

# NOTA SULLE UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE E GEOLOGICO-TECNICHE DELLA PARTE MERIDIONALE DELLA PROVINCIA DI COMO

A cura di V. Francani e C. Rampolla

[vincenzo.francani@polimi.it](mailto:vincenzo.francani@polimi.it)

[carla.rampolla@gmail.com](mailto:carla.rampolla@gmail.com)

## Indice

1	PREMESSA.....	2
2	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	2
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	2
2.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO .....	3
3	IDROGEOLOGIA.....	5
3.1	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE.....	6
3.3.1	DEFINIZIONE DI UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE .....	7
3.2	PERMEABILITÀ E TRASMISSIVITÀ .....	8
3.3	SE ZIONI IDROGEOLOGICHE.....	9
3.4	PIEZOMETRIA .....	18
4	QUALITÀ DELLE ACQUE .....	18
5	CONSIDERAZIONI GEOLOGICO-TECNICHE .....	19
5.1	UNITÀ A .....	20
5.2	UNITÀ mA.....	20
5.3	UNITÀ B1 .....	20
5.4	UNITÀ gB1 .....	21
5.5	UNITÀ B2 .....	21
5.6	UNITÀ gB2 .....	22
5.7	CONGLOMERATI (CEPPO INDIFFERENZIATO).....	22
6	CONCLUSIONI.....	22
7	BIBLIOGRAFIA .....	23

## **1 PREMESSA**

La redazione dei Piani di Governo del Territorio in Lombardia ha apportato interessanti novità nelle conoscenze, anche di dettaglio, degli aspetti geologici .

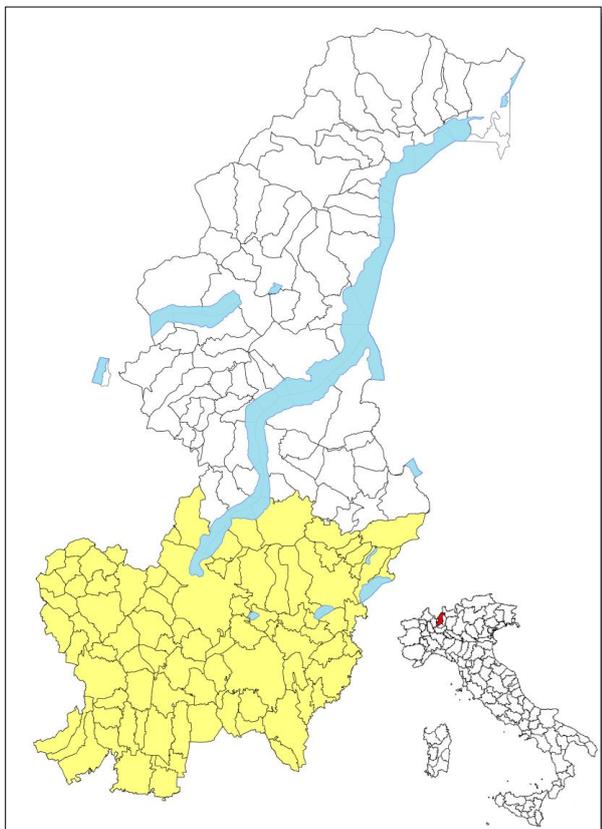
Queste relazioni trovano immediata applicazione nel campo della progettazione delle opere di maggiore interesse per lo sviluppo urbanistico e territoriale, dal momento che offrono ampie sintesi delle conoscenze tanto sulla gestione delle acque superficiali e sotterranee quanto sulla prevenzione dissesto idrogeologico.

Questo scritto espone, con un esempio tratto da precedenti studi sulla Provincia di Como, come sia possibile utilizzare in campo applicativo per migliorare l'utilizzabilità delle carte progettuali, le nuove conoscenze acquisite con l'allostratigrafia, che descrive e ricostruisce gli eventi sedimentari.

A conclusione della relazione vengono presentate alcune proposte per un aggiornamento dei metodi di studio dei problemi proposti.

## **2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA**

### **2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**



L'area oggetto di studio è costituita dal territorio meridionale della provincia di Como, situato nella zona nord-occidentale della Regione Lombardia che confina a Est con la provincia di Lecco a Nord-Est con la provincia di Sondrio, a Nord-Ovest con la Svizzera (Canton Ticino), a Sud-Ovest con quella di Varese e a Sud con quella di Monza e della Brianza. Essa è delimitata dagli affioramenti prealpini nella parte settentrionale e degrada poi a sud verso la fascia pianeggiante della pianura padana. La forma dell'area risulta all'incirca rettangolare allungata in direzione est-ovest; è situata in posizione centro-settentrionale rispetto all'intera area della regione Lombardia e si inserisce nel passaggio tra i rilievi prealpini che sfumano dalle colline moreniche nella zona centrale agli orli meridionali dei terrazzi fluvio-glaciali dove la pendenza media non supera lo 0.8%. Il reticolo idrografico naturale è molto ben

