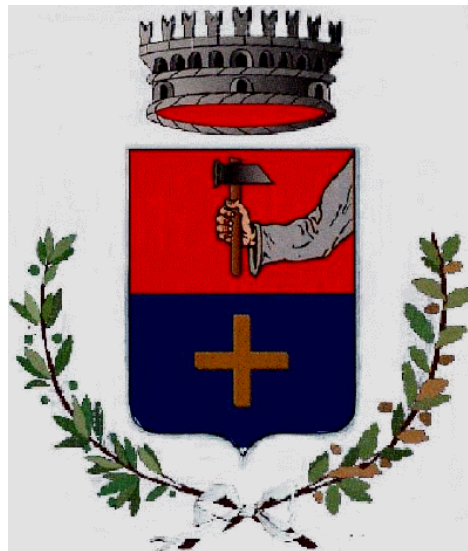

Comune di MALEO
Provincia di LODI



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

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

Giugno 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

1. OBIETTIVI e METODO DI STUDIO	4
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	6
3. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO.....	10
4. CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE	13
4.1. Il “Sistema dei terrazzi alluvionali dell’Adda”	14
4.2. Il “Livello Fondamentale della Pianura” e le forme ad esso associate	17
4.3. Forme dovute all’attività antropica.....	18
5. INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA E PEDOLOGICA	19
5.1. Caratterizzazione litologica	19
5.2. Caratterizzazione pedologica.....	21
6. RETICOLATO IDROGRAFICO	23
6.1. Il Fiume Adda.....	24
6.2. Gli eventi di piena dell’Adda.....	33
7. IDROGEOLOGIA	37
7.1. Caratteristiche idrogeologiche generali	37
7.2. Caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale.....	40
7.3. Censimento e catalogazione dei pozzi	46
7.4. Indagine piezometrica.....	46
7.5. Vulnerabilità degli acquiferi	48
8. PERICOLOSITA’ SISMICA LOCALE	53
8.1. Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di Maleo	53
8.2. Descrizione della sismicità	59
8.3. Pericolosità sismica.....	63
9. CARTA DI SINTESI	70
10. CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI	72

Allegato 1 - STRATIGRAFIE DEI POZZI PUBBLICI (inattivi e chiusi o dismessi dall’uso acquedottistico)

Allegato 2 - ELENCO DEI POZZI CENSITI SUL TERRITORIO COMUNALE

TAVOLE ALLEGATE

- **Tavola 1:** Carta geologica e geomorfologica
- **Tavola 2:** Carta pedologica e di prima caratterizzazione litotecnica
- **Tavola 3:** Carta del reticolo idrico
- **Tavola 4:** Carta idrogeologica
- **Tavola 5:** Carta degli scenari di pericolosità sismica locale
- **Tavola 6:** Carta di sintesi
- **Tavola 7:** Carta dei vincoli geologici
- **Tavola 8:** Carta di fattibilità geologica delle azioni di piano (scala 1:10.000)
- **Tavola 9:** Carta di fattibilità geologica delle azioni di piano (scala 1:5.000)

1. OBIETTIVI e METODO DI STUDIO

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

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

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

Durante la fase di analisi è stata prodotta la cartografia di base e di inquadramento (scala 1:10.000) costituita dalla Carta geologica e geomorfologica (Tavola 1), dalla Carta pedologica e di prima caratterizzazione litotecnica (Tavola 2), dalla Carta del Reticolo Idrico (Tavola 3), dalla Carta Idrogeologica (Tavola 4) e dalla Carta degli scenari di pericolosità sismica locale (Tavola 5). La lettura integrata delle informazioni relative alle tavole di analisi presentate in allegato ha consentito una comprensione in chiave interpretativa dei fenomeni morfogenetici e sedimentari che hanno dato vita al lembo di pianura occupato dal Comune di Maleo.

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 presente lavoro all’interno del capitolo dedicato all’idrogeologia.

Per quanto concerne la fase di analisi, essa è stata redatta anche sulla base delle informazioni contenute nello studio geologico allegato al vigente PRG (Variante generale del PRG, Studio geologico, A. Scotti, 1998).

- Durante la seconda fase sono stati interpretati e correlati i dati raccolti in precedenza con l’obiettivo di formulare proposte attraverso una lettura del territorio in chiave sia geologico-

ambientale, sia delle vocazioni d'uso. A tale scopo è stata prodotta la Carta di Sintesi (Tavola 6) e la Carta dei Vincoli Geologici (Tavola 7) (entrambe alla scala 1:10.000), nelle quali vengono evidenziati gli aspetti più significativi emersi dalla fase di analisi e gli elementi normativi vincolanti sotto il profilo geologico. Lo scopo della cartografia è stato quello di definire le limitazioni d'uso e proporre una zonazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità geologica e geotecnica e della vulnerabilità idraulica e idrogeologica.

- Quale strumento finale vengono proposte le Norme Geologiche di Attuazione e la Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano (Tavole 8 e 9), alla quale viene allegata una tabella riassuntiva degli elementi limitanti per ciascuna classe di fattibilità. L'elaborato è stato redatto sia in scala 1:10.000 (su base C.T.R.), sia in scala 1:10.000 (su carta derivata da rilievo aerofotogrammetrico).

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

Si precisa che l'incarico per la predisposizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT è stato affidato allo scrivente dall'Amministrazione comunale nell'anno 2010. Per tale ragione, il presente studio è stato redatto utilizzando come riferimento metodologico la D.G.R. n. 8/7374, così come disposto dalla più attuale D.G.R. 2616/2011 generalmente citata negli elaborati.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

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

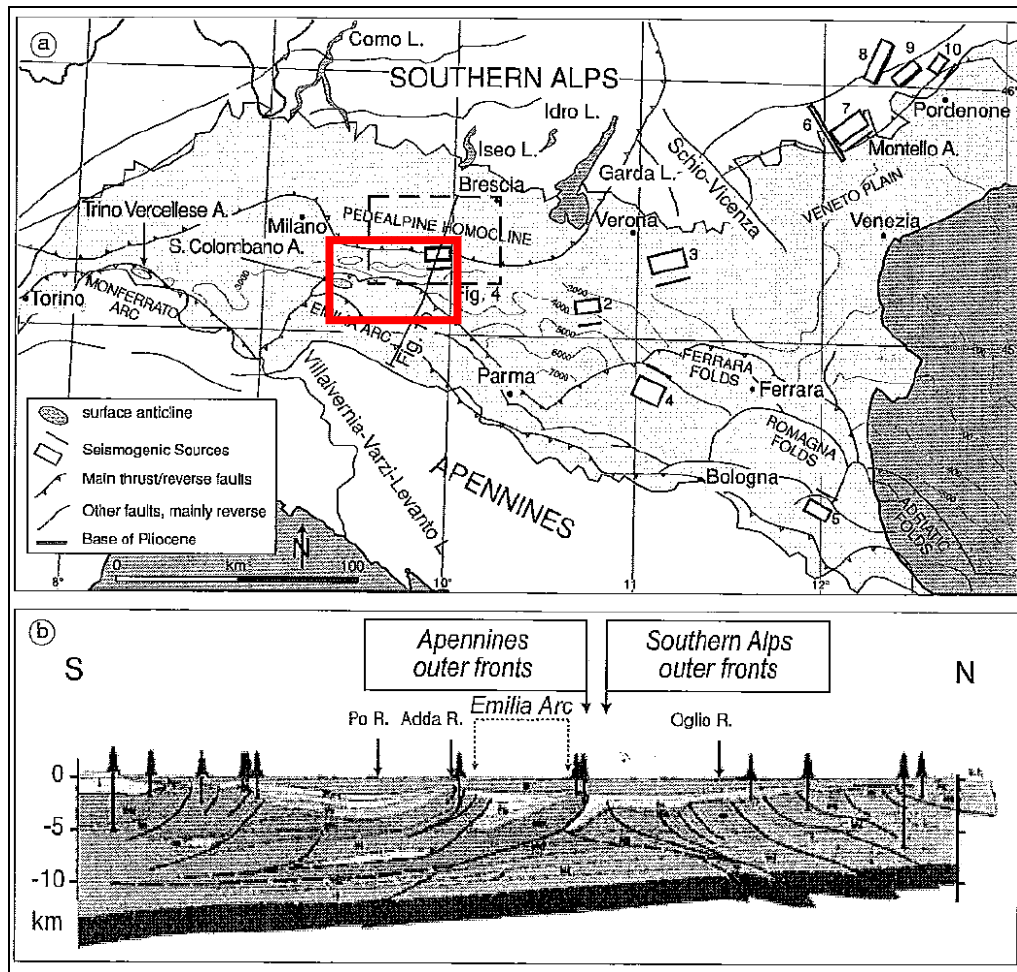
Al di sotto dei depositi continentali affioranti nell'ambito di indagine (che presentano spessori di migliaia metri), si sviluppa un basamento di origine marina per il quale le prospezioni geofisiche, eseguite a scopo di ricerca petrolifera, hanno permesso di rilevare una situazione strutturale complessa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

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

In linea generale, l'evoluzione geologica della Pianura Padana deriva dalla convergenza della placca Africana e di quella Europea; il bacino sedimentario corrispondente alla Pianura Padana si colloca nell'estremità settentrionale della microplacca Adria (un promontorio della zolla africana). Sin dal tardo Cretacico, la Pianura Padana ha rappresentato la parte frontale di due catene di opposta convergenza: l'Appennino settentrionale (N-vergente) e le Alpi meridionali (S-vergenti). Lo scontro tra le due catene ha strutturato la serie di bacini di piggy-back sopra menzionati, ospitati sul fronte della placca Adria, dove una potente successione sin-orogenetica è andata progressivamente depositandosi.

Studi sulla base della sequenza plio-quadernaria nella porzione centrale e meridionale della Pianura Padana (Pieri e Groppi, 1981) mostrano lo sviluppo di tre grandi archi costituiti da thrust ciechi N-vergenti che costituiscono il fronte più avanzato della struttura appenninica settentrionale: l'Arco del Monferrato (Elter e Pertusati, 1973), l'Arco Emiliano e l'Arco Ferrarese-Romagnolo.

In tale contesto, il Comune di Maleo si sviluppa sul fronte settentrionale dell'Arco Emiliano.

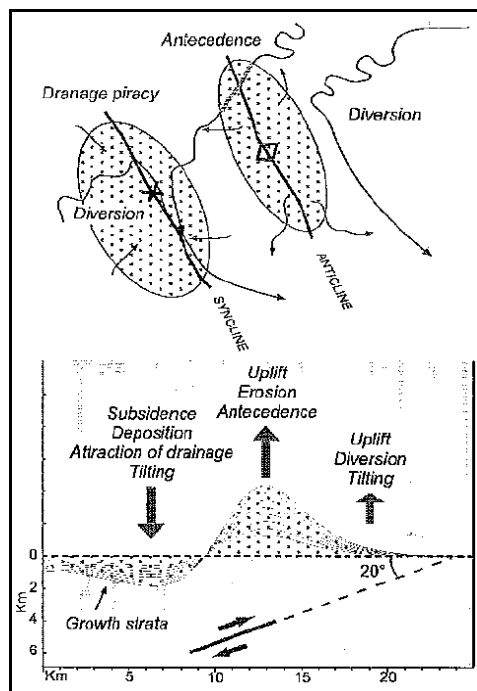


Schema tettonico del substrato della Pianura Padana
 (“Pieri and Groppi, 1981” in “Burrato et al.”, 2003)

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

A sostegno di questo fatto, molti Autori indicano sia gli affioramenti di sedimenti pre-würmiani che emergono sul “Livello Fondamentale della Pianura” in prossimità degli assi di alcune strutture positive del substrato, sia alcune sintomatiche “anomalie” che si manifestano in taluni tratti dei principali corsi d’acqua.

Tra i condizionamenti strutturali dell'area, il più noto ed evidente è l'antico percorso del Serio in territorio cremonese, noto anche come "Serio di Grumello". Nell'olocene inferiore il Serio sfociava direttamente in Po ad Acquanegra Cremonese percorrendo una direzione N-S sino a giungere a monte di Roggione, ove piegava verso E per assumere un percorso sub-parallelo agli assi strutturali sepolti, indicando un probabile fenomeno di "diversione" fluviale.



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

In una fase successiva il corso d'acqua è riuscito a superare l'ostacolo morfologico (grazie anche la complicità dei fenomeni di sovralluvionamento che caratterizzano i fiumi di pianura del tipo a meandri, quali il Serio e l'Adda), accorciando il proprio percorso sino a sfociare in Adda nei pressi di Pizzighettone.

Dopo una certa persistenza all'interno della nuova valle con direzione circa NNE-SSW (la quale conduceva il Serio alla propria foce nei pressi di Pizzighettone), il corso d'acqua ha abbandonato il suo percorso (anche in questo caso si può ipotizzare un fenomeno di condizionamento neotettonico) per sfociare in Adda molto più a N, nei pressi di Montodine, lasciando come testimone l'attuale Serio Morto e numerosi paleo-alvei.

Anche la stessa direzione dell'Adda potrebbe essere il risultato sinergico fra eventi neotettonici e fenomeni morfogenetici e sedimentari: sovrapponendo il Fiume e la carta

tettonica del substrato sepolto si può osservare come la direzione media sino a Formigara sia sub-parallela agli assi strutturali sepolti, deviando bruscamente verso S tra i territori di Maleo e Pizzighettone (la posizione asimmetrica dell'Adda all'interno della propria valle deriva probabilmente dall'apporto idrico e solido del Serio in sponda sinistra). Alla latitudine di Maleo, l'Adda assume nuovamente una direzione verso quadranti orientali, sub-parallelo agli assi strutturali profondi.

Nonostante ciò, non si rilevano concrete situazioni di rischio derivanti da sismi di superficie; l'ambito comunale, infatti, risulta classificato, secondo la recente normativa (Ordinanza del Pres. Cons. Ministri n. 3274 del 20.03.2003), come zona 4. A tal proposito va considerato come anche nelle aree sismicamente più attive della penisola italiana, i tempi di ritorno per i grandi terremoti siano superiori a 1000 anni, mentre l'attuale catalogo storico dei terremoti (considerato completo per eventi di magnitudo superiore a 5.5 solo dopo il 17° secolo) potrebbe non coprire adeguatamente il ciclo sismico della maggior parte delle aree sismogenetiche padane. Tuttavia, il confronto tra le deformazioni verticali a lungo termine (a partire dal Pleistocene superiore) e quelle a breve termine, calcolato utilizzando correlazioni geomorfologiche e misure geodetiche (De Martini et al., 1998), dimostra come per molti dei thrust attivi una buona parte dell'energia venga rilasciata in modo asismico: tale fattore giustificerebbe comunque l'attività neotettonica e il condizionamento della sedimentazione e dei lineamenti morfologici di superficie (Burrato et al., 2003), pur riducendo il rischio sismico a cui è esposta la Pianura Padana.

3. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

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

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

- *Alluvioni attuali (Olocene superiore)* - si tratta di forme deposizionali in evoluzione, poste all'interno dell'alveo inciso del Fiume Adda (isole, barre di accrescimento ecc.) e sono costituite da depositi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi.

- *Alluvioni medio-recenti (Olocene medio- superiore)* – sono i depositi che costituiscono il substrato del principale ripiano posto all'interno della valle dell'Adda, terrazzati sui corsi d'acqua attuali e suddivisi in due superfici: la prima (più recente) corrispondente alla fascia di prima esondazione e la seconda parzialmente inondabile in caso di piene straordinarie.

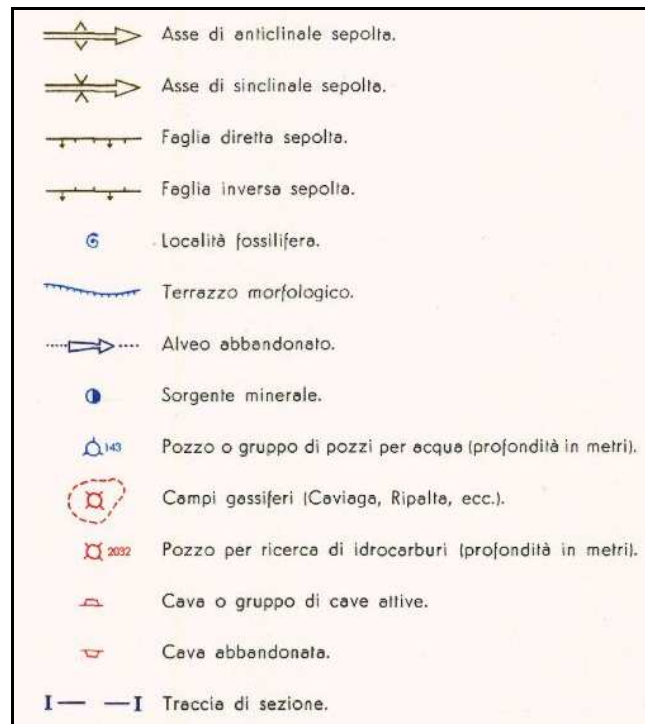
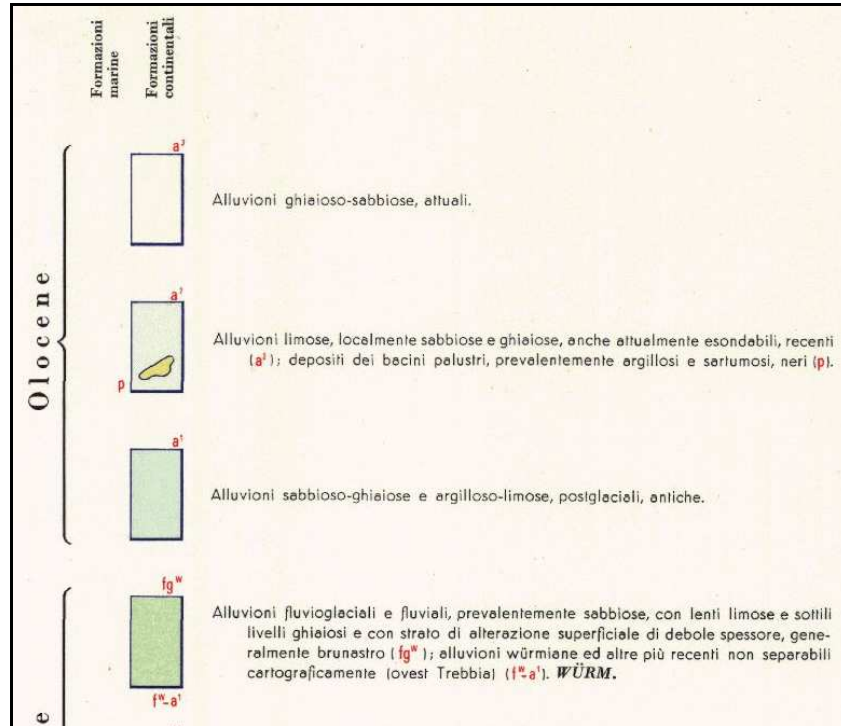
- *Alluvioni antiche (Olocene inferiore)* – si tratta dei depositi olocenici più antichi, presenti isolatamente ai margini della valle dell'Adda e posti in posizione intermedia tra il Livello Fondamentale della Pianura e la piana alluvionale del corso d'acqua, da tempo non più interessati dai fenomeni morfogenetici e deposizionali del corso d'acqua.

