacenza della superficie piezometrica, ovvero:

1. soggiacenza inferiore a 2 m in tutta la valle del Serio Morto;
2. soggiacenza compresa tra 5 e 10 m, in corrispondenza del Livello Fondamentale della Pianura.

In relazione alla permeabilità verticale e orizzontale dell'acquifero superficiale e del mezzo insaturo sovrastante, non sono disponibili 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 6 sono state cartografate le aree per classi di permeabilità attraverso 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		

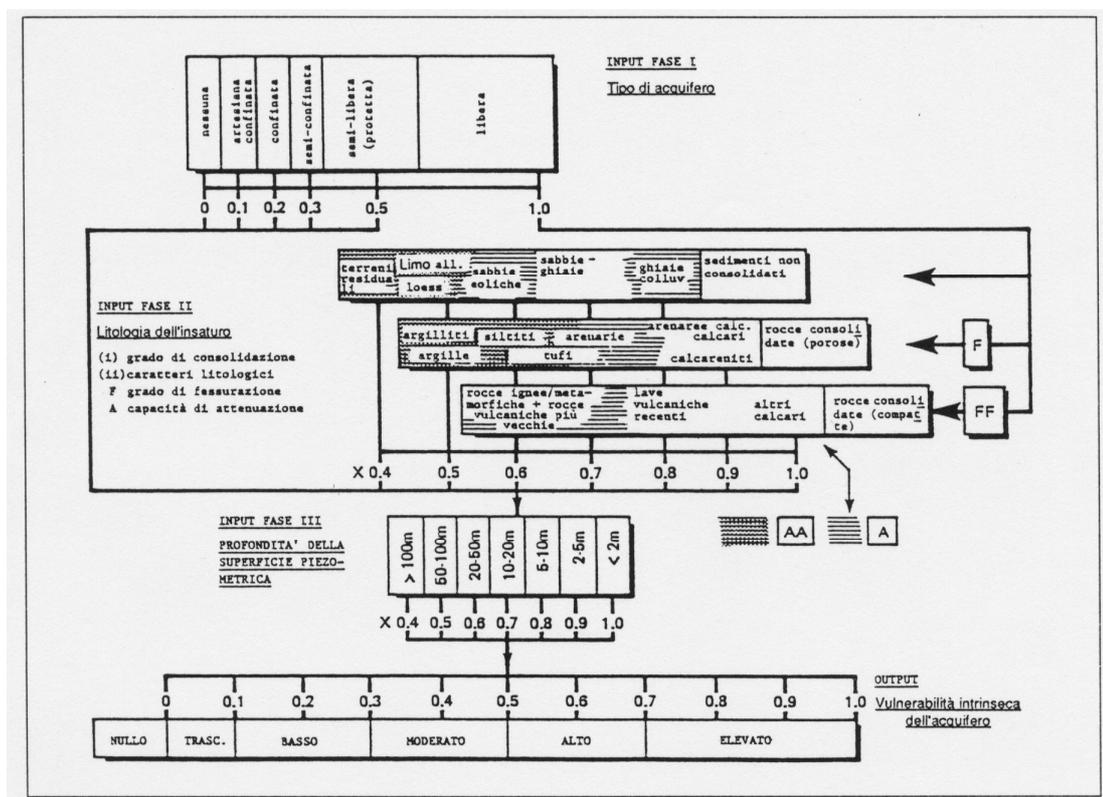
Classi di permeabilità (Casadio & Elmi, 1995)

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

1. PERMEABILITA' DA BASSA A DISCRETA: Depositi caratteristici di ambienti a bassa energia deposizionale (sabbie limose con orizzonti torbosi e depositi a elevata componente organica);
2. PERMEABILITA' DA DISCRETA A BUONA: Depositi sabbiosi e ghiaiosi con locali eteropie verso terreni fini (fasce marginali della valle del Serio Morto e del Retorto);
3. PERMEABILITA' DA DISCRETA A BUONA: Terreni prevalentemente sabbiosi con frazione limosa più frequente negli orizzonti superficiali (L.F.d.P. e relativi rimaneggiamenti).

Inquadrando i parametri rilevati (idro-litologia, tipo di copertura dell'acquifero e soggiacenza della superficie piezometrica), l'acquifero più superficiale è stato valutato anche in termini di vulnerabilità intrinseca attraverso il metodo GOD (messo a punto dal British Geological Survey - Foster, 1987) che rappresenta, secondo le indicazioni del C.N.R., uno dei più importanti ed utili nel settore (Civita, 1994).

Il metodo GOD utilizza come dati d'ingresso tre proprietà dell'acquifero (indicizzate), il cui prodotto ne rappresenta la vulnerabilità; ovviamente la valutazione è solamente di tipo puntuale ma, stimando le condizioni medie, restituisce con affidabilità la vulnerabilità idrogeologica del territorio.



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

Le tre proprietà indici utilizzate dal metodo GOD sono: il tipo di acquifero, la litologia dell'insaturo e la profondità della superficie piezometrica.

Il metodo è stato applicato integrando le informazioni dedotte dalle trincee esplorative e quelle stratigrafiche e pedologiche disponibili in letteratura, definendo le seguenti classi di vulnerabilità:

1. **VULNERABILITA' ALTA** – Acquifero da libero a confinato-artesiano (locali coperture con una frequente componente organica): nonostante i ricorrenti depositi fini superficiali, le caratteristiche dei terreni e la loro disomogeneità non garantiscono la protezione dell'acquifero e mantengono generalmente alto il grado di esposizione della falda, spesso molto superficiale (soggiacenza $S < 2m$).
2. **VULNERABILITA' DA ALTA A ELEVATA** – Acquifero generalmente libero costituito da depositi granulari e coperture assenti o molto ridotte.
3. **VULNERABILITA' MODERATA** - Acquifero da libero a semi-confinato i cui indici di vulnerabilità sono mitigati dalla soggiacenza della superficie piezometrica e da una copertura limosa superficiale.