Figura 1 - Area di studio

sviluppato principalmente in direzione Nord-Sud dove si sviluppano i torrenti Gradaluso, Bozzente, Lura, Terrò, e i fiumi Seveso e Lambro; l'unico corso d'acqua che si snoda in direzione ovest-est è rappresentato dal torrente Cosia. L'area di indagine oltre ad un indubbio significato socio economico a scala regionale, riveste notevole importanza per gli aspetti idrogeologici: da essa proviene infatti una cospicua parte dell'alimentazione delle falde più profonde sfruttate nell'hinterland milanese e delle stessa città di Milano facendone aree da tutelare in termini di zone di protezione per la qualità delle acque sotterranee.

## 2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Le caratteristiche geomorfologiche della parte meridionale della Provincia di Como risentono degli avvenimenti geologici succedutisi dal tardo Miocene fino a tutto il Quaternario. Nel Miocene superiore si produsse una forte fase erosiva su tutto l'arco prealpino con la formazione di canyons in corrispondenza degli attuali laghi prealpini. A partire dal Pliocene sup.-Pleistocene inf. si assiste ad una fase di ritiro del mare e alla sedimentazione dei depositi continentali fluvio-lacustri, deltizi e di piana costiera caratterizzati da granulometrie non grossolane (sabbie fini, limi, argille) per il predominare delle condizioni di acque tranquille. Questa unità sedimentaria è stata sottoposta ad un sollevamento post-deposizione e quindi la sua parte superiore è fortemente erosa e incisa. Contemporaneamente alla fase di sollevamento, si sono succedute ciclicamente diverse fasi trasgressive, i cui depositi marini e continentali hanno riempito tali incisioni e sono stati a loro volta erosi quasi completamente. Nei solchi vallivi così creati si deposero sabbie e ghiaie, anche in notevoli spessori, che col tempo hanno subito fenomeni di cementazione. Attualmente questi depositi affiorano o si rinvengono nel sottosuolo in modo discontinuo. Con il Pleistocene l'area viene interessata da episodi glaciali, convenzionalmente raggruppati nelle quattro fasi Mindel, Riss, Wurm e Gunz, che diedero luogo alla deposizione di una vasta coltre di sedimenti glaciali nella aree pedemontane e alluvionali nella media e bassa pianura. Alla deposizione dei sedimenti, nei periodi interglaciali, fece seguito la loro erosione; questo ciclo di sedimentazione ed erosione da parte delle fiumane pleistoceniche degli episodi glaciali ha creato un sistema di terrazzi, che attualmente occupa la porzione più alta della pianura ai piedi degli anfiteatri morenici. Immediatamente prima dei periodi glaciali il mare padano raggiungeva i bordi prealpini e vi aveva deposto le argille fossilifere (*Villafranchiano* o *argille sotto il Ceppo*) adattandole alla morfologia del fondo; in seguito con l'aumento dell'azione erosiva esercitata sulla terra ferma, la depressione pedemontana venne ricoperta da potenti coltri ghiaiose cementate poi a dare il "*Ceppo lombardo - C*" (Fig. 2).

Gli elementi morfologici che determinano la forma del suolo e le caratteristiche fisiografiche del paesaggio si possono così ricondurre alle seguenti:

- I versanti rocciosi calcarei (area settentrionale);
- L'ossatura rocciosa costituita da conglomerati, arenarie e marne (Gonfolite al limite con la Provincia di Varese) o marnosa e calcarea (Flysch, Scaglia rossa, calcari della serie giurassica nella parte centrale e occidentale dell'area prealpina);
- Gli anfiteatri morenici con gli accumuli di materiale detritico (allineamenti collinari e cerchie moreniche);
- le aree pianeggianti all'interno degli archi morenici;

- Le aree pianeggianti vallive degli attuali corsi d'acqua che collegano le cerchie moreniche con le sottostanti pianure;
- Le pianure fluvio-glaciali costituenti le aree pianeggianti terrazzate del tratto meridionale.