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

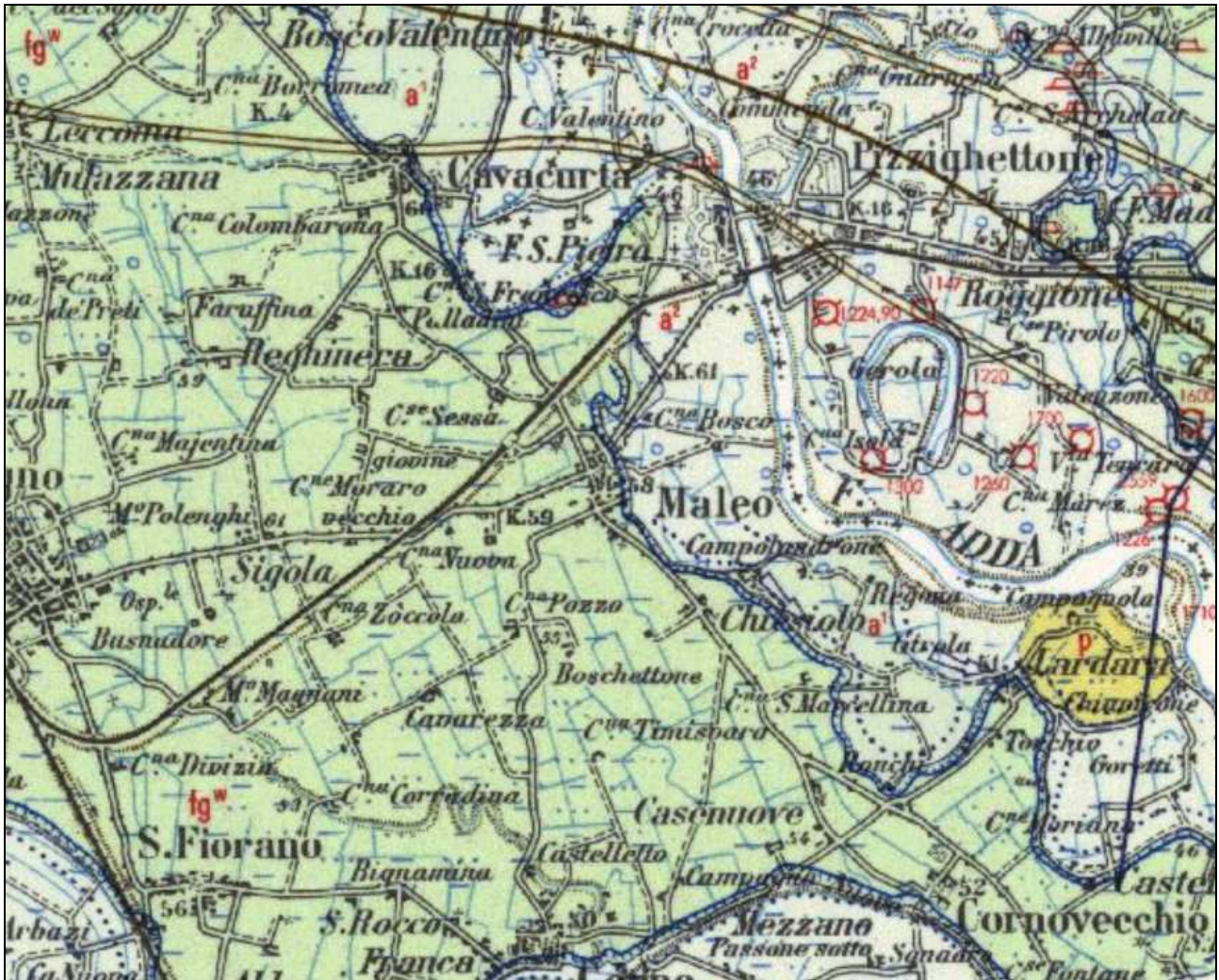
CARTA GEOLOGICA

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

LEGENDA



CARTA GEOLOGICA



4. CARATTERI GEOMORFOLOGICI DEL TERRITORIO COMUNALE

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

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

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

Il territorio di Maleo si sviluppa in sponda destra Adda nella porzione Sud-orientale della pianura lodigiana, è interamente compreso fra le quote di 60 e 42 m s.l.m. (quote dedotte dalla C.T.R.) e si presenta come una serie di ripiani sub-pianeggianti fra loro altimetricamente sfalsati: la continuità morfologica del Comune di Maleo, infatti, è interrotta dalle scarpate che terrazzano i depositi tardo pleistocenici sull'incisione olocenica del fiume Adda.

Nel complesso, il risultato è quello di una serie di terrazzi morfologici a forma di ripiani sovrapposti, di altezza variabile, dovuti ad una successione spazio-temporale di episodi di alterna erosione e sedimentazione ad opera del fiume Adda che ha delineato una tipica valle "a cassetta" e il cui margine è segnato dalla netta scarpata che corre tra gli abitati di Castiglione d'Adda, Camairago, Cavacurta, Maleo, Meleti e Castelnuovo Bocca d'Adda (centri abitati sorti in epoca medioevale su nuclei ancor più antichi, presenti ai margini del terrazzo con lo scopo di controllare la valle dell'Adda sulla quale si affacciano).

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

1. il “Sistema dei terrazzi alluvionali inclusi nella fascia di meandreggiamento dell’Adda”;
2. il “Livello Fondamentale della Pianura”.

4.1. Il “Sistema dei terrazzi alluvionali dell’Adda”

All’interno di questo sistema morfologico si distinguono:

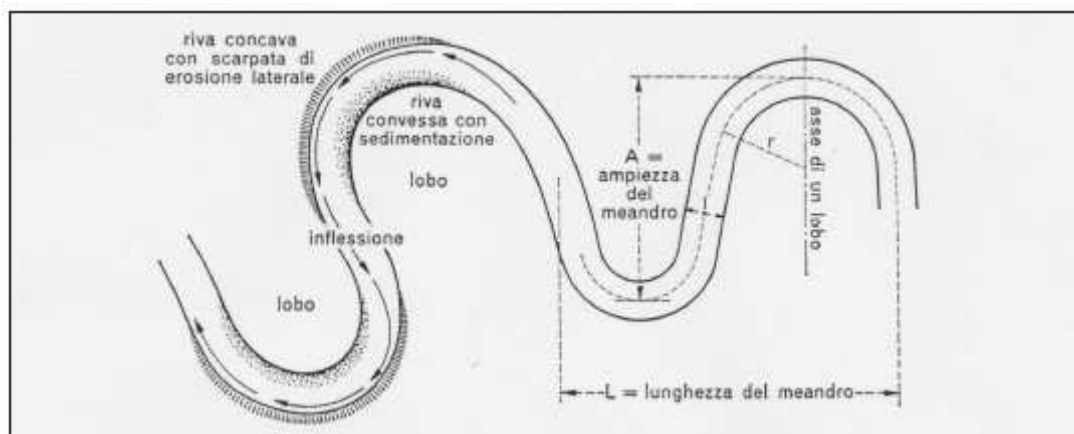
- l’alveo attivo del fiume Adda e le forme in evoluzione ad esso associate (depositi di barra, isole ecc.).
- un vasto ripiano modellato nei depositi olocenici medio-recenti dell’Adda, parzialmente interessato dagli eventi alluvionali più gravosi dell’Adda nella fascia prossima al fiume ove non protetta dai rilevati arginali;
- un discontinuo ripiano terrazzato, sviluppato in posizione intermedia tra la piana alluvionale recente e il Livello Fondamentale della Pianura, da tempo indisturbati dai fenomeni deposizionali e morfogenetici dell’Adda (lombi del ripiano si sviluppano a NNE del capoluogo e tra le C.ne Campolandrone, Regona e Giroletta).

Nel corso del rilevamento di dettaglio del territorio di Maleo, inoltre, sono stati riconosciuti e parzialmente cartografati anche una serie di elementi di origine fluviale: si tratta in genere di piccoli ripiani, dossi e depressioni, talora delimitati da scarpate di modesta entità, la cui evidenza è spesso mascherata dall’intervento antropico. Un’analisi di maggior dettaglio dei ripiani alluvionali dell’Adda, infatti, 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’Adda presenta, in questo tratto di pianura, un tipico alveo di tipo “E”, cioè la caratteristica struttura a meandri di pianura alluvionale soggetta a inondazione durante le piene maggiori. I meandri sono forme fluviali in rapida evoluzione a causa della facile erodibilità delle sponde sabbiose. La pianura circostante, per effetto dei depositi abbandonati durante le inondazioni, tende ad innalzarsi, aumentando nel tempo il dislivello tra il fondo dell’alveo ed il piano di inondazione. L’innalzamento degli argini naturali limita a sua volta le esondazioni, cosicchè i materiali solidi, depositati 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 si sposta verso la parte esterna del meandro e corre in vicinanza della sponda concava, contrariamente a quanto avviene su quella convessa. In una successione di meandri, quindi, la corrente lambisce successivamente la riva destra e la sinistra, descrivendo sinuosità maggiori di quelle mostrate dall'alveo: la capacità erosiva del filone principale della corrente, perciò, tende ad aumentare la sinuosità del fiume in ogni ansa, sottoponendo la riva concava ad una erosione progressiva; sulla sponda convessa, invece, la corrente, più lenta rispetto alla riva concava, abbandona una parte del carico trasportato e deposita la cosiddetta "barra di meandro o lobo" (di natura prevalentemente sabbiosa). Il risultato morfometrico è pertanto quello di una riva concava generalmente più ripida di quella convessa.



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

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

Letto in chiave dinamica, il fenomeno morfogenetico assume significato sia come agente responsabile delle forme inattive (paleoalvei) che ancora oggi si leggono sul territorio

(cartografati con apposita simbologia), sia come elemento di pericolosità in corrispondenza delle sponde concave del corso d'acqua.

Nella cartografia di Tavola 1 sono state evidenziate alcune tracce delle antiche anse meandriche dell'Adda ancora evidenti sul territorio comunale, tra cui:

- quella al confine con il territorio comunale di Cavacurta, sviluppata ai piedi del terrazzo principale (oggi ripercorsa dall'Adda Morta);
- la traccia a E di C.na Casotto di Sotto;
- le tre anse a E del capoluogo, più recenti e progressivamente meglio conservate avvicinandosi all'attuale alveo dell'Adda;
- una debole traccia a E di C.na Campolandrone e quella a S di C.na Giroletta (entrambe modellate sul ripiano alluvionale più antico);
- la traccia al margine del ripiano alluvionale antico (la cui sponda concava è segnata da una evidente scarpata morfologica) a E di C.na Regona.

Va tuttavia precisato come l'evoluzione del grande fiume lombardo tra i territori di Maleo e Pizzighettone non sia frutto soltanto di fenomeni naturali, ma anche di imponenti opere idrauliche eseguite sin dal XVI secolo.

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

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

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

Sono da segnalare inoltre le incisioni ad opera del reticolo idrografico secondario ai margini del L.F.d.P., che interrompono la continuità della scarpata morfologica principale sopra descritta.

4.3. Forme dovute all'attività antropica

Pur non avendo ricostruito cronologicamente le azioni di bonifica che hanno modificato negli ultimi secoli l'assetto planoaltimetrico del territorio e gli interventi idraulici che hanno riguardato le aree prossime all'Adda, si ritiene doveroso riconoscere l'importanza delle opere che hanno interessato il Comune di Maleo a valle delle scarpate morfologiche principali, le quali, sovrapponendosi alla naturale tendenza evolutiva del territorio, hanno reso vivibili zone altrimenti paludose o soggette alla dinamica evolutiva dell'Adda.

Fra le forme di natura antropica sono stati cartografati i rilevati arginali lungo l'Adda, che proteggono il territorio dalle esondazioni del corso d'acqua, le difese spondali (massicciate) in alcuni tratti del fiume, l'Ambito Territoriale Estrattivo individuato dal Piano Cave della Provincia di Lodi (ATEg4), la traversa fluviale a monte della SS 234 e la discarica di rifiuti solidi urbani (R.S.U.) presente a confine con il Comune di Cavacurta.

5. INDAGINE DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA E PEDOLOGICA

5.1. Caratterizzazione litologica

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

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

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

In questo modo sono state definite le seguenti unità:

UNITA' 1 – Depositi prevalentemente sabbiosi con una frazione limosa superficiale generalmente limitata ai primi metri di profondità, frequentemente derivante da fenomeni di alterazione pedogenetica - Classificazione U.S.C.S.: SW, SP, SM con coperture ML, SM – Area di affioramento: Livello Fondamentale della Pianura.

UNITA' 2 – Terreni granulari (sabbia e ghiaia) con coperture limose scarse o assenti - Classificazione U.S.C.S.: GW, SW, SP, SM – Area di affioramento: valle olocenica dell'Adda.

UNITA' 3 – Terreni caratterizzati da frequenti termini coesivi (limo e argilla), talora associati a una componente organica (tipica degli alvei abbandonati del corso d'acqua), seguiti in profondità da depositi granulari generalmente selezionati - Classificazione U.S.C.S.: ML, CL,

OL, OH a copertura di SP, SW – Area di affioramento: paleomeandri dell'Adda (colmati da alluvioni fini e/o depositi organici, noti anche come “clay-plugs”).

UNITA' 4 – Depositi ghiaioso-sabbiosi della fascia perifluviale dell'Adda, caratterizzati da suoli poco evoluti o addirittura assenti – Classificazione U.S.C.S.: GW, SW prevalenti - Area di affioramento: fascia di territorio prossima al corso d'acqua.

Sulla base dell'indagine eseguita si riconoscono aree con significative limitazioni di natura geotecnica soprattutto in corrispondenza dei paleomeandri, ove sono presenti depositi di natura organica. Nella valle olocenica dell'Adda, inoltre, la presenza di acqua di falda a ridotta profondità contribuisce ad una saturazione dei terreni e a un generale peggioramento delle caratteristiche geotecniche dei terreni naturali. Tale fattore trova un suo riscontro nella fattibilità geologica delle azioni di piano e condizionerà le scelte progettuali nel caso di nuovi edifici e infrastrutture: le caratteristiche geotecniche dei terreni e la soggiacenza della falda dovranno divenire oggetto di studio circostanziato nella modellizzazione geologica e geotecnica prevista dal D.M. 14.01.2008 e s.m.i..

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

5.2. Caratterizzazione pedologica

Nella cartografia di Tavola 2 è stata rappresentata la distribuzione areale delle classi pedologiche tratte dal “Progetto Carta Pedologica – I SUOLI DEL CODOGNESE (ERSAL, 2002)”: in questo modo è stato possibile associare, ad aspetti puramente litologici, anche indicazioni relative allo sviluppo e alle caratteristiche dei suoli presenti nel territorio comunale.

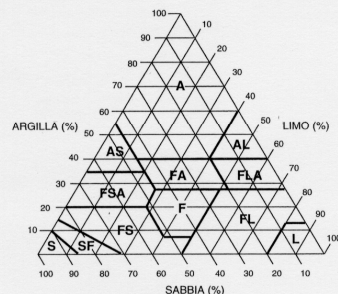
Una prima classificazione è stata compiuta alla scala delle unità di paesaggio (o morfologiche), operando una distinzione tra:

1. Il Sistema del Livello Fondamentale della Pianura, ove si sviluppano suoli da moderatamente profondi a molto profondi, con substrato sabbioso, a tessitura da fine a grossolana, con capacità di drenaggio da mediocre a buono.
2. Il Sistema della valle alluvionale del fiume Adda, dove i suoli si presentano da sottili a moderatamente profondi, con substrato generalmente sabbioso, tessitura spesso fortemente contrastante, con capacità di drenaggio da molto lento a buono.

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

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

Tessitura



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

Drenaggio

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

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

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

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

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

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

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

6. RETICOLATO IDROGRAFICO

Per effetto dell'art. 1 della L. 36/94 e del successivo regolamento di applicazione (DPR 238/99), il concetto di acqua pubblica è stato modificato 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 di bonifica.

Nella Carta del Reticolo Idrografico di Tavola 3 è stato individuato l'intero reticolato idrografico come definito sulla base di specifico studio redatto in conformità alle disposizioni della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 e s.m.i. (al quale si rimanda per ogni dettaglio).

Per quanto concerne le caratteristiche idrografiche del territorio di Maleo, è possibile individuare due unità distinte: il Livello Fondamentale della Pianura e la valle del fiume Adda.

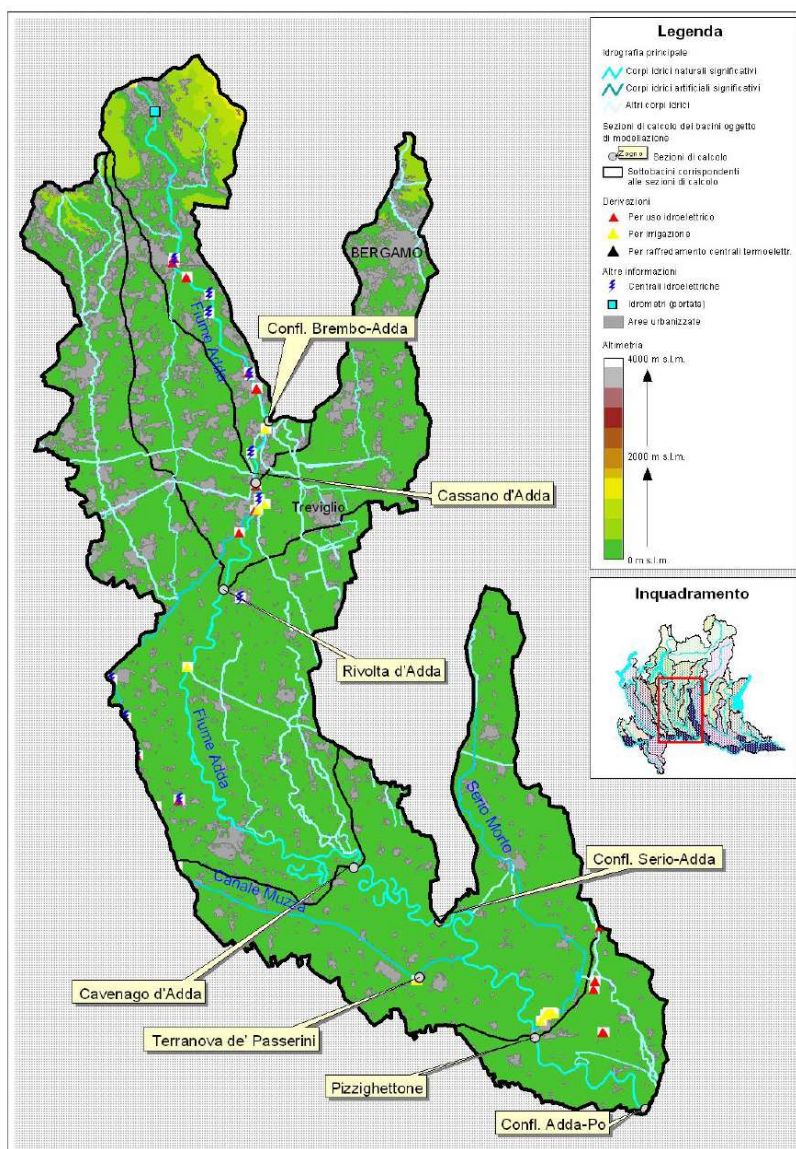
1. La prima unità (Livello Fondamentale della Pianura) si presenta come una superficie sub-pianeggiante, modestamente immergente verso quadranti orientali e caratterizzata da una significativa monotonia planare. Nel sottosuolo la falda idrica si sviluppa a profondità variabile (fortemente influenzata dall'effetto drenante esercitato dall'Adda a valle delle alte scarpate morfologiche) e il reticolo 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.

2. La seconda unità (valle dell'Adda) si articola a valle di una serie di scarpate morfologiche, occupa la depressione olocenica del corso d'acqua ed è caratterizzata da un reticolo alimentato:
 - c. dalle colature provenienti dal sovrastante terrazzo;
 - d. da fenomeni di affioramento della falda idrica sotterranea.

6.1. Il Fiume Adda

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

Considerata la mole di dati necessaria ad una dettagliata analisi dell'Adda e viste le finalità del presente studio, in questa sede ci si è limitati ad evidenziare le caratteristiche salienti del Fiume estratte dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) e dal P.T.U.A. della Regione Lombardia.



Caratteristiche generali¹

Il Fiume Adda si distende con un percorso di circa 313 km ed interessa un'area di circa 7.979 km². Il suo corso è diviso in tre tratti distinti: il bacino sopralacuale, il Lago di Como e il comprensorio di pianura a valle del lago.

Il corso dell'Adda sublacuale, lungo il quale si sviluppa il territorio di Maleo, segue nella prima parte del suo percorso la direzione nord-sud per circa 60 km (fino all'altezza di Lodi), per poi piegare verso quadranti orientali; nel tratto sub-lacuale riceve le acque dei due affluenti principali, il Brembo e il Serio.

L'asta dell'Adda, a valle della confluenza del Brembo, è suddivisibile in tre tronchi omogenei per caratteristiche geometriche, morfologiche e idrauliche.

Il tronco di monte ha un alveo meandriforme, con curvature poco accentuate e presenza di formazioni alluvionali alimentate dall'apporto del Brembo, costituite in massima parte da ciottoli e ghiaia grossolana. La sezione dell'alveo inciso ha larghezza media di circa 200 m e altezza media di circa 6 m. Gli accumuli di materiale d'alveo comportano condizioni di deflusso irregolari, con conseguenti possibili fenomeni di instabilità morfologica.

Il tronco intermedio ha un alveo meandriforme, con curvatura più accentuata a monte e meno accentuata fino alla confluenza con il Serio, in cui permangono fenomeni di instabilità morfologica. La geometria dell'alveo è contraddistinta da una larghezza media di 80-100 m e da un'altezza di sponda media di 5,5 m. La pendenza, relativamente modesta rispetto ai tratti a monte, favorisce il deposito di materiale a granulometria medio-fine (nel campo delle ghiaie e delle sabbie). Le formazioni alluvionali presenti sono alimentate ancora dall'apporto del Brembo e dalle erosioni di sponda riscontrabili in numerosi tratti.