Sulla base di quanto esposto, quindi, la vulnerabilità intrinseca costituisce un fattore caratteristico per il Comune di Cappella Cantone e parzialmente limitante nella pianificazione: sarà pertanto necessario valutare puntualmente la vulnerabilità dell'acquifero ogni volta che ci si appresta alla progettazione di attività potenzialmente impattanti sulle acque sotterranee (depuratori, stoccaggi di sostanze inquinanti, dispersione di fanghi, attività estrattive, ecc.). Tra le attività impattanti ricadono anche quelle agronomiche e zootecniche, anche in considerazione che la Regione Lombardia ha dichiarato il Comune di Cappella Cantone fra le aree vulnerabili ai Nitrati di origine agricola.

Con il termine di “vulnerabilità intrinseca”, infatti, viene generalmente indicata la suscettività 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, presenti nonostante la naturale vocazione agricola del territorio, sarà possibile determinare il livello di rischio idrogeologico degli acquiferi presenti in una certa area.

7. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

7.1 Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di Cappella Cantone

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 7.1:

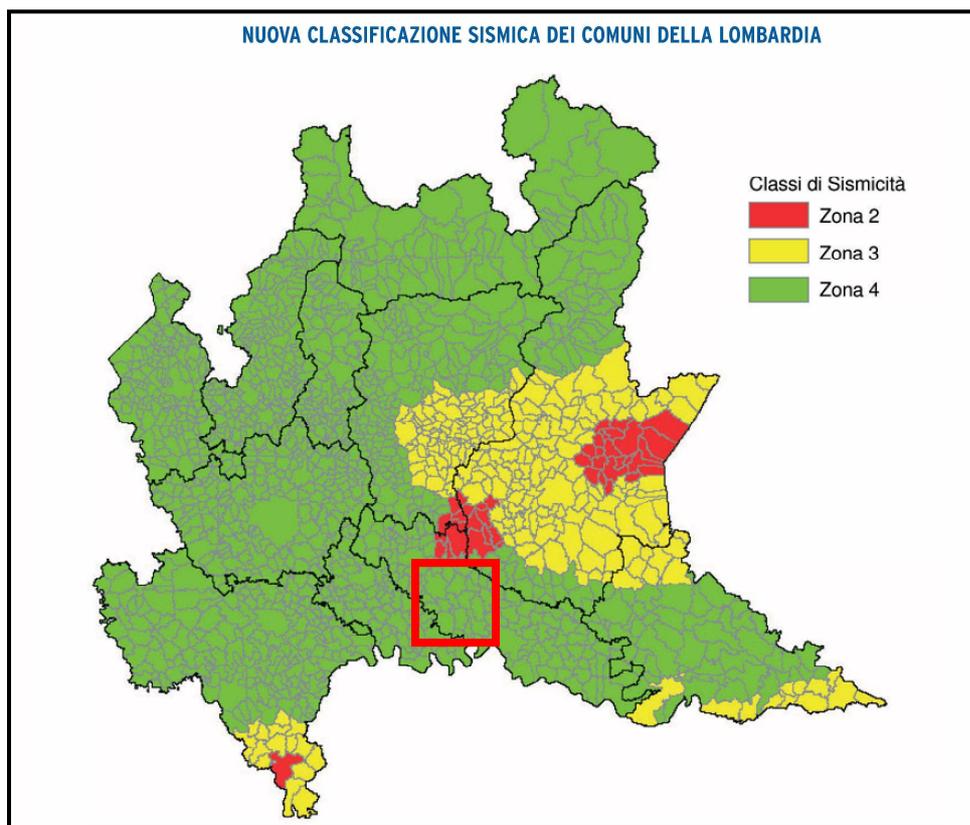


Figura 7.1: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all'Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n. 7/14964 del 7 novembre 2003).

Secondo la classificazione vigente, il territorio comunale di Cappella Cantone 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 almeno una volta 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 1: valori di accelerazione orizzontale massima in funzione della zona sismica (D.M. 14.09.2005).

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 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 insorte 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.

7.2 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 Cappella Cantone 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.

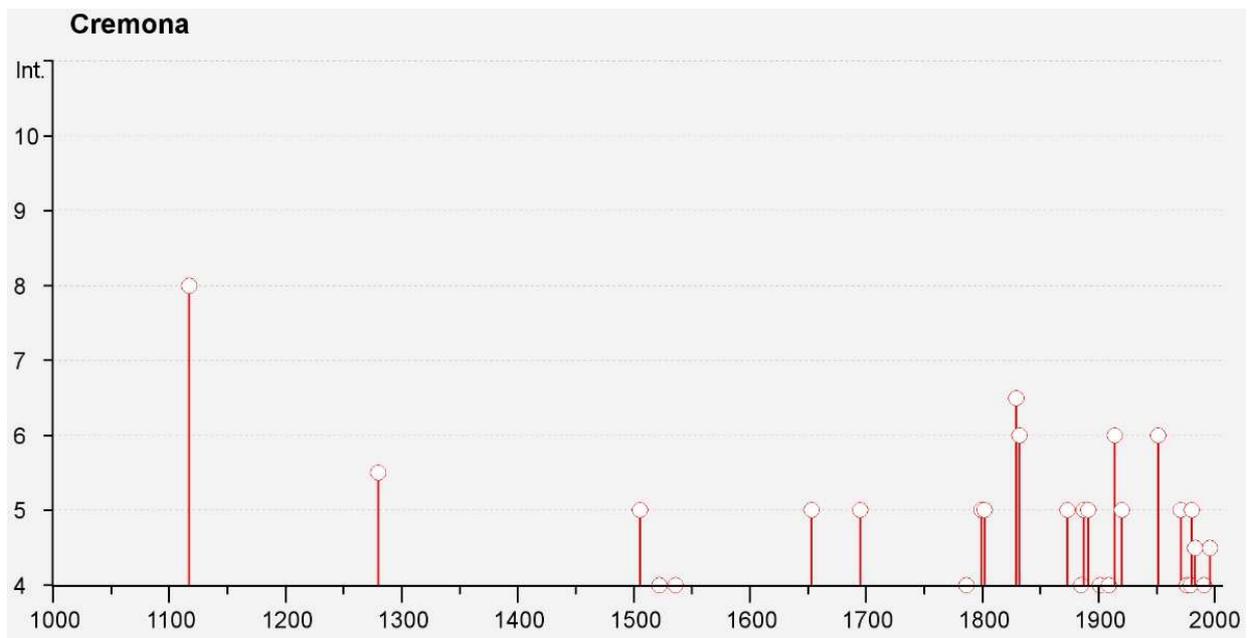
Tale fatto è compatibile con la storia sismica locale così come deducibile dal catalogo DBMI11, il database utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11) aggiornato al maggio 2011 (a cura di M. Stucchi et al.), nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative a Cremona e a Codogno, i centri più importanti fra quelli vicini catalogati.

