
Comune di PIADENA Provincia di CREMONA



PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO: STUDIO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO

**Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12
D.G.R. n. 2616/2011**

Settembre 2012

RELAZIONE GEOLOGICA 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*

SOMMARIO

| | |
|--|----|
| OBIETTIVI e METODO DI STUDIO | 4 |
| INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE..... | 6 |
| INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO | 11 |
| CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE | 15 |
| Il “Sistema dei ripiani alluvionali del F. Oglio” | 16 |
| Il “Sistema dei terrazzi esterni alla fascia di meandreggiamento recente del F. Oglio” | 19 |
| Forme dovute all’attività antropica..... | 20 |
| INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA E PEDOLOGICA | 21 |
| Caratterizzazione litologica..... | 21 |
| Caratterizzazione pedologica | 23 |
| RETICOLATO IDROGRAFICO..... | 25 |
| Il Fiume Oglio | 28 |
| IDROGEOLOGIA..... | 35 |
| Caratteristiche idrogeologiche generali | 35 |
| Caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale..... | 38 |
| Censimento e catalogazione dei pozzi..... | 43 |
| Indagine piezometrica | 43 |
| Vulnerabilità degli acquiferi..... | 46 |
| PERICOLOSITA’ SISMICA LOCALE..... | 50 |
| Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di Piadena | 50 |
| Descrizione della sismicità | 55 |
| Pericolosità sismica | 61 |
| CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI | 68 |
| CARTA DI SINTESI | 70 |
| ALLEGATO 1: TRINCEE ESPLORATIVE | 72 |
| ALLEGATO 2: Elenco dei pozzi censiti sul territorio comunale | 75 |
| ALLEGATO 3: Stratigrafie dei pozzi acquedottistici..... | 76 |
| ALLEGATO 4: Valutazione degli effetti sismici di sito - Risultati dell’indagine eseguita su due aree campione..... | 78 |

TAVOLE ALLEGATE

- **Tavola 1:** Carta geologica e geomorfologica
- **Tavola 2:** Carta pedologica e di prima caratterizzazione litotecnica preliminare
- **Tavola 3:** Carta del reticolo idrico
- **Tavola 4:** Carta idrogeologica
- **Tavola 5:** Carta degli scenari di pericolosità sismica locale
- **Tavola 6:** Carta dei vincoli geologici
- **Tavola 7:** Carta di sintesi
- **Tavola 8 sud:** Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano (scala 1:5.000)
- **Tavola 8 nord:** Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano (scala 1:5.000)

OBIETTIVI e METODO DI STUDIO

Nella stesura del proprio Piano di Governo del Territorio, il Comune di Piadena 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 (recentemente sostituita dalla D.G.R. 9/2616/2011).

Lo studio, sviluppato in sintonia con quanto disposto dalla vigente disciplina regionale, risulta “adattato” alle esigenze e peculiarità del territorio comunale di Piadena: 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 Reticolo 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 5).

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 da rilievo aerofotogrammetrico.

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 nelle sezioni presentate nel corso della relazione generale.

- 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 dei Vincoli Geologici (Tavola 6) e la Carta di Sintesi (Tavola 7) (entrambe alla scala 1:10.000), nelle quali vengono evidenziati gli elementi normativi vincolanti sotto il profilo geologico e gli aspetti più significativi emersi dalla fase di analisi. 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 8).

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.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

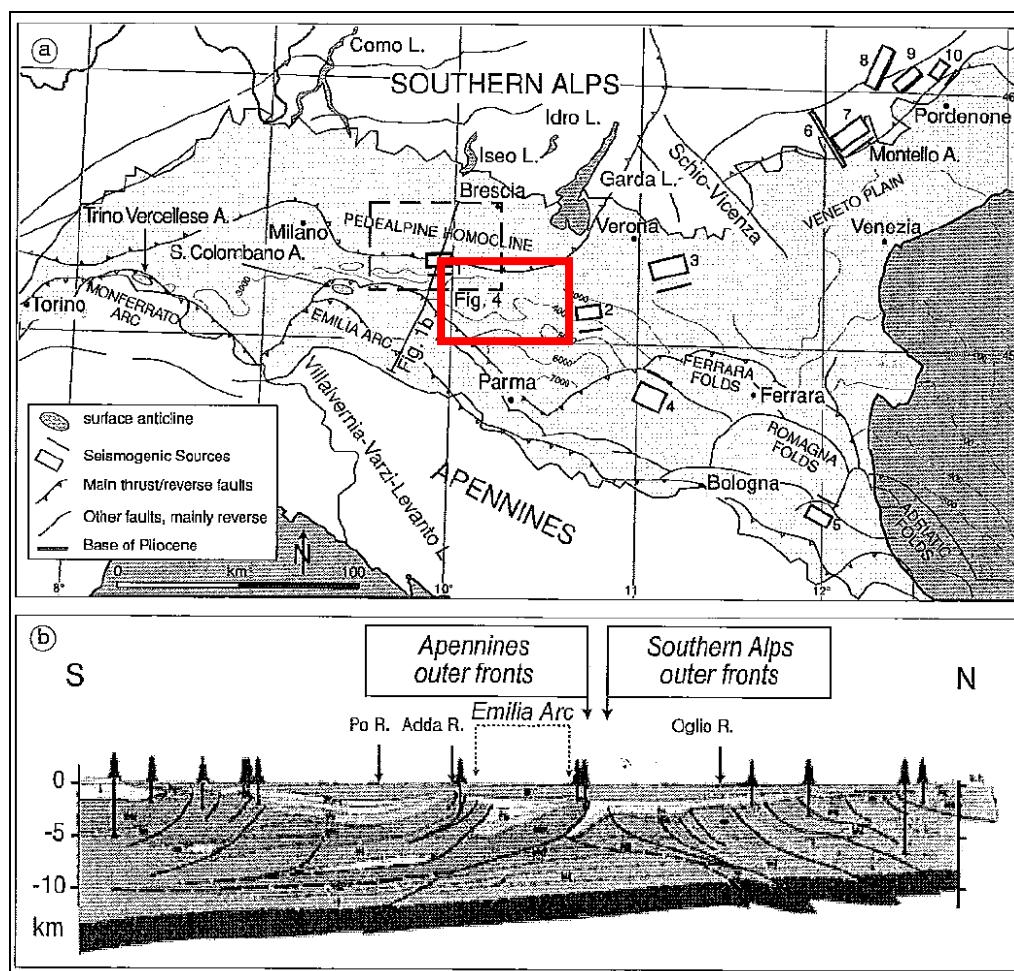
Il territorio in questione si inserisce nelle ampie strutture regionali della pianura: nel raggio di alcuni chilometri affiorano solo depositi di origine fluviale e fluvio-glaciale che, in questa zona, sono caratterizzati da condizioni di giacitura decisamente uniformi.

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-quaternaria 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 territorio in esame si sviluppa sul lato N-orientale dell’Arco Emiliano, in prossimità di una struttura compressiva (piega antiforme) N-vergente nota con il nome di “Anticlinale di Piadena”, il cui asse si sviluppa con direzione WNW-ESE a S dell’Oglio.



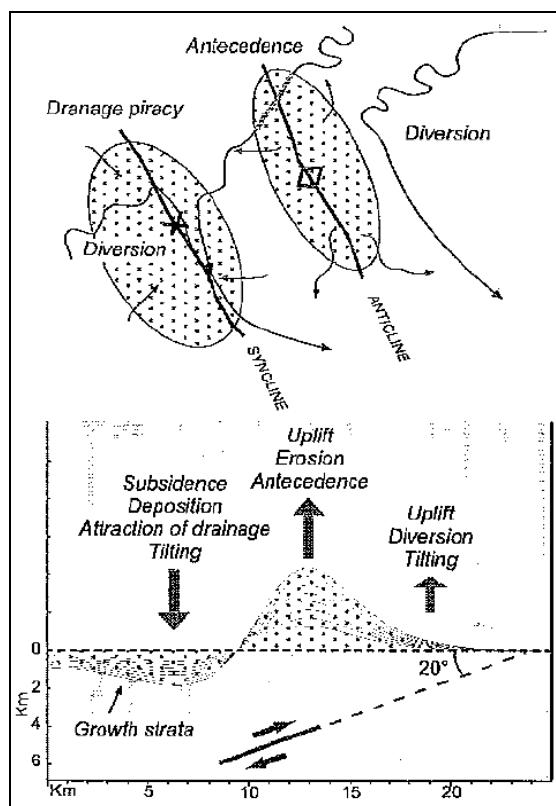
*Schema tectonico del substrato della Pianura Padana
(“Pieri and Groppi, 1981” in “Burrato et al.”, 2003)*

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 (tra cui i diffusi terreni datati all'Interglaciale Wurm-Riss – secondo gli AA. della Carta Geologica d'Italia – presenti sullo stesso territorio di Piadena), 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)

Anche a scala locale (in Comune di Piadena), l’Oglio assume direzione WNW-ESE (parallelamente all’asse della sinclinale sepolta ubicata più a S con direzione Piadena – San Lorenzo Guazzone), giungendo ad erodere direttamente il margine settentrionale del Livello Fondamentale della Pianura. Tuttavia da San Paolo Ripa d’Oglio (località ubicata in prossimità del limite territoriale con Calvatone) l’Oglio cambia repentinamente la propria direzione media (da WNW-ESE a ESE-WNW), assumendo addirittura una pendenza opposta

rispetto a quella generale della pianura, probabilmente condizionata dalle spinte neotettoniche agenti sul substrato pre-quaternario sepolto, ancora attive in epoca post-glaciale.



*Carta geomorfologica della Pianura Padana (Castiglioni et. Al., 1997)
(nel riquadro blu il territorio di Piadena)*

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.

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 costituenti l’alveo attivo del F. Oglio e le forme ad esso associate (isole, barre, ecc.).

- **Alluvioni medio-recenti (Olocene medio-superiore)** - si tratta delle alluvioni costituenti un ripiano terrazzato di poco sospeso sull’alveo inciso del F. Oglio. Cartograficamente, il ripiano alluvionale è stato distinto nella porzione inondabile per piene straordinarie (prossima al corso d’acqua e contenuto entro i rilevati arginali) e in quella occupato dalle acque in caso di piena catastrofica (nel caso di rottura o superamento degli argini di difesa).

- **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. I depositi costituiscono il substrato del Livello Fondamentale della Pianura (o Piano Generale Terrazzato).

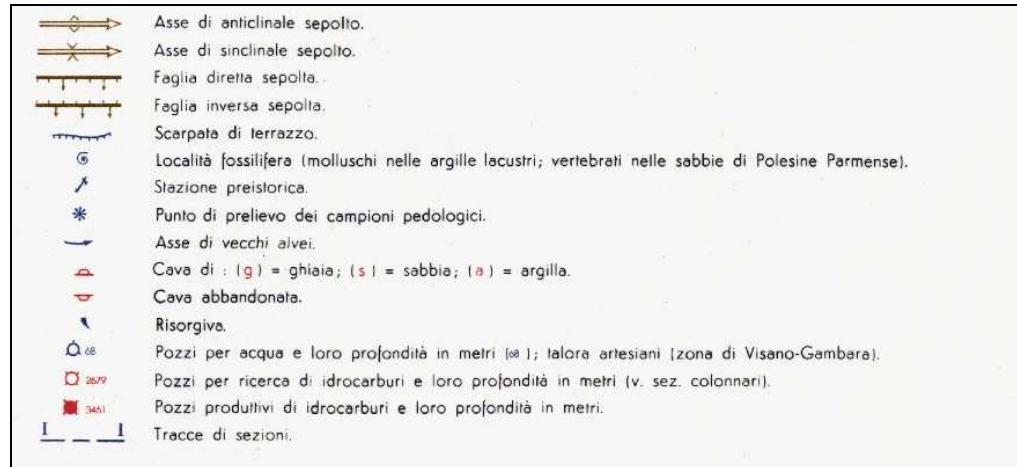
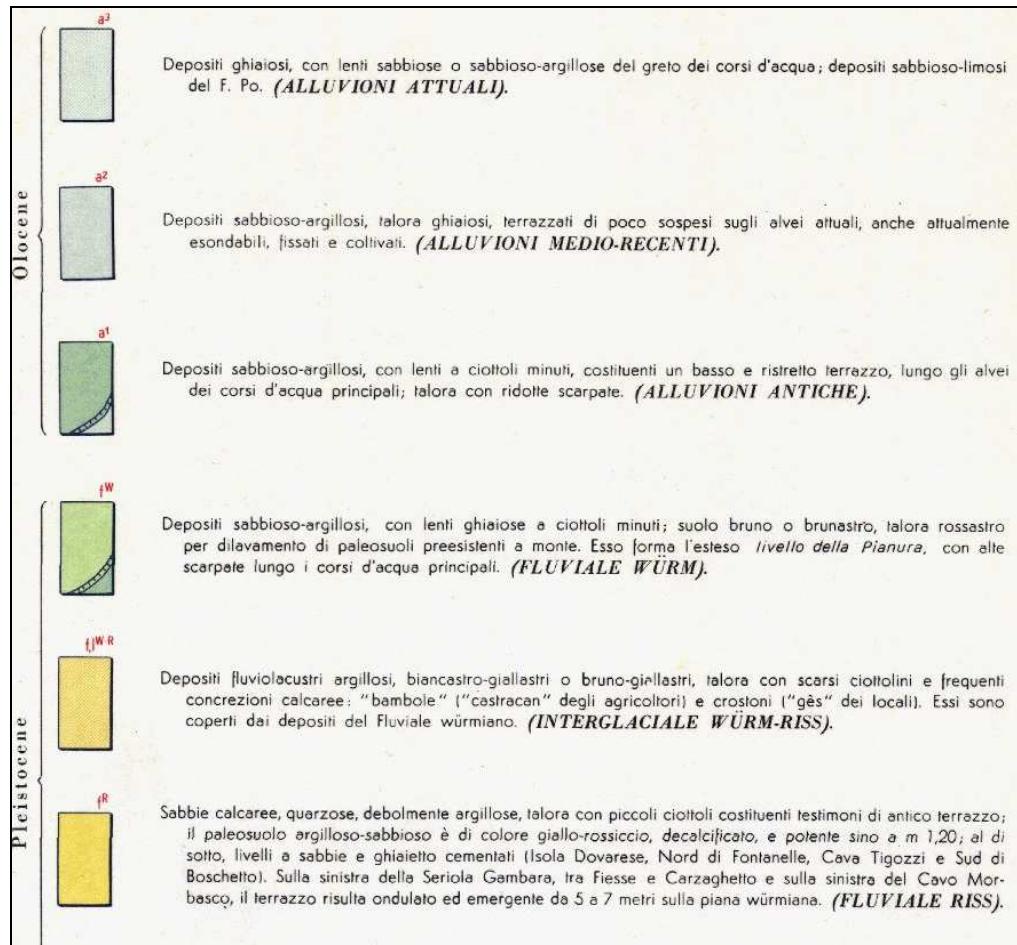
- **Interglaciale Wurm-Riss (Pleistocene medio-superiore)** – sono depositi fluvioglaciali argilosi, bancastro-giallastri o bruno-giallastri, talora con scarsi ciottolini e frequenti concrezioni calcaree e affiorano diffusamente, secondo gli Autori della Carta Geologica d’Italia, nel settore meridionale del territorio comunale.