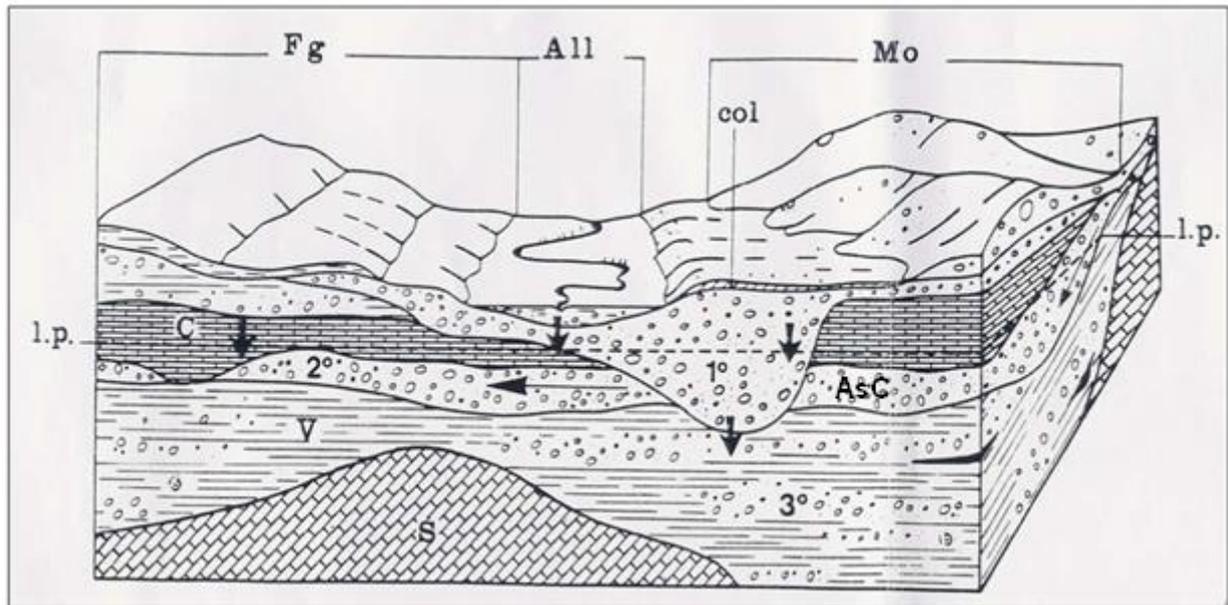


Figura 2 - S= substrato roccioso; V= Villafranchiano (PTU); AsC = acquifero sotto il Ceppo; C= Ceppo; M = depositi morenici; Fg= depositi fluvio-glaciali; All= depositi alluvionali; l.p.= livello piezometrico; 1° = primo acquifero; 2° = secondo acquifero; 3° = terzo acquifero.

Il quadro stratigrafico elaborato da Penck e Bruckner (1909) all'inizio del secolo scorso (le quattro fasi glaciali Würm, Riss, Mindel e Günz, separate da tre fasi interglaciali denominate Riss-Würm, Mindel-Riss, Günz-Mindel) è ancora oggi spesso utilizzato come riferimento, tanto che la Carta Geologica d'Italia riporta ancora queste denominazioni. Un approfondimento sulla cronologia delle fasi glaciali e della litologia dei sedimenti depositi dai diversi corpi idrici e da ghiacciai, ha portato successivamente ad un deciso miglioramento delle conoscenze su tali argomenti di grande utilità scientifica. Le più recenti analisi dei depositi del Quaternario portano un approfondimento sedimentologico e cronostratigrafico dello studio dei depositi glaciali prealpini e pedemontani. Il rilevamento di dettaglio dei corpi sedimentari (Orombelli, 1976 e Bini, 1987) porta alla definizione di "complessi glaciali" seguendo il modello americano dei "Drifts". Successivamente i "complessi glaciali" vengono sostituiti con le alloformazioni. Con questa nuova classificazione le espansioni glaciali riconosciute non sono più le 4 del modello classico ma aumentano fino a 12/13.

Per consentire un collegamento fra le alloformazioni e le unità alle quali fanno riferimento gli studi geologici precedenti, viene rappresentata in figura 3 una correlazione orientativa ricavabile dalle descrizioni di letteratura. Inoltre nella seguente tabella 1 si riporta il confronto anch'esso orientativo tra le alloformazioni secondo la nuova classificazione e le unità tradizionali, tuttora molto utilizzate sia per gli studi geologici sia per quelli idrogeologici e nei PGT comunali in tutta la Lombardia.



Figura 3- schema stratigrafico dell'area di interesse (da V. Francani, Idrogeologia generale, 1992), al quale sono stati aggiunte i termini delle alloformazioni corrispondenti ricavati dalla bibliografia (A. Bini, e al., 2004)

Tabella 1 - confronto tra le unità allostratigrafiche correnti (cartografia CARG) e unità tradizionali