Storia sismica di Cremona (CR)

Osservazioni disponibili: 52

I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
8	1117 01 03 15:15	Veronese	55	9-10 6.69 ±0.20
6-7	1829 09 06 19:30	CREMONA	2	5-6 4.51 ±0.34
6	1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8 5.53 ±0.18
6	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
6	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7 5.39 ±0.14
5-6	1280 01 25	Val Padana	2	5-6 4.51 ±0.34
5	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8 5.57 ±0.25
5	1653 04 19 04:40	Pianura Padana	4	5 4.30 ±0.72
5	1695 02 25 05:30	Asolano	82	10 6.48 ±0.18
5	1799 05 29 19:00	CASTENEDOLO	12	6-7 5.01 ±0.51
5	1802 05 12 09:00	VALLE DELL'OGGIO	85	8 5.64 ±0.22
5	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10 6.32 ±0.11
5	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
5	1891 06 07 01:06	Valle d'Ilasi	403	8-9 5.86 ±0.06
5	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
5	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
5	1980 12 23 12:01	Piacentino	38	6-7 4.60 ±0.09
4-5	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
4-5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
4	1522 10 05 00:10	Pianura Padana	6	5 4.80 ±0.54
4	1536 08 17 00:05	Appennino tosco-emiliano?	10	6-7 5.29 ±0.56
4	1786 04 07 00:25	Pianura Padana	9	6 5.05 ±0.56
4	1885 02 26 20:48	SCANDIANO	78	6 5.19 ±0.15
4	1901 10 30 14:49	Salò	190	8 5.70 ±0.10
4	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09
4	1976 05 06 20:00	Friuli	770	9-10 6.46 ±0.09
4	1979 02 09 14:44	CAPRIATE S. GERVASIO	73	6 4.85 ±0.13
4	1991 10 31 09:31	Parmense	134	5 4.45 ±0.14
F	1174 08 17 18:00	Val Padana	3	4-5 4.09 ±0.34
F	1741 04 24 09:00	FABRIANESE	145	9 6.21 ±0.13
F	1810 12 25 00:45	NOVELLARA	33	6 5.29 ±0.22
F	2004 11 24 22:59	Lago di Garda	176	7-8 5.06 ±0.09
3-4	1512 02 08 09:15	Venezia	4	4 3.87 ±0.34
3-4	1832 03 11 06:45	Carpi (MO)	14	5 4.80 ±0.37
3-4	1832 03 11 08:45	Reggiano	14	
3-4	1929 05 11 19:22	Bolognese	64	
3	1732 02 04 18:20	Parma	9	5-6 4.65 ±0.41
3	1873 03 12 20:04	Marche meridionali	196	8 5.95 ±0.10
3	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ±0.09

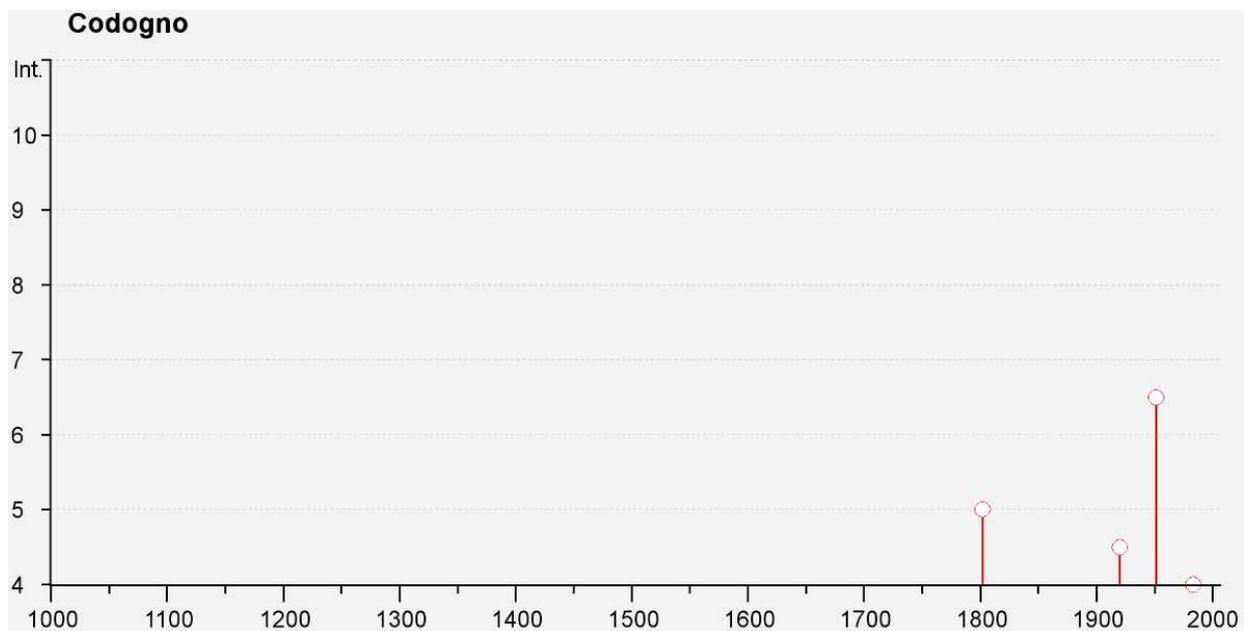
3	1929 04 19 04:15	Bolognese	82	
3	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13
3	1929 04 22 08:25	Bolognese	41	
3	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ±0.09
3	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09
2	1904 06 10 11:15	Frignano	102	6 5.03 ±0.18
2	1913 11 25 20:55	Val di Taro	73	4-5 4.84 ±0.20
2	1960 03 23 23:08	Vallese	178	5.00 ±0.20
NF	1907 04 25 04:52	Veronese	122	6 4.91 ±0.15
NF	1913 12 07 01:28	NOVI LIGURE	56	5 4.70 ±0.20
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
NF	1998 03 26 16:26	Appennino umbro-marchigiano	408	6 5.29 ±0.09
NC	1365 09 21 05:45	Verona	2	5-6 4.51 ±0.34