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

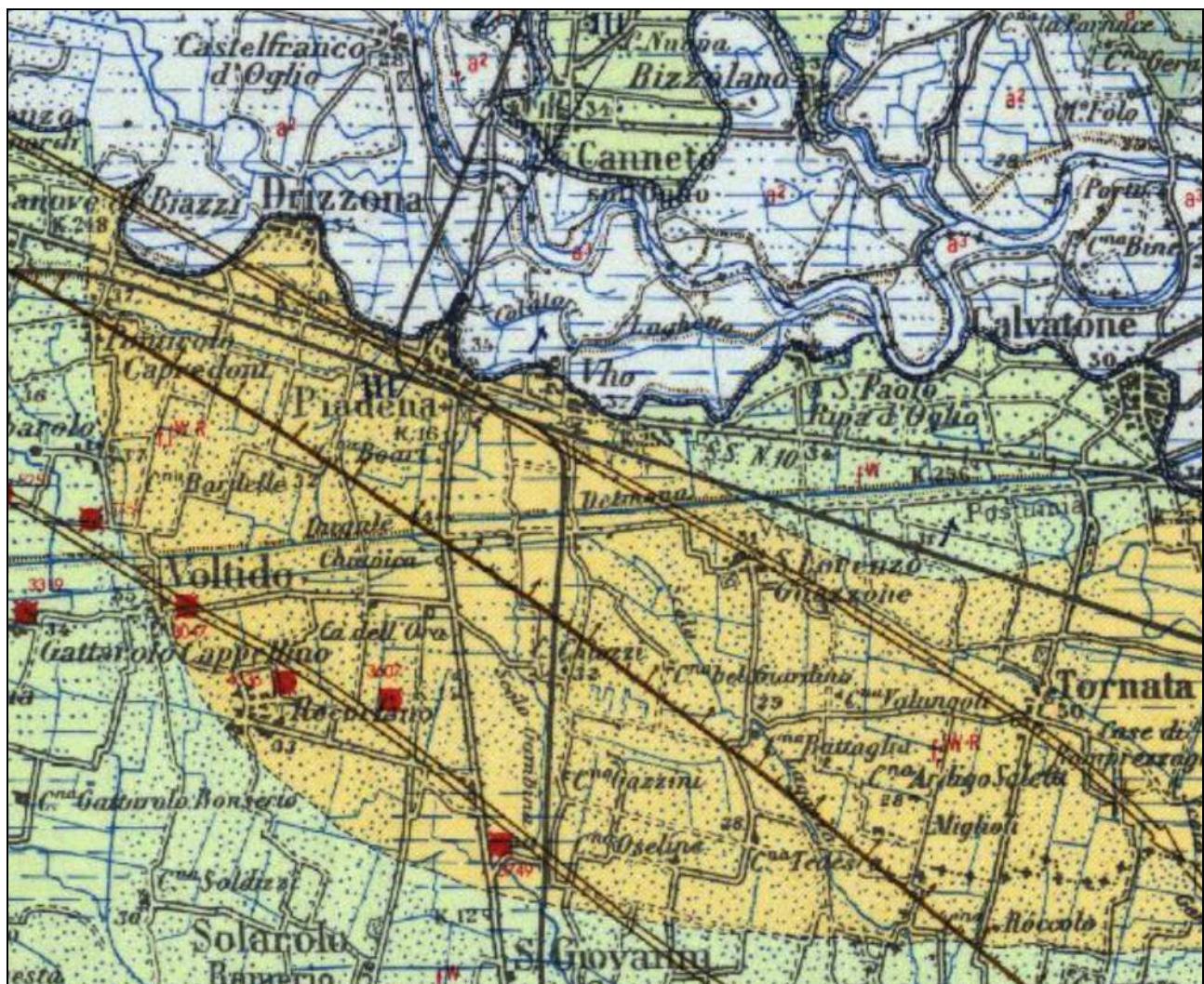
CARTA GEOLOGICA

Estratta da Carta Geologica d'Italia, Foglio n. 61 "Cremona"

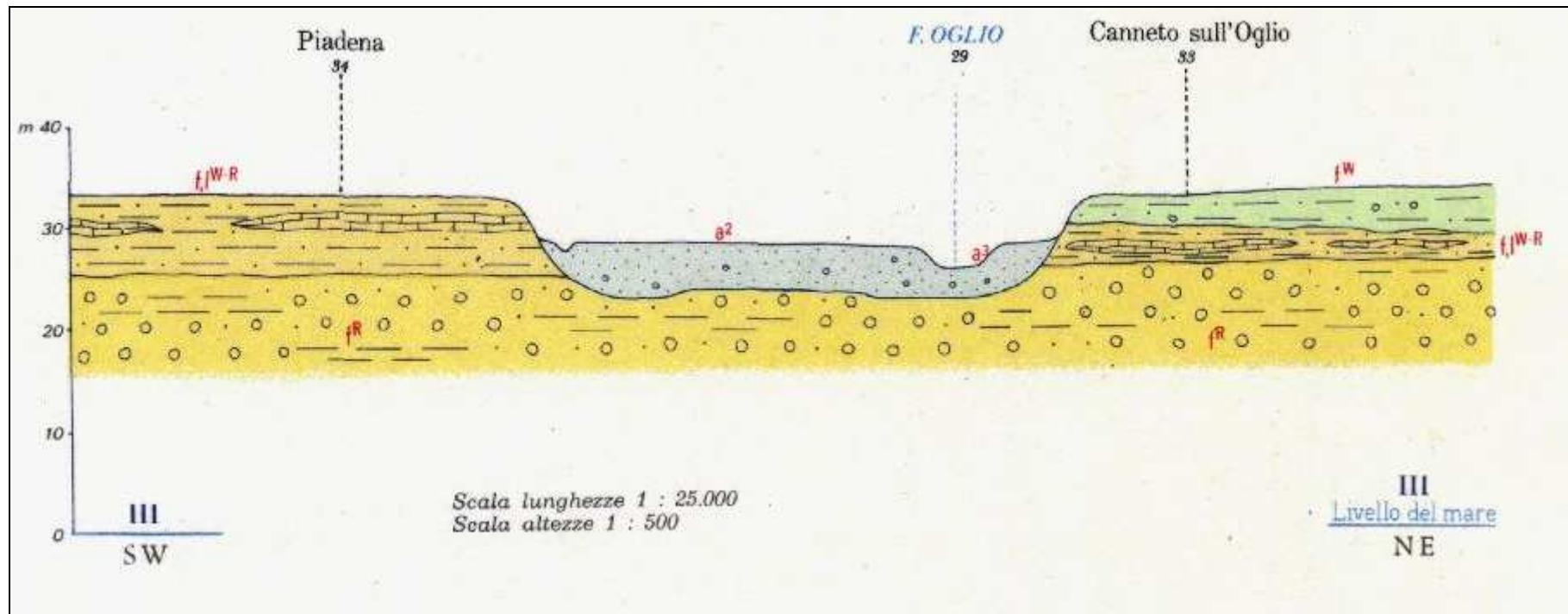
LEGENDA



CARTA GEOLOGICA



SEZIONE GEOLOGICA DI RIFERIMENTO



| | | |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| All = Alluvione. | Pli = Pliocene inferiore. | Elv = Elveziano. |
| Qm = Quaternario marino. | Ms = Miocene superiore. | Mm = Miocene medio. |
| Pms = Pliocene medio-sup. | Tor = Tortoniano. | Mi = Miocene inferiore. |

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 Piadena è posto nella porzione S-orientale della pianura cremonese, è interamente compreso fra le quote di 34 e 22 m s.l.m. e si sviluppa su una serie di ripiani altimetricamente separati: la continuità morfologica del territorio, infatti, è interrotta dalla serie di scarpate che, con direzione media E-W, terrazza 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.

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 ripiani alluvionali del F. Oglio”;
- 2.** il “Sistema dei terrazzi esterni alla fascia di meandreggiamento recente del F. Oglio”.

Il “Sistema dei ripiani alluvionali del F. Oglio”

All’interno di questo sistema morfologico si distinguono:

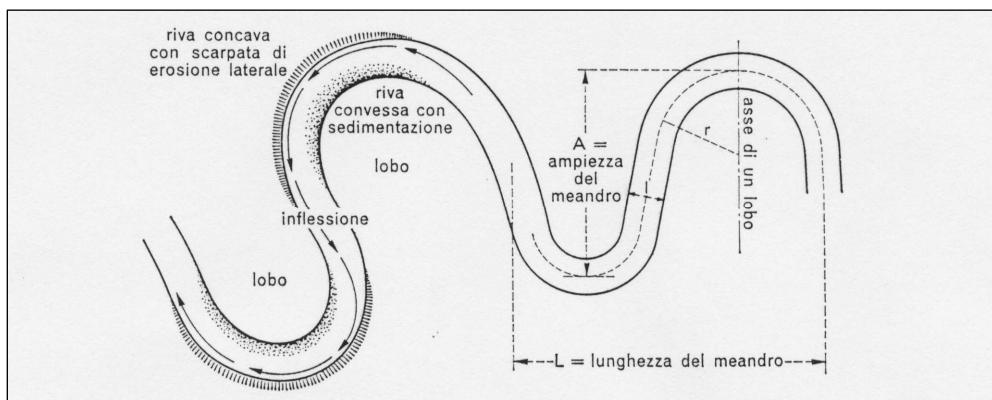
- l’alveo attivo del fiume Oglio e le forme ad esso associate (isole, barre ecc.), generalmente in evoluzione;
- il ripiano sospeso sull’alveo attuale del fiume Oglio, modellato nei depositi alluvionali medio-recenti, ancora potenzialmente inondabile (piene straordinarie o catastrofiche).

Nel corso del rilevamento di dettaglio del territorio di Piadena 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, cosicché i materiali solidi, depositi 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, sotponendo 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 interramento 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 evidenziato nella stessa cartografia di tavola 1). Al proposito, si segnala come proprio all’uscita del territorio comunale di Piadena, l’Oglio presenti una riva concava particolarmente accentuata, esercitando una notevole pressione sulle rive 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.

Nella cartografia di Tavola 1, inoltre, sono state evidenziate alcune evidenti tracce di anse meandriche antiche (paleo-alvei) che, seppur non più associate a lineamenti morfologici (causa l'intenso rimaneggiamento antropico), sono documentabili planimetricamente.

Il “Sistema dei terrazzi esterni alla fascia di meandreggiamento recente del F. Oglio”

I depositi terrazzati tardo pleistocenici costituiscono un piano debolmente immerso 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, buona parte del 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 (ad eccezione del tratto più orientale che raggiunge valori di 10 m, erosa al piede direttamente dall’Oglio) e, quando presenta caratteristiche naturali, assume i connotati di un versante molto acclive, ormai relitto e privo di significativi fenomeni di instabilità. Localmente, la scarpata morfologica risulta rimaneggiata da interventi antropici ed è ridotta a una caratteristica rottura di pendenza del piano di campagna (come accade in corrispondenza del capoluogo).

A SE del centro abitato, infine, vanno segnalate le depressioni morfologiche incise nel Livello Fondamentale della Pianura ad opera del reticolo idrografico secondario (tra cui la “Valle della Gambina di Rivarolo”), ben delineate da scarpate di altezza metrica (anche se talora

rimaneggiate): queste incisioni sono il risultato sinergico di più fattori idro-geomorfologici, probabilmente associati a un sollevamento neotettonico del substrato pre-quaternario sepolto.

Forme dovute all'attività antropica

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

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 e le aree interessate da baulature, sistemazioni idraulico-agrarie tipiche dell'area casalasca utilizzate per favorire lo smaltimento delle acque dalle superfici agrarie caratterizzate spesso da pendenze naturali altrimenti molto ridotte, talora associate a terreni scarsamente drenanti.

INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA E PEDOLOGICA

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 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 – Si tratta di terreni da limo-argillosi a limo-sabbiosi a copertura di depositi sabbiosi; nei terreni superficiali (di origine alluvionale), sono possibili locali eteropie verso termini granulari secondo i meccanismi caratteristici dell'originario ambiente deposizionale - Classificazione U.S.C.S.: ML, CL a copertura di SM, SW – Area di affioramento: valle olocenica dell'Oglio.

UNITA' 2 – Sono depositi prevalentemente limosi (da limo-argillosi a limo-sabbiosi), di spessore generalmente superiore a 3-4 m, all'interno dei quali si sviluppano orizzonti sabbioso-limosi talora saturi e sede di falde sospese – Classificazione U.S.C.S.: ML, CL e SM - Area di affioramento: Livello Fondamentale della Pianura.

Sulla base delle informazioni disponibili, quindi, si riconoscono su tutto il territorio limitazioni di natura geotecnica: sul Livello Fondamentale della Pianura, la presenza di depositi prevalentemente limosi riduce la capacità di drenaggio superficiale mentre nella valle dell’Oglio le diffuse coperture alluvionali di natura limo-argillosa, sature da quote molto superficiali, sono causa di ridotte risposte geotecniche in termini di capacità portante e cedimenti. 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. 14.01.2008 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.

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 sottili a profondi, a tessitura moderatamente fine, con substrato limoso e drenaggio da lento a mediocre (localmente buono).

Nel sistema di valle si rinvengono suoli da moderatamente profondi a molto profondi, a tessitura da moderatamente fine a grossolana, con substrato a granulometria variabile (dalle argille alle sabbie) e drenaggio anch’esso variabile (da lento a rapido).

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

| Profondità (cm) | | Scheletro (%) | Carbonati totali (%) | Pietrosità superficiale (utile all'approfondimento radicale) | Dimensione pietre | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|---------------|-----------------------|---|------------------------|-----------|----------------|----------------------|--------------------------|----------------------|-------|--------------|--------------------|-----------|------|
| 0 - 25 | molto sottili | <1 | assente | < 0,5 | non calcareo | < 0,1 % | scarsa o nulla | Ø < 7,5 cm | piccole | | | | | | |
| 25 - 50 | sottili | 1 - 5 | scarso | 0,5 - 5 | scarsamente calcareo | 0,1 - 3 % | moderata | Ø 7,5 - 25 cm | medie | | | | | | |
| 50 - 100 | moderatamente profondi | 5 - 15 | comune | 5 - 10 | moderatamente calcareo | 3 - 15 % | comune | Ø > 25 cm | grandi | | | | | | |
| 100 - 150 | profondi | 15 - 35 | frequente | 10 - 20 | calcareo | 15 - 50 % | elevata | | | | | | | | |
| > 150 | molto profondi | 35 - 70 | abbondante | > 20 | molto calcareo | > 50 % | eccessiva | | | | | | | | |
| | | >70 | molto abbondante | | | | | | | | | | | | |
| Saturazione (TSB) (%) | | Reazione | Pendenza (%) | Capacità di scambio cationico (CSC) (meq/g) | | | | | | | | | | | |
| <35 | molto bassa | <4,5 | molto acida | <2 | nulla o debole | | | | | | | | | | |
| 35 - 49 | bassa | 4,5 - 5,5 | acida | 2 - 5 | bassa | | | | | | | | | | |
| 50 - 75 | media | 5,6 - 6,5 | subacida | 5 - 15 | moderata | | | | | | | | | | |
| >75 | alta | 6,6 - 7,3 | neutra | 15 - 25 | moderatamente elevata | | | | | | | | | | |
| | | 7,4 - 7,8 | subalcalina | 25 - 45 | elevata | | | | | | | | | | |
| | | 7,9 - 8,4 | alcalina | 45 - 75 | molto elevata | | | | | | | | | | |
| | | 8,5 - 9,0 | molto alcalina | >75 | estremamente elevata | | | | | | | | | | |
| | | >9,0 | estremamente alcalina | | | | | | | | | | | | |
| Tessitura | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>The diagram is a ternary plot for soil texture classification. The vertices represent pure components: Argilla (clay) at the top-left, Limone (lime) at the top-right, and Sabbia (sand) at the bottom. The axes are labeled with percentages: ARGILLA (%), LIMO (%), and SABBIA (%). The plot is divided into various zones corresponding to different soil textures. Key points marked include A (Argilla), AS (Argilla-Sabbia), AL (Argilla-Lime), FA (Fangoso Argilloso), F (Fangoso), FLA (Fangoso Lime), FS (Fangoso Siliceo), SF (Siliceo), and L (Lime).</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table> <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 | | | | | | | | | | | | | | |
| Drenaggio | | | | | | | | | | | | | | | |
| <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 redosimorfici che possono eventualmente manifestarsi oltre il metro di profondità.</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Mediocro: 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> | | | | | | | | | | | | | | | |

RETILOCATO 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, pertanto, è stato cartografato l'intero reticolo idrografico come individuato da specifico studio redatto nel 2009 secondo i disposti della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 “Determinazione del reticolo idrico principale...” .

L'analisi morfologica del territorio comunale di Piadena ha condotto all'individuazione di due unità topograficamente, morfologicamente e idraulicamente distinte, separate dalla netta scarpata che si sviluppa con direzione media W-E lungo il margine settentrionale del capoluogo: il lineamento morfologico terrazza il Livello Fondamentale della Pianura sulla più recente depressione valliva del fiume Oglio.

La prima unità morfologica (Livello Fondamentale della Pianura) si presenta come una superficie sub-pianeggiante con una falda a profondità variabile (fortemente influenzata dall'effetto drenante esercitato dall'Oglio a valle dell'alta scarpata morfologica); il reticolo idrico presenta due modalità di alimentazione:

- a. da W attraverso derivazioni di acqua utilizzata a scopi irrigui;
- b. dalla raccolta delle colature sia di natura irrigua che meteorica;
- c. da fenomeni sorgentizi in alcune porzioni del territorio avente falda sub-affiorante (settore S-orientale del Comune).

La seconda Unità (Valle dell'Oglio) si articola a valle delle scarpata morfologica principale, occupa la depressione olocenica del corso d'acqua ed è caratterizzata da un reticolo alimentato:

- d. dalle colature provenienti dal sovrastante terrazzo;
- e. da fenomeni di affioramento della falda idrica sotterranea.

Nella Carta del Reticolo Idrografico di Tavola 3, estratta dallo specifico studio, è stato individuato l'intero reticolato idrografico, sintetizzato nei seguenti elenchi e nella Tavola 3.

Elenco 1
RETIKOLO PRINCIPALE
di COMPETENZA DELLA REGIONE LOMBARDIA
(allegato A della DGRL 01.10.2008 n. 8/8127)

| Codice | Denominazione |
|--------|---------------|
| CR011 | Fiume Oglio |

Elenco 2
RETIKOLO IDRICO
di COMPETENZA DEL CONSORZIO DUGALI
(DGRL 11.02.2005 n. 7/20552, modificata dalla DGR 8/8127/2008)

| Codice | Denominazione |
|--------|------------------------------------|
| | Albano |
| | Belgiardino |
| | Ca' de' Chiozzi |
| | Cà dell'Ora |
| | Canale Principale di Foce Morbasco |
| | Cavo Magio (Piadena) |
| | Cidalara Castelfranco |
| | Colombarolo |
| | Gambina di Piadena |
| | Gambina di Sopra |
| | Guazzone |
| | Magio (Calvatone) |
| | Piadena |
| | Quintre |
| | Recorfano 1 |
| | Scaricatore Piadena |

Elenco 3
RETIKOLO IDRICO
di COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA NAVAROLO
Agro Cremonese Mantovano
(DGRL 11.02.2005 n. 7/20552)

| Codice | Denominazione |
|--------|--|
| | Ceresole |
| | Canale Principale di Irrigazione del Fiume Oglio |

Elenco 4
RETICOLO MINORE di COMPETENZA
DEL COMUNE DI PIADENA

| Codice | Denominazione |
|--------|---|
| PDN01 | Colatore Basso di Piadena |
| PDN02 | Colatore delle Bardelle |
| PDN03 | Colatore di San Lorenzo Est |
| PDN04 | Colatore di San Lorenzo Ovest |
| PDN05 | Colatore Favorita |
| PDN06 | Colatore Rodoloso |
| PDN07 | Dugale Gambina di Rivarolo (Gambina di Mezzo) o Lagazzo |
| PDN08 | Dugale Gambina di Tornata |
| PDN09 | Dugale Laghetto e Cidalara |
| PDN10 | Dugale Tagliata |
| PDN11 | Risorgiva di San Paolo |
| PDN12 | Risorgiva di Vho |
| PDN13 | Roggia Seriola |

Sulla cartografia allegata è stato evidenziato anche il Diversivo Magio nonostante si tratti di canale irriguo utilizzato come vettore per la derivazione idrica: non facendo parte del reticolo idrico (principale, minore e di bonifica), il canale resta di titolarità del Consorzio che lo gestisce (Consorzio Irrigazioni Cremonesi) e su di esso non si applicano le funzioni di polizia idraulica previste dal R.D. 523/1904 e/o del R.D. 368/1904.