UNITA' ALLOSTRATIGRAFICHE	UNITA' TRADIZIONALI	ETA'
GRUPPO DELLA GONFOLITE -Go	SUBSTRATO ROCCIOSO - S	PREQUATERNARIO (Oligocene-Miocene medio)
FORMAZIONE DI LAMBRUGO - LMB SABBIE DI PONTE NUOVO- PTU	ARGILLE SOTTO IL CEPPPO	PLIOCENE – (Zanclano o Piacenziano in base alla posizione stratigrafica)
CONGLOMERATI (di varia origine)	CONGLOMERATI TIPO "CEPPPO"	PLEISTOCENE INFERIORE E MEDIO
ALLOGRUPPO DEL BOZZENTE - Bo	MINDEL (RIVA 1957)	PLEISTOCENE MEDIO
ALLOFORMAZIONE DI BINAGO - Bi	RISS (Nangeroni 1954, Riva 1957)	PLEISTOCENE MEDIO
ALLOGRUPPO DI BESNATE - Be	WURM/RISS	PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE
ALLOFORMAZIONE DI CANTU' -Ca	WURM	PLEISTOCENE SUPERIORE
ALLOFORMAZIONE DEL PO (Unità Postglaciale - Pg)	DEPOSITI RECENTI ED ATTUALI	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE

### 3 IDROGEOLOGIA

Tutte le acque di precipitazione cadute sul comprensorio comasco e non evaporate o convogliate nel sottosuolo vanno a costituire la complessa rete idrografica, sviluppata soprattutto in direzione nord-sud (ad eccezione del torrente Cosia che si snoda in direzione est-ovest), delle rogge, torrenti e fiumi esistenti.

I corsi d'acqua che scorrono in questa zona sono innumerevoli e caratterizzati da portate medie normalmente modeste e da forti situazioni di inquinamento, che in molti casi hanno provocato la

totale scomparsa della fauna ittica.

Si possono distinguere i seguenti sistemi idrografici:

- Sistema del T. Breggia e T. Faloppia.
- Sistema idrografico del T. Cosia.
- Sistema idrografico del T. Seveso.
- Sistema idrografico del T. Lura
- Sistema idrografico dei T. Bozzente e Antigua
- Sistema idrografico del fiume Lambro

### 3.1 UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di importanti successioni di depositi di copertura quaternari, con spessore che va aumentando da Nord verso Sud.

Il sistema delle falde acquifere del comasco è ben delineato nella sua morfologia e funzionalità in cui si possono distinguere tre complessi acquiferi principali separati da livelli impermeabili continui ed estesi:

- Acquifero superficiale
- Acquifero tradizionale
- Acquifero profondo

Le falde acquifere della provincia di Como sono contenuti dentro depositi relativamente recenti (detriti, morene, alluvioni attuali dei corsi d'acqua) che formano il "**primo acquifero**" (Fluvioglaciale Wurm Auct). Si tratta di depositi connessi con l'ultima glaciazione quaternaria dovuti all'accumulo diretto dei materiali trasportati dai ghiacciai (morene) o all'accumulo dei depositi fluvio-glaciali.

Il "**secondo acquifero**" (Fluvioglaciale Riss-Mindel / Ceppo Autoctono) viene a trovarsi a maggiore profondità ed è costituito da depositi connessi con la penultima glaciazione (Riss), dai depositi "ferrettizzati" generati dallo smantellamento, quasi contemporaneo alla deposizione, del materiale morenico mindeliano, e ai depositi riferibili al "Ceppo Lombardo". Questi ultimi, noti nella letteratura anche come "Ceppo dell'Adda" sono spesso contenuti all'interno dei solchi vallivi in corrispondenza degli alvei o paleoalvei dei corsi d'acqua, scavati nel Villafranchiano.

A quest'ultima unità litologica (Villafranchiano) viene dato il nome di "**terzo acquifero**" in ragione della sua profondità e della scarsa resa in termini di portata munta (suddivisione degli acquiferi visibile in fig. 4). È costituita da una unità limo- sabbio-argillosa che risulta spesso visibile in affioramento in corrispondenza delle incisioni profonde di natura fluviale.

L'identificazione delle superfici di discontinuità stratigrafica, corrispondenti alle tappe fondamentali nell'evoluzione del bacino, ha consentito di individuare ed attribuire al Pleistocene quattro *unità stratigrafiche* denominate Unità A, Unità B, Unità C, Unità D. Le unità A, B, C, D sono state equiparate a corpi geologici di notevole estensione areale che costituiscono un dominio dello spazio fisico in cui ha sede un sistema idrogeologico distinto.

Nel complesso, l'insieme delle unità idrostratigrafiche principali costituisce una successione di corpi sedimentari acquiferi (Gruppi Acquiferi) costituiti a loro volta da corpi sedimentari acquiferi di rango e dimensioni inferiori (Complessi Acquiferi).

### 3.1.1 Definizione delle unità idrostratigrafiche

Il termine Unità Idrostratigrafica (UIS), così come definito da Castany (1985) può essere considerato un sinonimo di Formazione Idrogeologica o Unità Idrogeologica. Maxey (1964) definisce Unità Idrostratigrafica un corpo geologico cartografabile di notevole estensione areale, in cui ha sede un circuito idrologico ragionevolmente definito e distinto. Secondo Castany l'unità Idrostratigrafica è una formazione, parte di una formazione oppure un gruppo di formazioni con caratteristiche idrologiche omogenee, ovvero distribuite in modo da permettere una suddivisione interna in acquiferi e barriere di permeabilità associate.