Il tronco finale, prossimo alla confluenza con il Po, ha un andamento a meandri con curvatura accentuata su cui sono inserite opere spondali e presenta fenomeni di instabilità evidenziati dalle locali tendenze all'erosione di sponda. Le caratteristiche geometriche dell'alveo sono contraddistinte da una larghezza media pari a 100-120 m, con tendenza a presentare valori più ridotti all'uscita delle curve, e da una altezza media di sponda di 6-7 m. Il materiale d'alveo è di tipo ghiaioso, con presenza di lenti di sabbia molto consistenti.

¹ Dati estratti dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico

Aspetti idrologici: Caratteristiche generali

L'Adda è caratterizzato da un regime pluviometrico di tipo continentale, con massimi estivi e minimi invernali. I sottobacini dell'Adda alpino, in riferimento ad eventi a tempo di ritorno 100 anni presentano contributi specifici unitari assai elevati, dell'ordine di $2 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$. A causa della confluenza di molti bacini secondari dotati di apporto di piena elevato, l'Adda a Tirano presenta un contributo specifico unitario di piena di $0,7 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$. Tale contributo unitario di piena diminuisce lungo lo sviluppo del corso d'acqua, dallo 0,7 di Tirano allo 0,55 di Fuentes, allo 0,2 di Olgiate e Pizzighettone.

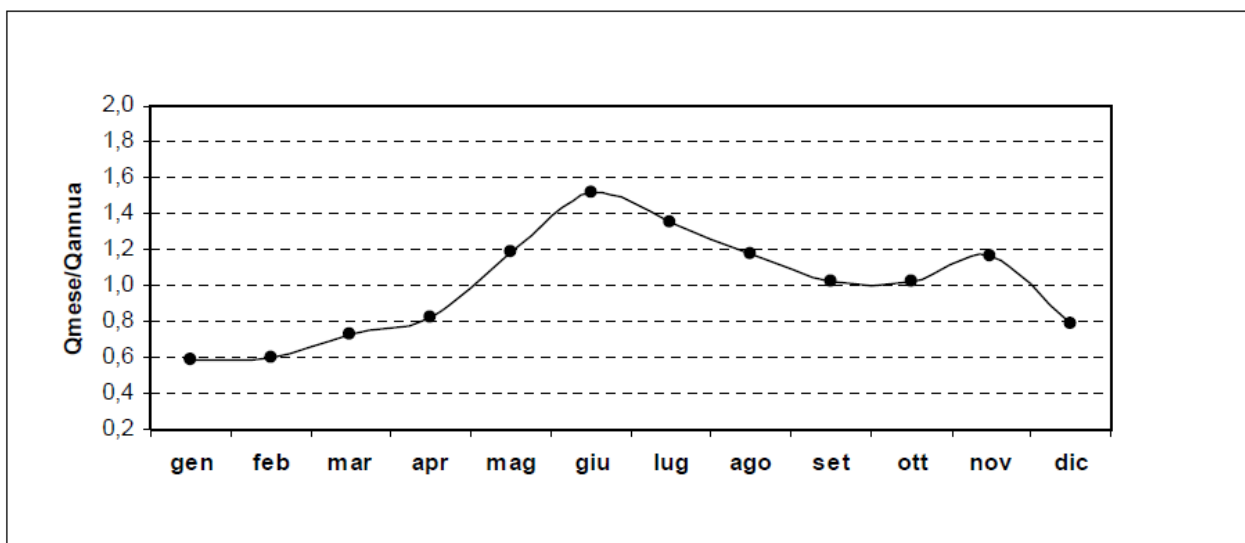
Il regime di deflusso a valle del lago di Como è influenzato dall'effetto di laminazione e regolazione sulle portate. Il volume regolato nel lago è di circa 247 milioni di m^3 .

A scala locale sono disponibili dal Programma Tutela e Uso Acqua (P.T.U.A.) della Regione Lombardia alcune informazioni sulle portate medie naturali dell'Adda a Pizzighettone, sintetizzate nella tabella e nel grafico seguenti.

Portate medie mensili dell'Adda a Pizzighettone (m^3/s).

	<i>gen</i>	<i>feb</i>	<i>mar</i>	<i>apr</i>	<i>mag</i>	<i>giu</i>	<i>lug</i>	<i>ago</i>	<i>set</i>	<i>ott</i>	<i>nov</i>	<i>dic</i>	<i>media annua</i>
naturali	170.92	175.33	212.01	240.88	346.12	442.78	394.65	341.76	296.95	296.85	338.47	230.56	291.13

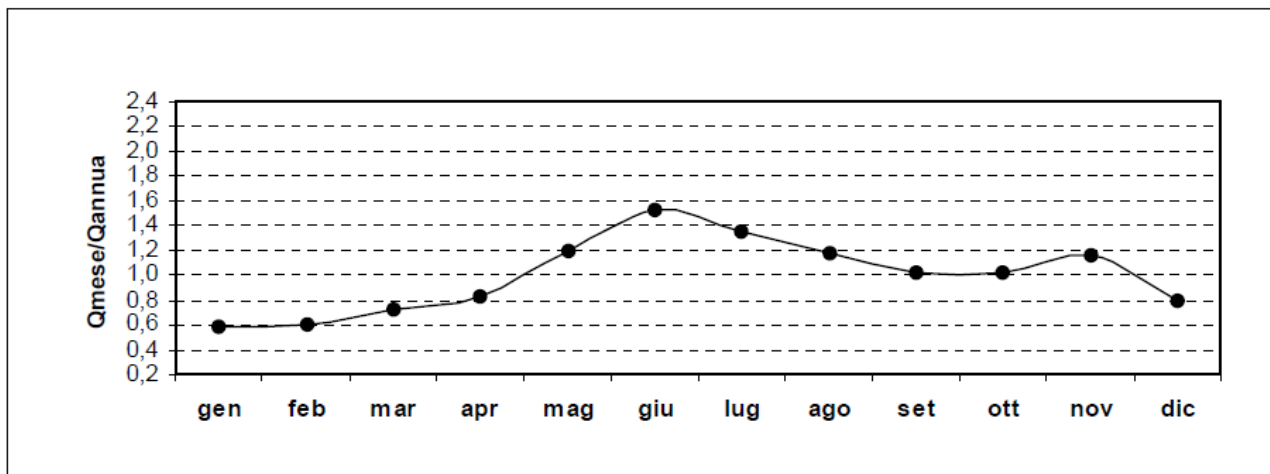
Andamenti percentuali rispetto alla media annua delle portate medie mensili naturali per l'Adda a Pizzighettone.



Portate medie mensili naturali calcolate alla confluenza in Po (m³/s).

	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	media annua
naturali (Poli03)	172.67	177.12	214.19	243.35	349.67	447.32	398.70	345.26	299.99	299.89	341.94	232.92	294.11

Andamenti percentuali rispetto alla media annua delle portate medie mensili naturali per l'Adda a Pizzighettone e utilizzati per la sezione dell'Adda alla confluenza con il Po



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

Portate di piena e piene storiche

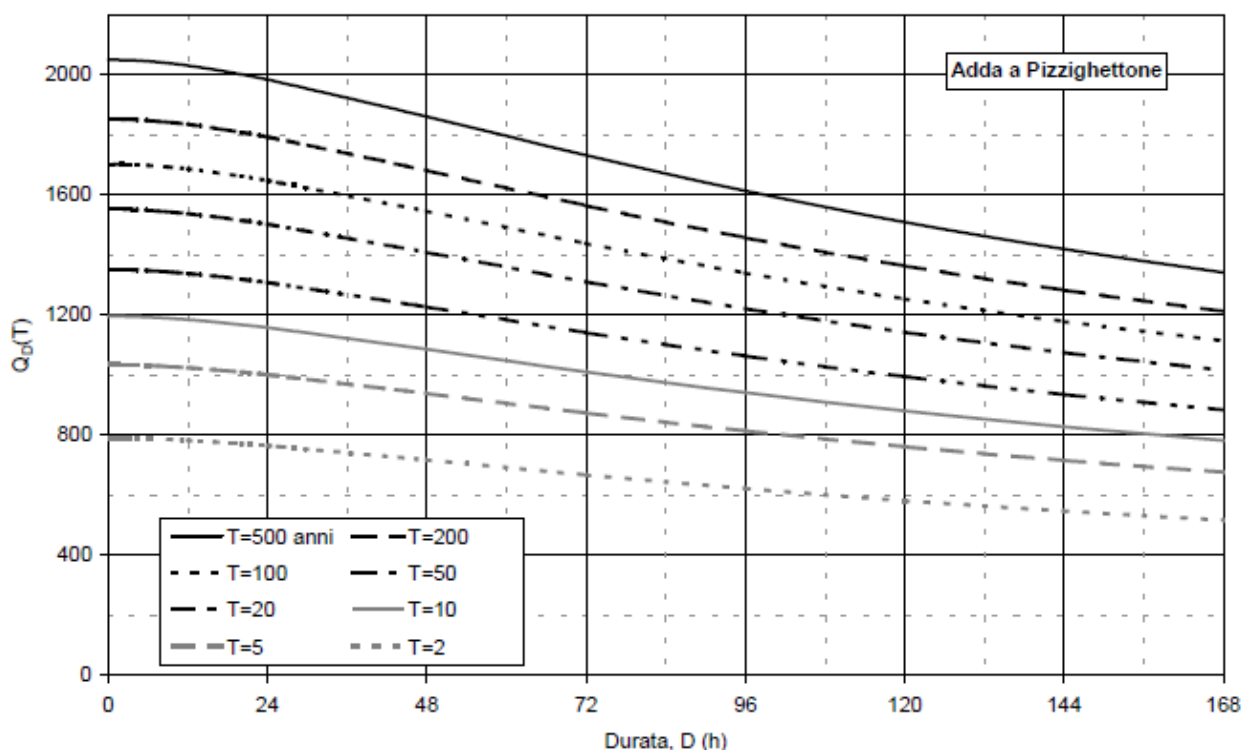
Nel bacino idrografico dell'Adda le stazioni di misura per le quali sono disponibili valori storici delle portate di piena significativi sono elencate nella tabella seguente

Sezione	Superficie km ²	Hmedia m s.m.	Hmin m s.m.	Qmax m ³ /s	qmax m ³ /s km ²	Data
Adda a Tirano	906	2.136	430	540	0,60	01/11/1926
Adda a Fuentes	2.598	1.841	198	1.190	0,46	22/08/1911
Adda a Ponte di Lecco (Fortilizio)	4.508	1.560	197	1.070	0,24	06/10/1898
Adda a Lavello	4.572	1.569	195	738	0,16	03/09/1965
Adda a Pizzighettone	7.775	1.157	40	1.650	0,21	17/09/1888
Brembo a Ponte Briolo	765	1.140	230	1.580	2,07	07/11/1928
Serio a Ponte Cene	455	1.335	353	547	1,20	10/11/1927

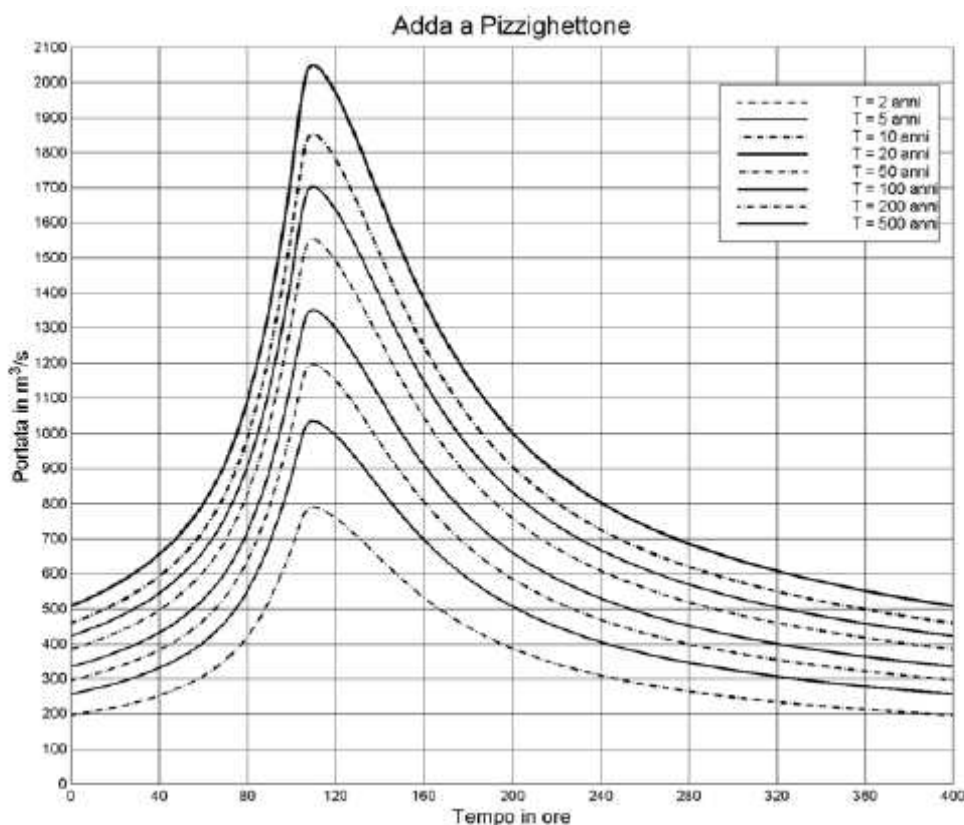
Il più recente “Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po”, redatto dalla stessa Autorità di Bacino del fiume Po (2004), stima le portate al colmo per dati tempi di ritorno nel seguente modo.

Tabella 1 – Fiume Adda. Stime delle portate al colmo di assegnato tempo di ritorno $Q(T)$ in mc/s nelle sezioni di interesse

Tempo di ritorno T (anni)	Sezione			
	Lavello	Confluenza Brembo	Confluenza Serio	Pizzighettone
2	502	807	830	790
5	657	1074	1087	1035
10	760	1252	1256	1196
20	858	1422	1419	1351
50	986	1642	1630	1552
100	1081	1806	1788	1703
200	1177	1971	1946	1853
500	1302	2187	2153	2050



Stime delle portate medie di assegnata durata e tempo di ritorno $Q_d(T)$ per il Fiume Adda a Pizzighettone.



Onde di piena di assegnato tempo di ritorno per il Fiume Adda a Pizzighettone.

Trasporto solido

La caratterizzazione del bacino in rapporto al trasporto solido nell'asta principale è definita dai seguenti elementi:

- la quantità di sedimenti mediamente prodotta dal bacino montano in funzione delle specifiche caratteristiche geologico-geomorfologiche e climatiche,
- la capacità media di trasporto solido dell'asta principale in funzione delle caratteristiche idrologiche, geometriche, granulometriche del materiale d'alveo e idrauliche.

La seguente tabella riassume la quantità di sedimento media e la capacità di trasporto dell'asta principale.

Asta fluviale	Capacità di trasporto al fondo 10 ³ m ³ /anno	Capacità di trasporto in sospensione 10 ³ m ³ /anno	Capacità di trasporto totale 10 ³ m ³ /anno
Adda (sublacuale monte Brembo)	103,3	4,0	107,3
Adda (sublacuale: tra Brembo e Serio)	180,0	89,3	269,3
Adda (sublacuale: tra Serio e confl.)	157,2	83,3	240,5
Serio	23,5	24,5	48,0
Brembo	39,9	85,4	125,3

Assetto morfologico e idraulico

L'Adda sottolacuale, da Rivolta d'Adda a Lodi, mantiene un alveo monocursale meandriforme; localmente sono presenti isole e barre laterali attive e ha subito locali variazioni (in particolare nella zona di Boffalora) che hanno determinato un aumento della sinuosità. Si riscontrano evidenze di abbassamento d'alveo locali e scarsamente significative a valle del ponte di Spino d'Adda (difeso da una briglia di fondo), con trasformazione di alcune barre laterali in golene stabili, e all'altezza di Corneliano Bertanio, con la sparizione in sinistra di una lanca e zone umide collegate. Il corso d'acqua attraversa numerosi abitati che interferiscono marginalmente con le aree golenali, malgrado gli sporadici fabbricati o gli insediamenti in prossimità dell'alveo; è attraversato sporadicamente da infrastrutture viarie tra cui le più importanti sono le SS. 11 e 415 e la linea ferroviaria Milano-Venezia.

Da Lodi alla confluenza del Serio l'evoluzione del corso d'acqua, di struttura monocursale meandriforme, è stata caratterizzata da continue modificazioni dell'andamento planimetrico, in relazione a successivi tagli di meandro, evidenziati dalla presenza pressoché continua entro la regione fluviale di antiche anse abbandonate. Particolarmente significativo risulta il taglio avvenuto all'altezza di Cavenago d'Adda, dove un'ampia ansa di circa 6,5 km è stata sostituita da un tratto sub-rettilineo lungo circa 750 m. Non si osservano evidenze significative di abbassamento dell'alveo anche se tale fenomeno interessa verosimilmente almeno i settori a monte delle anse tagliate, in relazione all'aumento di pendenza d'alveo innescato dai fenomeni di taglio stessi.

Dalla confluenza Serio a Pizzighettone si rilevano fenomeni di taglio di meandri relativamente diffusi, tutti piuttosto antichi. L'unica modificazione rilevante recente riguarda il taglio del meandro in corrispondenza della confluenza con il Serio e la conseguente variazione del punto di confluenza stesso.

Da Pizzighettone al Po l'alveo ha subito modificazioni significative per taglio di meandri in epoca piuttosto antica. Si manifestano significativi fenomeni di erosione spondale nel tratto più prossimo alla confluenza con il Po.

Fenomeni di erosione spondale

L'erosione spondale, per il corso d'acqua dell'Adda sublacuale, risulta quasi totalmente assente e comunque con incidenza minima sull'assetto morfologico, garantito anche da un elevato e diffuso grado di sistemazione idraulica.

Tendenza evolutiva

Il fiume Adda sublacuale, fino a Lodi, non risulta interessato da evidenti abbassamenti del fondo alveo, anche in relazione alla diffusa presenza di opere trasversali che hanno effetto stabilizzante. Solo localmente si osservano variazioni significative del profilo di fondo alveo, come nel tratto a monte di Bisnate dove sono riscontrabili abbassamenti di circa 1 m; abbassamenti di fondo interessano anche il tratto da Bisnate a Lodi, confermati dalla trasformazione di barre laterali in golene stabili nonché dalla disattivazione di rami secondari. Da Lodi alla confluenza in Po, l'alveo è stato interessato da instabilità planimetrica caratterizzata da migrazioni di meandro, restringimenti di lobi e fenomeni di taglio che ne hanno ridotto notevolmente la lunghezza e prodotto un drastico abbassamento del profilo di fondo. In particolare:

- in prossimità di Cavenago d'Adda un'ansa di circa 6.500 m è stata sostituita da un tratto sub-rettilineo di 750 m,
- in prossimità della confluenza del fiume Serio il taglio di meandro ha prodotto una traslazione del punto di confluenza stesso,
- in prossimità del ponte stradale per Montodine, l'elevato scalzamento delle fondazioni evidenzia un abbassamento del fondo di 1.50 m, correlabile con la tendenza verso la disattivazione del meandro a valle.

Quadro dei dissesti

L'Adda sottolacuale, dalla confluenza del Brembo a Lodi, il grado di protezione dalle piene non è del tutto adeguato, malgrado si risenta ancora in parte dell'effetto di laminazione del lago di Como, in particolare, in prossimità degli abitati di Fara Gera d'Adda, Rivolta d'Adda e Lodi. Lo stato delle opere in alveo è discreto, solo localmente si rilevano difese spondali in dissesto, unitamente a esigenze di manutenzione straordinaria di opere di derivazione e stabilizzazione del fondo alveo.

Da Lodi alla confluenza in Po molte delle difese spondali risultano inadeguate a controllare l'evoluzione morfologica dell'alveo in corrispondenza dei meandri; una situazione di particolare criticità si manifesta in corrispondenza dell'attraversamento della SS 591: l'attraversamento si sviluppa su un lobo di meandro di notevole ampiezza, che a valle si restringe drasticamente, con una elevatissima erosione e difese di sponda in grave dissesto; in occasione di eventi di piena gravosi si delinea il rischio di un possibile taglio di meandro con conseguente coinvolgimento dell'abitato di Gombito.

Malgrado la presenza di argini a carattere discontinuo fino a Pizzighettone e continuo a valle, il grado di protezione dalle piene non risulta sempre adeguato; in particolare vi sono aree a rischio di esondazione in prossimità di Bertonico, Montodine, Gombito e Pizzighettone.