Elenco 5
CANALE AL SERVIZIO DI DERIVAZIONI IRRIGUE

| Denominazione |
|-----------------|
| Diversivo Magio |

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.

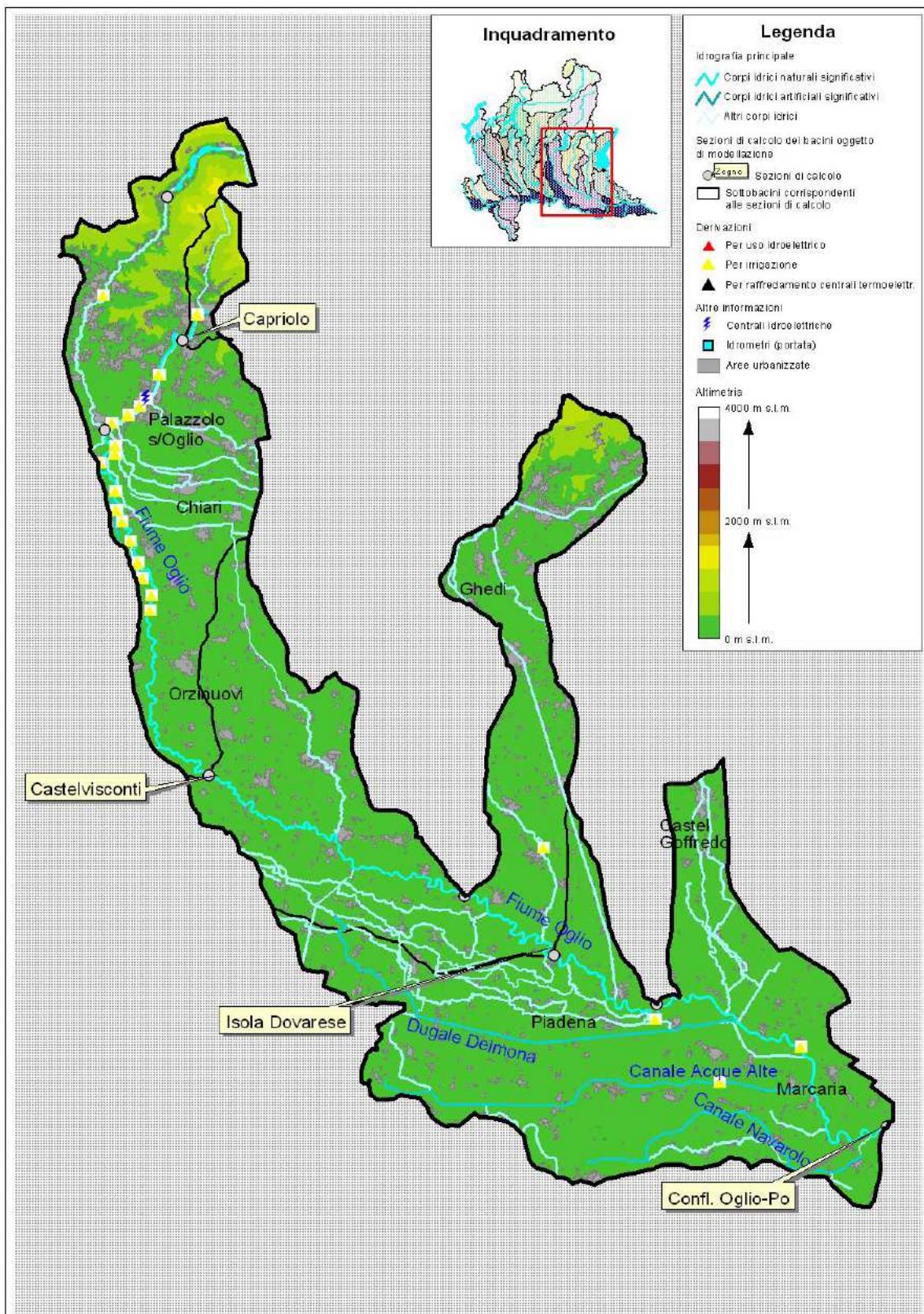
Il Fiume Oglio si distende con un percorso di circa 280 km ed interessa un’area di circa 6.650 km². Il suo corso è diviso in tre tratti distinti: il bacino sopralacuale, il Lago d’Iseo e il comprensorio di pianura a valle del lago.

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 idrologiche¹ 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; considerata la posizione del tratto di nostro interesse (Piadena), si ritiene come maggiormente significativa la sezione di Foce Oglio (nonostante l’immissione del Chiese che avviene a valle del territorio comunale).

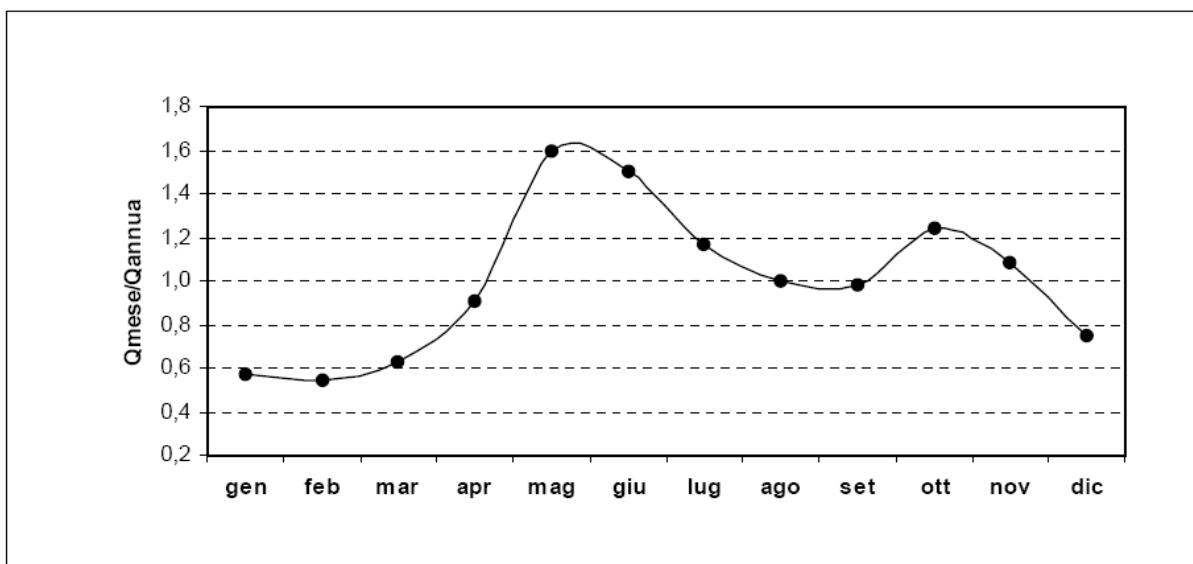
Per il bacino dell’Oglio alla confluenza in Po, la portata media annua naturale superficiale Q_{ANS} viene calcolata dal contributo unitario del bacino dell’Oglio a Castelvisconti, riscalato mediante il rapporto tra le precipitazioni medie annue dei due bacini. Nella procedura non sono state considerate 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.

| | gen | feb | mar | apr | mag | giu | lug | ago | set | ott | nov | dic | media annua |
|-------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| 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 (m^3/s).

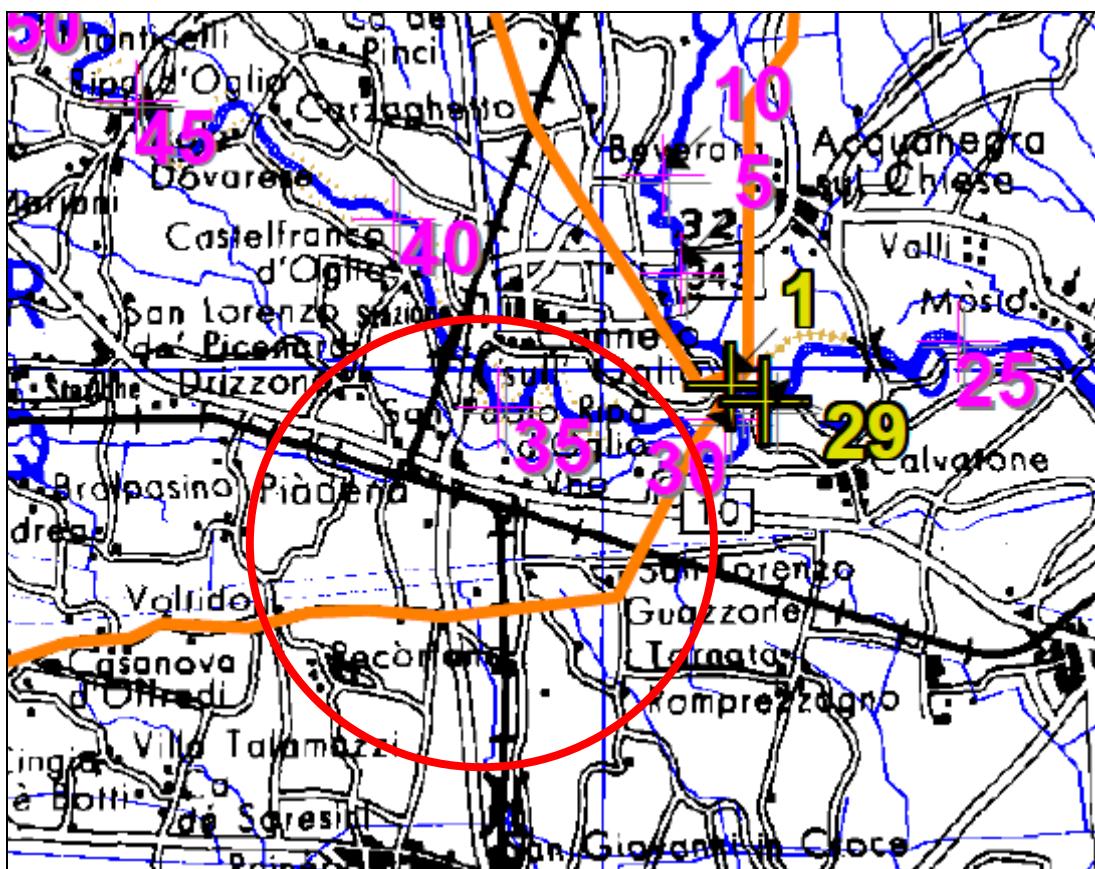
¹ Dati estratti da P.T.U.A. – Programma Tutela e Uso Acque della Regione Lombardia



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.



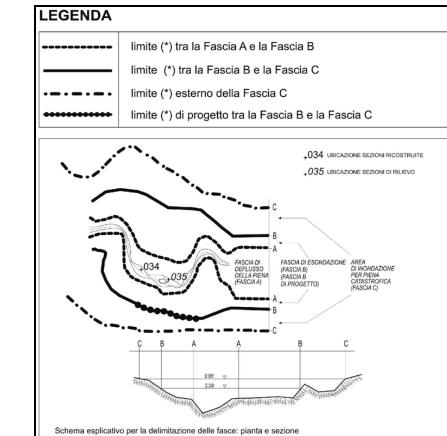
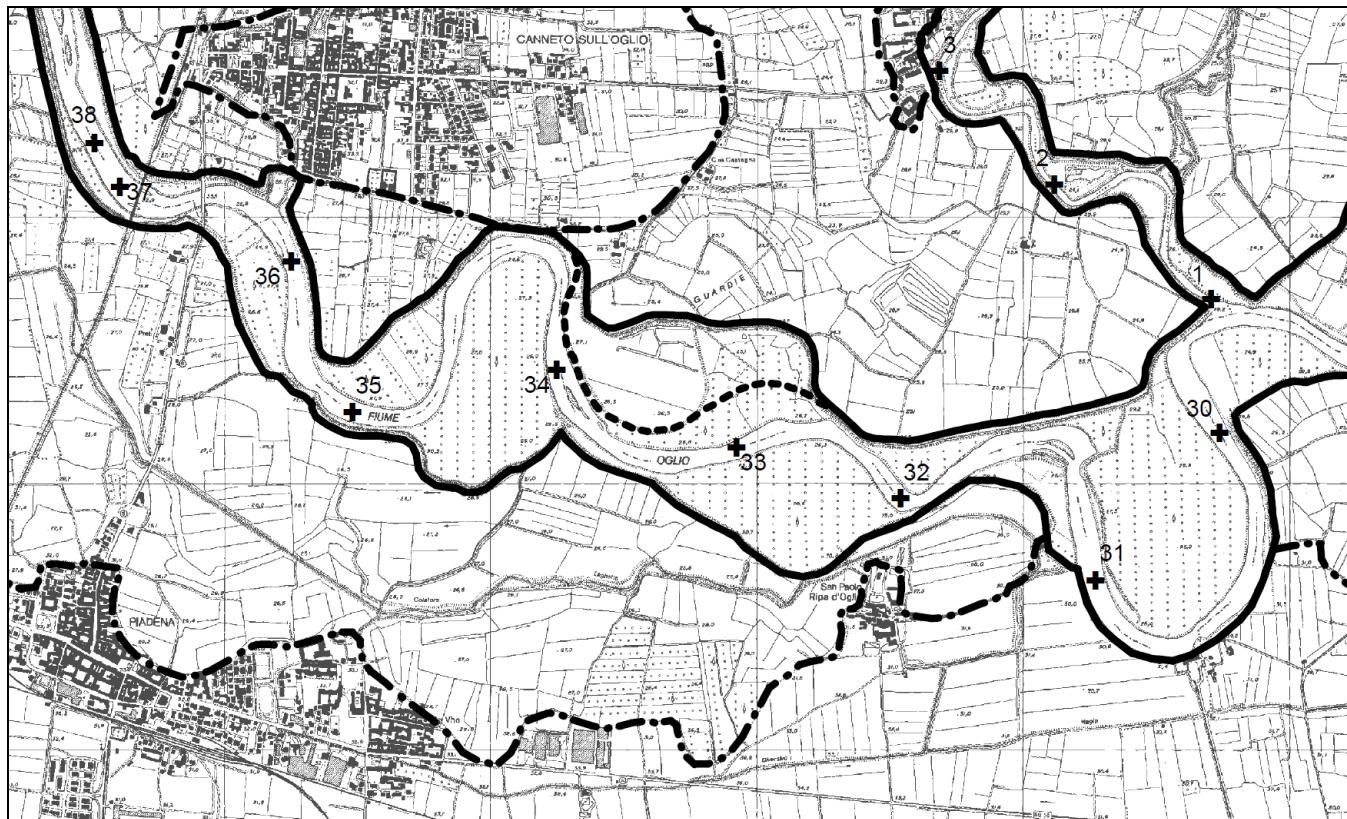
Estratto da “Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti - 7. Norme di attuazione: Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 5: Portate e inviluppo del profilo idrico 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 Piadena, compresa tra le sezioni del P.A.I. n. 038 e n. 030, 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 30,40 m s.l.m. e una quota di 28,92 m s.l.m..

Tali 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 (m ³ /s) | | | Quota idrometrica (m s.m.) | Q (m ³ /s) | | | Quota idrometrica (m s.m.) | Q (m ³ /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 | |



Le fasce del P.A.I. e l'ubicazione delle sezioni utilizzate per il calcolo delle portate e delle altezze idrometriche dell'onda di piena

IDROGEOLOGIA

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 fluvioglaciali 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 ghiae 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

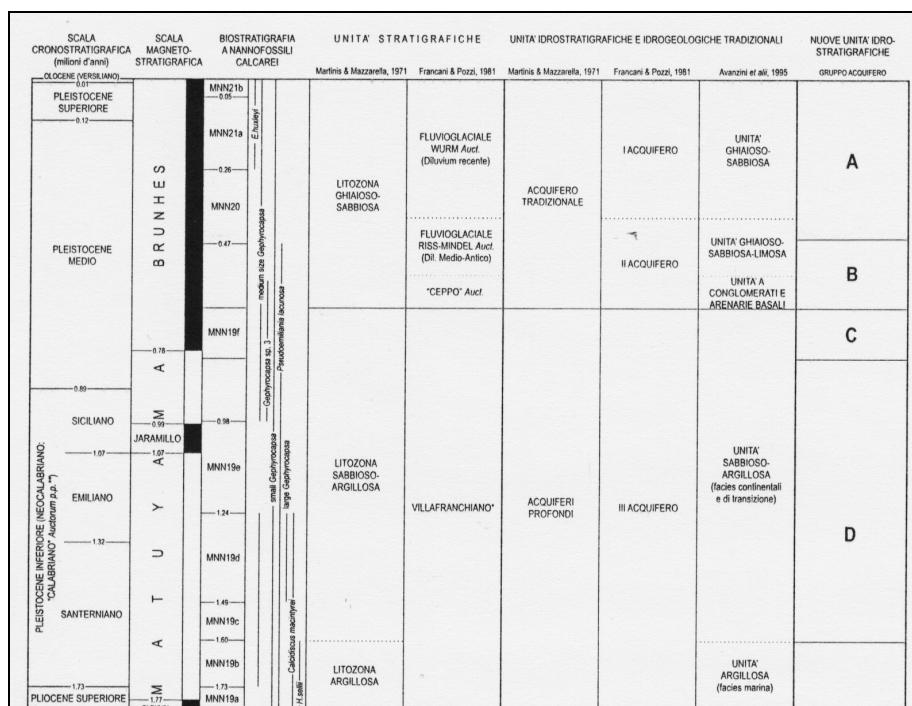
unità rappresenta il substrato dell’acquifero tradizionale; l’acqua è contenuta in livelli sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi; si tratta principalmente di falde confinate con presenza talora di sostanze tipiche di ambiente riducente.