Le UIS che costituiscono corpi geologici depositi in ambienti contigui ed continui, si distinguono in base ai valori dei parametri idrogeologici che le contraddistinguono, in particolare in base alla permeabilità, alla trasmissività e alla porosità.

Nella serie idrogeologica di Milano rappresentata in figura 4 sono rappresentate solamente le unità di origine alluvionale. Nella Provincia di Como affioramento invece anche le unità di origine glaciale, che sono state distinte da quelle dei depositi alluvionali ad essere correlabili con l'aggiunta del prefisso m (ad esempio il morenico corrispondente all'unità B viene indicato con mB).

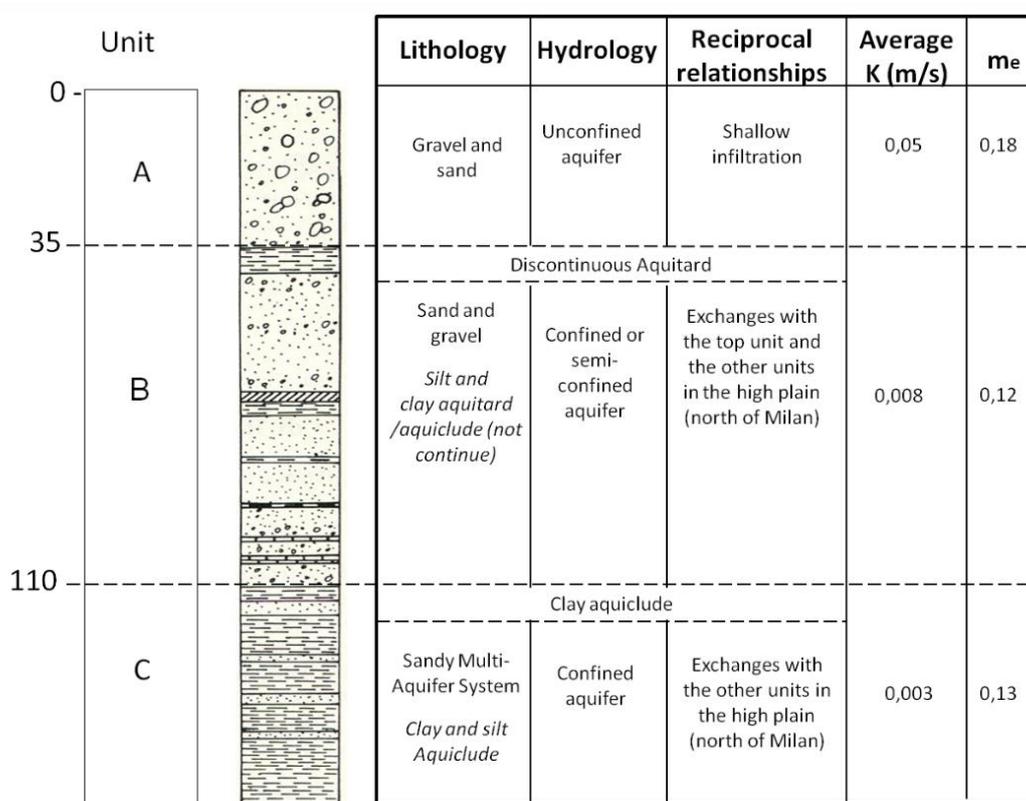


Figura 4 - Successione stratigrafica e rappresentazione sintetica delle caratteristiche delle unità idrostratigrafiche dell'area Milanese.

Le quattro unità stratigrafiche presenti nell'area di studio vengono così distinte:

- **Unità idrostratigrafica A** in cui rientrano le litologie più grossolane; il gruppo infatti è prevalentemente rappresentato da ghiaie e ghiaie grossolane, poligeniche a matrice sabbiosa da media a molto grossolana. La permeabilità media è  $0,5 \cdot 10^{-3}$  m/s. Minori sono gli intervalli sabbiosi con sabbia giallastra da media a molto grossolana, spesso ciottolosa. L'unità

idrostratigrafica A è la prima presente a partire dal piano campagna nella media e bassa pianura e corrisponde alle zone dei fondovalle principali nella zona dell'alta pianura. Valori medi di  $k$ , di  $T$  e di  $Me$  si trovano indicati in figura 4. L'unità gA presenta valori di permeabilità decisamente inferiori (da  $10E-5$  a  $10E-7$ ).