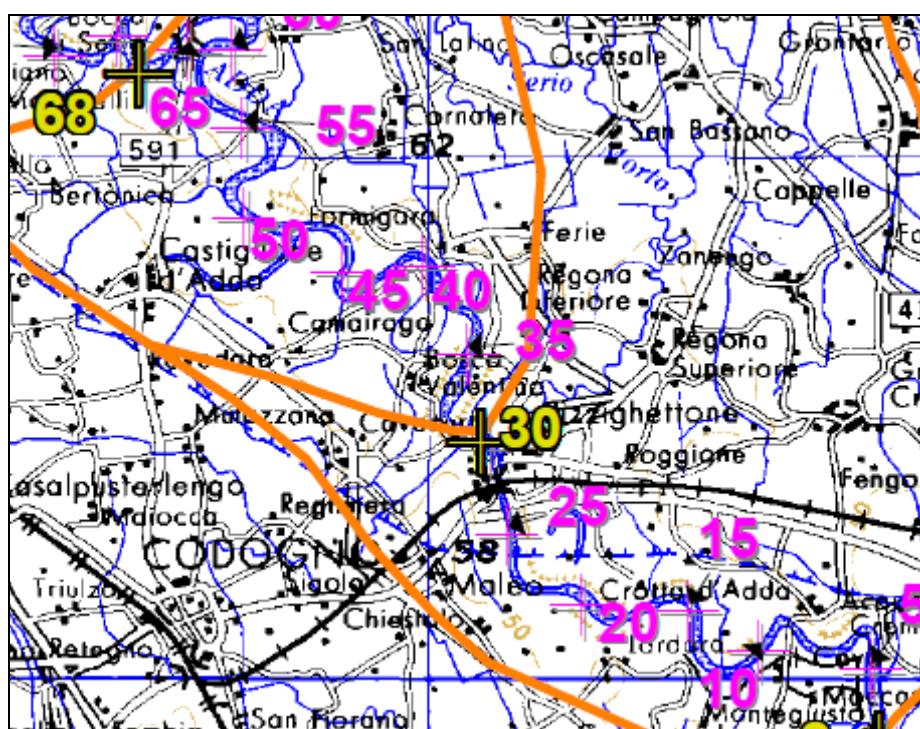
Le opere di difesa presenti in alveo sono a tratti dissestate.

Livello di protezione esistente

Nell'Adda sublacuale, da Lodi alla confluenza in Po, l'assetto idraulico è caratterizzato da diffuse difese di sponda, che tendono a contenere la naturale evoluzione dei meandri (anche se spesso in maniera inefficace) e da argini a carattere discontinuo fino a Pizzighettone e a carattere continuo a valle, fino al collegamento con quelli del Po. Le opere trasversali sono quasi assenti; le uniche briglie esistenti sono quelle in prossimità di Pizzighettone e immediatamente a monte della foce in Po.

6.2. Gli eventi di piena dell'Adda²

Considerata la pericolosità per il territorio insita negli eventi di piena dell'Adda, nel corso dello studio sono state cartografate le fasce di esondazione previste dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.). A monte della perimetrazione di suddette fasce, l'Autorità di Bacino ha condotto uno 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.

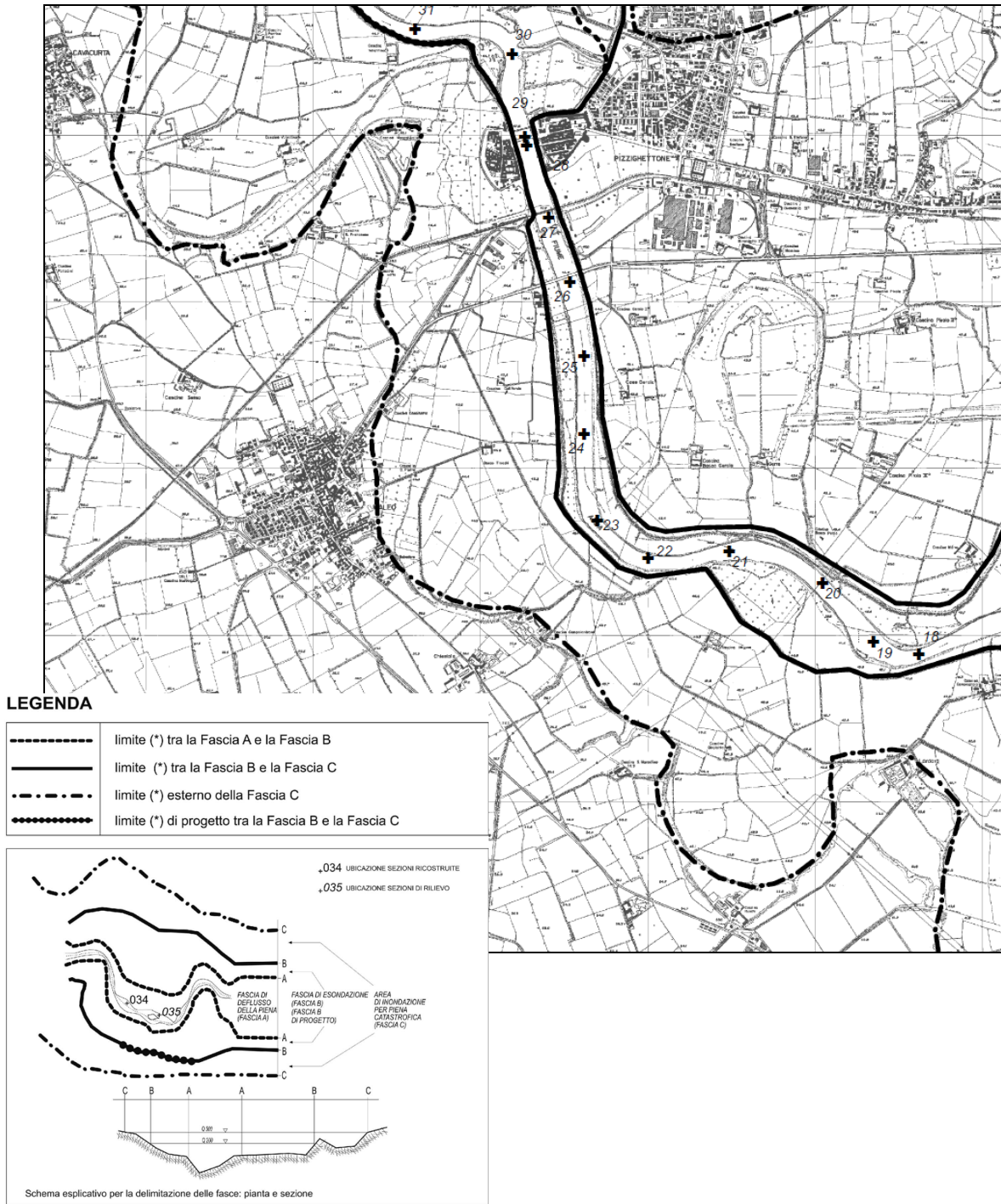
Per la zona di Maleo, compreso tra le sezioni del P.A.I. n. 030 e n. 016, l'andamento del profilo del tirante idrico corrispondente ad una piena con tempo di ritorno di 200 anni è compreso tra una quota di 45,86 m s.l.m. e una quota di 43,05 m s.l.m..

² Dati estratti dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico

Tabella 39: profilo di piena per il fiume Adda sottolacuale

Sez.	Progr. (km)	T = 200 anni		Sez.	Progr. (km)	T = 200 anni		Sez.	Progr. (km)	T = 200 anni	
		Quota idrometrica (m s.m.)	Q (m3/s)			Quota idrometrica (m s.m.)	Q (m3/s)			Quota idrometrica (m s.m.)	Q (m3/s)
200	170.550	198.58	900	133	213.216	91.54		066	258.851	53.60	
199	171.282	197.65		132	213.812	90.72		065	259.476	52.81	
198	171.887	197.20		131	214.610	88.50		064	259.767	52.67	
197	172.726	196.29		130	214.995	88.10		063	260.389	52.25	
196	173.348	195.54		129	215.973	87.41		062	260.916	52.15	
195	173.478	195.30		128	216.716	86.52		061	261.335	51.83	
194	173.990	194.76		127	216.838	86.16		060	262.246	51.12	
193	174.962	193.71		126	217.409	84.30		059	262.697	50.70	
192	175.597	192.48		125	218.386	83.35		058	263.297	50.61	
191	176.235	191.48		124	219.122	82.13		057	263.720	50.00	
190	176.743	190.34		123	219.881	80.83		056	264.342	49.85	
189	177.131	189.53		122	220.139	80.61		055	264.873	49.80	
188	177.536	188.66		121	220.710	79.49		054	265.384	49.54	
187	178.198	180.72		120	221.467	78.22		053	266.016	49.20	
186	178.845	169.45		119	221.965	77.48		052	266.675	48.91	
185	179.401	162.73		118	222.714	77.36		051	267.332	48.57	
184	180.297	159.62		117	223.179	76.64		050	267.631	48.55	
183	180.856	157.91		116	223.830	76.03		049	268.221	48.31	
182	181.513	156.54		115	224.638	74.97		048	268.755	48.12	
181	182.170	155.44		114	225.274	73.90		047	269.404	47.74	
180	182.807	154.75		113	225.749	73.25		046	270.080	47.56	
179	183.261	154.37		112	226.663	72.46		045	270.663	47.25	
178	183.846	153.78		111	227.347	71.81		044	271.280	47.08	
177	184.390	152.48		110	228.174	71.32		043	271.859	46.83	
176	185.000	151.08		109	228.619	71.06		042	272.454	46.79	
175	185.654	149.96		108	229.364	70.52		041	272.953	46.66	
174	186.300	148.57		107	230.338	69.73		040	273.479	46.34	
173	187.191	147.14		106	230.766	69.66		039	274.225	46.13	
172	187.589	146.50		105	231.378	69.26		038	274.609	45.97	
171	188.198	145.34		104	231.848	68.92		037	275.116	45.86	
170	188.826	144.34		103	232.478	68.41		036	275.663	45.61	
169	189.546	142.99		102	232.852	67.88		035	276.284	45.49	
168	190.082	141.46		101	233.722	67.75		034	276.865	45.30	
167	191.042	140.38		100	234.351	67.23		033	277.585	45.25	
166	191.450	140.19		099	234.669	67.13		032	277.895	45.19	
165	192.386	139.33	980	098	235.233	66.65		031	278.316	45.16	
164	193.066	138.65		097	236.199	65.68		030	278.997	45.14	2000
163	193.428	137.29		096	236.902	64.90		029	279.508	45.12	
162	194.059	135.77		095	237.546	64.47		028	279.580	45.10	
161	194.871	133.79		094	238.136	64.13		027	280.031	45.06	
160	195.546	132.33		093	238.517	63.75		026	280.447	45.02	
159	196.102	130.61		092	239.190	62.95		025	280.903	44.93	
158	196.900	128.73		091	239.702	62.74		024	281.404	44.81	
157	197.700	124.80		090	240.181	62.42		023	281.930	44.20	
156	198.590	122.80		089	240.562	62.11		022	282.280	43.90	
155	198.813	122.08		088	241.535	61.39		021	282.741	43.78	
154	199.258	120.85		087	242.225	60.98		020	283.375	43.70	
153	200.093	119.30		086	242.921	60.49		019	283.829	43.63	
152	201.036	117.22		085	243.810	59.71		018	284.082	43.43	
151	201.790	114.38	1150	084	244.629	59.09		017	284.767	43.40	
150	202.474	111.35		083	245.296	58.74		016	285.357	43.20	
149	202.870	110.52		082	245.832	58.51		015	285.756	43.15	
148	203.391	109.42		081	246.434	58.26		014	286.301	43.05	
147	203.920	108.60		080	248.035	57.66		013	286.717	42.73	
146	204.691	107.74		079	249.636	56.73		012	287.201	42.59	
145	205.442	105.92		078	250.452	56.01		011	287.869	42.36	
144	206.014	104.90		077	251.406	55.53		010	288.792	42.26	

Le fasce di esondazione definite nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in funzione dei principali eventi di piena sono rappresentate nella seguente figura e individuate nella carta dei vincoli geologici di Tav. 8.



Più recentemente l’Autorità di Bacino (Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po, 2004) ha parzialmente rivisto le fasce di esondazione dell’Adda sulla base di studi idrologici e idraulici di maggior dettaglio, definendo le aree allagabili per piene con tempi di ritorno di 20, 200 e 500 anni. Tali fasce di esondazione, con sviluppo planimetrico differente da quelle del P.A.I. (soprattutto in relazione alla piena superiore a 200 anni), sono state rappresentate nella Carta Idrogeologica di tavola 4 e nella Carta di Sintesi di tavola 7. In particolare, lo studio ha dimostrato come la piena duecentennale e quella cinquecentennale coincidano e siano contenute entro una stretta fascia perifluviale (delimitata dai rilevati arginali), diminuendo così il rischio reale a cui è esposto il territorio.

7. IDROGEOLOGIA

7.1. Caratteristiche idrogeologiche generali

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

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

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

- Unità ghiaioso-sabbiosa: è costituita nella parte più settentrionale del territorio padano dalle formazioni moreniche, sfumanti verso sud alle coltri fluvio-glaciali e fluviali recenti. Questa unità è costituita da depositi alluvionali (recenti ed antichi) e da quelli fluvio-glaciali wurmiani, in cui le frazioni limose e argillose risultano più limitate. Essa rappresenta la litozona più superficiale con ambiente di sedimentazione tipicamente continentale, fluviale e fluvio-glaciale. E' costituita da granulometrie progressivamente più fini da N a S; il colore dei sedimenti fini denota condizioni ossidanti tipiche di un ambiente di sedimentazione sub-aereo. L'Unità ghiaioso-sabbiosa è la sede della struttura idrica più importante e tradizionalmente utilizzata in quanto caratterizzata da valori di trasmissività molto elevati. L'elevata permeabilità consente la ricarica dell'acquifero da parte delle acque meteoriche e di quelle di infiltrazione da corsi d'acqua o canali artificiali; la conducibilità idraulica che caratterizza questa unità è compresa tra valori di 10^{-3} e 10^{-4} m/s mentre la trasmissività è, in linea generale, superiore a 10^{-2} m²/s.
- Unità sabbioso-argillosa: sottostante alla litozona ghiaioso-sabbiosa, è da questa separata da un contatto graduale e di difficile ubicazione. E' suddivisibile in due sub-unità, la prima costituita da argille, limi e sabbie con frequenti livelli torbosi o lignitosi e caratteristica di ambienti fluvio-palustri, la seconda indica invece condizioni marine costiere ed è costituita da alternanze di ghiaie e sabbie con argille e limi. Ovviamente la permeabilità è molto variabile nelle due sub-unità in funzione delle differenze granulometriche. Trattandosi di litotipi a granulometria estremamente fine, i valori di conducibilità idraulica sono piuttosto bassi e dell'ordine di 10^{-5} – 10^{-6} m/s nei livelli più produttivi; anche la trasmissività risulta mediocre ed in genere inferiore a 10^{-3} m²/s. Per quanto riguarda le acque sotterranee, questa unità rappresenta il substrato dell'acquifero tradizionale; l'acqua è contenuta in

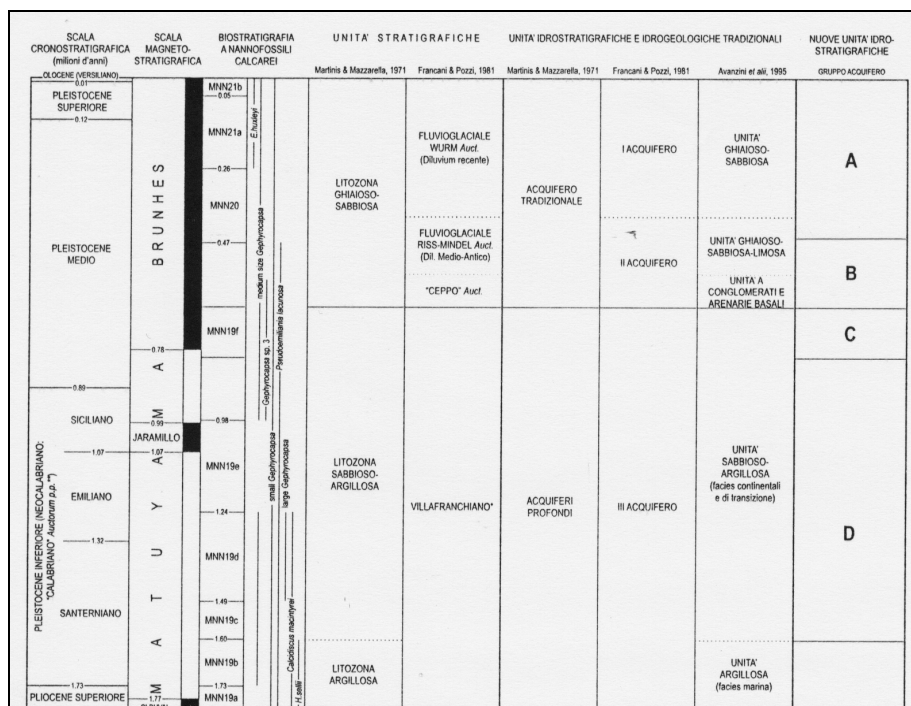
livelli sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi; si tratta principalmente di falde confinate con presenza talora di sostanze tipiche di ambiente riducente.

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

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

Sulla scorta di tale osservazione 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).

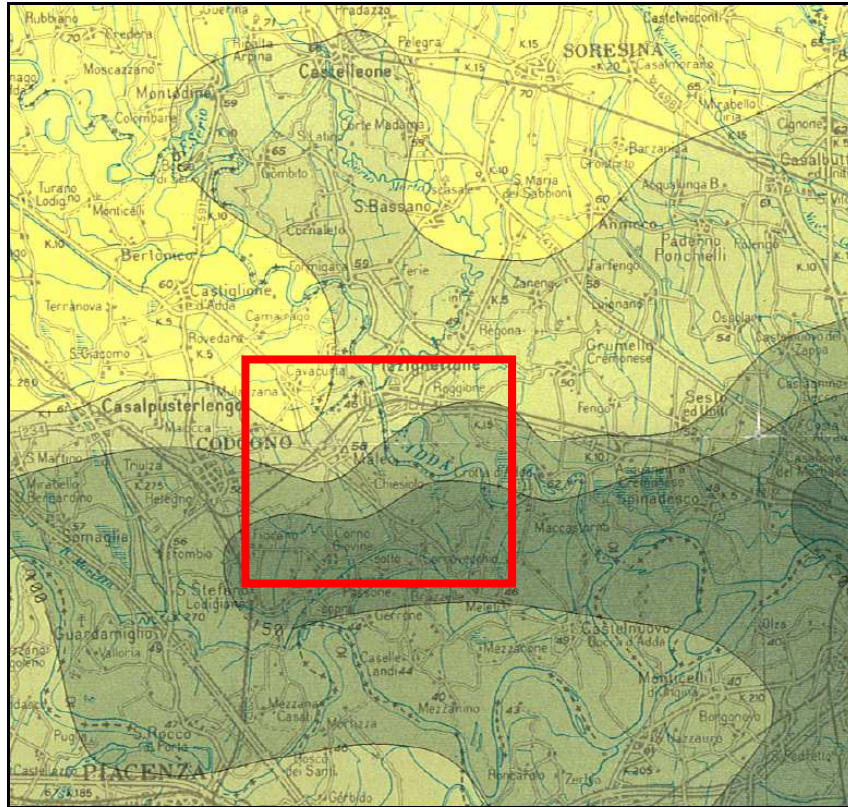
Il bacino padano viene così ridefinito in nuove Unità Idrostratigrafiche (“Gruppi Acquiferi”), secondo quanto schematizzato di seguito.



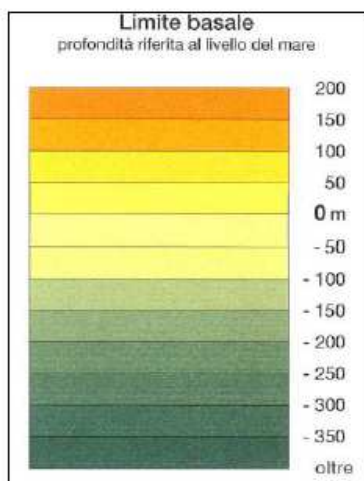
Schema dei rapporti stratigrafici
(Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia, 2002)

In corrispondenza del Comune di Maleo, lo studio sopra citato indica, per la base del Gruppo Acquifero A, una quota media compresa tra -50 (nel settore settentrionale) e -150 m s.l.m. (in

prossimità del suo margine sud), con una pronunciata immersione verso quadranti meridionali, probabilmente condizionato da una depressione di origine tettonica del substrato profondo.



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



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

7.2. Caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale

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

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

Nel tentativo di ricostruire le geometrie del complesso acquifero sotterraneo sono state realizzate e presentate due sezioni litostratigrafiche orientate circa NW-SE e W-E (figure seguenti), ottenute correlando le stratigrafie disponibili dei pozzi presenti sul territorio comunale e sulle aree ad esso limitrofe.