Storia sismica di Codogno (LO)

Osservazioni disponibili: 15

I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
6-7	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7 5.39 ±0.14
5	1802 05 12 09:00	VALLE DELL'OGLIO	85	8 5.64 ±0.22
4-5	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
3-4	1936 10 18 03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ±0.09
3	1891 06 07 01:06	Valle d'Illasi	403	8-9 5.86 ±0.06
3	1929 04 19 04:15	Bolognese	82	
3	1929 04 20 01:09	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13
3	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
2	2000 08 21 17:14	Monferrato	597	6 4.86 ±0.09
NF	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09
NF	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10 6.29 ±0.09
NF	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7 5.08 ±0.16
NF	1991 10 31 09:31	Parmense	134	5 4.45 ±0.14
NF	2005 04 18 10:59	Valle del Trebbia	286	5 3.98 ±0.09



Dal catalogo si nota come nessun sisma risulta localizzato entro il territorio del Comune di Cappella Cantone mentre gli eventi più vicini sono quelli del 1829 e del 1522 con epicentro a Cremona e quello del 1951 con epicentro nel Lodigiano (a S di Lodi), lontano da importanti zone sismogenetiche: si potrebbe trattare di fenomeni di rilascio tensionale legati a strutture profonde (come la “Sinclinale di Cremona”) considerate ancora attive in epoca recente.

A completamento delle osservazioni macrosismiche, nella figura 7.4 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 Cappella Cantone, 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).

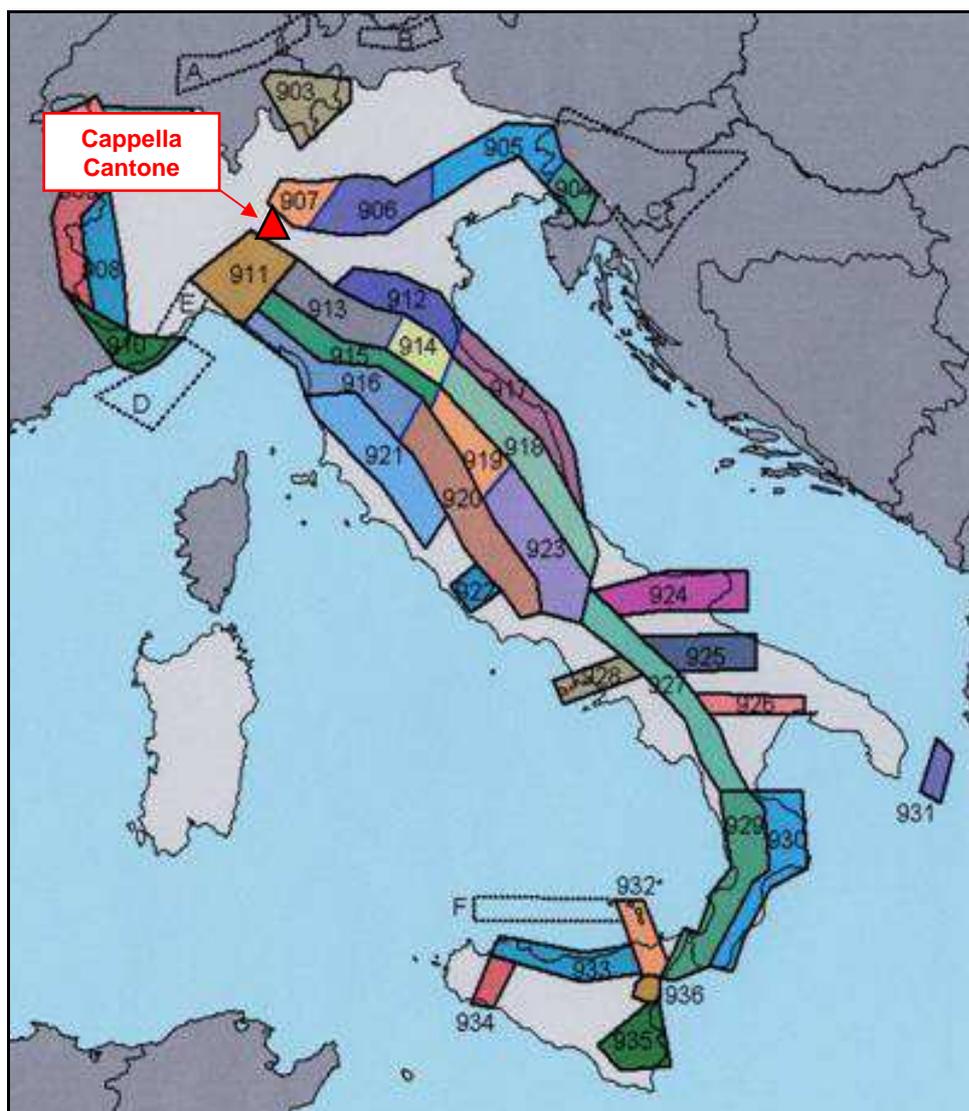


Figura 7.2: Individuazione delle zone sismogenetiche in cui è suddiviso il territorio nazionale - zonazione sismogenetica ZS9 (INGV 2004).