- **Unità idrostratigrafica B** divisa in B1 (più antica) e B2, è rappresentata da una successione di sedimenti, costituiti da sabbie medio-grossolane e ghiaie a matrice sabbiosa e caratterizzati da porosità e permeabilità elevate. I sedimenti fini, subordinati, sono limitati alla parte bassa della successione con intercalazioni di argilla siltosa e silt di spessore da decimetrico a metrico. Alla base del Gruppo Acquifero B è possibile individuare conglomerati localmente poco cementati ed il Ceppo. L'Unità idrostratigrafica B è la prima presente (dal piano campagna) nella zona dell'alta pianura e delle colline moreniche. Valori medi di  $k$ , di  $T$  e di  $Me$  si trovano indicati in figura 4. L'unità gB presenta valori di permeabilità decisamente inferiori (da  $10E-5$  a  $10E-7$ ).
- **Unità idrostratigrafica Cl.** Alla base del Gruppo Acquifero B è possibile individuare il Ceppo, costituito da conglomerati eterogenei a cemento carbonatico con intercalazioni lentiformi di arenaria, sabbia ed argilla. Il Ceppo ha un rilevante interesse idrogeologico per la presenza di cavità di dissoluzione e perchè, dove la cementazione è meno marcata, è sede di acquiferi. In particolare alla base del Ceppo è generalmente presente un livello ghiaioso-sabbioso in cui la cementazione è ridotta; per la sua continuità e spessore (anche oltre 10 m) tale acquifero ha particolare interesse per la ricerca idrica e può essere considerato uno degli acquiferi più importanti dell'unità idrostratigrafica Cl.
- **Unità idrostratigrafica C** è costituita da sedimenti continentali caratterizzati dalla presenza di argilla siltosa-sabbiosa grigia fossilifera. In alcuni ristretti settori dell'alta pianura e delle colline moreniche, laddove affiorano i depositi più antichi, l'unità idrostratigrafica C è la prima che si ritrova dal piano campagna. Valori medi di  $k$ , di  $T$  e di  $Me$  si trovano indicati in figura 4.

Nelle aree oggetto di studio è possibile che non tutti i Gruppi Acquiferi siano presenti e pertanto i contatti verticali e laterali non seguano la successione completa precedentemente descritta. Ad esempio nelle zone dei terrazzi antichi l'unità idrostratigrafica A può essere non essere presente e affiorare solo nei fondovalle dei corsi d'acqua principali.

La maggiore significatività idrogeologica, nella fascia pedemontana, è rappresentata dall'unità idrostratigrafica "Il acquifero" che, localmente, si presenta in prevalenza con caratteristiche di falda libera ed è quindi sostanzialmente il primo acquifero significativo che si riscontra.

### 3.2 PERMEABILITÀ E TRASMISSIVITÀ

Per il calcolo dei valori di permeabilità e trasmissività sono stati utilizzati i dati ricavati da prove di pompaggio nei pozzi. Nella scelta dei pozzi da utilizzarsi per queste operazioni si è fatta attenzione a selezionare esclusivamente quelli non multifalda: attraverso le sezioni stratigrafiche veniva controllato che i filtri del pozzo considerato cadessero all'interno di un solo acquifero.

Nella tabella 2 sono portati alcuni valori di  $k$  e  $t$  a titolo di esempio, mentre in figura 5 e 6 sono rappresentate le carte di trasmissività e permeabilità degli acquiferi.

COMUNE	K (cm/s)	T (m2/s)
ALBAVILLA	8.04E-02	1.57E-02
ALBESE CON CASSANO	5.80E-03	4.64E-04
ALBIOLO	1.68E-01	5.13E-02
ALZATE BRIANZA	7.52E-02	7.97E-03
APPIANO GENTILE	3.99E-03	1.90E-03
AROSIO	7.24E-02	1.01E-02
BEREGAZZO CON FIGLIARO	1.73E-02	2.51E-03
BINAGO	6.98E-03	5.59E-04
BREGNANO	9.73E-03	3.06E-03
BRENNA	8.43E-03	4.35E-02
BULGAROGROSSO	4.11E-03	2.55E-03
CABIATE	4.42E-02	1.68E-02
CADORAGO	8.76E-04	3.57E-04
CANTU'	3.23E-02	1.28E-02
CARBONATE	3.87E-03	3.42E-03
CARUGO	2.21E-02	2.98E-03
COMO	9.04E-03	1.40E-03
OLGIATE COMASCO	2.42E-02	6.46E-03
GRANDATE	3.17E-03	6.65E-04
INVERIGO	1.05E-01	1.32E-02
MOZZATE	6.02E-02	1.11E-02
TURATE	3.78E-02	9.45E-03
VENIANO	2.10E-02	7.57E-03

Tabella 2 – valori di conducibilità idraulica e Trasmissività in alcuni comuni dell'area

### 3.3 SEZIONI IDROGEOLOGICHE

Di seguito (Fig. 7) sono presentate alcune delle sezioni geologico tecniche illustrate nello "Studio idrogeologico della parte meridionale della provincia di Como"<sup>1</sup>.