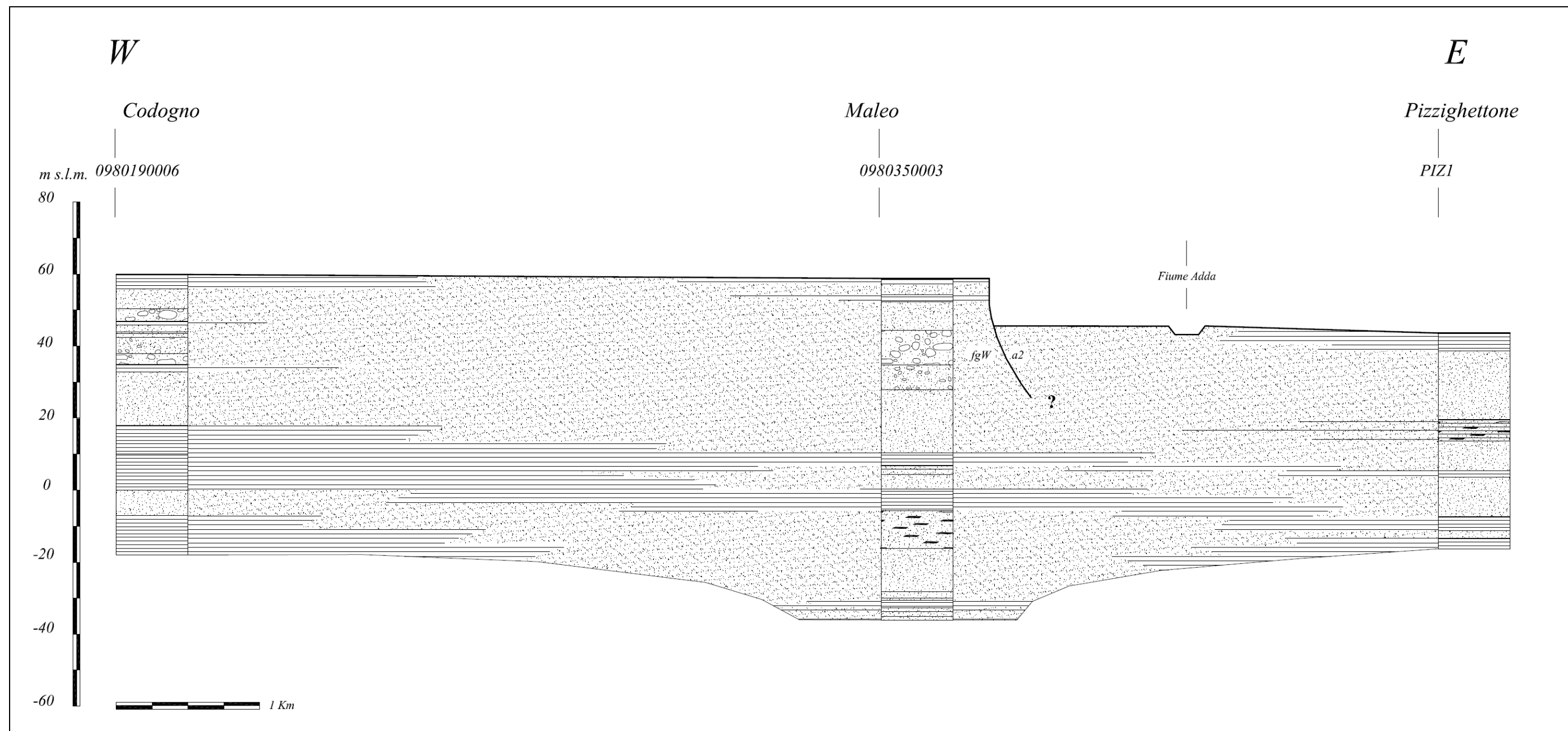
Dall'esame delle stratigrafie e delle sezioni litostratigrafiche realizzate si evince come l'assetto geometrico-strutturale del sottosuolo sia assimilabile ad un materasso alluvionale in cui i corpi acquiferi, di natura prevalentemente sabbiosa, sono ospitati entro potenti successioni impermeabili. A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

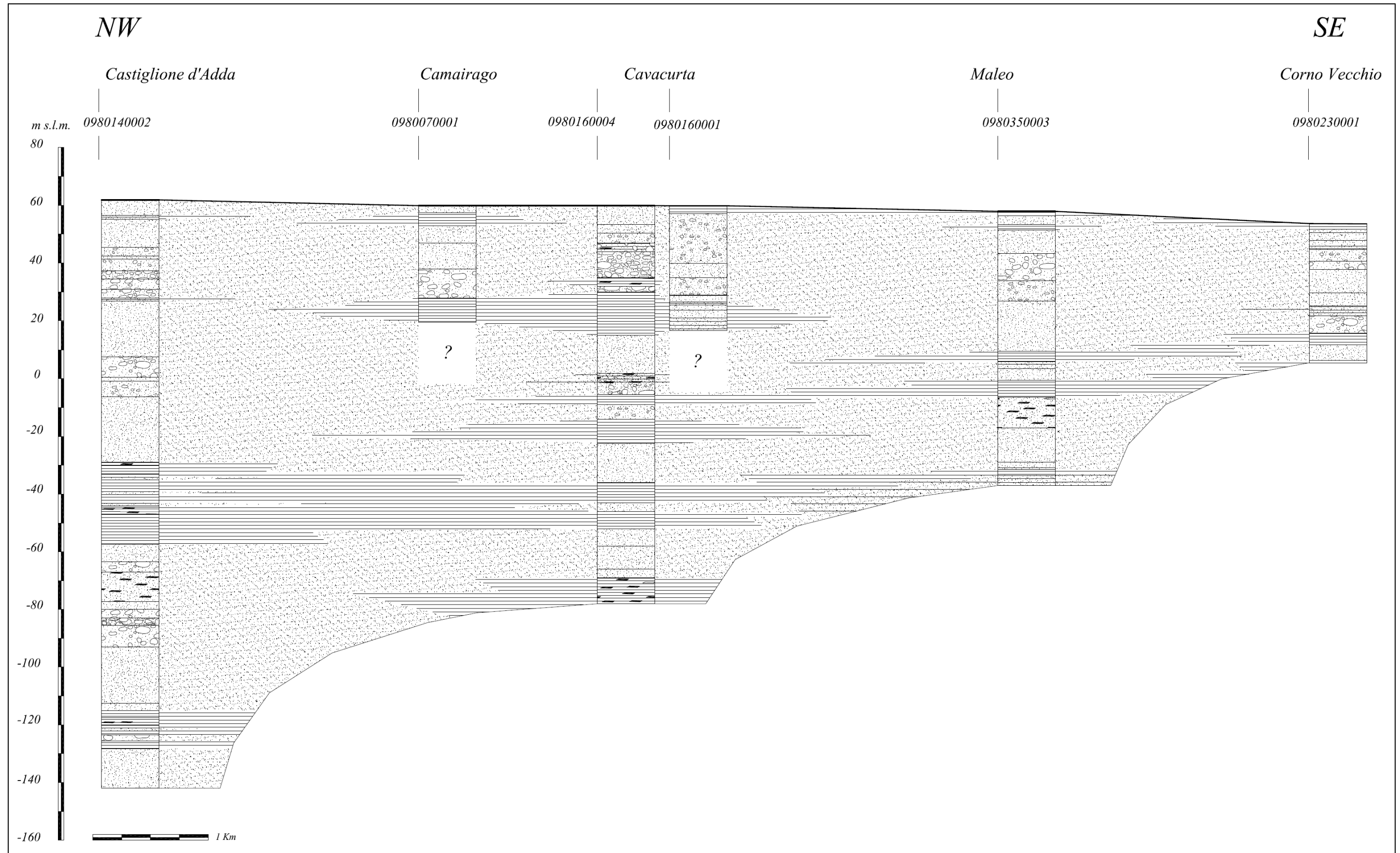
1. Un circuito superficiale, che nel sottosuolo di Maleo assume caratteristiche da freatiche a localmente confinate (in presenza di terreni fini di copertura) e viene alimentato sia da monte (secondo la direzione di deflusso idrogeologico), sia per infiltrazione diretta (a seguito di precipitazioni meteoriche o durante la pratica irrigua).
2. Un circuito profondo (o confinato-artesiano), ospitato in orizzonti permeabili protetti al tetto da depositi impermeabili di significativo spessore ed estensione laterale; contrariamente a quello di superficie, nel circuito profondo il deflusso avviene solo in senso laterale con alimentazione da aree poste idrogeologicamente a monte.

Sulla base dei dati disponibili si segnala come i depositi permeabili che costituiscono la struttura acquifera superficiale presentino spessori medi di circa 40-50 m sulla verticale del capoluogo.

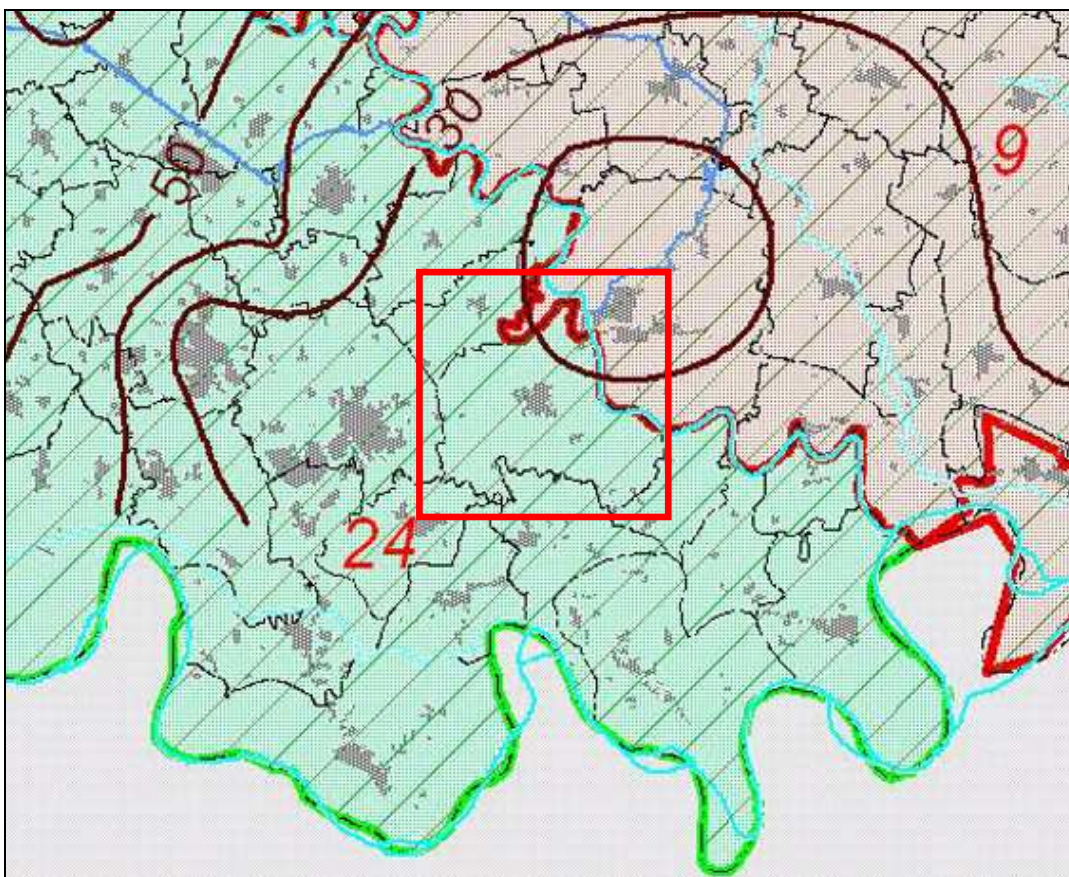
La sezione W-E, inoltre, evidenzia schematicamente la superficie d'erosione in corrispondenza dei contatti tra i depositi wurmiani (fW) e quelli olocenici dell'Adda (a2). In

mancanza di informazioni stratigrafiche di maggior dettaglio, tuttavia, le geometrie delle superfici di discontinuità sono accennate solamente in modo schematico.





Per quanto concerne il P.T.U.A. della Regione Lombardia, esso assume il modello interpretativo già proposto da vari Autori (Martinis & Mazzarella, 1971; Francani & Pozzi, 1981), secondo il quale la struttura acquifera viene suddivisa in acquifero tradizionale (litozona ghiaioso-sabbiosa) e in acquifero profondo (litozona sabbioso-argillosa). Nell'acquifero tradizionale si riconosce una struttura superficiale (o primo acquifero) separata da una sottostante (o "secondo acquifero", anch'esso appartenente all'acquifero tradizionale). Per il bacino 4 "Adda-Oglio", settore 9 (a cui appartiene il Comune di Maleo), il limite di separazione tra la falda superficiale e la falda confinata dell'acquifero tradizionale è posto alla quota media di circa 20 m s.l.m., ovvero a una profondità di circa 25 m (con sostanziali differenze rispetto ai dati stratigrafici disponibili e al modello innanzi esposto).



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

Il Programma di Tutela e Uso delle Acque (P.T.U.A.) della Regione Lombardia, inoltre, definisce per il settore 24 il seguente bilancio idrico:

Elementi del bilancio idrico:			
Entrate:			
Afflusso della falda da monte	Settore n. 21	0,30	(m ³ /s)
Infiltrazione (piogge efficaci + irrigazioni)		5,17	(m ³ /s)
TOTALE		5,47	(m ³ /s)
Uscite:			
Drenaggio del fiume Lambro		0,70	(m ³ /s)
Drenaggio fiumi Adda e Po		4,30	(m ³ /s)
Prelievi da pozzo		0,47	(m ³ /s)
Fontanili		0,00	(m ³ /s)
TOTALE		5,47	(m ³ /s)

Per lo stesso settore viene definita una Classe Quantitativa “A” (rapporto prelievi-ricarica = 0.1), corrispondente a una situazione di compatibilità fra disponibilità e uso della risorsa sotterranea, ovvero un uso sostenibile delle acque sotterranee senza prevedibili sostanziali conseguenze negative nel breve-medio periodo.

Classe Quantitativa: (Prelievi/Ricarica = 0,1)	A
	Situazione attuale di compatibilità tra disponibilità ed uso della risorsa. Uso sostenibile delle acque sotterranee senza prevedibili e sostanziali conseguenze negative nel breve-medio periodo.
Classificazione livello di falda	3
Classificazione stato quantitativo secondo D.Lgs. 152	A

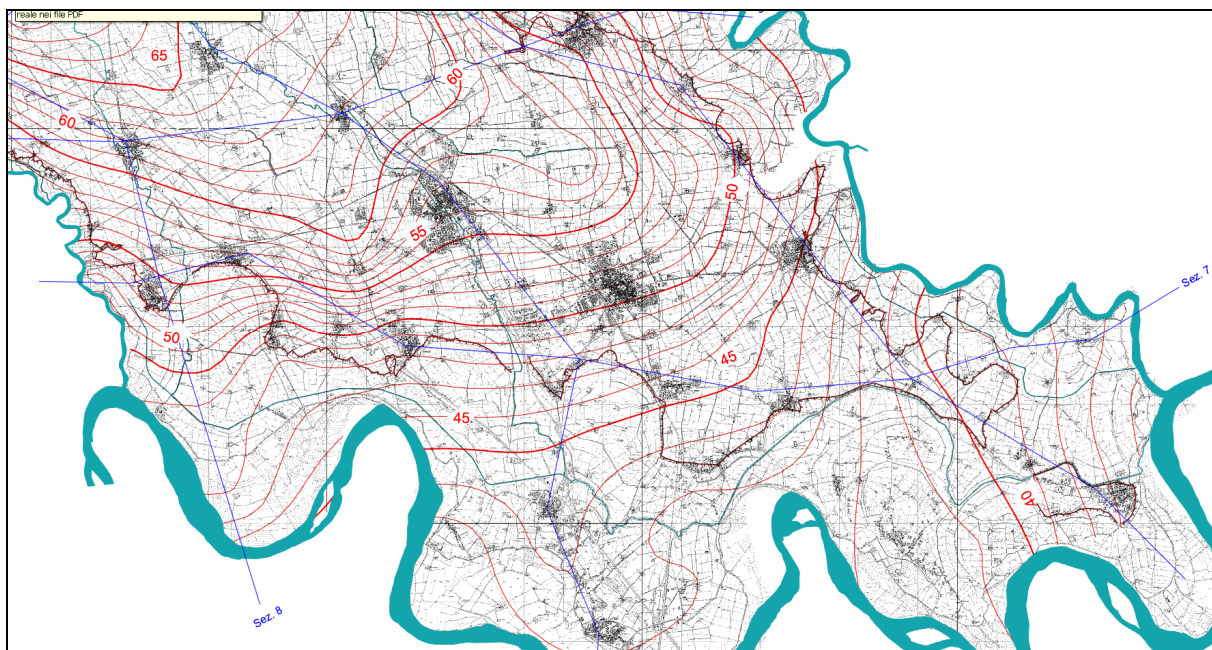
7.3. Censimento e catalogazione dei pozzi

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

I pozzi censiti, con relativa numerazione, ubicazione e profondità, sono riportati nella tabella in allegato 2 e rappresentati nella tavola 4.

7.4. Indagine piezometrica

Le informazioni idrogeologiche disponibili dalla letteratura specifica evidenziano come i grandi fiumi costituiscano gli assi di drenaggio principali della pianura lodigiana (figura seguente), condizionando in modo sostanziale le linee di flusso sotterraneo.



Carta piezometrica della falda superficiale (Carta idrogeologica, Piano Cave della Provincia di Lodi)

A scala locale, nella Carta Idrogeologica di Tav. 4 (tratta dalla “Carta idrogeologica delle direzioni di deflusso” del Piano Cave della Provincia di Lodi, 2005 - parzialmente modificata sulla base di tarature locali mediante misure in piezometri e pozzi) la falda superficiale assume una generale direzione di flusso orientata verso quadranti orientali e S-orientali per effetto dell'azione drenante esercitata dall'Adda sul complesso acquifero sotterraneo.

Ciò premesso, il particolare assetto piezometrico si traduce anche in termini di gradienti e di soggiacenza della superficie piezometrica: le soggiacenze maggiori, superiori a 5 m, si rilevano sul Livello Fondamentale della Pianura in prossimità dei suoi margini terrazzati (in corrispondenza dei quali la soggiacenza supera anche i 10 m) mentre quelle minori (inferiori a 5 m, con valori minimi in corrispondenza del piede del terrazzo wurmiano), si misurano nella valle dell'Adda.

Quanto sopra conferma come il sistema idrografico di superficie, centrato sulla presenza dell'Adda e il complesso delle acque sotterranee siano fra loro interconnessi secondo un delicato equilibrio. Nonostante in tutto il territorio comunale non siano note registrazioni sistematiche delle oscillazioni piezometriche che consentano di effettuare considerazioni idrogeologiche in merito a possibili variazioni delle linee di deflusso nel breve periodo (periodi di minima e massima escursione annuale) e nel lungo periodo, considerato il particolare contesto morfologico ed idrogeologico si esclude che la pratica irrigua o le precipitazioni meteoriche, anche se intense o concentrate in taluni periodi dell'anno, siano in grado di modificare in modo sostanziale le linee di flusso sotterraneo, ad eccezione delle aree più vicine all'Adda. Esperienze maturate dallo scrivente all'interno del territorio comunale (in seno al monitoraggio piezometrico periodico dell'ATE g4), infatti, dimostrano come, durante i periodi di piena del Fiume, la falda superficiale subisca oscillazioni verso l'alto, con localizzate e temporanee inversioni del deflusso sotterraneo (alimentazione fiume-falda) per una fascia sviluppata alcune centinaia di metri a partire dall'argine maestro.

7.5. Vulnerabilità degli acquiferi

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

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

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

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

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

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

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

1. soggiacenza inferiore a 5 m, nella valle dell'Adda, con valori minimi in corrispondenza del piede della scarpata morfologica principale;
2. soggiacenza superiore a 5 m, sul Livello Fondamentale della Pianura, con valori anche superiori a 10 m in prossimità del suo margine terrazzato.