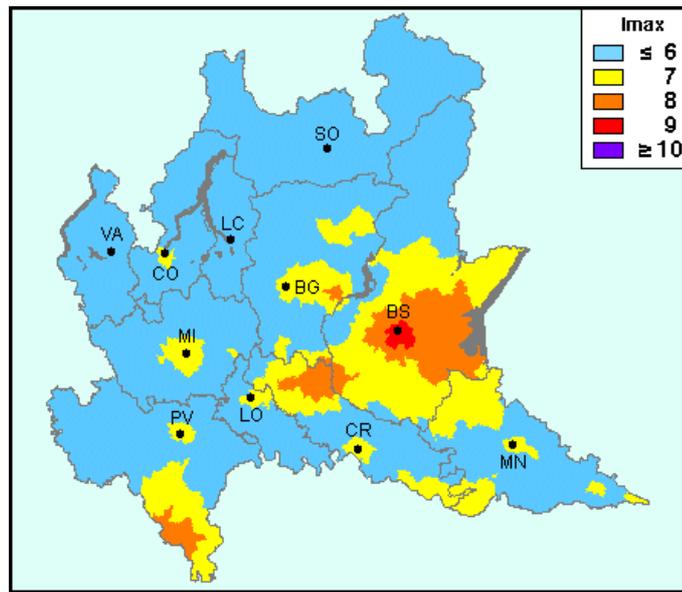


Figura 7.3: Carta della massima intensità macrosismica attesa in Lombardia (Moliniet et al., 1996).

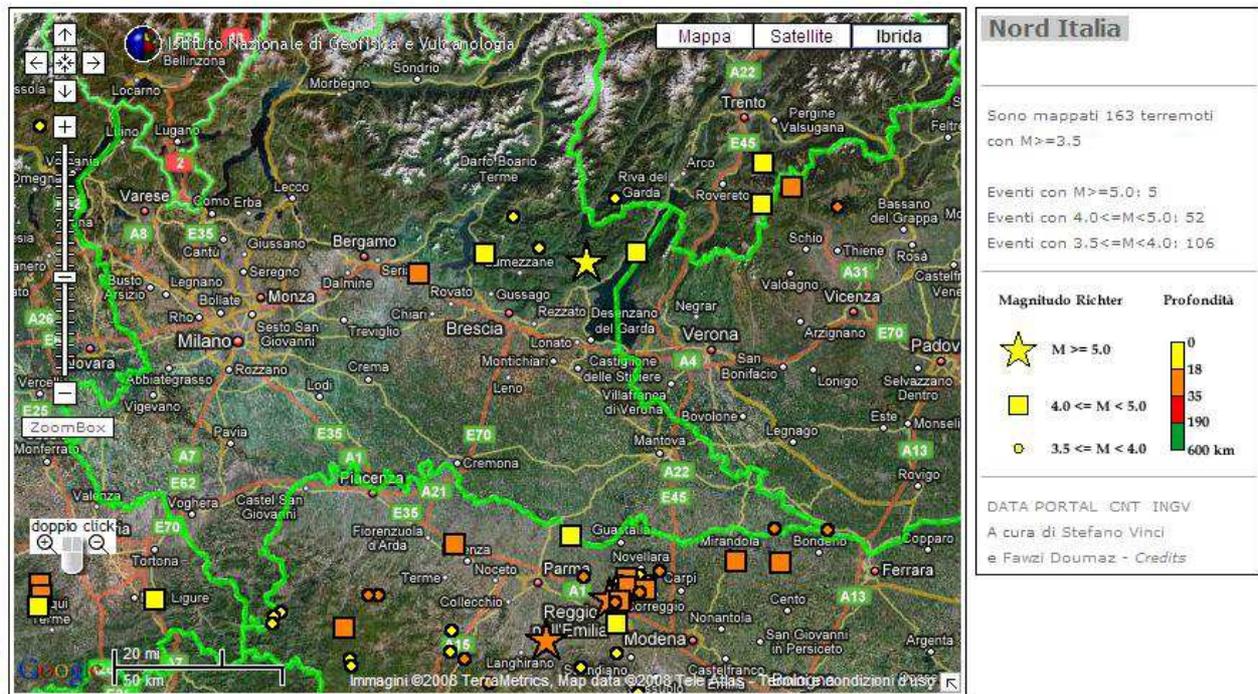


Figura 7.4: Ubicazione dei terremoti recenti – periodo 1981-2006 (INGV).

7.2 Pericolosità sismica

Come accennato nel capitolo 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 Cappella Cantone il valore di a_g atteso possa raggiungere valori prossimi **0.075-0.100 g**, ovvero leggermente superiore rispetto a quello previsto dalla normativa per la zona sismica 4 (tabella 1 e figura 7.7).