- 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.

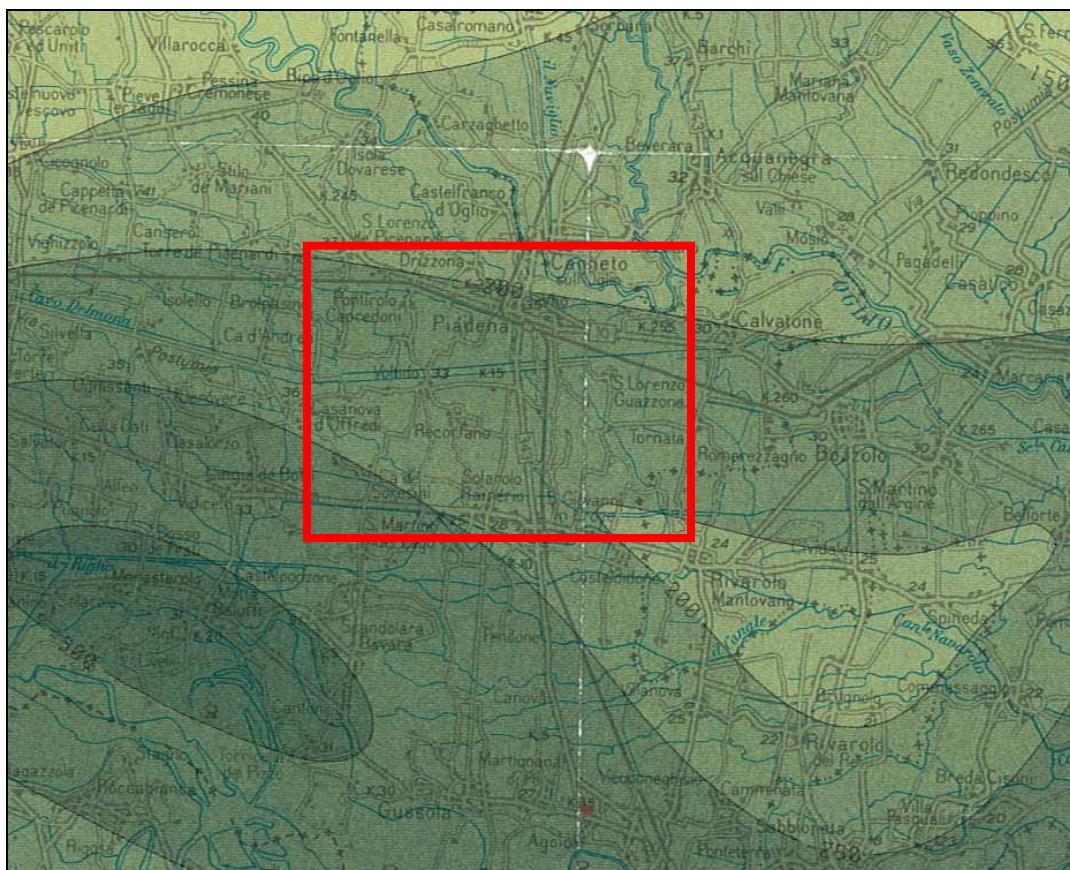
Sulla scorta di tale osservazione ed applicando i criteri della “*Sequence Stratigraphy*”, la Regione Lombardia, in collaborazione con ENI (Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia, 2002), ha recentemente classificato le unità acquifere del sottosuolo sotto forma di “Sequenze Deposizionali”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

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

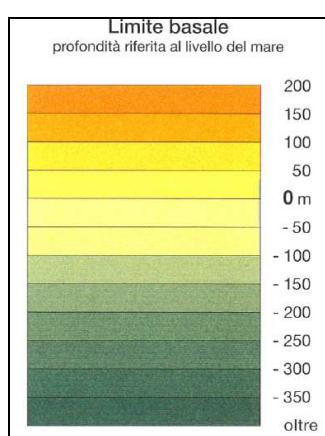


*Schema dei rapporti stratigrafici
(Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia, 2002)*

In corrispondenza del Comune di Piadena, 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 S-occidentali. Verso SE, tuttavia, si delineava 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)*



| Unita' Idrostratigrafica gruppo acquifero | Eta' (MA) | Scala Cronostratigrafica (MA) |
|--|---------------|--|
| A | ~ 0.45 | Pleistocene superiore 0.125 |
| B | ~ 0.65 | Pleistocene medio |
| C | ~ 0.8 | 0.89 |
| D | ~ 1.6 1.73 | Pleistocene inferiore 1.73 Acquitardo basale Pliocene medio superiore |

Caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale

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

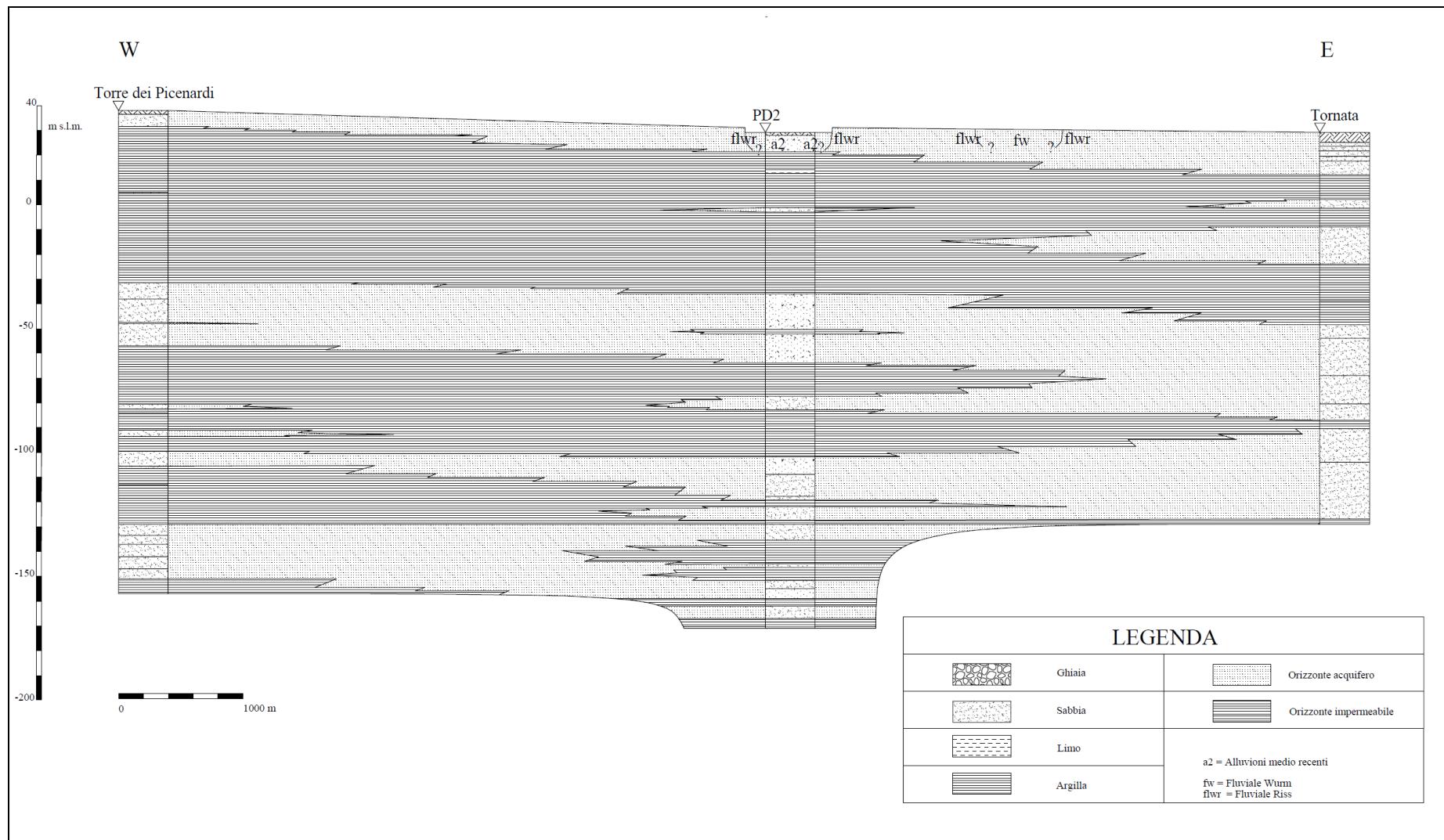
Nel tentativo di ricostruire le geometrie del complesso acquifero sotterraneo sono state realizzate due sezioni litostratigrafiche (figure seguenti) disposte circa N-S e W-E.

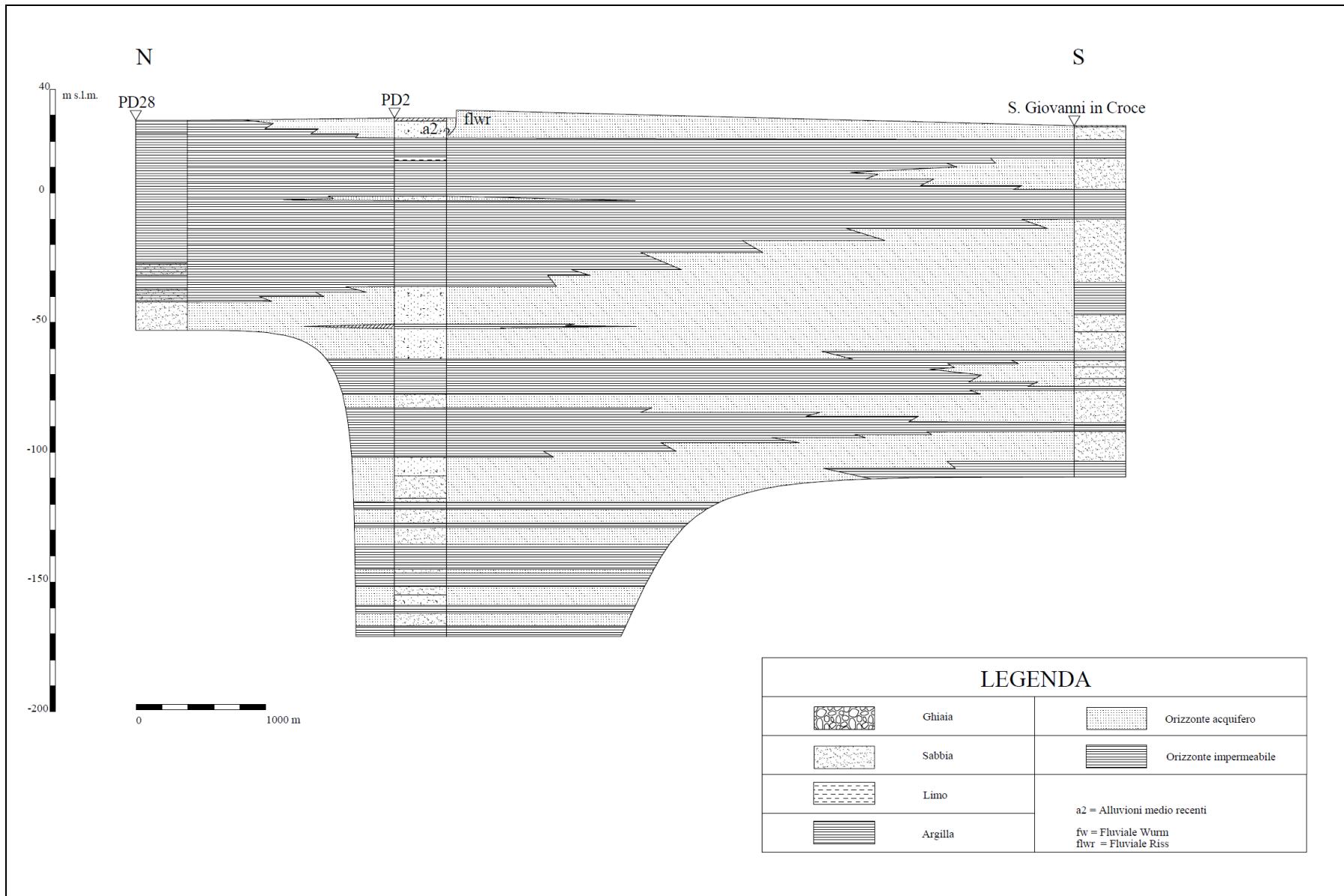
Dai risultati di correlazione (sezioni in figure seguenti), si rileva come, a scala sovracomunale, si sviluppi un complesso acquifero di tipo “multifalda”, all'interno del quale sono riconoscibili due circuiti chiaramente separati:

1. un esile circuito superficiale, che nel sottosuolo di Piadena assume caratteristiche da semilibere a confinate (si rammenta la diffusa presenza di coperture limoso-argillose) 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.

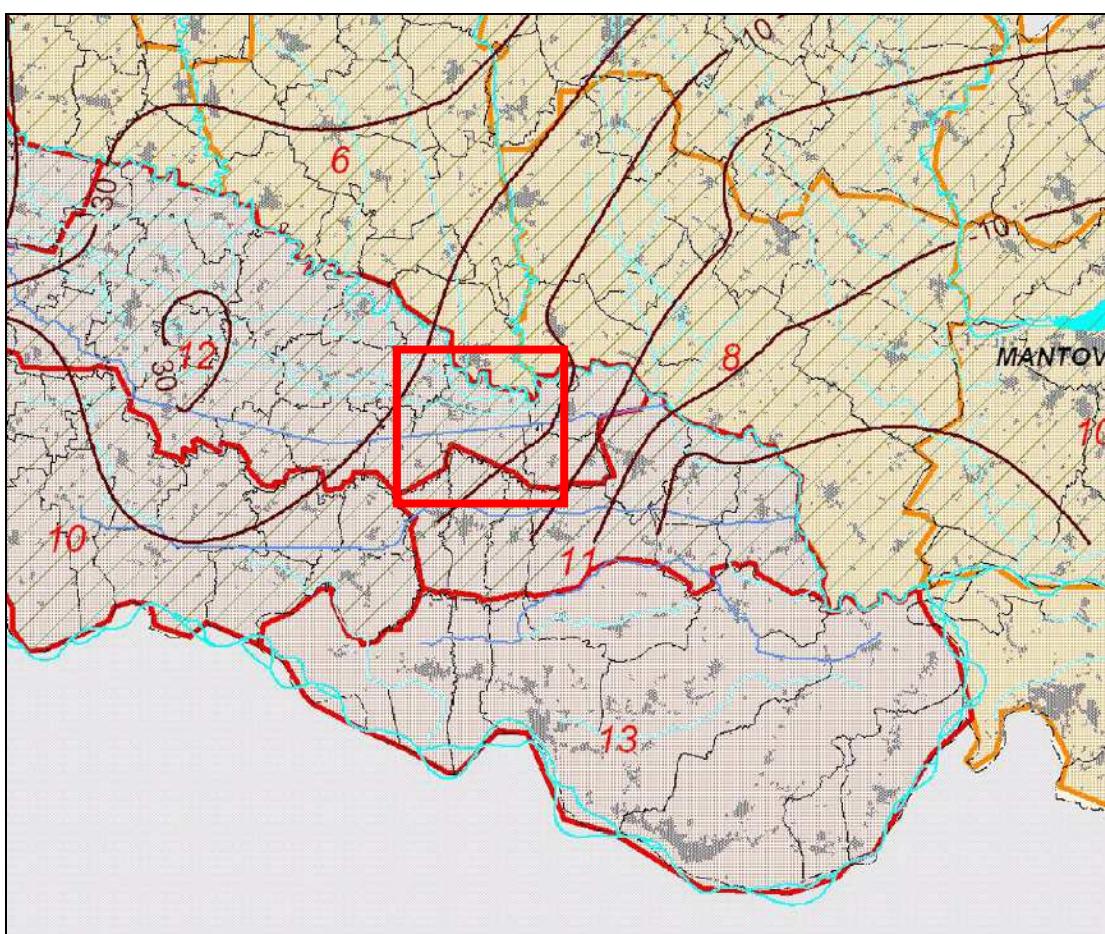
Sulla base dei dati disponibili, tuttavia, è doveroso segnalare come i depositi permeabili che costituiscono la struttura acquifera più superficiale presentino spessori generalmente compresi entro una decina di metri, riducendo di molto la produttività del circuito idrogeologico rispetto alla media del territorio. Oltre tale quota (circa 10-20 m s.l.m.) si sviluppano potenti livelli impermeabili, al di sotto dei quali (60-80 m di profondità dal piano-campagna) compaiono i primi orizzonti acquiferi di spessore e continuità laterale significativa.

Una significativa anomalia, invece, potrebbe delinearsi nel settore settentrionale del territorio comunale, ovvero in corrispondenza dell'incisione olocenica dell'Oglio, parzialmente colmata dai depositi alluvionali più recenti.