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

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

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

La pratica geotecnica, infatti, insegna come nei terreni sciolti la permeabilità sia controllata, oltre che dall'uniformità del terreno e dal suo stato di addensamento (Prugh, 1959), soprattutto dalla granulometria della frazione più fine (Hazen, 1911). Nella Tavola 6 sono state cartografate le aree per classi di permeabilità attraverso il seguente criterio di valutazione:

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

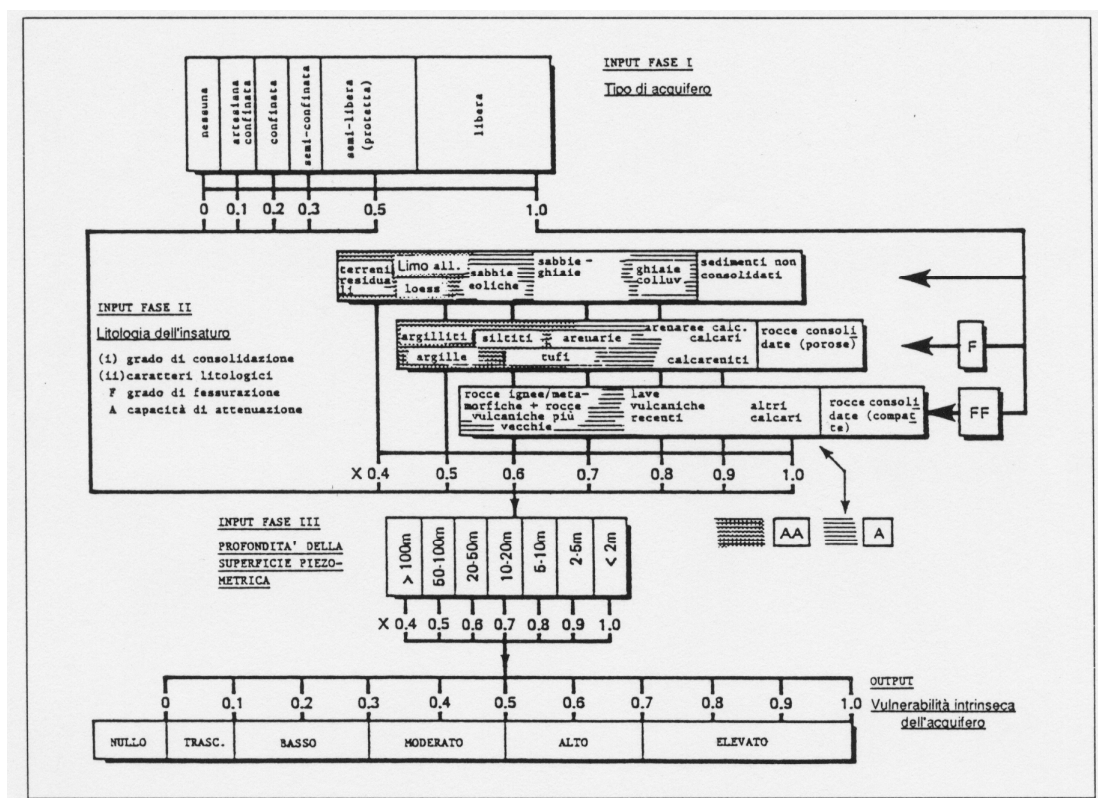
Classi di permeabilità (Casadio & Elmi, 1995)

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

- da BASSA a DISCRETA - Depositi di paleoalveo in cui la variabilità tessiturale e granulometrica (compresa tra i terreni fini caratteristici di ambienti a bassa energia deposizionale e quelli granulari) è responsabile di un'altrettanta variabilità degli indici di permeabilità;
- DISCRETA - Depositi prevalentemente sabbiosi con coperture limose di spessore limitato (1-2 m);
- da DISCRETA a BUONA - Depositi sabbiosi e ghiaiosi privi di significative coperture fini;
- da BUONA a ELEVATA - Depositi recenti e/o attuali sabbiosi e ghiaiosi della fascia periferiale dell'Adda.

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

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



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

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

Il metodo così applicato ha permesso di definire le seguenti classi di vulnerabilità:

- ALTA - Acquifero da libero a confinato-artesiano (in presenza di locali coperture con una frequente componente organica): nonostante i ricorrenti depositi fini superficiali, le caratteristiche dei terreni e la loro disomogeneità non garantiscono la protezione dell'acquifero e mantengono generalmente alto il grado di esposizione della falda, spesso poco soggiacente (< 2m);
- MODERATA - Acquifero semi-confinato i cui indici di vulnerabilità sono mitigati dalla soggiacenza della superficie piezometrica e da una copertura limosa superficiale;
- da ALTA a ELEVATA: Acquifero generalmente libero, con coperture assenti o molto ridotte, costituito dai depositi granulari della fascia perfluviale dell'Adda;
- ELEVATA - Acquifero libero, privo di significative coperture e con suoli poco evoluti o assenti (depositi recenti e attuali dell'Adda nella fascia golenale).

Sulla base di quanto esposto, quindi, la vulnerabilità intrinseca costituisce un fattore caratteristico per il Comune di Maleo e parzialmente limitante nella pianificazione: sarà pertanto necessario valutare puntualmente la vulnerabilità dell'acquifero ogni volta che ci si appresta alla progettazione di attività potenzialmente impattanti sulle acque sotterranee (depuratori, stoccaggi di sostanze inquinanti, dispersione di fanghi, attività estrattive, ecc.). Tra le attività impattanti ricadono anche quelle agronomiche e zootecniche, anche in considerazione che la Regione Lombardia ha dichiarato (DGR 3297/2006) il Comune di Maleo fra le aree vulnerabili ai Nitrati di origine agricola.

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

8. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

8.1. Zonazione sismica nazionale ed inquadramento del territorio di Maleo

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

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

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

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

L'aspetto più significativo dal punto di vista della zonazione sismica era rappresentato dall'estensione della zona interessata dal Decreto del 1909: oltre all'area dello Stretto di Messina, che presentava i maggiori danni, vi erano incluse parte della provincia di Messina e tutta la Calabria. Tale strumento derivava anche dal ricordo del terremoto che aveva colpito il golfo di Santa Eufemia nel 1905 e, soprattutto, dei terremoti che avevano sconvolto la Calabria nel 1783.

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

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

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

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

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

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

La nuova classificazione, denominata “Proposta 98”, determinò la suddivisione del territorio nazionale sempre nelle tre categorie sismiche a cui si aggiunse una categoria ulteriore per i comuni non classificati; l'appartenenza di un'area ad una particolare categoria sismica

avvenne sulla base di parametri quantitativi legati al moto del suolo previsto (approccio probabilistico):

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

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

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

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

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

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

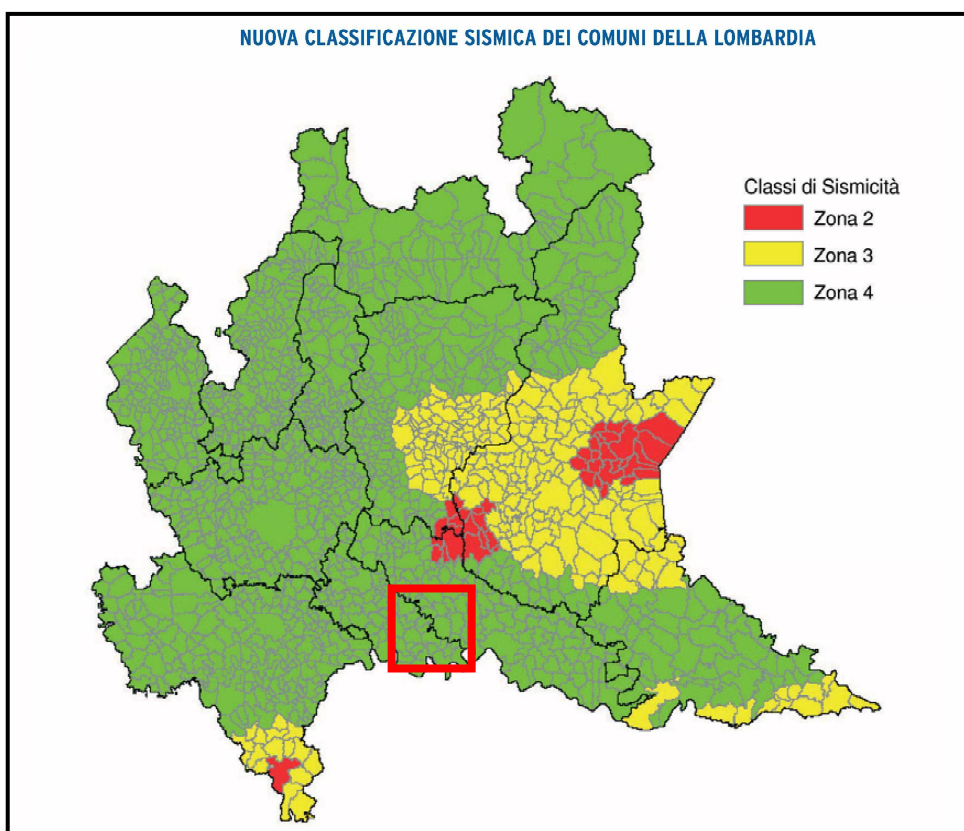


Figura 8.1: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all'Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n. 7/14964 del 7 novembre 2003).

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

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

Tabella 1: valori di accelerazione orizzontale massima in funzione della zona sismica (D.M. 14.09.2005).

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

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

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

Le “*Norme tecniche per le costruzioni*” di cui al D.M. 14.01.2008 hanno introdotto un nuovo elemento metodologico nella stima della pericolosità sismica di base, la quale non risulta più associata alla zona sismica di appartenenza (criterio zona dipendente ex D.M. 14.09.2005) ma al valore di accelerazione massima orizzontale attesa su base probabilistica ad uno specifico sito (criterio sito dipendente).

Ciò ha permesso di superare la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e valori previsti dalla normativa antisismica per un suolo di riferimento. Esistono tuttavia alcune problematiche insorte nella distribuzione dei vertici della griglia di riferimento dei valori di accelerazione e l'ubicazione dell'area d'indagine.

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

8.2. Descrizione della sismicità

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

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

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

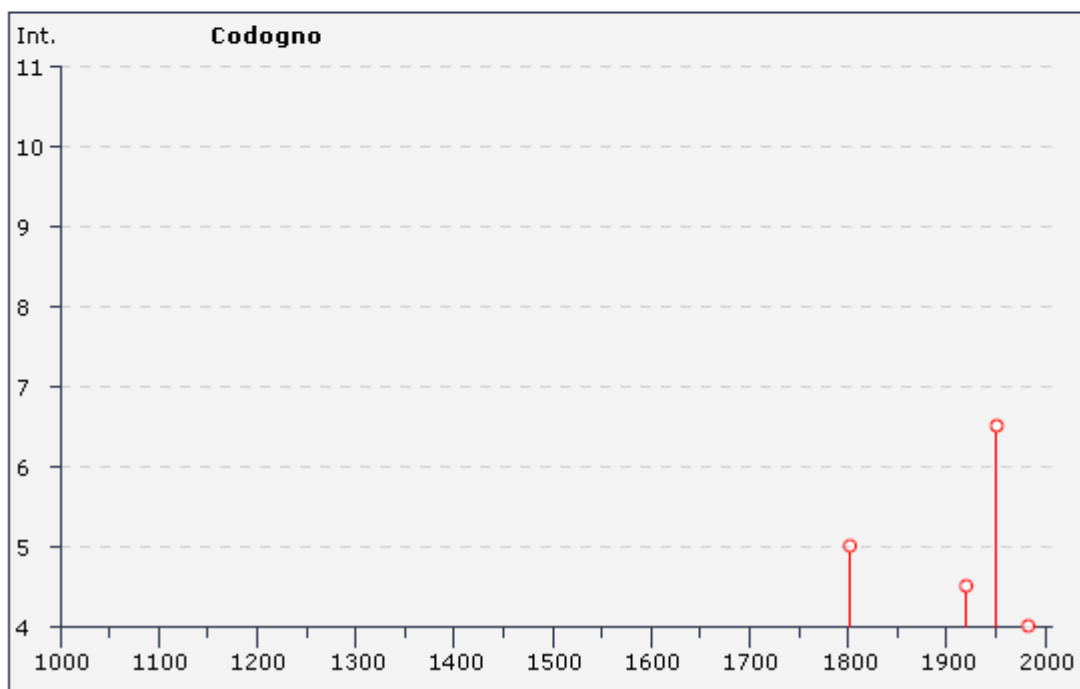
Dalla consultazione dei cataloghi sismici redatti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità risulta che:

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

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

Osservazioni sismiche (15) disponibili per Codogno (LO)

Effetti	In occasione del terremoto del:			
Is	Data	Ax	Np	Io Mw
5	1802 05 12 09:00	VALLE DELL'OGLIO	85	8 5.64 ±0.22
3	1891 06 07 01:0	Valle d'Illasi	403	8-9 5.86 ±0.06
NF	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09
NF	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
3	1929 04 19 04:1	Bolognese	82	
3	1929 04 20 01:0	Bolognese	109	7 5.34 ±0.13
3-4	1936 10 18 03:1	BOSCO CANSIGLIO	267	9 6.12 ±0.09
NF	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7 5.08 ±0.16
6-7	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7 5.39 ±0.14
3	1971 07 15 01:3	Parmense	229	8 5.64 ±0.09
4	1983 11 09 16:2	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
NF	1991 10 31 09:3	Parmense	134	5 4.45 ±0.14
2	2000 08 21 17:1	Monferrato	597	6 4.86 ±0.09
NF	2005 04 18 10:5	Valle del Trebbia	286	5 3.98 ±0.09



Dal catalogo si nota come nessun sisma risulti localizzato entro il territorio del Comune di Maleo mentre l'evento più vicino è quello del 1951 con epicentro nel Lodigiano (a S di Lodi), lontano da importanti zone sismogenetiche: si potrebbe trattare di fenomeni di rilascio tensionale legati a strutture profonde considerate ancora attive neotettonicamente.

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

Anche in questo caso si evidenzia l’assenza di terremoti di una certa entità localizzati in prossimità del territorio di Maleo, 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 emiliano).

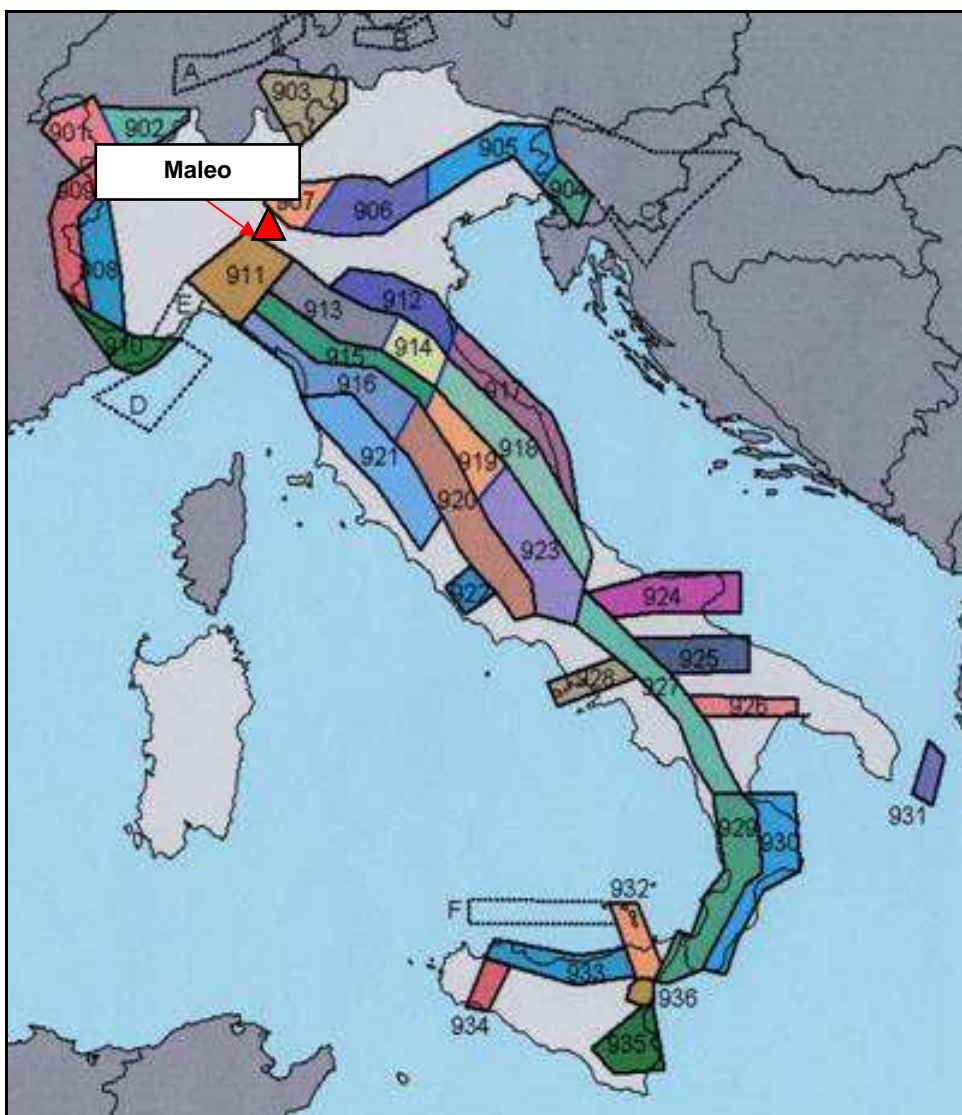


Figura 8.2: Individuazione delle zone sismogenetiche in cui è suddiviso il territorio nazionale - zonazione sismogenetica ZS9 (INGV 2004).

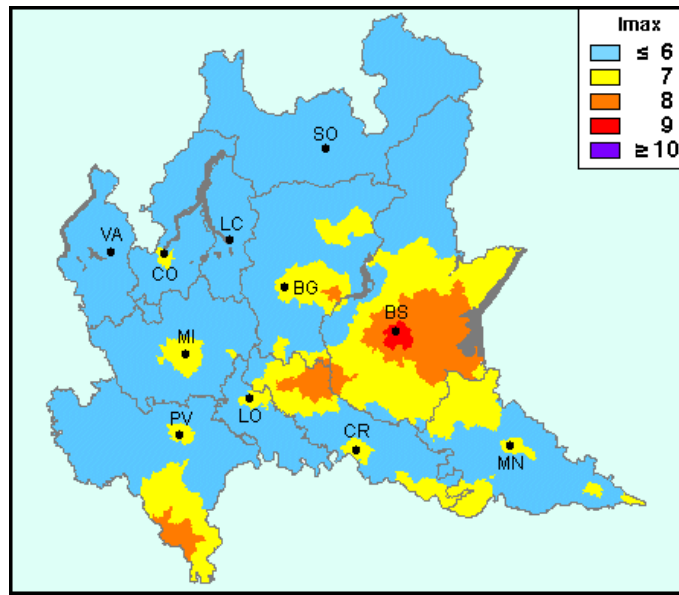


Figura 8.3: Carta della massima intensità macrosismica attesa in Lombardia (Moliniet et al., 1996).

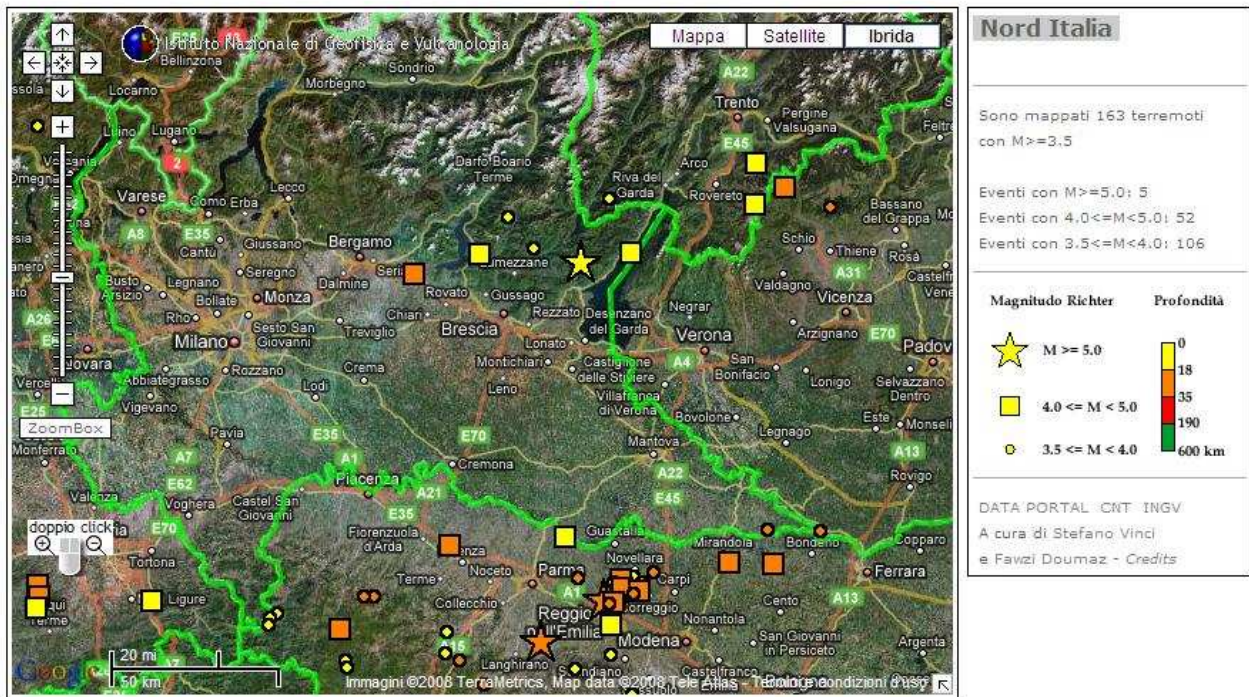


Figura 8.4: Ubicazione dei terremoti recenti – periodo 1981-2006 (INGV).