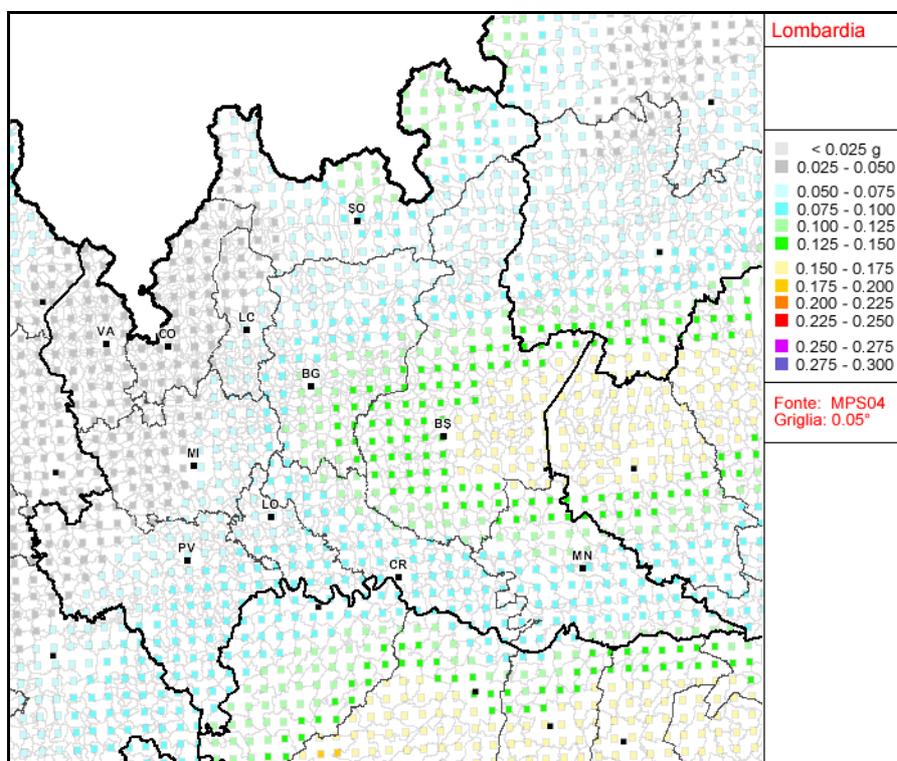


Figura 7.5: Mappa della pericolosità sismica della Regione Lombardia: si riportano i valori dell’accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di riferimento come frazione di g (INGV anno 2006).

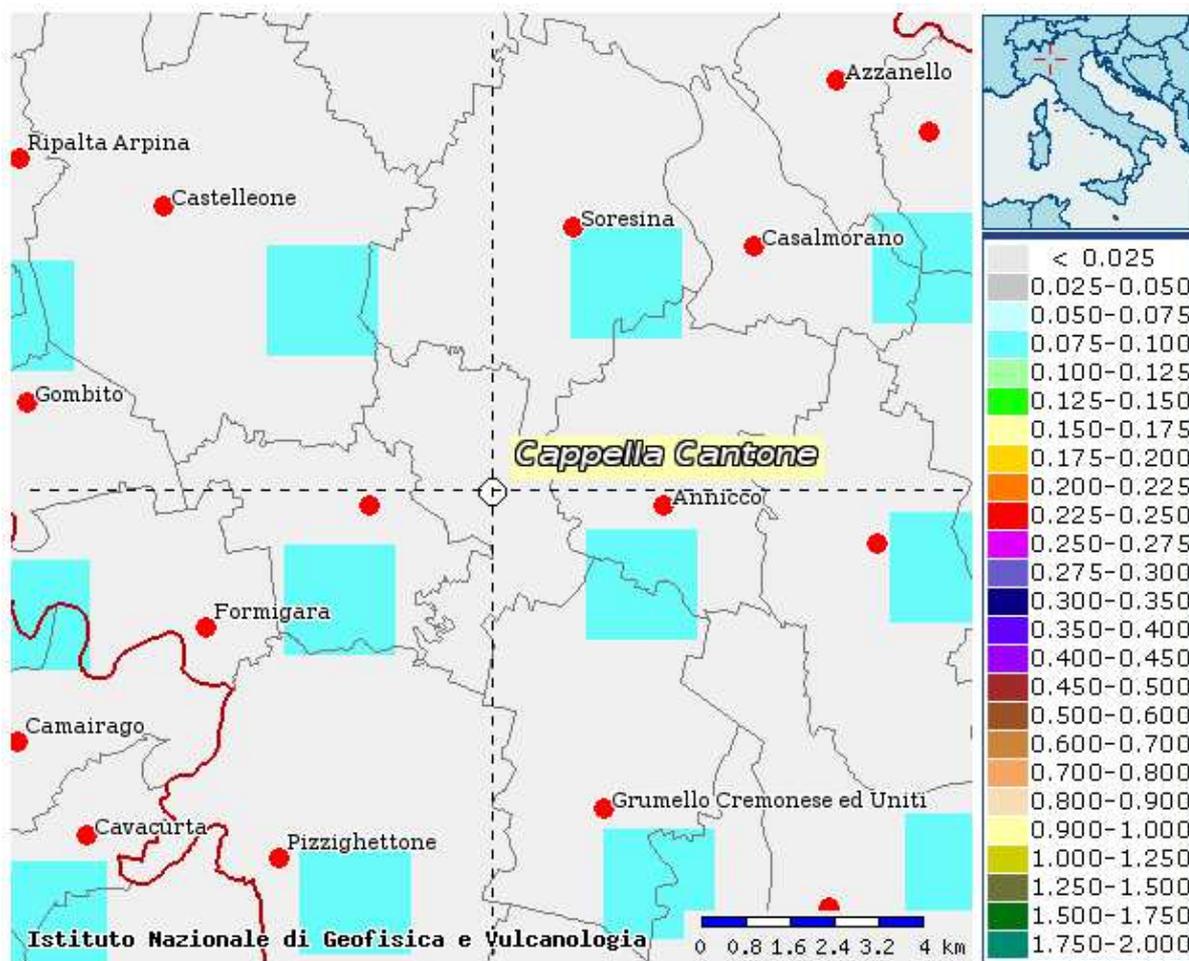


Figura 7.6: Mappa della pericolosità sismica relativa all'area di Cappella Cantone.

Tuttavia, i soli valori di ag 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 7.7 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”, risultati “inferiore” a quello previsto dagli studi di PS basato sul criterio “sito dipendente” (D.M. 14.01.2008).