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 Piadena, l’orizzonte di separazione tra la falda superficiale e la falda confinata dell’acquifero tradizionale è posto a una quota media di circa 15 m s.l.m. (dedotta dalle isolinee di cui alla Tavola 3 del P.T.U.A), confermano sostanzialmente il modello stratigrafico innanzi esposto.



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 Piadena), il P.T.U.A. definisce il seguente bilancio idrico:

| SETTORE 12 | | | |
|---|------------|------|---------------------------|
| Prelievo medio areale | | | 0,52 1/s ·km ² |
| Elementi del bilancio idrico: | | | |
| Entrate: | | | |
| Afflusso della falda da monte | Settore 9 | 0,05 | (m ³ /s) |
| Infiltrazione (piogge efficaci + irrigazioni) | | 0,22 | (m ³ /s) |
| TOTALE | | 0,27 | (m ³ /s) |
| Uscite: | | | |
| Deflusso della falda verso valle | Settore 11 | 0,07 | (m ³ /s) |
| Deflusso laterale della falda | Settore 10 | 0,05 | (m ³ /s) |
| Drenaggio del fiume Oglio | | 0,01 | (m ³ /s) |
| Prelievi da pozzo | | 0,14 | (m ³ /s) |
| TOTALE | | 0,27 | (m ³ /s) |

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.

| | |
|--|----------|
| Classe Quantitativa: (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 | |
| Classificazione livello di falda | -2 |
| Classificazione stato quantitativo secondo D.Lgs. 152 | A |

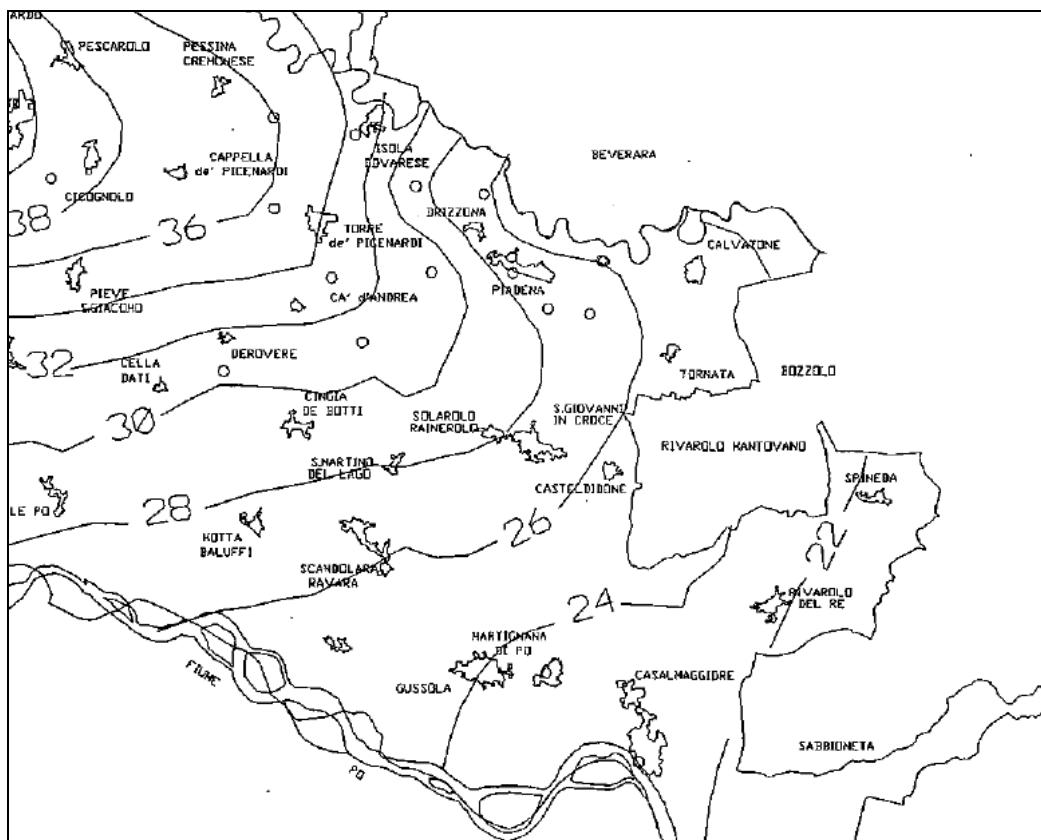
Censimento e catalogazione dei pozzi

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.

I pozzi censiti sul territorio con relativa numerazione, ubicazione e profondità, sono riportati in allegato 2 che ne consente una facile individuazione sulla cartografia di Tavola 4.

Indagine piezometrica

Le informazioni idrogeologiche disponibili dalla letteratura specifica evidenziano come i grandi fiumi (Oglio, Adda e Po) costituiscano gli assi di drenaggio principali della pianura cremonese (fig. 1), condizionando in modo sostanziale le linee di flusso sotterraneo.



A scala locale, la Carta Idrogeologica (Tav. 4) rappresenta la situazione rilevata nel mese di marzo 2011 attraverso una campagna di misure piezometriche. Le isopieze relative alla falda superficiale definiscono una generale direzione di flusso sotterraneo orientata verso quadranti settentrionali, con una netta deviazione nel settore meridionale del territorio comunale. Tale effetto deriva dall’azione drenante esercitata dall’incisione olocenica dell’Oglio mentre, spostandosi verso S, le acque sotterranee deviano verso quadranti S-orientali subendo il richiamo del Po (anche se distanti parecchi chilometri dal territorio di Piadena): 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 W-E e corrisponde a grandi linee con il limite meridionale del territorio comunale.

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 nella rimanente porzione di territorio. A conferma di una falda sub-affiorante si possono osservare numerosi fenomeni sorgentizi, sia al piede delle scarpate morfologiche (“sorgenti di terrazzo”), sia nel settore meridionale del Livello Fondamentale della Pianura (tra le località Bel Giardino e la Favorita) in corrispondenza di una incisione ad opera del reticolo idrico secondario. Si rammenta, tuttavia, che le linee isopiezometriche descrivono una situazione media dei potenziali piezometrici i quali, nella realtà, possono presentare significative anomalie.

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 inferiore a 2 m nella valle del fiume Oglio (la soggiacenza della falda va intesa come un valore medio di primo riferimento, in quanto soggetta a consistenti escursioni piezometriche correlabili con il regime idrometrico del Fiume), all’interno della quale i valori più bassi si misurano al piede della scarpata morfologica principale ove sono presenti manifestazioni sorgentizie;
2. soggiacenza compresa fra 2 e 5 m nella fascia di territorio posta sul Livello Fondamentale della Pianura in prossimità del suo margine terrazzato;
3. soggiacenza inferiore a 2 m in corrispondenza della fascia centro-meridionale del Livello Fondamentale della Pianura; sul Livello Fondamentale della Pianura, inoltre, sono state

evidenziate graficamente le aree morfologicamente depresse (frutto di incisioni ad opera del reticolo secondario) con falda sub-affiorante, origine di diffusi fenomeni sorgentizi (Valle della Gambina).

Si deve tuttavia precisare che sul Livello Fondamentale della Pianura la soggiacenza è riferita alla superficie piezometrica media: i diffusi depositi limo-argillosi, infatti, limitano lo sviluppo di un acquifero freatico s.s.; eventuali orizzonti più permeabili nelle coperture limo-argillose, inoltre, sono spesso sede di falde sospese piuttosto superficiali.

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 flusso 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 flusso 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 flusso idrico di sottosuolo (alimentazione Fiume-falda).

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 nella soggiacenza 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:

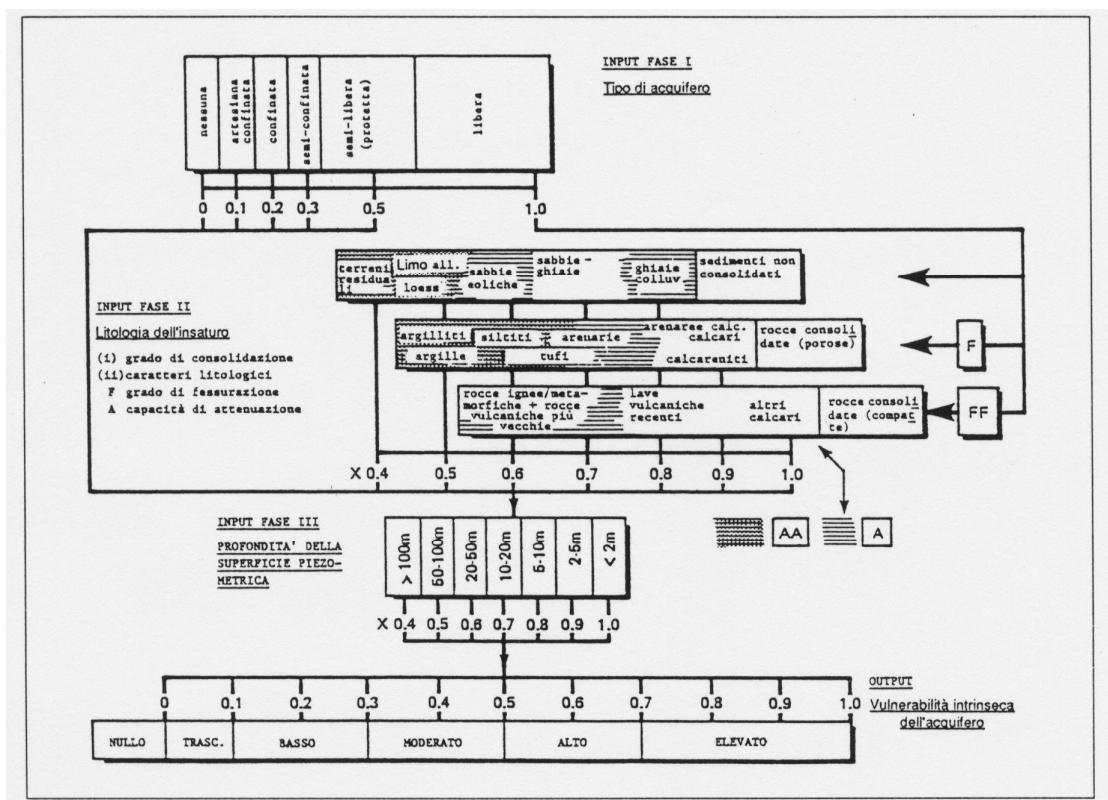
| k (cm/s) | 10^2 | 10 | 1 | 10^{-1} | 10^{-2} | 10^{-3} | 10^{-4} | 10^{-5} | 10^{-6} | 10^{-7} | 10^{-8} | 10^{-9} |
|------------------------|---------------|---|-------------|--------------------------|---|-----------------------------|-----------|-----------|--------------|-----------|------------|------------|
| 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 bassa sul Livello Fondamentale della Pianura, causa il diffuso affioramento di depositi limosi; la permeabilità aumenta solo localmente in corrispondenza delle incisioni ad opera del reticolo secondario, dove le coperture limose sono state in parte erose. Nella valle dell'Oglio, invece, gli indici di

permeabilità possono variare di diversi ordini di grandezza, da bassa/molto bassa nelle coperture limoso-argillose fino a discreta/buona nei depositi granulari.

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 si delineano le seguenti classi di vulnerabilità:

1. VULNERABILITÀ DA BASSA/MODERATA AD ALTA (Valle dell'Oglio) -
L'acquifero si presenta generalmente confinato e in condizioni di vulnerabilità bassa/moderata, con locali incrementi degli indici di vulnerabilità nel caso di eteropie verso termini granulari (più frequenti nella fascia perifluviale dell'Oglio). Il grado di esposizione

delle falde a potenziali agenti inquinanti idroveicolabili, tuttavia, viene generalmente incrementato dalle consistenti escursioni piezometriche e dai complessi rapporti tra le acque superficiali e quelle sotterranee.

2. **VULNERABILITA' DA BASSA A MODERATA** (Livello Fondamentale della Pianura) - L'acquifero è confinato o semiconfinato per la presenza di depositi limosi superficiali, in condizioni di vulnerabilità da bassa a moderata; la vulnerabilità raggiunge aumenta soprattutto in corrispondenza dell'affioramento della valle incisa della Gambina.

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.

PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di Piadena

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 “Nome 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 previde 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 (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (si veda la tabella 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 1:

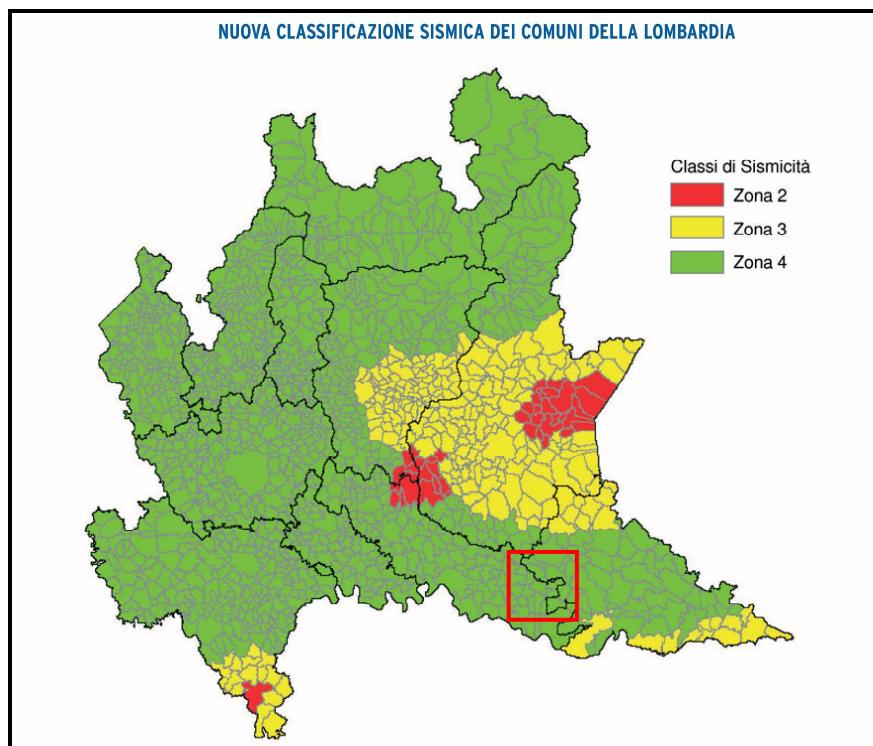


Figura 1: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all’Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n. 7/14964 del 7 novembre 2003).

Secondo la classificazione vigente, il territorio comunale di Piadena 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 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 una 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 ag 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 insiste 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 accorpando più, come in precedenza, la categoria di suolo di fondazione B e C.

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 Piadena e un suo ragionevole intorno non rientrano in alcuna delle zone sismogenetiche (zonazione ZS9, figura 2), sottolineando l’assenza di strutture geologiche in grado di generare terremoti (le cosiddette “faglie capaci”).

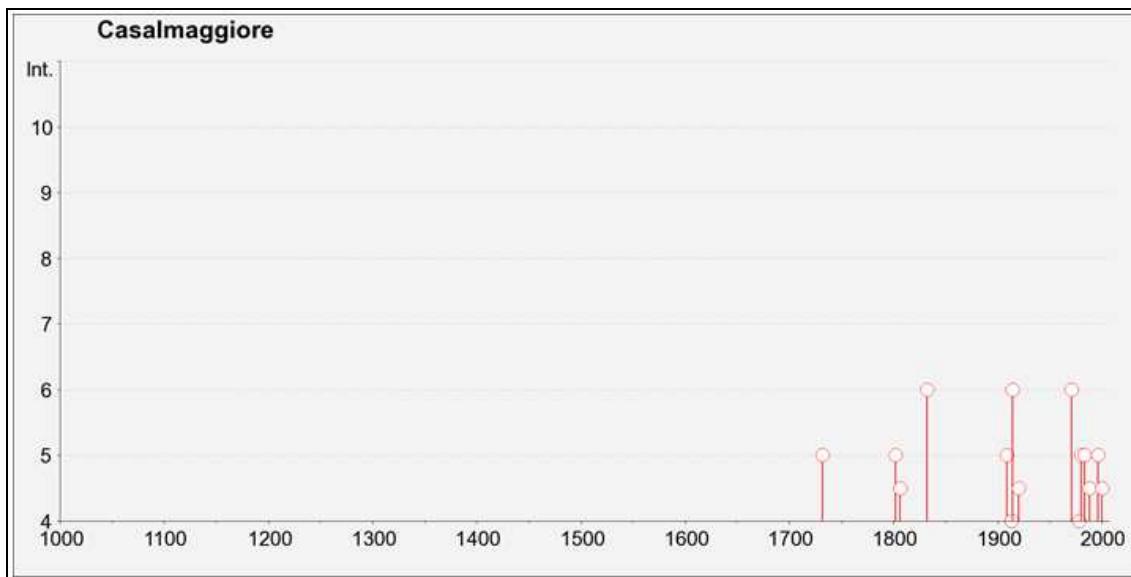
Dalla consultazione dei cataloghi sismici redatti dall’Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità risulta che:

- 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 Piadena e a Casalmaggiore.