8.3. Pericolosità sismica

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

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

Nella figura seguente si riporta l'estratto della mappa di pericolosità sismica relativa alla Regione Lombardia, da cui si ricava che per il territorio di Maleo il valore di a_g atteso possa raggiungere valori prossimi **0.075-0.100 g**, ovvero leggermente superiore rispetto a quello previsto dalla normativa per la zona sismica 4.

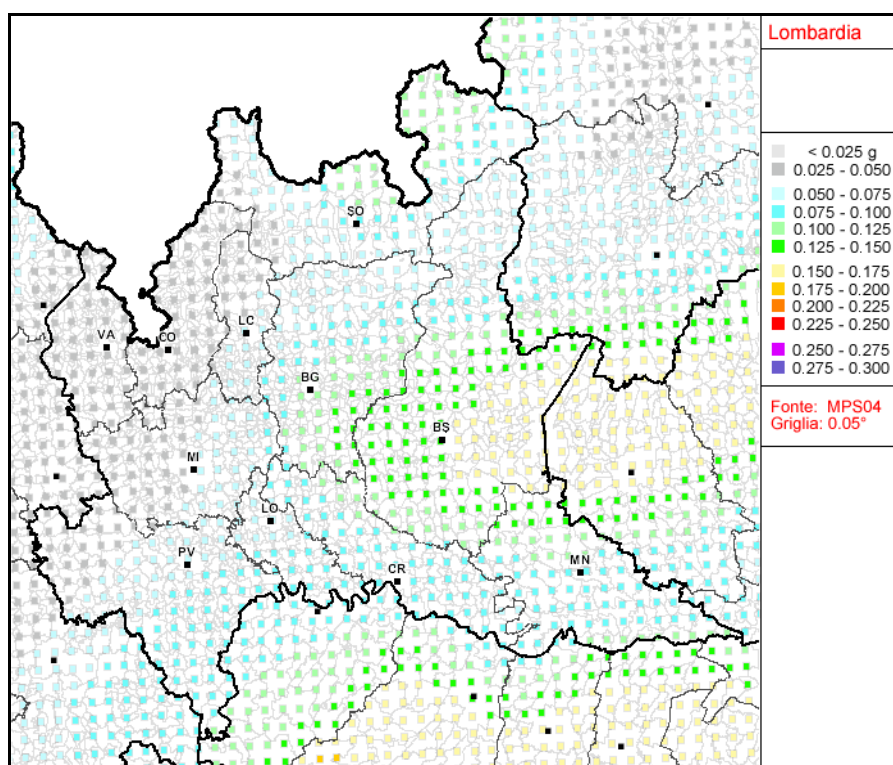


Figura 8.5: Mappa della pericolosità sismica della Regione Lombardia: si riportano i valori dell'accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di riferimento come frazione di g (INGV anno 2006).

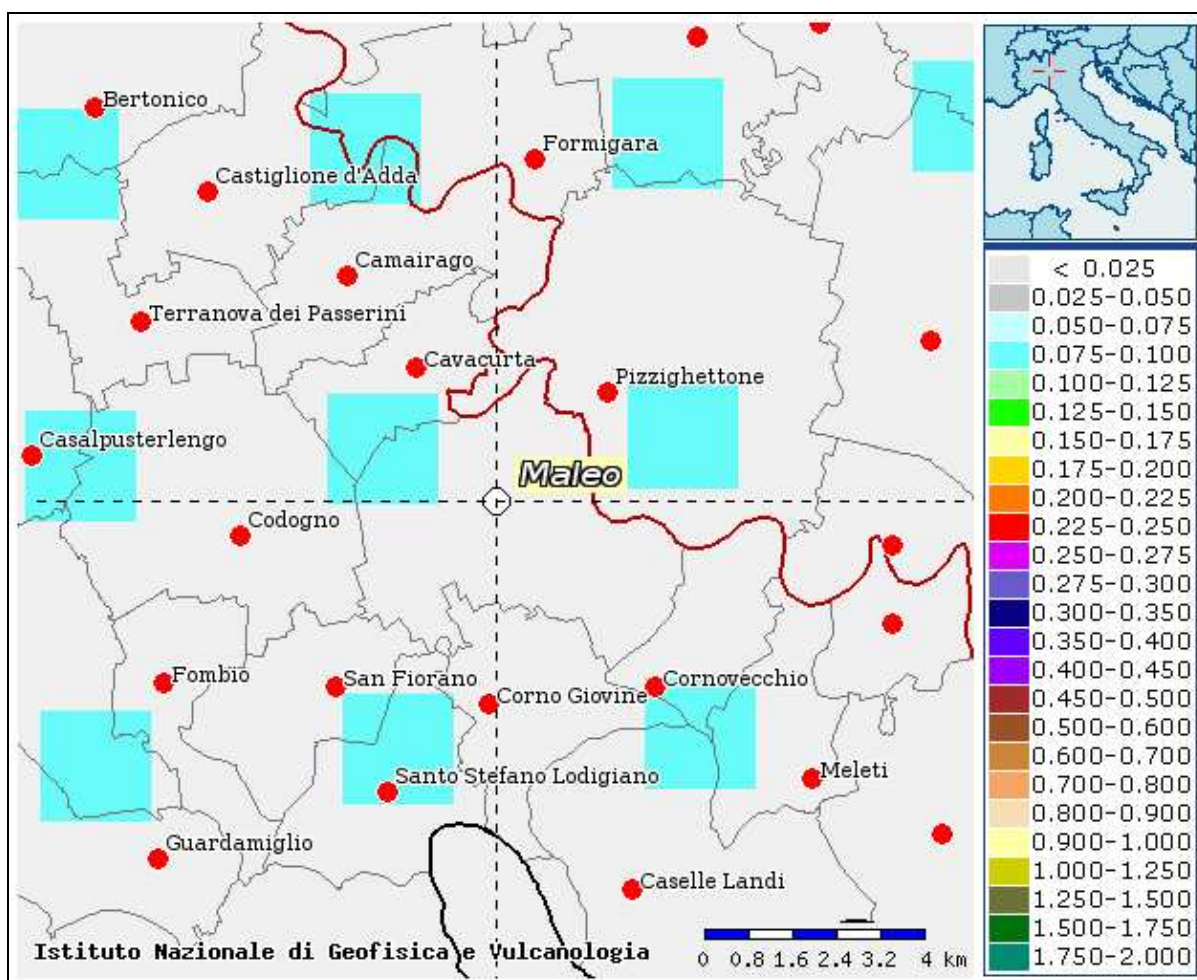


Figura 8.6: Mappa della pericolosità sismica relativa all'area di Maleo.

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

In figura 8.7 si riporta lo spettro UHRS (calcolato dalla media pesata dei valori relativi ai 4 vertici della griglia di accelerazioni - reticolo di riferimento per il calcolo degli studi di PS – INGV, 2006-2008 - che comprendono il sito in esame così come definito nell'Allegato A e B del D.M. 14.01.2008) e quello previsto dalla normativa antisismica per la classe 4, entrambi per un suolo di riferimento: dal confronto si rileva come lo spettro previsto dal D.M.

14.09.2005, basato sul criterio “zona dipendente”, risultati “inferiore” a quello previsto dagli studi di PS basato sul criterio “sito dipendente” (D.M. 14.01.2008).

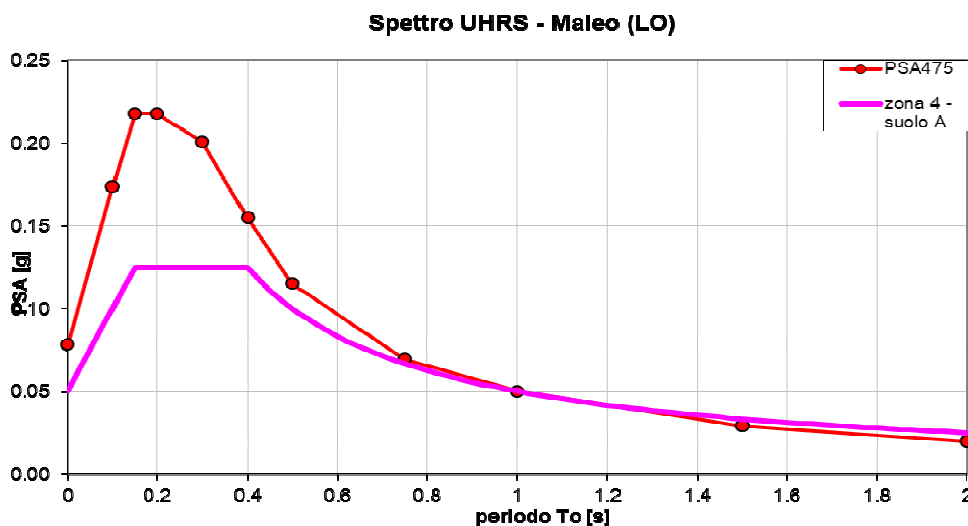


Figura 8.7: Spettro di risposta a probabilità uniforme (in rosso) per un periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5% a confronto con lo spettro di risposta previsto dal D.M. 14.09.2005 (in magenta).

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

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

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

Mentre gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente tale nei confronti delle sollecitazioni sismiche (esempio i versanti, le frane quiescenti, ecc.), gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese. Quest'ultimi sono rappresentati dall'insieme di modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le strutture locali.

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

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

Al fine di individuare gli effetti di sito locali, la D.G.R. 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>		
	<i>1° Livello</i> <i>Fase pianificatoria</i>	<i>2° Livello</i> <i>Fase pianificatoria</i>	<i>3° Livello</i> <i>Fase progettuale</i>
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato o urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti

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

Solo localmente, al bordo della valle alluvionale dell'Adda, le scarpate morfologiche raggiungono altezze potenzialmente insidiose in termini di amplificazione sismica delineando uno scenario di pericolosità sismica locale Z3a, per il quale è atteso un effetto di amplificazione topografica.

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.

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

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

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

9. CARTA DI SINTESI

La Carta di Sintesi (Tavola 6) costituisce il documento nel quale vengono riassunti tutti i fenomeni naturali ed antropici che costituiscono una limitazione geologica alle scelte urbanistiche: realizzata alla scala 1:10.000, l'elaborato contiene gli elementi più significativi emersi nella fase di analisi.

Nella cartografia di sintesi di Tavola 6 sono stati rappresentati i lineamenti più significativi dopo aver classificato l'intero territorio comunale per aree omogenee; in quest'ultima operazione, sono stati presi in considerazione le seguenti componenti:

1. **LITOLOGIA DEI TERRENI SUPERFICIALI** - Per quanto riguarda l'aspetto litologico e geotecnico dei terreni (trattato in specifico capitolo), si ritiene che esso costituisca, per alcune aree (zone di paleomeandro interessate da depositi coesivi talora associati ad una componente organica), un fattore limitante dal punto di vista urbanistico: la realizzazione di nuove urbanizzazioni e infrastrutture richiederebbe massicci interventi geotecnici e di bonifica dei terreni, al punto da non giustificare la modifica dello stato dei luoghi per la realizzazione di opere che siano diversamente localizzabili. Nel caso di opere a completamento di insediamenti esistenti, invece, la condizione minima sarà quella di ricorrere ad adeguate indagini geognostiche in conformità a quanto previsto dal D.M. 11.03.1988 e dal D.M. 14.01.2008 e ss.mm.ii..
2. **SOGGIACENZA MEDIA DELLA PRIMA FALDA** - Vista la presenza di una falda a profondità ridotta (inferiore a 5 metri) nella valle dell'Adda, si rammenta come la generale saturazione dei terreni contribuisca ad un peggioramento delle loro caratteristiche geotecniche. Oltre a ciò, nel caso di nuovi edifici, dovrà essere considerata la massima quota raggiunta dalla falda, al fine di evitare interferenze dannose tra acqua sotterranea e strutture in progetto (fondazioni, piani interrati, ecc.).
3. **VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE** - Tale fattore costituisce un elemento distintivo, emerso nella fase di analisi, parzialmente vincolante nella fattibilità geologica delle azioni di piano. Si ribadisce come qualsiasi intervento che possa rappresentare un potenziale centro di pericolo per la risorsa idrica sotterranea debba richiedere un puntuale studio dei terreni in relazione alla locale vulnerabilità dei corpi

acquiferi e al loro potenziale uso; tra le attività impattanti ricadono anche quelle agronomiche e zootecniche, anche in considerazione che la Regione Lombardia ha dichiarato il Comune di Maleo fra le aree vulnerabili ai nitrati di origine agricola (dgr 3297 del 11.10.2006).

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

- le **scarpate morfologiche** di altezza significativa e/o di rilevanza paesistica (buona parte delle principali scarpate sono già sottoposte a tutela del PTCP), considerate sia elementi morfologici potenzialmente insidiosi per ogni intervento di edificazione o urbanizzazione, sia elementi costitutivi del paesaggio. Per quest'ultimo motivo, tutte le scarpate morfologiche di particolare significato morfologico sono state assoggettate a specifica tutela. Le scarpate evidenziate nella sintesi, successivamente assoggettate a tutela e limitazioni d'uso nella carta di fattibilità geologica delle azioni di piano, sono quelle individuate fisicamente sul territorio previo un confronto con gli specifici elaborati del PTCP, correggendo e parzialmente modificando (in linea con le previsioni del Piano Territoriale) eventuali difformità che derivano da scale di lavoro con grado di dettaglio differente.
- tutti i **corpi idrici superficiali** già assoggettati a specifico regolamento di polizia idraulica e i **rilevati arginali** del fiume Adda (in quanto elementi primari per la protezione del territorio dal rischio di esondazione);
- le **incisioni del reticolo idrografico secondario** ai margini del Livello Fondamentale della Pianura;
- le **aree allagabili per esondazione dell'Adda**; contrariamente alla tavola dei vincoli geologici che delimita le fasce previste dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (in quanto elemento di vincolo sovraordinato), la carta di sintesi perimetra le fasce di esondazione ridefinite sulla base di specifico studio idraulico dall'Autorità di Bacino nel 2004;
- la **discarica** di rifiuti solidi urbani (R.S.U.).

10. CARTA DEI VINCOLI GEOLOGICI

Nella Tavola 7 sono stati cartografati i vincoli normativi di natura fisico-ambientale e geologica, limitanti nella fattibilità geologica delle azioni di piano.

In particolare, nella Tavola dei Vincoli sono stati cartografati:

- Il **reticolato idrografico** (definito sulla base della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 e s.m.i.); le attività consentite e quelle vietate, così come le fasce di rispetto, sono normate da specifico regolamento di polizia idraulica (R.D. 523/1904 e s.m.i.).
- Le **fasce A e C del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)** approvato con D.P.C.M. del 24 maggio 2001, per le quali è vigente specifica disciplina, meglio descritta nelle “Norme di Fattibilità Geologica”.

Le fasce vengono così definite³:

- **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.

La fascia B è assente dal territorio comunale.

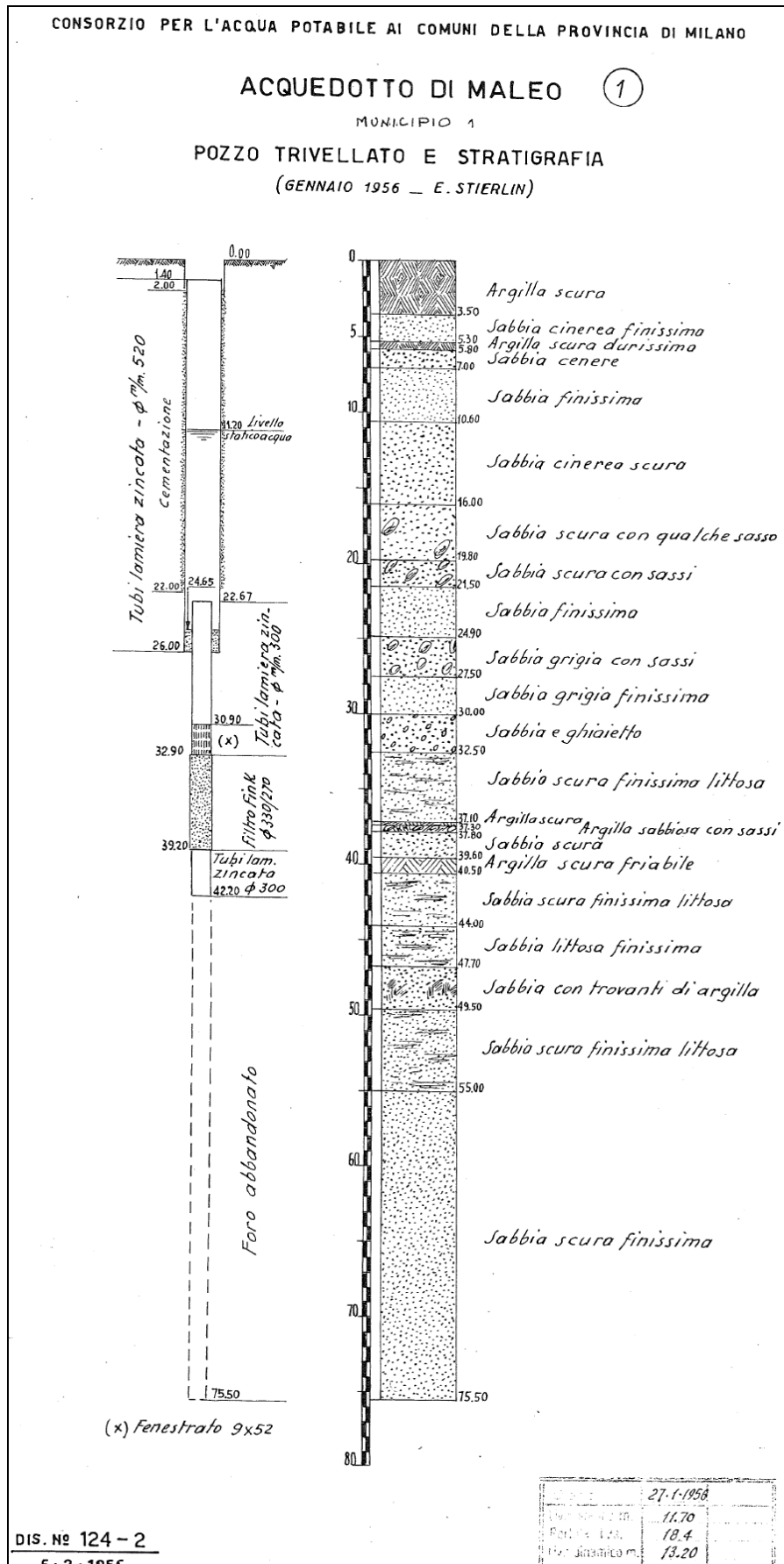
Nello specifico elaborato cartografico, inoltre, sono stati cartografati anche i vincoli normativi di natura fisico-ambientale e geologica derivanti dal P.T.C.P.; in particolare:

- gli **orli di terrazzo** (art. 20.1);
- l'area inserita nel **Parco Adda Sud** (art. 19.2);
- un **Ambito Territoriale Estrattivo**, individuato dall'art. 30.2 e definito dal vigente Piano Cave provinciale (A.T.E. G4 “C.na Geroletta”);

³ 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”

- la discarica di RSU, classificata dal PTCP come *sito inquinato* su cui sono in corso o sono previsti interventi di bonifica (art. 30.3).