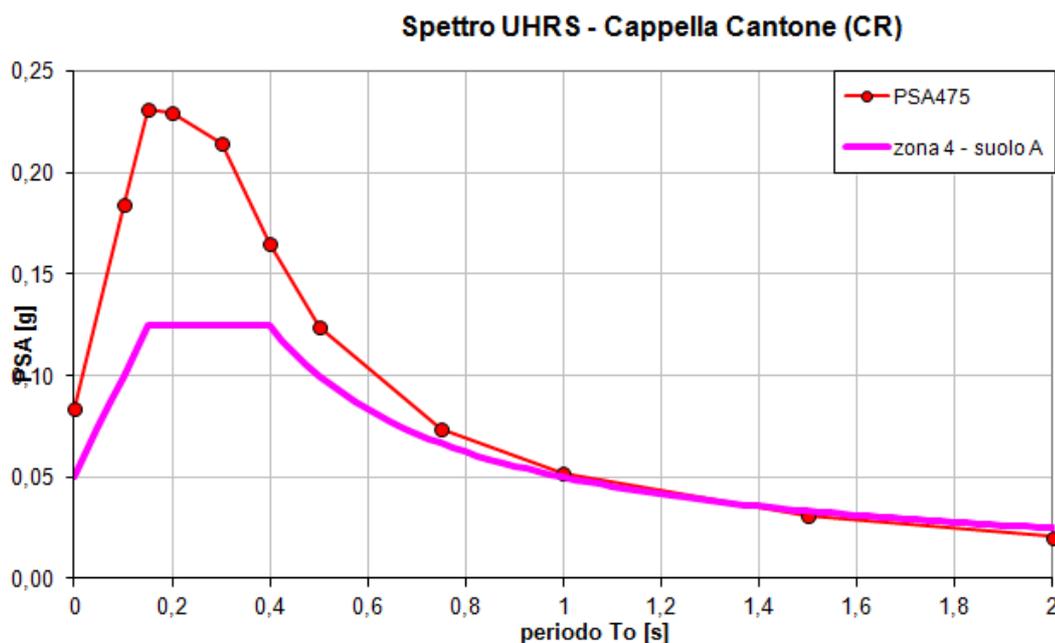


Figura 7.7: Spettro di risposta a probabilità uniforme (in rosso) per un periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5% a confronto con lo spettro di risposta previsto dal D.M. 14.09.2005 (in magenta).

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 difratto. 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:

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

Nel caso specifico del Comune di Cappella Cantone, 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.

Solo localmente, al bordo della valle alluvionale del Serio Morto, le scarpate morfologiche raggiungono altezze potenzialmente insidiose in termini di amplificazione sismica delineando uno scenario di pericolosità sismica locale Z3a, per il quale è atteso un effetto di amplificazione topografica (Tav. 5).

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

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

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

Considerati gli scenari di pericolosità sismica locale individuati sul territorio di Cappella Cantone, 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 e s.m.i..

8. CARTA DI SINTESI

La Carta di Sintesi (Tavola 6) 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 6 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 le seguenti componenti:

1. **LITOLOGIA DEI TERRENI SUPERFICIALI** - Per quanto riguarda l'aspetto litologico e geotecnico dei terreni (trattato in specifico capitolo), si ritiene che esso costituisca, per alcune aree (zone di paleomeandro interessate da depositi coesivi con una elevata componente organica), un fattore limitante dal punto di vista urbanistico: la realizzazione di nuove urbanizzazioni e infrastrutture richiederebbe massicci interventi geotecnici e di bonifica dei terreni, al punto da non giustificare la modifica dello stato dei luoghi per la realizzazione di opere che siano diversamente localizzabili. Nel caso di opere a completamento di insediamenti esistenti, invece, la condizione minima sarà quella di ricorrere ad adeguate indagini geognostiche in conformità a quanto previsto dal D.M. 11.03.1988 e dal D.M. 14.01.2008 e ss.mm.ii..
2. **SOGGIACENZA MEDIA DELLA PRIMA FALDA** - Vista la presenza di una falda a profondità ridotta nel settore occidentale del territorio (Valle del Serio), si rammenta come la generale saturazione dei terreni contribuisca ad un peggioramento delle loro caratteristiche geotecniche. 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.). Nella cartografia di sintesi sono state evidenziate le aree a bassa soggiacenza della falda (inferiore a 2 m) e quelle con emergenze idriche diffuse, le quali verranno assoggettate a specifiche limitazioni.
3. **VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE** - Tale fattore costituisce un elemento distintivo, emerso nella fase di analisi, parzialmente vincolante nella fattibilità

geologica delle azioni di piano. Qualsiasi intervento che possa rappresentare un potenziale centro di pericolo per la risorsa idrica sotterranea debba richiedere un puntuale studio dei terreni in relazione alla locale vulnerabilità dei corpi acquiferi e al loro potenziale uso; tra le attività impattanti ricadono anche quelle agronomiche e zootecniche, anche in considerazione che la Regione Lombardia ha dichiarato il Comune di Cappella Cantone fra le aree vulnerabili ai nitrati di origine agricola (dgr 3297 del 11.10.2006).

Tra le tematiche morfologiche, idrogeologiche e idrografiche sono stati rappresentate:

- le **scarpate morfologiche** di altezza significativa e/o di rilevanza paesistica (buona parte delle principali scarpate sono già sottoposte a tutela del PTCP), considerate sia elementi morfologici potenzialmente insidiosi per ogni intervento di edificazione o urbanizzazione, sia elementi costitutivi del paesaggio. Per quest'ultimo motivo, tutte le scarpate morfologiche di particolare significato geologico (anche se di esili dimensioni) sono state assoggettate a specifica tutela. Le scarpate evidenziate nella sintesi, successivamente assoggettate a tutela e limitazioni d'uso nella carta di fattibilità geologica delle azioni di piano, sono quelle individuate fisicamente sul territorio previo un confronto con gli specifici elaborati del PTCP, correggendo e parzialmente modificando (in linea con le previsioni del Piano Territoriale) eventuali difformità che derivano da scale di lavoro con grado di dettaglio differente.
- le **depressioni morfologiche con acqua di falda affiorante**, in considerazione della vulnerabilità estremamente elevata della falda in corrispondenza del suo affioramento a piano campagna e del particolare ambiente che esse costituiscono;
- tutti **i corpi idrici superficiali** già assoggettati a specifico regolamento di polizia idraulica.

9. CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI

Nella Tavola 7 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 stati cartografati:

- La **zona di tutela dei pozzi ad uso potabile-acquedottistico** per le quali la normativa vigente (D.Lgs. 152/06) fissa, secondo criteri geometrici, una fascia di tutela assoluta di 10 m; nel caso specifico, relativamente ai pozzi comunali di Cappella Cantone, tale fascia coincide con quella di rispetto (ridotta sulla base di criteri idrogeologici).
- 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. 523/1904 e s.m.i.).

Nello specifico elaborato cartografico, inoltre, sono stati cartografati anche i vincoli normativi di natura fisico-ambientale e geologica derivanti dal nuovo P.T.C.P. (approvato con D.C.P. n. 113 del 23.12.2013); in particolare:

- Gli **orli di scarpata**, già assoggettati a specifica tutela da parte del P.T.C.P. (art. 16.4¹). In relazione a questa tematica, si segnala che la cartografia dei vincoli recepisce integralmente

¹ (art. 16.4) I tratti significativi delle scarpate principali (altezza superiore a 3 m) e secondarie (altezza inferiore a 3 m), indicati nella Carta delle tutele e delle salvaguardie, in quanto emergenze morfologico-naturalistiche che, in rapporto alla loro evidenza percettiva, costituiscono degli elementi di notevole interesse paesistico. Essi concorrono spesso a formare fasce dotate di un alto grado di naturalità e costituiscono elementi di riferimento simbolico come presenze evocative del paesaggio originario.

Per gli orli di scarpata principali e secondari non sono consentiti interventi e trasformazioni che alterino i loro caratteri morfologici, paesaggistici e naturalistici. Si ritengono inaccettabili gli interventi di urbanizzazione e di nuova edificazione per una fascia di 10 metri in entrambe le direzioni dall'orlo di tali scarpate, distanza eventualmente estendibile da parte del Comune, mentre sono consentiti, per gli edifici esistenti, gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di ristrutturazione edilizia, di restauro, di risanamento conservativo e di adeguamento funzionale; gli eventuali ampliamenti devono svilupparsi nella direzione opposta all'orlo di scarpata.

Si ritengono inoltre inaccettabili quegli interventi di natura non edificatoria, quali ad esempio le attività di cava, di piscicoltura e/o pesca sportiva e le bonifiche agricole (o comunque interventi estrattivi in fondi agricoli), che portano a una riduzione della valenza simbolica degli elementi evocativi di paesaggi originari o della valenza estetico-percettiva, alla perdita dei riferimenti del disegno territoriale originario e al complessivo peggioramento dei caratteri naturali della vegetazione esistente. La possibilità di effettuare interventi e

quanto evidenziato dal P.T.C.P. nella “*Carta delle tutele e delle Salvaguardie*” nonostante le discrepanze rilevate a scala locale. Suddette difformità vengono corrette nella Carta di Sintesi, la quale evidenzia il reale sviluppo planimetrico dei lineamenti morfologici che saranno vincolati nella successiva Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano. Ad essi, sempre nella carta di sintesi, si aggiungono quelli non vincolati dal PTCP che, per il loro concreto pregio geologico e significato paesistico (in quanto elementi costitutivi del paesaggio) sono stati assoggettati a limitazioni per la loro conservazione e valorizzazione (soprattutto all’interno di quelli che sono stati definiti come “ambiti morfologici complessi”). Tale operazione è avvenuta in accordo con la disciplina che prevede l’applicazione di specifica tutela alle aree e agli elementi di “*elevata qualità paesistico-ambientale*” e persegue l’obiettivo del “*mantenimento e dove possibile l’incremento dell’efficacia ecologica, della qualità estetico-visuale e dei riferimenti storico-culturali*”; per la stessa ragione non sono stati sottoposti a tutela i tratti in cui il rimaneggiamento morfologico ha condotto alla formazione di blande rotture di pendenza, evidenziando al contrario “*i tratti significativi delle scarpate principali (altezza superiore a 3 m) e secondarie (altezza inferiore a 3 m),, in quanto emergenze morfologico-naturalistiche che, in rapporto alla loro evidenza percettiva, costituiscono degli elementi di notevole interesse paesistico..... e costituiscono elementi di riferimento simbolico come presenze evocative del paesaggio originario*”.

- gli **Ambiti Territoriali Estrattivi**, individuati dall’art. 15.7 del P.T.C.P. (Piano Cave provinciale adottato con D.C.P. n. 8 del 10.02.2014, protocollo n. 21230) e relativi giacimenti di completamento.
- i **geositi (art. 16.1 del P.T.C.P.)**: in particolare, nel territorio comunale di Cappella Cantone sono presenti la “Valle relitta del fiume Serio”, le “Torbiere della valle relitta del Fiume Serio”, il “Dosso di Soresina” e le “Vallecole Retorto-Tramoncello-Casso”.

trasformazioni che alterino tali elementi è ammissibile solamente per la realizzazione di opere di pubblica utilità a fronte di interventi di parziale compensazione naturalistica da definire in base alle caratteristiche del comune, alla natura dell’intervento e ai criteri di sostenibilità previsti dal PTCP di cui alla Normativa e in particolare all’Appendice D “Individuazione dei contenuti minimi dei PGT sugli aspetti sovracomunali”.

Nel caso in cui venga accertata una oggettiva difformità tra l’assetto del territorio e le scarpate morfologiche indicate nella Carta delle tutele e delle salvaguardie, gli Enti Locali, sulla base di valutazioni di maggior dettaglio degli elementi morfologici presenti sul loro territorio (es. componente geologica del PGT), possono provvedere alla corretta trasposizione dell’andamento delle scarpate, attraverso la proposta di una modifica non sostanziale cartografica al PTCP di cui all’art. 34 comma 1.