Storia sismica di Casalmaggiore (CR)
 Osservazioni disponibili: 32

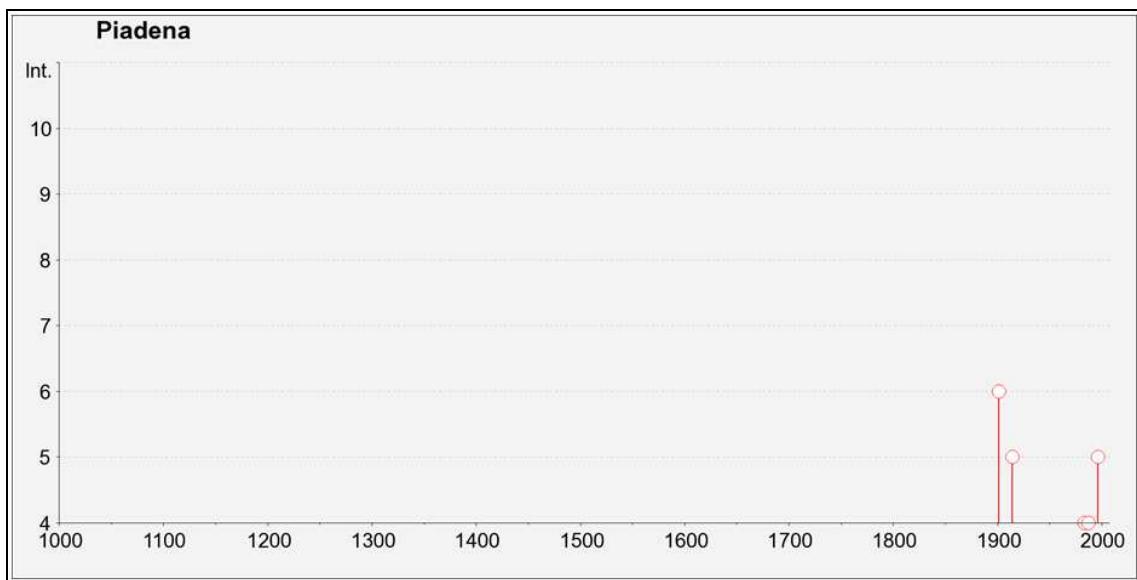
| Effetti | | In occasione del terremoto del: | | | |
|---------|------------------|---------------------------------|------|-----|------------|
| I [MCS] | Data | Ax | Np | Io | Mw |
| F | 1276 07 29 18:30 | Italia settentrionale | 10 | 5 | 5.12 ±0.36 |
| 5 | 1732 02 04 18:20 | Parma | 9 | 5-6 | 4.65 ±0.41 |
| 5 | 1802 05 12 09:00 | VALLE DELL'OGLIO | 85 | 8 | 5.64 ±0.22 |
| 4-5 | 1806 02 12 | NOVELLARA | 28 | 7 | 5.19 ±0.39 |
| 3-4 | 1810 12 25 00:45 | NOVELLARA | 33 | 6 | 5.29 ±0.22 |
| 3 | 1832 03 11 06:45 | Carpi (MO) | 14 | 5 | 4.80 ±0.37 |
| 6 | 1832 03 13 03:30 | Reggiano | 98 | 7-8 | 5.53 ±0.18 |
| F | 1857 02 01 | PARMENSE | 22 | 6-7 | 5.09 ±0.25 |
| NF | 1904 06 10 11:1 | Frignano | 102 | 6 | 5.03 ±0.18 |
| 3 | 1907 04 25 04:52 | Veronese | 122 | 6 | 4.91 ±0.15 |
| 5 | 1909 01 13 00:45 | BASSA PADANA | 799 | 6-7 | 5.53 ±0.09 |
| NF | 1911 02 19 07:18 | Romagna meridionale | 181 | 7 | 5.28 ±0.11 |
| 4 | 1913 11 25 20:55 | Val di Taro | 73 | 4-5 | 4.84 ±0.20 |
| 6 | 1914 10 27 09:2 | Garfagnana | 618 | 7 | 5.76 ±0.09 |
| NF | 1915 01 13 06:52 | Avezzano | 1041 | 11 | 7.00 ±0.09 |
| 3-4 | 1916 05 17 12:4 | Alto Adriatico | 132 | | 5.95 ±0.14 |
| 3-4 | 1919 06 29 15:0 | Mugello | 566 | 10 | 6.29 ±0.09 |
| 4-5 | 1920 09 07 05:5 | Garfagnana | 756 | 10 | 6.48 ±0.09 |
| 2-3 | 1931 04 14 22:13 | GIUDICARIE | 160 | 6 | 4.92 ±0.10 |
| 2-3 | 1937 09 17 12:1 | Parmense | 34 | 7 | 4.65 ±0.25 |
| 6 | 1971 07 15 01:3 | Parmense | 229 | 8 | 5.64 ±0.09 |
| 4 | 1978 12 25 22:5 | Bassa mantovana | 28 | 5 | 4.22 ±0.22 |
| 5 | 1980 12 23 12:0 | Piacentino | 38 | 6-7 | 4.60 ±0.09 |
| 5 | 1983 11 09 16:2 | Parmense | 850 | 6-7 | 5.06 ±0.09 |
| F | 1986 12 06 17:0 | BONDENO | 604 | 6 | 4.61 ±0.10 |
| 3-4 | 1987 05 02 20:4 | Reggiano | 802 | 6 | 4.74 ±0.09 |
| 4-5 | 1988 03 15 12:0 | Reggiano | 160 | 6 | 4.66 ±0.12 |
| 3-4 | 1989 09 13 21:5 | PASUBIO | 779 | 6-7 | 4.88 ±0.09 |
| 3 | 1991 10 31 09:3 | Parmense | 134 | 5 | 4.45 ±0.14 |
| 5 | 1996 10 15 09:5 | Correggio | 135 | 7 | 5.41 ±0.09 |
| NF | 1998 02 21 02:2 | Reggiano | 104 | 5 | 4.34 ±0.17 |
| 4-5 | 2000 06 18 07:4 | Parmense | 300 | 5-6 | 4.43 ±0.09 |



Storia sismica di Piadena (CR)

Osservazioni disponibili: 11

| Effetti | | In occasione del terremoto del: | | | |
|---------|------------------|---------------------------------|-----|-----|------------|
| I [MCS] | Data | Ax | Np | Io | Mw |
| NF | 1900 03 04 16:55 | VALDOBBIADENE | 98 | 6-7 | 5.13 ±0.14 |
| 6 | 1901 10 30 14:4 | Salò | 190 | 8 | 5.70 ±0.10 |
| 5 | 1914 10 27 09:2 | Garfagnana | 618 | 7 | 5.76 ±0.09 |
| 3 | 1978 12 25 22:5 | Bassa mantovana | 28 | 5 | 4.22 ±0.22 |
| 4 | 1983 11 09 16:2 | Parmense | 850 | 6-7 | 5.06 ±0.09 |
| 4 | 1987 05 02 20:4 | Reggiano | 802 | 6 | 4.74 ±0.09 |
| 3-4 | 1988 03 15 12:0 | Reggiano | 160 | 6 | 4.66 ±0.12 |
| 3 | 1989 09 13 21:5 | PASUBIO | 779 | 6-7 | 4.88 ±0.09 |
| NF | 1991 10 31 09:3 | Parmense | 134 | 5 | 4.45 ±0.14 |
| 5 | 1996 10 15 09:5 | Correggio | 135 | 7 | 5.41 ±0.09 |
| 3 | 2000 06 18 07:4 | Parmense | 300 | 5-6 | 4.43 ±0.09 |



Dal catalogo si nota come nessun sisma risulti localizzato entro il territorio del Comune di Piadena.

A completamento delle osservazioni macrosismiche, nella figura 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 Piadena, 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).

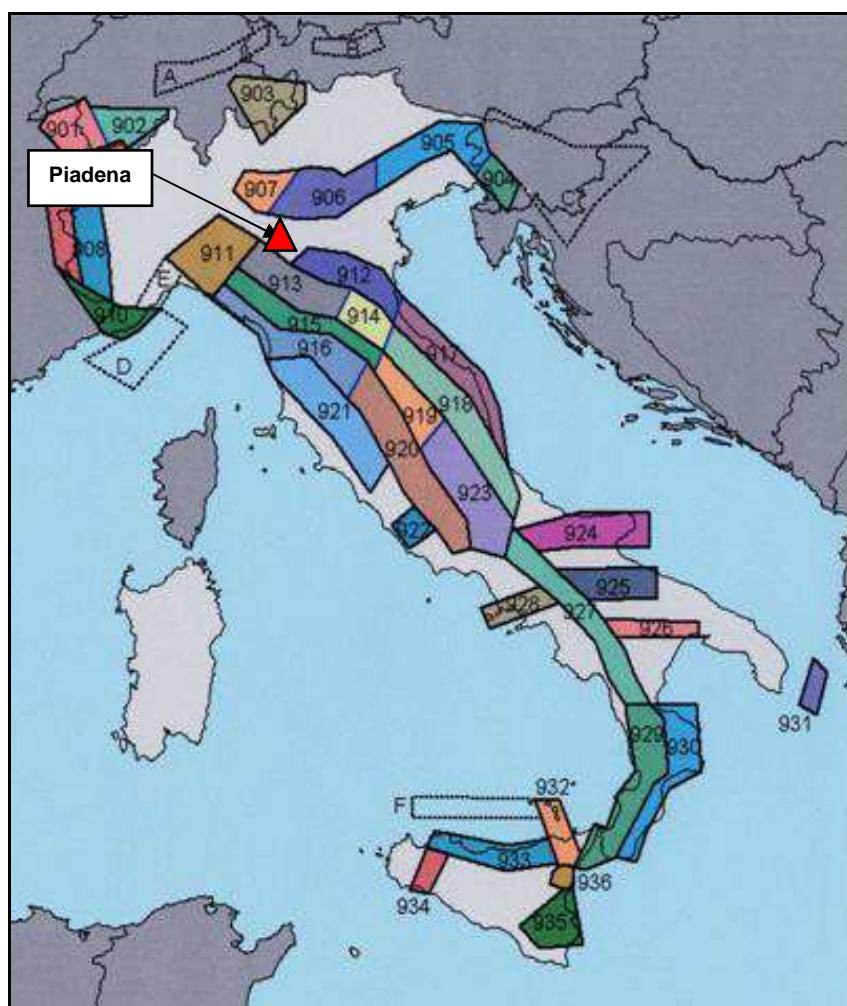


Figura 2: Individuazione delle zone sismogenetiche in cui è suddiviso il territorio nazionale - zonazione sismogenetica ZS9 (INGV 2004).

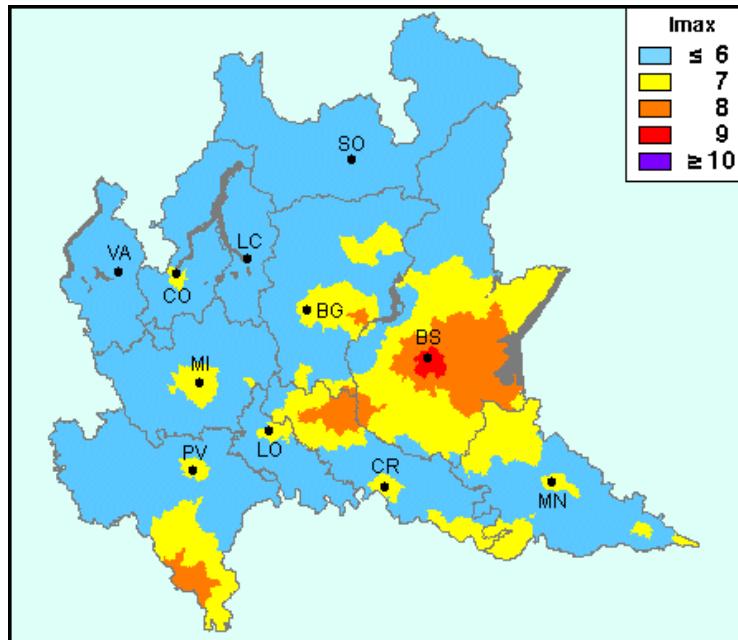


Figura 3: Carta della massima intensità macrosismica attesa in Lombardia (Moliniet et al., 1996).

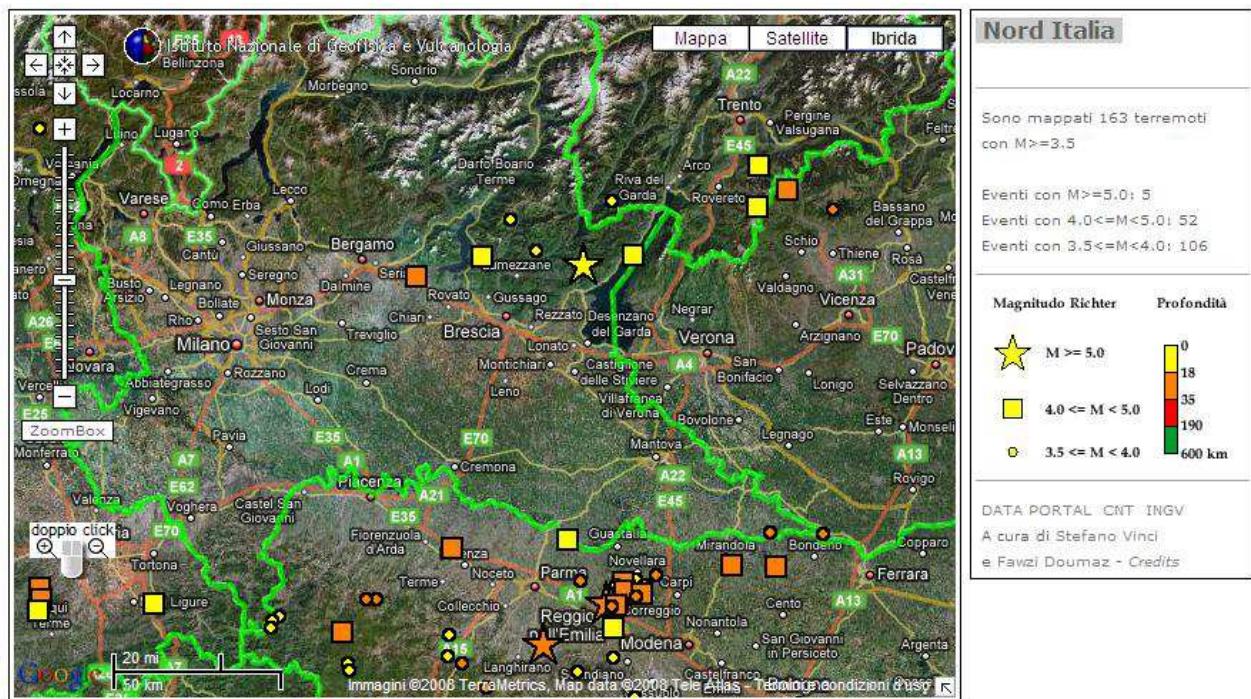


Figura 4: Ubicazione dei terremoti recenti – periodo 1981-2006 (INGV).

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 ag 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 Piadena il valore di ag atteso risulta compreso tra **0.075 e 0.100 g**, ovvero leggermente superiore rispetto a quello previsto dalla normativa per la zona sismica 4 (tabella 1).

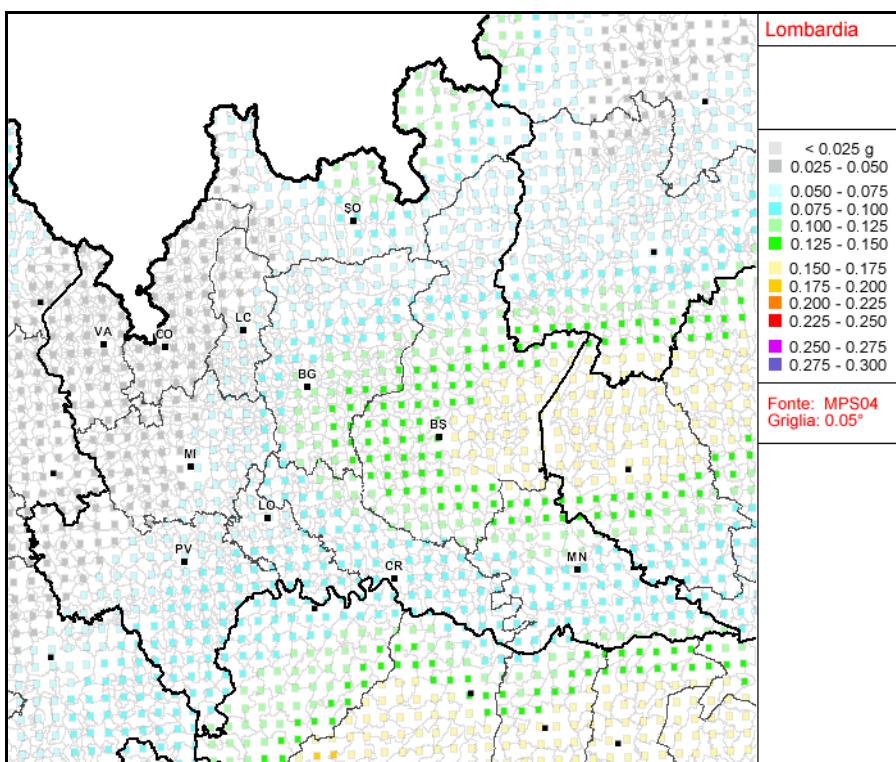


Figura.5: Mappa della pericolosità sismica della Regione Lombardia: si riportano i valori dell'accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di riferimento come frazione di g (INGV anno 2006).