Da queste sezioni tecniche, i terreni sciolti dell'area di studio possono essere suddivisi in 5 classi di permeabilità. Da queste sezioni tecniche, i terreni sciolti dell'area di studio possono essere suddivisi in unità idrostratigrafiche caratterizzate dalla loro permeabilità. Le unità idrostratigrafiche sono rappresentate nelle sezioni in cui con colori diversi sono rappresentate in base alla permeabilità.

- (1) Classe con  $K < 10^{-6}$  cm/s (argille omogenee).
- (2) intervallo di permeabilità compreso tra  $10^{-6}$  e  $10^{-3}$  cm/s, (limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, ghiaie in matrice argillosa),
- (3) classe con  $10^{-3} < K < 10^{-2}$  cm/s, (sabbie fini, ghiaie e sabbie poco argillose o compatte, e conglomerati ben cementati),
- (4) Classe con  $0.01 < K < 0.05$  cm/s (sabbie grossolane)
- (5) Classe con  $K > 0.05$  cm/s (ghiaie più o meno sabbiose).

<sup>1</sup> Studio effettuato in collaborazione tra Politecnico di Milano (Prof. Vincenzo Francani, Ing. Mario Alba, Ing. Marco Bonotto) e Provincia di Como (Geologo Davide Semplici, Dott. Pasqualina Del Curto e Dott. Silvia Tavecchia)