**Allegato 1 - STRATIGRAFIE DEI POZZI PUBBLICI (inattivi e chiusi o
dismessi dall'uso acquedottistico)**



CONSORZIO PER L'ACQUA POTABILE AI COMUNI DELLA PROVINCIA DI MILANO

ACQUEDOTTO DI MALEO

2

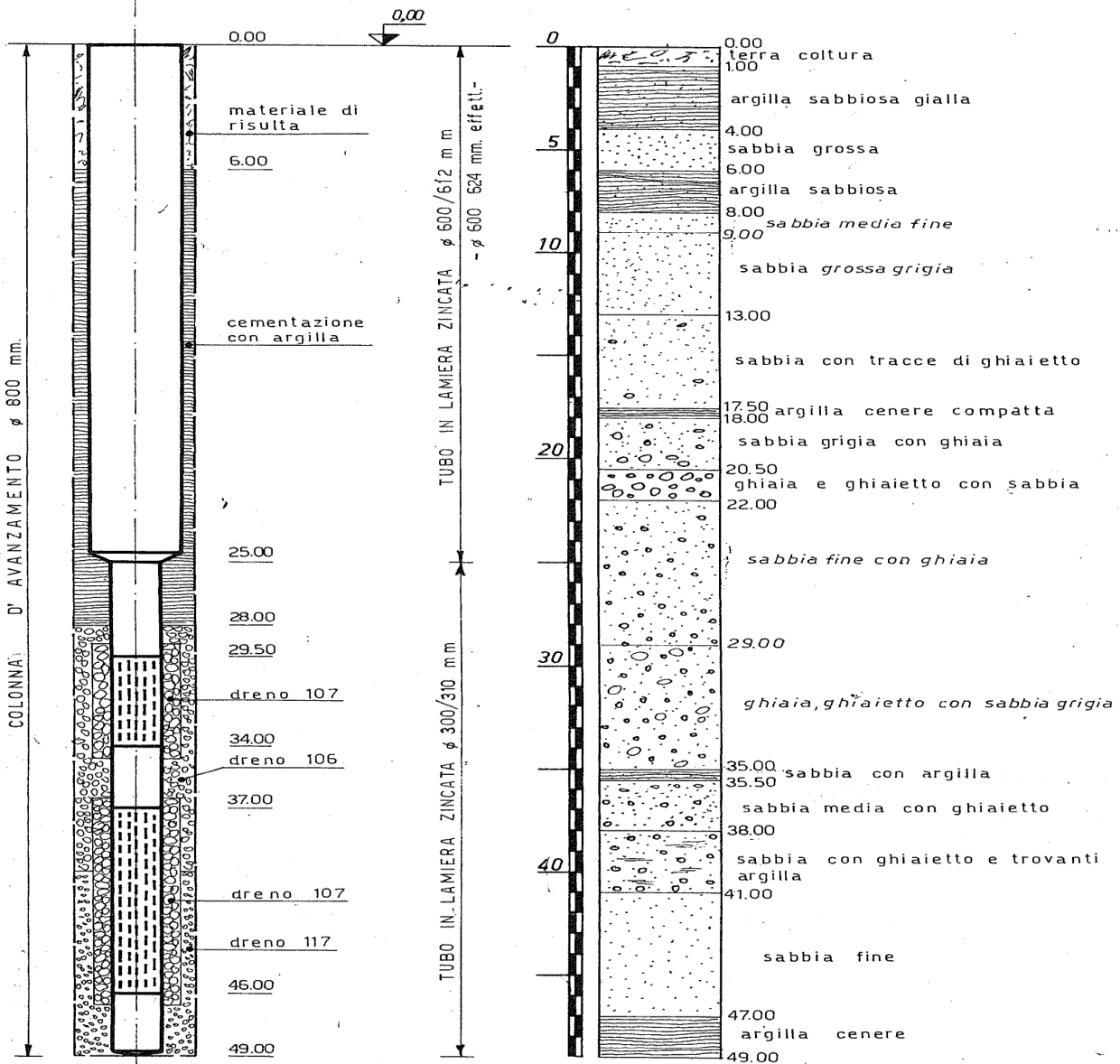
IMPRESA I.R.S.I.A.M.

MUNICIPIO

DICEMBRE 1972

POZZO N. 2

POZZO TRIVELLATO E STRATIGRAFIA



DIS. N° 4

UFFICIO TECNICO
Sezione Geologica

Costo	29.12.72
Costo m.	11.90
Costo l.	67
Costo dinamico m.	16.70

CONSORZIO PER L'ACQUA POTABILE AI COMUNI DELLA PROVINCIA DI MILANO
RIPARTIZIONE GEOLOGIA

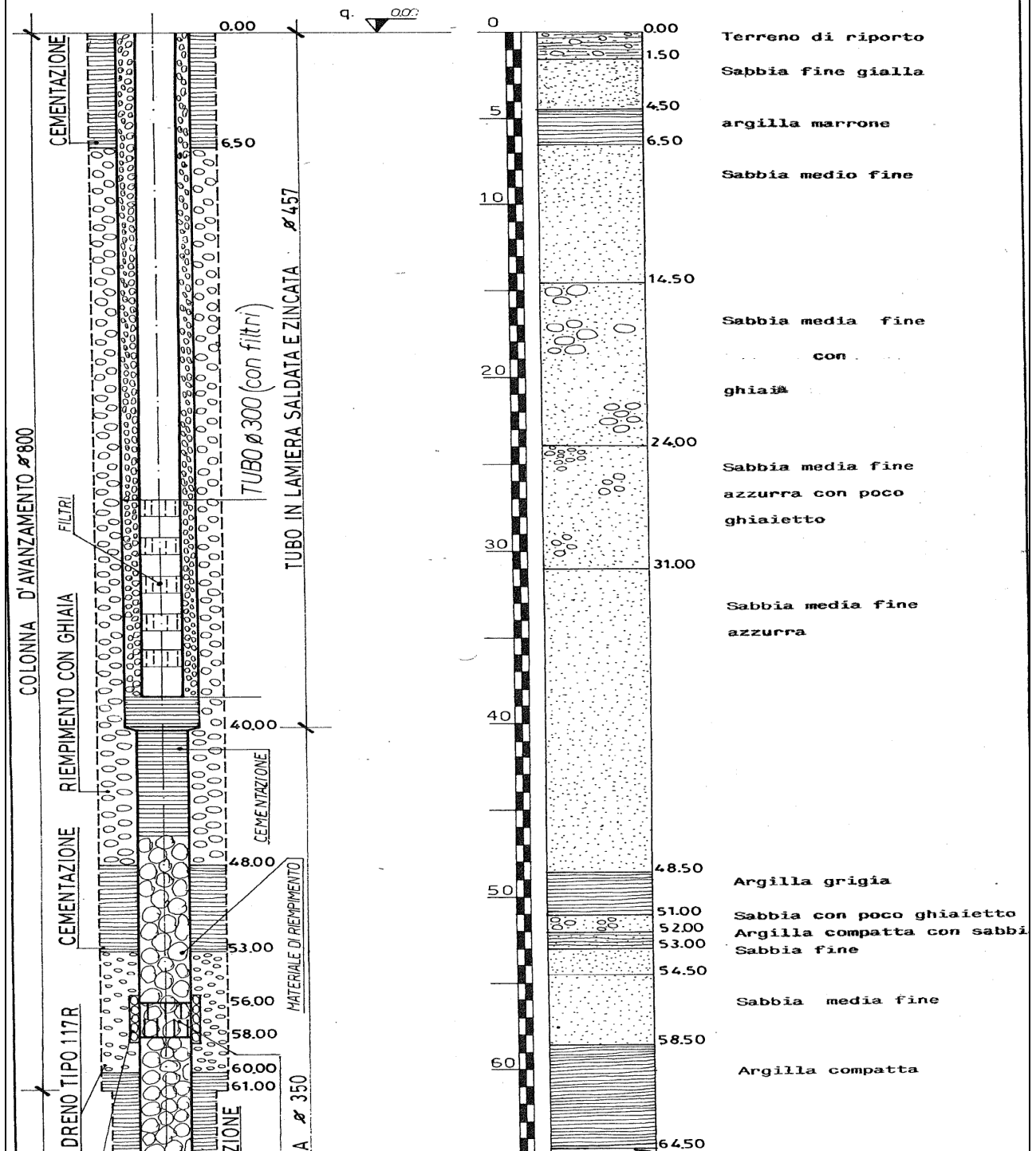
Pozzo n° 3

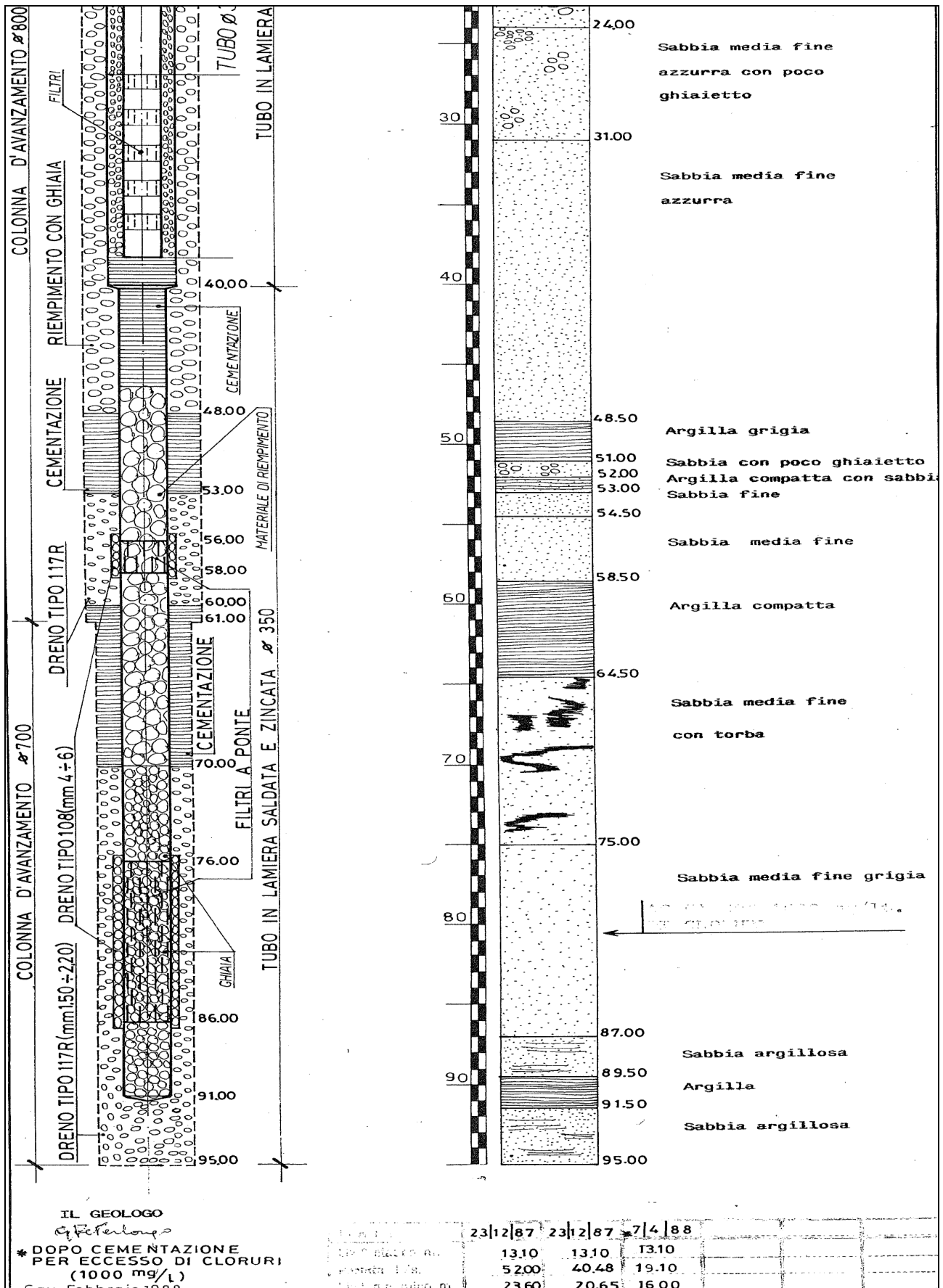
ACQUEDOTTO DI MALEO
COMUNE DI MALEO
Piazzale della Chiesa

POZZO TRIVELLATO E STRATIGRAFIA
DOPO CEMENTAZIONE - MAGGIO 89

DATA : 23/12/89

IMPRESA : NEGRETTI





Allegato 2 - ELENCO DEI POZZI CENSITI SUL TERRITORIO COMUNALE

CODSIF	COMUNE	INDIRIZZO	ENTE	USO	PROF	CEMENTATO
0980350001	Maleo	LOC. SERBATOIO	PUBBLIC O	cem	42	24-gen-00
0980350002	Maleo	LOC. SERBATOIO	PUBBLIC O	ps	49	24-gen-00
0980350003	Maleo	LOC. SERBATOIO	PUBBLIC O	p	91	
0980350006	Maleo	C.NA CAMPOLANDRONE	PRIVATO	p-z	85	
0980350007	Maleo	C.NA CAMPOLANDRONE	PRIVATO	p-z	102	
0980350008	Maleo	C.NA REGONA GRANDE	PRIVATO	p-z	35	
0980350010	Maleo	C.NA GEROLETTA	PRIVATO	p	20	
0980350011	Maleo	C.NA RONCHI	PRIVATO	cem	0	16-gen-96
0980350012	Maleo	C.NA S. MARCELLINO	PRIVATO	p-z	28	
0980350013	Maleo	C.NA DEL POZZO	PRIVATO	p-z	25	
0980350014	Maleo	C.NA DEL POZZO	PRIVATO	p-z	20	
0980350015	Maleo	C.NA NUOVA	PRIVATO	p-z	26	
0980350016	Maleo	C.NA BOSCO TRECCHI	PRIVATO	d	12	
0980350017	Maleo	C.NA S'ANTONIO	PRIVATO	p-z	25	
0980350018	Maleo	C.NA CALIFORNIA	PRIVATO	p-z	22	
0980350019	Maleo	C.NA SIGOLA	PRIVATO	p-z	32	
0980350020	Maleo	C.NA SIGOLA	PRIVATO	p-z	20	
0980350021	Maleo	C.NA S'ANNA	PRIVATO	p-z	20	
0980350022	Maleo	C.NA S'ANNA	PRIVATO	p	17	
0980350023	Maleo	C.NA SIGOLA	PRIVATO	p	25	
0980350024	Maleo	VILLAGGIO TRIVULZIO	PRIVATO	p	35	
0980350025	Maleo	C.NA MORARO GIOVANE	PRIVATO	z	35	
0980350026	Maleo	C.NA MORARO GIOVANE	PRIVATO	p-z	35	
0980350027	Maleo	C.NA MORARO GIOVANE	PRIVATO	cem	0	4-mag-98
0980350028	Maleo	C.NA CASCINETTA	PRIVATO	p	20	
0980350029	Maleo	C.NA CASCINETTA	PRIVATO	z	30	
0980350030	Maleo	C.NA S. GIUSEPPE	PRIVATO	p-z	20	
0980350031	Maleo	S.S. 234 PER PIZZIGHETTONE	PRIVATO	p	80	
0980350032	Maleo	S.S. 234 PER PIZZIGHETTONE	PRIVATO	p	20	
0980350033	Maleo	S.S. 234 PER PIZZIGHETTONE	PRIVATO	p	20	
0980350034	Maleo	S.S. 234 PEP PIZZIGHETTONE	PRIVATO		0	
0980350035	Maleo	S.S. 234 PER PIZZIGHETTONE	PRIVATO	p	80	
0980350036	Maleo	S.S. 234 PER PIZZIGHETTONE	PRIVATO	p	70	
0980350037	Maleo	CASOTTI DI SOTTO	PRIVATO	p	18	
0980350038	Maleo	C.NA S. FRANCESCO MAGGIORE	PRIVATO	cem	0	1-gen-75
0980350039	Maleo	C.NA S. FRANCESCO MAGGIORE	PRIVATO	cem	0	1-gen-75
0980350040	Maleo	C.NA S. FRANCESCO MAGGIORE	PRIVATO	p-z	30	
0980350041	Maleo	C.NA S. FRANCESCO MINORE	PRIVATO	p-z	22	

0980350042	Maleo	C.NA S. FRANCESCO MINORE	PRIVATO	p-z	25	
0980350043	Maleo	C.NA MACCALLE'	PRIVATO	p-z	27	
0980350044	Maleo	C.NA MORARO VECCHIO	PRIVATO	p-z	20	
0980350045	Maleo	C.NA CAVAREZZA GIOVANE	PRIVATO	cem	0	4-mag-99
0980350046	Maleo	C.NA CAVAREZZA GIOVANE	PRIVATO	cem	0	4-mag-99
0980350047	Maleo	C.NA CAVAREZZA VECCHIA	PRIVATO	p-z	25	
0980350048	Maleo	C.NA CAVAREZZA VECCHIA	PRIVATO	p-z	20	
0980350049	Maleo	C.NA CAVAREZZA VECCHIA	PRIVATO	p-z	28	
0980350050	Maleo	C.NA ZOCCOLA	PRIVATO	p-z	30	
0980350051	Maleo	C.NA ZOCCOLA	PRIVATO	p-z	22	
0980350052	Maleo	C.NA ZOCCOLA	PRIVATO	p	20	
0980350053	Maleo	C.NA CASENUOVE	PRIVATO	cem	0	1-gen-76
0980350054	Maleo	C.NA SESSA I	PRIVATO	p-z	20	
0980350055	Maleo	C.NA SESSA II	PRIVATO	p-z	20	
0980350056	Maleo	C.NA MORONA	PRIVATO	p-z	18	
0980350057	Maleo	C.NA MORONA	PRIVATO	p-z	22	
0980350058	Maleo	C.NA BRATTO	PRIVATO	p-z	28	
0980350059	Maleo	C.NA PALUDINE	PRIVATO	p-z	24	
0980350060	Maleo	C.NA MARIA GIULIA	PRIVATO	p	20	
0980350061	Maleo	C.NA MORTI DI S.PIETRO	PRIVATO	p	18	
0980350062	Maleo	VIA S.S. 234 N° 5	PRIVATO	p	22	
0980350063	Maleo	VIA S.S. 235 N° 5/b	PRIVATO	p	24	
0980350066	Maleo	C.NA CHIESUOLO	PRIVATO	cem	0	16-ott-98
0980350067	Maleo	C.NA CHIESUOLO	PRIVATO	cem	0	16-ott-98
0980350068	Maleo	C.NA CHIESUOLO PICCOLO	PRIVATO	cem	0	19-giu-98
0980350069	Maleo	C.NA CHIESUOLO PICCOLO	PRIVATO	p-z	20	
0980350070	Maleo	C.NA CHIESUOLO PICCOLO	PRIVATO	p-z	22	
0980350071	Maleo	C.NA ARCHINTI MINORE - PALLADINA	PRIVATO	p-z	20	
0980350072	Maleo	SS 27 KM8+667	PRIVATO	p	18	
0980350073	Maleo	C.NA CASENUOVE	PRIVATO	dis	12	
0980350074	Maleo	C.NA CAVAREZZA GIOVANE	PRIVATO	p-z	90	
0980350075	Maleo	C.NA RONCHI	PRIVATO	cem	0	16-mar-98
0980350076	Maleo	STRADA X CAVACURTA ZONA CIMITERO	PRIVATO	pz	8	
0980350077	Maleo	STRADA X CAVACURTA ZONA CIMITERO	PRIVATO	pz	21	
0980350078	Maleo	STRADA X CAVACURTA ZONA CIMITERO	PRIVATO	pz	8	
0980350079	Maleo	STRADA X CAVACURTA ZONA CIMITERO	PRIVATO	pz	18	
0980350080	Maleo	STRADA X CAVACURTA ZONA CIMITERO	PRIVATO	pz	18	
0980350081	Maleo	STRADA X CAVACURTA ZONA CIMITERO	PRIVATO	pz	0	
0980350082	Maleo	STRADA X CAVACURTA ZONA CIMITERO	PRIVATO	pz	0	
0980350083	Maleo	STRADA X CAVACURTA ZONA	PRIVATO	pz	0	

		CIMITERO				
0980350084	Maleo	STRADA X CAVACURTA ZONA CIMITERO	PRIVATO	pz	0	
0980350085	Maleo	STRADA X CAVACURTA ZONA CIMITERO	PRIVATO	pz	0	
0980350086	Maleo	VIA LAGO GERUNDO	PRIVATO	dis	10	
0980350087	Maleo	STRADA X CAVACURTA ZONA CIMITERO	PRIVATO	pz	0	
0980350088	Maleo	VIA BORGONOVO N° 43	PRIVATO	d	30	
0980350089	Maleo	VIA BREDÀ N° 3	PRIVATO	d	30	
0980350090	Maleo	STRADA BASSA EX MANTOVANA N° 9	PRIVATO	ir-i	95	
0980350091	Maleo	C.NA CAMPOLANDRONE	PRIVATO	pz	4	
0980350092	Maleo	F.NE CASENUOVE AZ. AGR. CASENUOVE	PRIVATO	p-z	37	
0980350093	Maleo	C.NA GEROLETTA	PRIVATO	i	30	
0980350094	Maleo	VIA FULCHERIA 16	PRIVATO	d	30	
0980350095	Maleo	CASTELLO TRECCHI - POZZO 1	PRIVATO		0	
0980350096	Maleo	CASTELLO TRECCHI - POZZO 2	PRIVATO		0	