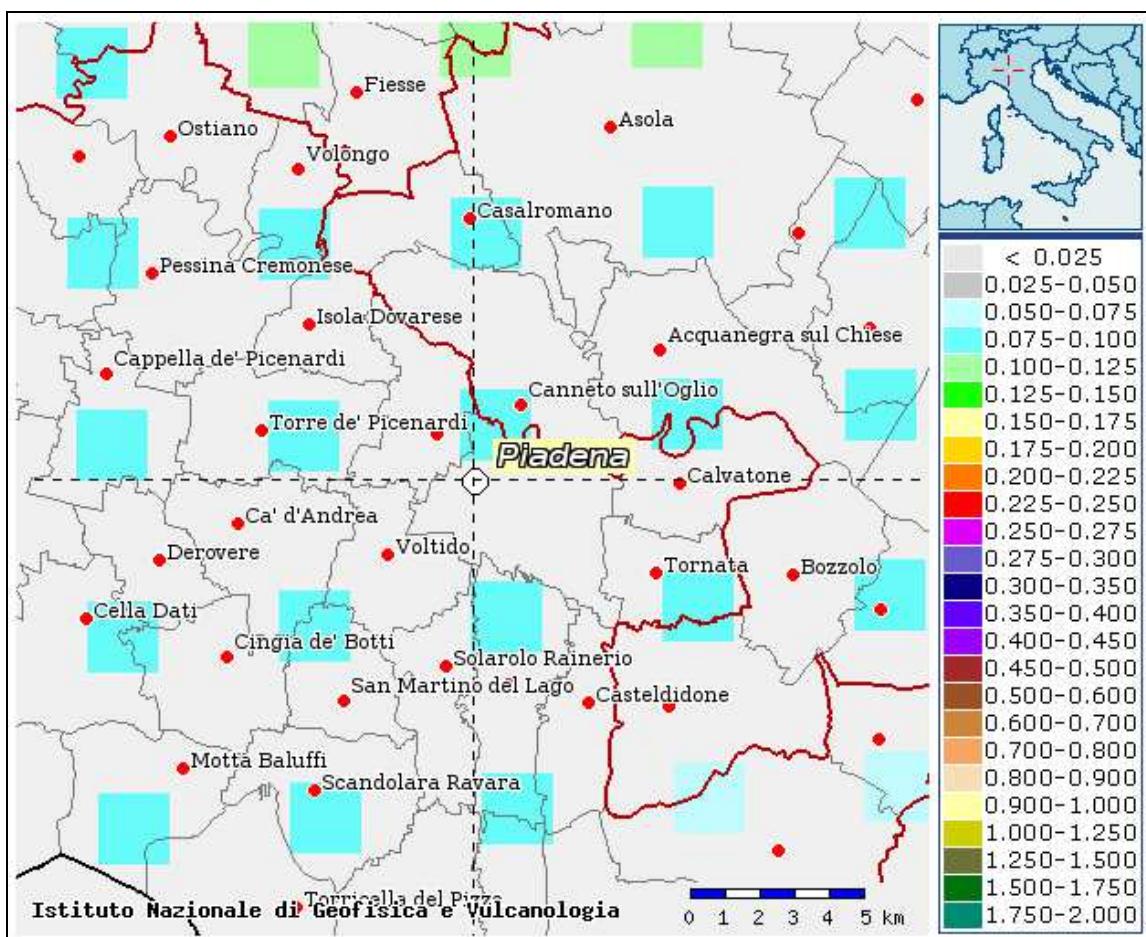


Figura 6: Mappa della pericolosità sismica relativa all'area di Piadena.

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 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).

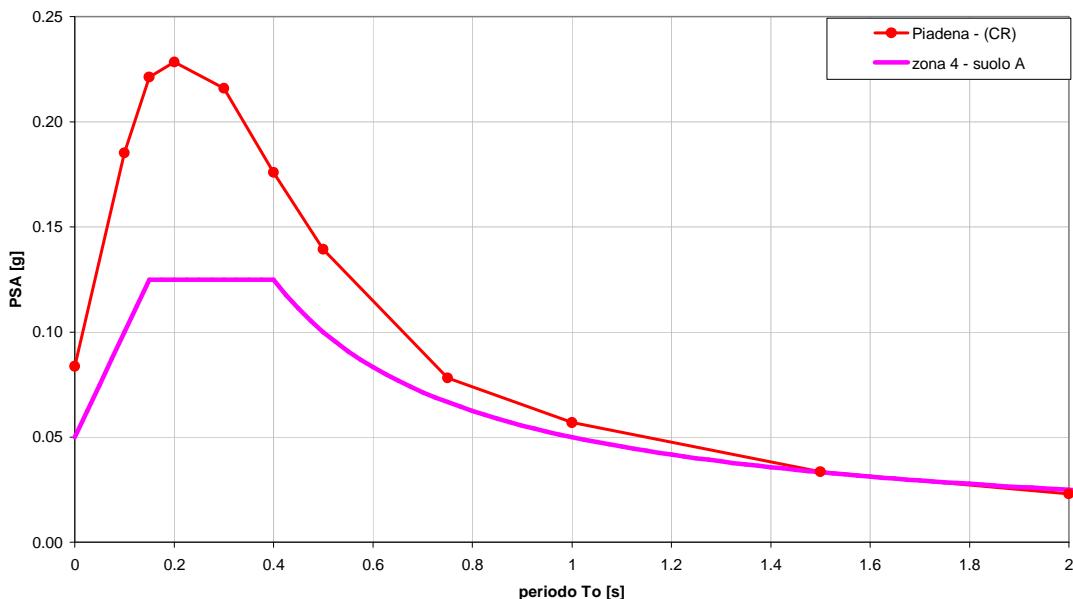


Figura 7: Spettro di risposta a probabilità uniforme (in rosso) per un periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5% a confronto con lo spettro di risposta previsto dal D.M. 14.09.2005 (in magenta).

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. 2616/2011 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> | | |
|-------------------------|---|--|---|
| | 1° Livello <i>Fase pianificatoria</i> | 2° Livello <i>Fase pianificatoria</i> | 3° Livello <i>Fase progettuale</i> |
| Zona sismica 2-3 | obbligatorio | Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato o urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili | <ul style="list-style-type: none"> - 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) | <ul style="list-style-type: none"> - Nelle aree indigate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti |

Per il Comune di Piadena, 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 (ovvero ai margini occidentali del territorio comunale), la scarpata morfologica che terrazza il Livello Fondamentale della Pianura 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 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. 2616/2011) e il risultato finale è rappresentato nella cartografia di Tavola 6.

| Sigla | SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE | EFFETTI |
|--------------|---|--|
| Z1a | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi | Instabilità |
| Z1b | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti | |
| Z1c | Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana | |
| Z2 | Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale) | Cedimenti e/o liquefazioni |
| Z3a | Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica) | Amplificazioni topografiche |
| Z3b | Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate | |
| Z4a | Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi. | Amplificazioni litologiche e geometriche |
| Z4b | Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre | |
| Z4c | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche) | |
| Z4d | Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale | |
| Z5 | Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse | Comportamenti differenziali |

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

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

Considerati gli scenari di pericolosità sismica locale individuati sul territorio di Piadena, 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. 2616/2011.

Nell'allegato 3 è stato sviluppato il tematismo riguardante gli effetti di sito per due aree ritenute rappresentative delle condizioni medie del capoluogo. 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.

CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI

Nella Tavola 6 sono stati cartografati i vincoli normativi di natura fisico-ambientale e geologica, limitanti nella fattibilità geologica delle azioni di piano.

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 definite²:

- **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 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, è stato cartografato 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.).

Per quanto riguarda le zone di protezione delle strutture di captazione ad uso potabile-acquedottistico, si precisa che sul territorio insistono tre pozzi (gestiti da Padania Acque S.p.A.), la cui fascia di rispetto e quella di tutela assoluta coincidono e presentano un raggio di 10 m dal punto di captazione.

Nella cartografia dei vincoli, inoltre, sono stati evidenziati gli elementi tutelati dal PTCP, in particolare:

² 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. gli **orli di scarpata principali e quelle secondarie** (tutelati dal P.T.C.P., art. 16) per i quali sussiste specifica disciplina;
2. gli **ambiti di prevalente valore naturale** (Geositi – paleovalli);
3. gli **ambiti di prevalente valore storico-culturale**, costituito dalle baulature dei campi;
4. la **tutela della rete natura 2000**, in cui rientrano i Siti di importanza comunitaria (S.I.C.) e le Zone a Protezione Speciale (Z.P.S.).

In relazione ai tematismi della carta dei vincoli, si segnala che essa recepisce integralmente quanto evidenziato dal P.T.C.P. nella “Carta delle tutele e delle Salvaguardie” nonostante puntuali diversità 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.

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: realizzato 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 per gran parte del territorio comunale, nel quale sono presenti coperture coesive (con una presumibile riduzione della capacità portante) spesso associate a una falda molto superficiale (valle dell'Oglio) o a effimere falde sospese (settore centro-meridionale del Livello Fondamentale della Pianura): 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. 14.01.2008 e ss.mm.ii..
2. **SOGGIACENZA MEDIA DELLA PRIMA FALDA** - Sono state evidenziate le zone caratterizzate da una falda a profondità ridotta, soggette a specifica limitazione.
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. Rammentando che la Regione Lombardia ha dichiarato il Comune di Piadena (DGR 3297/2006) fra le aree vulnerabili ai nitrati di origine agricola, tra le attività

impattanti oggetto di valutazioni e limitazioni specifiche ricadono anche quelle agronomiche e zootecniche

Tra i lineamenti morfologici sono stati rappresentati gli ***orli di terrazzo e le principali scarpate morfologiche***, 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).

Nella stessa cartografia di sintesi sono state evidenziate ***le aree caratterizzate da manifestazioni idriche diffuse***.

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).

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

1. la fascia di prima esondazione dell’Oglio (fascia A 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, sono stati evidenziati i ***pozzi acquedottistici e le relative fasce di tutela assoluta e di rispetto*** (coincidenti) in quanto aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico (già assoggettate a specifico vincolo normativo).

La cartografia di sintesi, inoltre, evidenzia le incisioni operate dal reticolo secondario (paleovalli) sul Livello Fondamentale della Pianura, le quali costituiscono ***ambiti morfologici di particolare pregio paesistico e geologico***.

ALLEGATO 1: TRINCEE ESPLORATIVE

T1:

| <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 | 0.90 | ML | Limo sabbioso di colore nocciola |
| Da | 0.90 | a | 1.20 | SW | Sabbia da fine a media di colore grigio-azzurro |
| <i>falda: -1.20 m</i> | | | | | |

T2:

| <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 | 1.40 | SW | Sabbia da fine a media di colore grigio-azzurro |
| <i>falda: -1.20 m</i> | | | | | |

T3:

| <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 | 1.10 | CL | Argilla limosa consistente plastica di colore marrone con pezzi di laterizio |
| Da | 1.10 | a | 1.80 | CL | Argilla consistente plastica di colore grigio-azzurro (presenza sporadica di gasteropodi) |
| Da | 1.80 | a | 2.30 | SW | Sabbia fine limosa di colore grigio-azzurro |
| <i>falda: 1.30 m</i> | | | | | |

T4:

| <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 | 1.30 | CL | Argilla limosa molto consistente plastica di colore grigio |
| Da | 1.30 | a | 1.40 | ML | Limo sabbioso fine di colore grigio |
| Da | 1.40 | a | 1.50 | SW | Sabbia da fine a media di colore grigio |
| <i>falda: -1.50 m</i> | | | | | |

| T5: | | | | | |
|--------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------|----|---|
| <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 | ML | Limo con argilla molto consistente poco plastica di colore nocciola |
| Da | 1.10 | a | 1.30 | ML | Limo molto consistente poco plastico di colore grigio-azzurro |
| Da | 1.30 | a | 1.40 | SW | Sabbia da molto fine a fine di colore grigio-azzurro |
| <i>falda: -1.30 m</i> | | | | | |

| T6: | | | | | |
|--------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------|----|---|
| <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 | 0.80 | ML | Limo argilloso consistente plastico di colore marrone |
| Da | 0.80 | a | 1.70 | ML | Limo argilloso con sabbia di colore marrone |
| Da | 1.70 | a | 2.40 | SW | Sabbia fine di colore grigio |
| <i>falda: assente</i> | | | | | |

| T7: | | | | | |
|--------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------|----|---|
| <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 | 1.90 | ML | Limo molto consistente poco plastico con sabbia molto fine di colore nocciola |
| <i>falda: -1.70 m</i> | | | | | |

| T8: | | | | | |
|--------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------|----|---|
| <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 | 2.50 | ML | Limo con argilla consistente poco plastico di colore nocciola |
| <i>falda: assente</i> | | | | | |

T9:

| <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 | 2.30 | ML | Limo molto consistente poco plastico di colore grigio-azzurro |
| <i>falda: assente</i> | | | | | |

T10:

| <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 | 1.00 | ML | Limo argilloso con sabbia di colore marrone |
| Da | 1.00 | a | 2.50 | ML | Limo molto consistente poco plastico di colore nocciola |
| <i>falda: assente</i> | | | | | |

T11:

| <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 | 1.60 | ML | Limo consistente poco plastico di colore nocciola |
| Da | 1.60 | a | 1.90 | ML | Limo con sabbia molto fine di colore nocciola |
| <i>falda: - 1.70 m</i> | | | | | |

T12:

| <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 | ML | Limo con argilla consistente plastico di colore nocciola |
| Da | 1.80 | a | 2.50 | ML | Limo molto consistente poco plastico di colore nocciola |
| <i>falda: - 1.20 m</i> | | | | | |

ALLEGATO 2: Elenco dei pozzi censiti sul territorio comunale

| CODICE | COMUNE | UBICAZIONE | PROPRIETARIO | USO | PROF | FOGLIO | MAPPALE |
|--------|---------|--|------------------------|--------------------|--------|--------|---------|
| PD1 | Piadena | Capoluogo | Padania Acque S.p.a. | Acquedotto | - | 6 | 262 |
| PD2 | Piadena | Capoluogo | Padania Acque S.p.a. | Acquedotto | 181,00 | 2 | 146 |
| PD3 | Piadena | Capoluogo | Padania Acque S.p.a. | Acquedotto | - | 2 | 145 |
| PD4 | Piadena | - | - | - | - | 4 | 226 |
| PD5 | Piadena | Az. Agr. S. Lorenzo Via s. Francesco d'assisi 15 26100 Cremona | All. Agra | zootecnico | 80,00 | 18 | 35 |
| PD6 | Piadena | Az. Agr. S. Lorenzo Via s. Francesco d'assisi 15 26100 Cremona | All. Agra | zootecnico | 64,00 | 18 | 35 |
| PD7 | Piadena | Az. Agr. S. Lorenzo Via s. Francesco d'assisi 15 26100 Cremona | All. Agra | zootecnico | 41,00 | 18 | 35 |
| PD8 | Piadena | C.na Ronchi | Bertoletti Alfredo | irriguo | 60,00 | 18 | 80 |
| PD9 | Piadena | C.na Ronchi | Bertoletti Alfredo | zootecnico | 18,00 | 18 | 61 |
| PD10 | Piadena | San Lorenzo | Garati Gini | zootecnico | 100,00 | 18 | 50 |
| PD11 | Piadena | SS10 | Solara SPA | altri usi | 92,00 | 13 | 167 |
| PD12 | Piadena | Via G Ferraris 2 | Toninelli Casalinghi | antincendio | 96,00 | 13 | 34 |
| PD13 | Piadena | Via G Ferraris 2 | Toninelli Casalinghi | antincendio | 65,00 | 13 | 34 |
| PD14 | Piadena | SS10 | Brixia Finanziaria Spa | igienico sanitario | 40,00 | 13 | 251 |
| PD15 | Piadena | SS10 | Scatolificio Feroldi | igienico sanitario | 90,00 | 13 | 175 |
| PD16 | Piadena | Via Brede Bonni 1 | Lamagni Irmo | zootecnico | 90,00 | 13 | 54 |
| PD17 | Piadena | C.na Miglioli | Cavalliere Orazio | zootecnico | 128,00 | 21 | 51 |
| PD18 | Piadena | C.na Miglioli | Cavalliere Orazio | irriguo | 60,00 | 21 | 55 |
| PD19 | Piadena | C.na Colombana | Bertolini Giorgio | zootecnico | 104,00 | 16 | 21 |
| PD20 | Piadena | Via Matteotti Piadena | Bianchi S.r.l. | industriale | 145,00 | 12 | 200 |
| PD21 | Piadena | Via Matteotti Piadena | Bianchi S.r.l. | industriale | 100,00 | 12 | 99 |
| PD22 | Piadena | Via Marconi 35 | Pasta Nosari S.p.a. | industriale | 170,00 | 6 | 253 |
| PD23 | Piadena | Via G Ferraris 2 | Toninelli Casalinghi | antincendio | 105,00 | 13 | 34 |
| PD24 | Piadena | - | - | - | - | 4 | 23 |
| PD25 | Piadena | - | - | - | - | 12 | 882 |
| PD26 | Piadena | Via G Ferraris | - | - | - | 13 | 36 |
| PD27 | Piadena | Via G Ferraris | - | - | - | 13 | 36 |
| PD28 | Piadena | | Az Agr Flowers | irriguo | 81,00 | 1 | 11 |

ALLEGATO 3: Stratigrafie dei pozzi acquedottistici
(fonte: Atlante ambientale della Provincia di Cremona)

| Tipologia | Den/Rag.Soc. | Captazione numero | Uso | Portata media della concessione (l/s) | Comune | Foglio | Mappale | Prof. primo filtro (m) |
|-----------|-------------------|-------------------|----------|---------------------------------------|---------|--------|---------|------------------------|
| PUB | PADANIA ACQUE SPA | 2 | Potabile | 0 | PIADENA | 2 | 146 | 158,5 |

| N. livello stratigr. | Spessore liv. stratigr. (cm) | Prof. liv. stratigr. (cm) | Descrizione |
|----------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 80 | 80 | terreno vegetale |
| 2 | 770 | 850 | sabbia medio fine |
| 3 | 3100 | 3950 | argilla verdastra limacciosa |
| 4 | 100 | 4050 | sabbia media |
| 5 | 450 | 4500 | argilla verdastra |
| 6 | 550 | 5050 | argilla cenere con ghiaietto |
| 7 | 850 | 5900 | argilla grigia |
| 8 | 300 | 6200 | sabbia fine |
| 9 | 100 | 6300 | argilla cenere scura |
| 10 | 100 | 6450 | argilla verdastra |
| 11 | 1600 | 8050 | sabbia fine con lignite e ghiaietto |
| 12 | 100 | 8150 | argilla grigia |
| 13 | 1000 | 9150 | sabbia medio fine |
| 14 | 100 | 9250 | argilla grigia con ghiaia |
| 15 | 200 | 9450 | argilla scura con ghiaia |
| 16 | 150 | 9600 | sabbia fine |
| 17 | 200 | 9800 | argilla scura |
| 18 | 650 | 10450 | argilla grigia con strati di sabbia |
| 19 | 1050 | 11500 | sabbia media fine |
| 20 | 150 | 11650 | argilla scura |
| 21 | 1650 | 13300 | argilla grigia scura con limo |
| | | | sabbia medio grossa con ghiaietto |
| 22 | 350 | 13650 | argilla grigia |
| 23 | 500 | 14150 | sabbia fine |
| 24 | 350 | 14400 | argilla grigia |
| 25 | 400 | 14800 | |

| Tipologia | Den/Rag.Soc. | Captazione numero | Uso | Foglio | Mappale | Colonna | Prof. primo filtro (m) |
|-----------|-------------------|-------------------|----------|--------|---------|---------|------------------------|
| PUB | PADANIA ACQUE SPA | 3 | Potabile | 2 | 145 | 1 | 131,6 |

| N. livello stratigr. | Spessore liv. stratigr. (cm) | Prof. liv. stratigr. (cm) | Descrizione |
|----------------------|------------------------------|---------------------------|---|
| 1 | 120 | 120 | terreno superficiale |
| 2 | 660 | 780 | sabbia medio fine con ghiaietto |
| 3 | 720 | 1500 | argilla grigia |
| 4 | 150 | 1650 | torba |
| 5 | 1370 | 3020 | argilla vari colori |
| 6 | 180 | 3200 | sabbia medio fine |
| 7 | 3300 | 6500 | argilla grigia con tracce di torba |
| 8 | 1450 | 7950 | sabbia medio fine con lignite e ghiaietto |
| 9 | 180 | 8130 | argilla con torba |
| 10 | 1170 | 9300 | sabbia media con ghiaietto |
| 11 | 1350 | 10650 | argilla grigia con torba |
| 12 | 530 | 11180 | sabbia medio fine |
| 13 | 1900 | 13080 | argilla con lignite |
| 14 | 720 | 13800 | sabbia grossa con ghiaietto |
| 15 | 880 | 14680 | sabbia fine grigia |
| 16 | 150 | 14830 | sabbia fine grigia |
| 17 | 270 | 15100 | argilla grigia |
| 18 | 540 | 15640 | sabbia medio fine con fossili |
| 19 | 160 | 15800 | argilla grigia |
| 20 | 650 | 16450 | sabbia medio fine grigia |
| 21 | 950 | 17400 | argilla grigia scura con torba |
| 22 | 150 | 17550 | sabbia medio fine |
| 23 | 520 | 18070 | argilla grigia |
| 24 | 380 | 18450 | sabbia medio fine |
| 25 | 350 | 18800 | ghiaietto con sabbia grossa |

ALLEGATO 4: Valutazione degli effetti sismici di sito - Risultati dell'indagine eseguita su due aree campione

L'analisi sismica di I livello ha individuato la presenza di un solo scenario di pericolosità sismica, come descritto nella relazione e sintetizzato nella Tavola “Carta di pericolosità sismica locale”.

Come previsto dalla D.G.R. 2616/2011 in fase di pianificazione/progettazione di strutture considerate strategiche o rilevanti si deve procedere all'analisi dei fattori di amplificazione (analisi di II livello).

La procedura prevede il confronto del valore di F_a dell'area rispetto al valore di F_a 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 F_a 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), o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

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

| VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESCO TRA 0.1-0.5 s | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Comune | Suolo tipo B | Suolo tipo C | Suolo tipo D | Suolo tipo E |
| Piadena | 1.4 | 1.7 | 2.1 | 1.9 |

| VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESCO TRA 0.5-1.5 s | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Comune | Suolo tipo B | Suolo tipo C | Suolo tipo D | Suolo tipo E |
| Piadena | 1.7 | 2.3 | 3.9 | 2.9 |

Tabella 1: valori di soglia del fattore di amplificazione F_a per il Comune di Piadena.

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

AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

Lo scenario 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 sono state scelte due aree campione, procedendo per queste 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, 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> |
|---------------------------------|----------------------|---|
| Litologici | Bassa | Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe |
| | Alta | Da prove di laboratorio e da prove in situ |
| Stratigrafici (spessori) | Bassa | Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe |
| | Media | Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche) |
| Geofisici (Vs) | Alta | Da indagini dirette (sondaggi) |
| | Bassa | Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe |
| | Media | Da prove indirette e relazioni empiriche |
| | Alta | Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale) |

Tabella 2: 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, per ciascuna area campione è stata eseguita un'apposita indagine geofisica con la metodologia MASW.

In figura 1a si riporta l'ubicazione delle due aree campione sulla Carta Tecnica Regionale: la prima è situata ad ovest del palazzetto dello sport e dell'area piscine e si presenta come un'area libera destinata a scopi agronomici, mentre l'area 2 si posiziona ad ovest del cimitero comunale, su un'area attualmente adibita a parco.

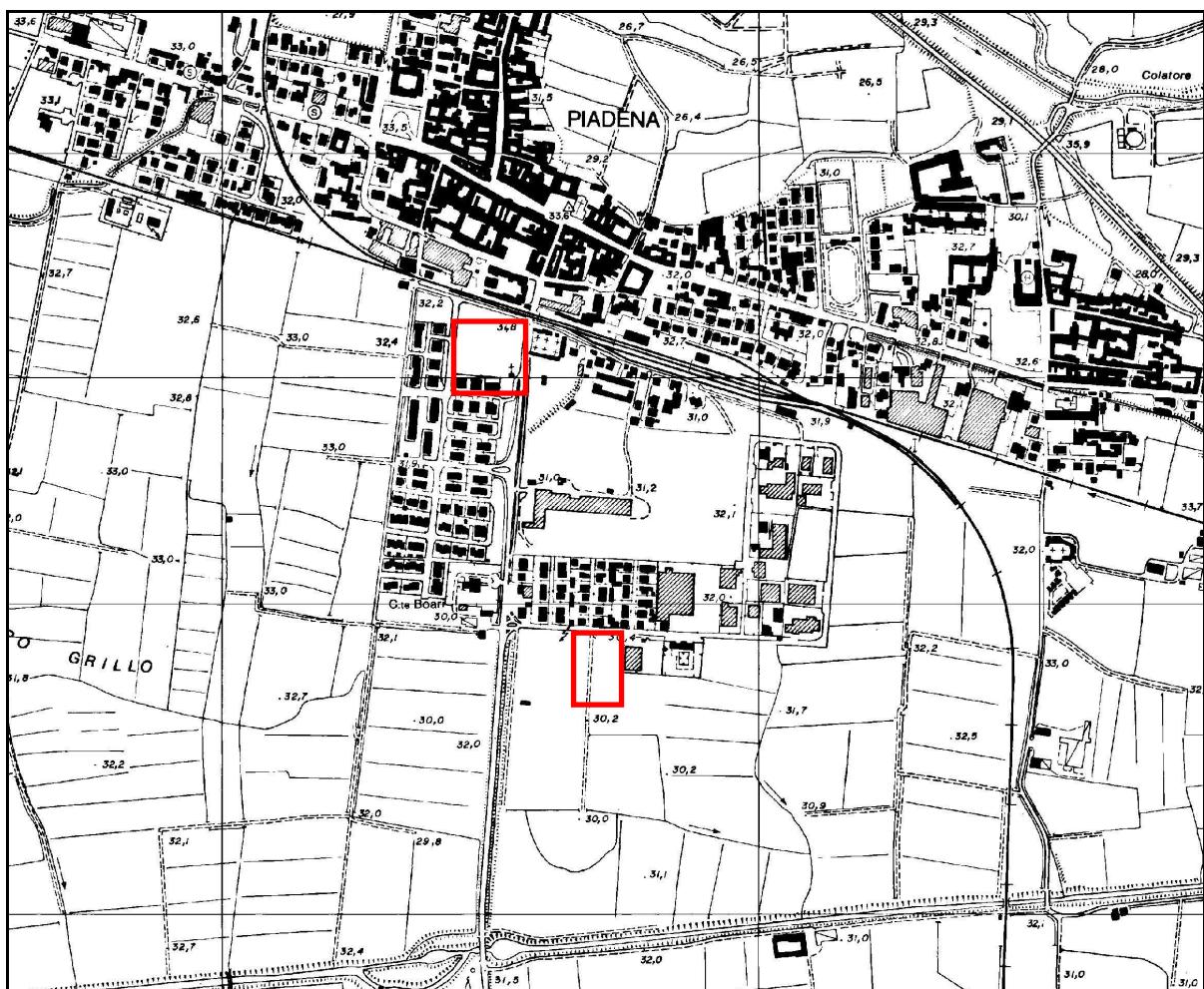


Figura 1: Ubicazione delle due aree campione.

Di seguito si riportano i modelli di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità ottenuti dall'esecuzione dei profili sismici:

| <i>Area 1</i> | | | |
|----------------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| Strato | Spessore [m] | Vs [m/s] | Profondità |
| 1 | 0,54 | 190,04 | 0,54 |
| 2 | 0,67 | 173,98 | 1,21 |
| 3 | 0,84 | 166,36 | 2,05 |
| 4 | 1,05 | 237,02 | 3,09 |
| 5 | 1,31 | 258,54 | 4,40 |
| 6 | 1,64 | 192,91 | 6,04 |
| 7 | 2,05 | 191,84 | 8,09 |
| 8 | 2,56 | 274,77 | 10,65 |
| 9 | 3,20 | 303,46 | 13,85 |
| 10 | 4,00 | 196,17 | 17,84 |
| 11 | 4,46 | 394,02 | 22,31 |
| 12 | 8,22 | 657,12 | 30,53 |

Tabella 3: AREA 1 -modello sismico monodimensionale.

| <i>Area 2</i> | | | |
|----------------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| Strato | Spessore [m] | Vs [m/s] | Profondità |
| 1 | 0,57 | 222,45 | 0,57 |
| 2 | 0,72 | 219,01 | 1,29 |
| 3 | 0,90 | 209,77 | 2,19 |
| 4 | 1,12 | 219,13 | 3,31 |
| 5 | 1,40 | 247,88 | 4,71 |
| 6 | 1,75 | 271,58 | 6,46 |
| 7 | 2,19 | 258,60 | 8,65 |
| 8 | 2,74 | 204,22 | 11,39 |
| 9 | 3,42 | 174,17 | 14,81 |
| 10 | 4,28 | 268,92 | 19,08 |
| 11 | 5,34 | 377,69 | 24,42 |
| 12 | 6,11 | 604,29 | 30,53 |

Tabella 4: AREA 2 -modello sismico monodimensionale.

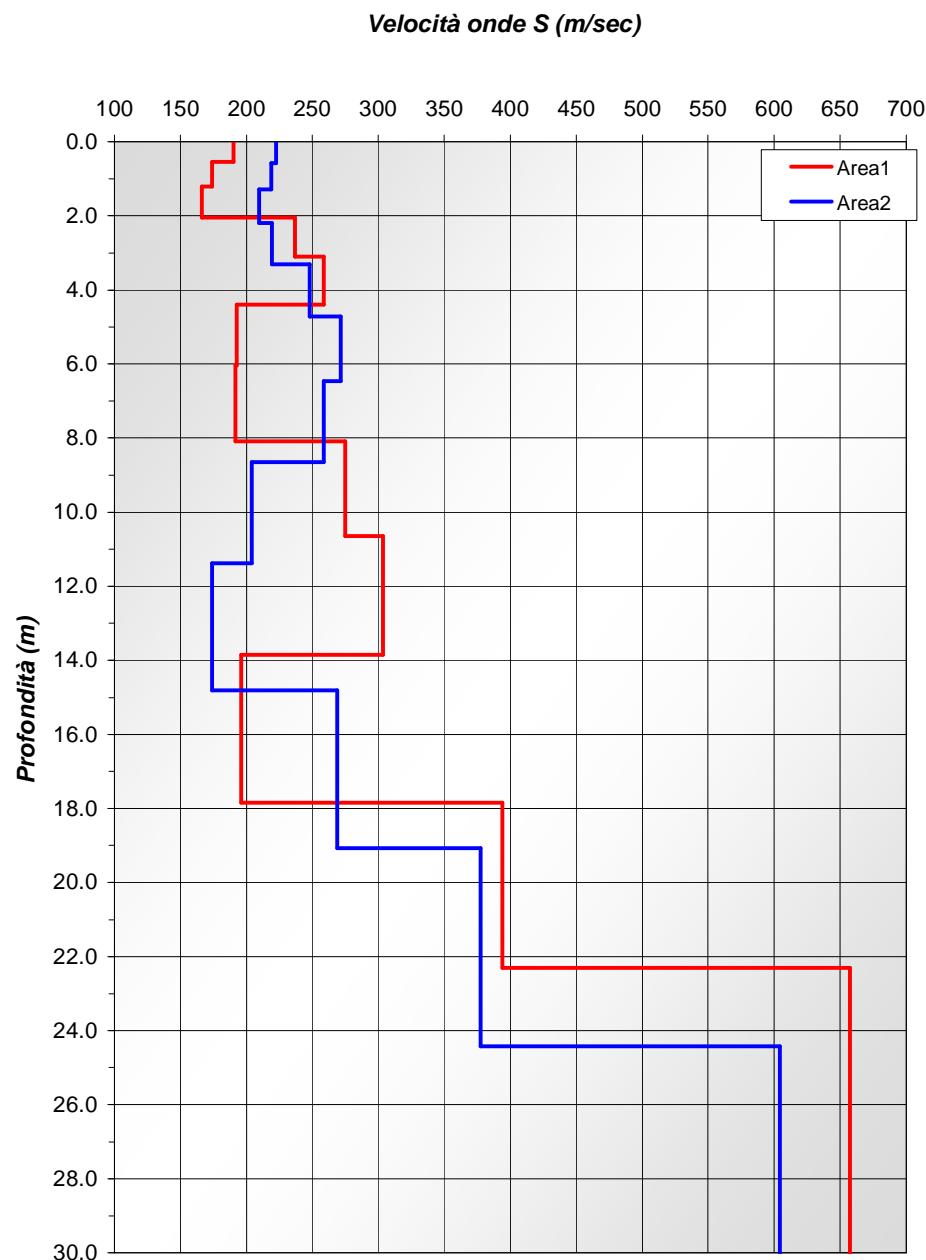


Figura 2: andamento V_s -profondità per le due aree campione analizzate.

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 scheda³).

All'interno della scheda stabilita, in funzione della profondità e della 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 fino al bedrock sismico (strato con $Vs > 800$ m/s).

Non essendo stato rilevato direttamente, il bedrock sismico è stato ipotizzato assegnando un gradiente di tipo logaritmico delle velocità delle onde S con la profondità, desunto dai dati misurati nelle prove.

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

Sulla base dei modelli monodimensionali ricostruiti, si ottengono i seguenti risultati:

| Area | Curva | Scheda | Periodo T _o | Fa (0.1-0.5) | Fa (0.5-1.5) |
|------|-------|-------------------|------------------------|--------------|--------------|
| I | 1 | Limoso-sabbiosa 2 | 0.34 s | 2.38 | 1.31 |

³ 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. La procedura prevede 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.

| | | | | | |
|---|---|-------------------|--------|------|------|
| 2 | 1 | Limoso-sabbiosa 2 | 0.37 s | 2.40 | 1.35 |
|---|---|-------------------|--------|------|------|

Tabella 5 : valutazione dei fattori di amplificazione per le aree campione.

Analisi dei dati e considerazioni

I valori di Fa proprio del sito devono essere confrontati con il valore di soglia (tabella 1a), differente per le diverse categorie di suolo.

Le categorie di suolo di fondazione, secondo l'OPCM 3274, il DM 14.09.2005 e il DM 14.01.2008, risultano così identificate:

| Categoria | Descrizione del profilo stratigrafico | Parametri | | |
|-----------|---|------------------------|------------------|----------------------|
| | | V _{s30} (m/s) | N _{SPT} | C _u (kPa) |
| A | <i>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</i> , 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 | <i>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</i> , con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità | 360-800 | >50 | >250 |
| C | <i>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza</i> , con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri | 180-360 | 15-50 | 70-250 |
| D | <i>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</i> | <180 | <15 | <70 |
| E | <i>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali</i> , 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} > 800m/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 dai profili Vs-profundità ricostruiti per le due aree campione è stato 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 i seguenti risultati:

| Area | V_{s30} [m/s] | Categoria di suolo |
|------|-----------------|--------------------|
| 1 | 289.48 | C |
| 2 | 277.49 | C |

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

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

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

Ciò implica che la normativa antisismica (D.M. 14.09.2005 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, è ragionevole ipotizzare 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. 2616/2011) 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, venga preventivamente valutata la pericolosità sismica locale attraverso il 2° livello di approfondimento (D.G.R. 2616/2011); 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.