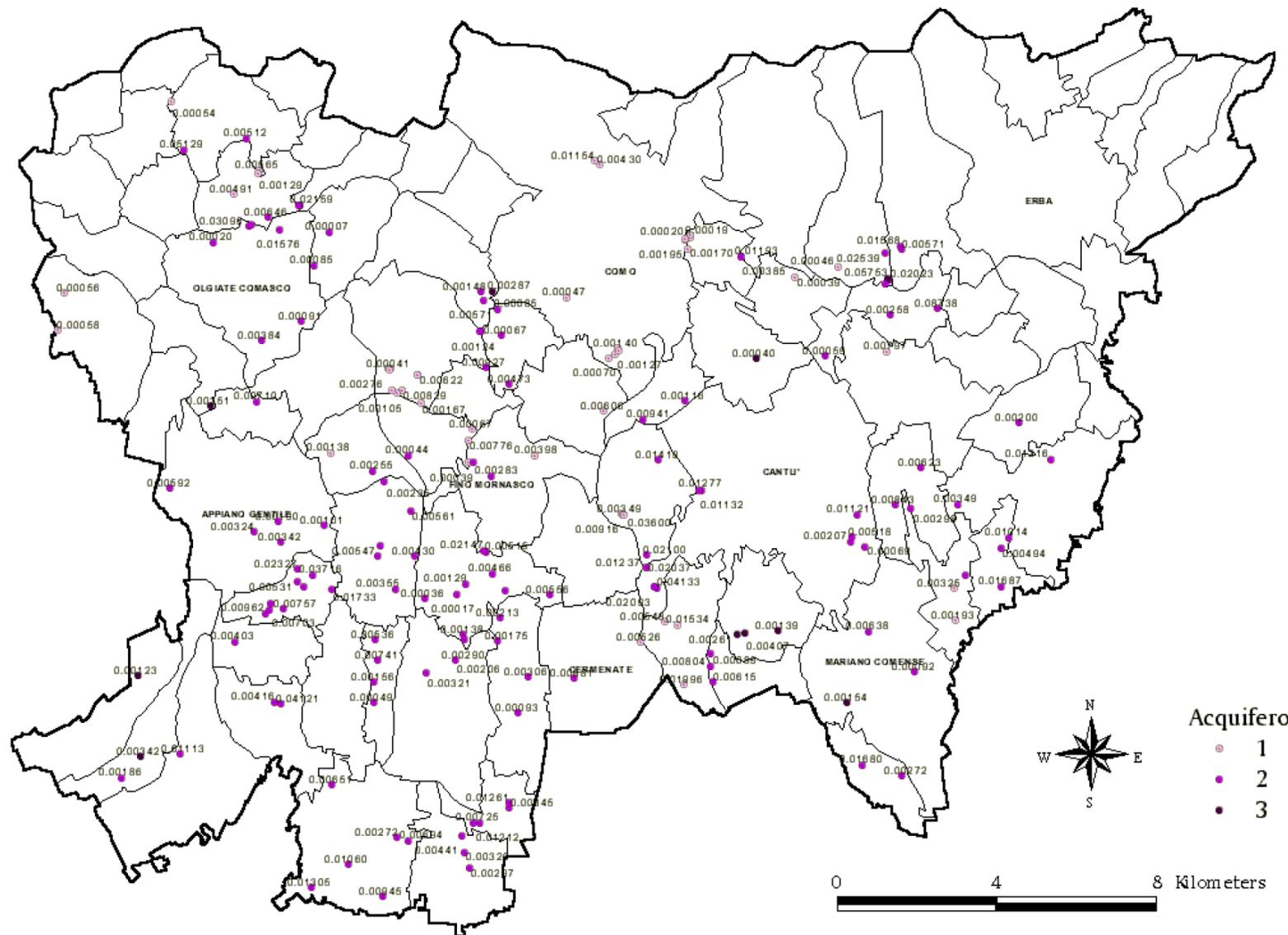


Figura 5- Trasmissività degli acquiferi ( $m^2/s$ )

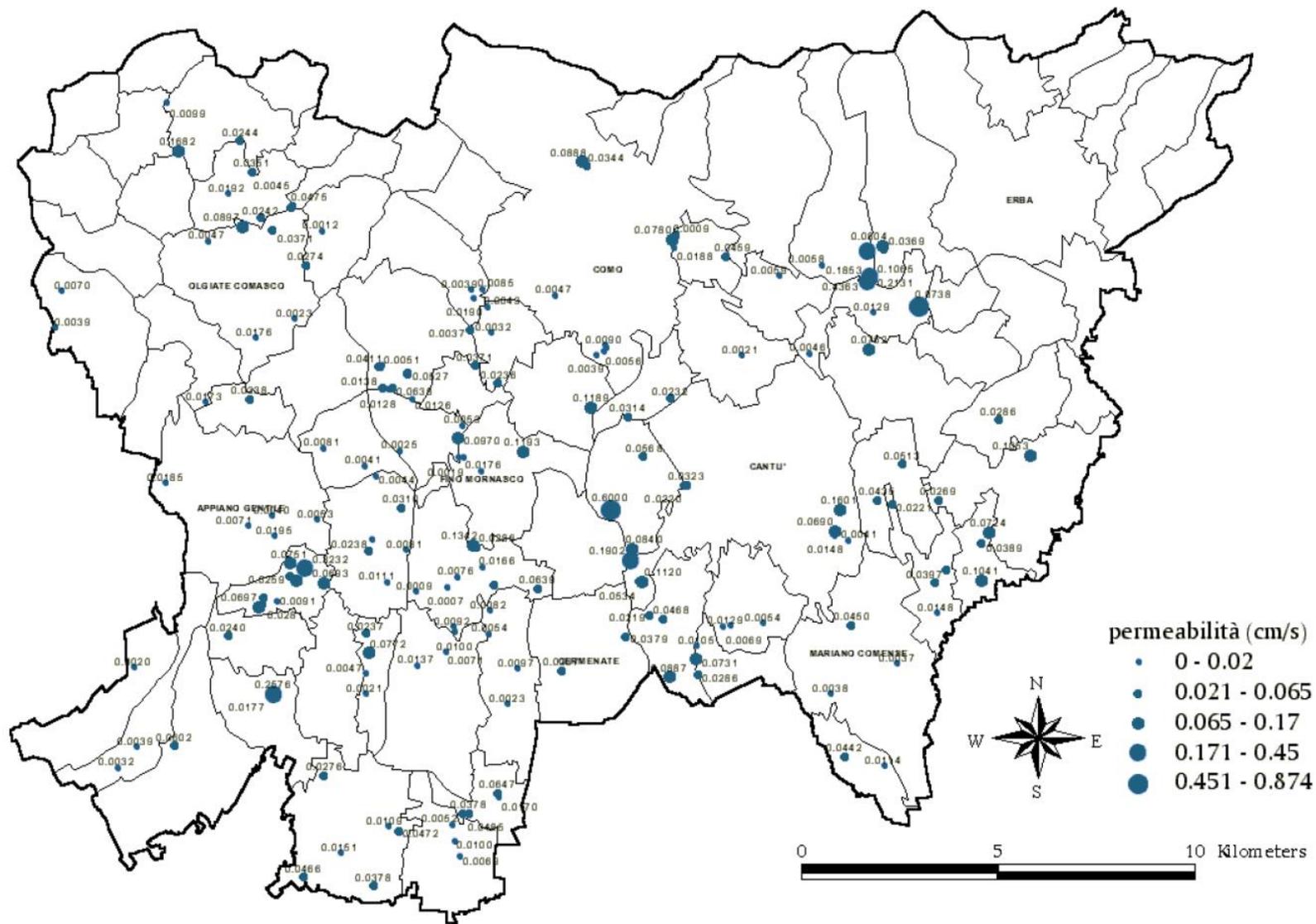
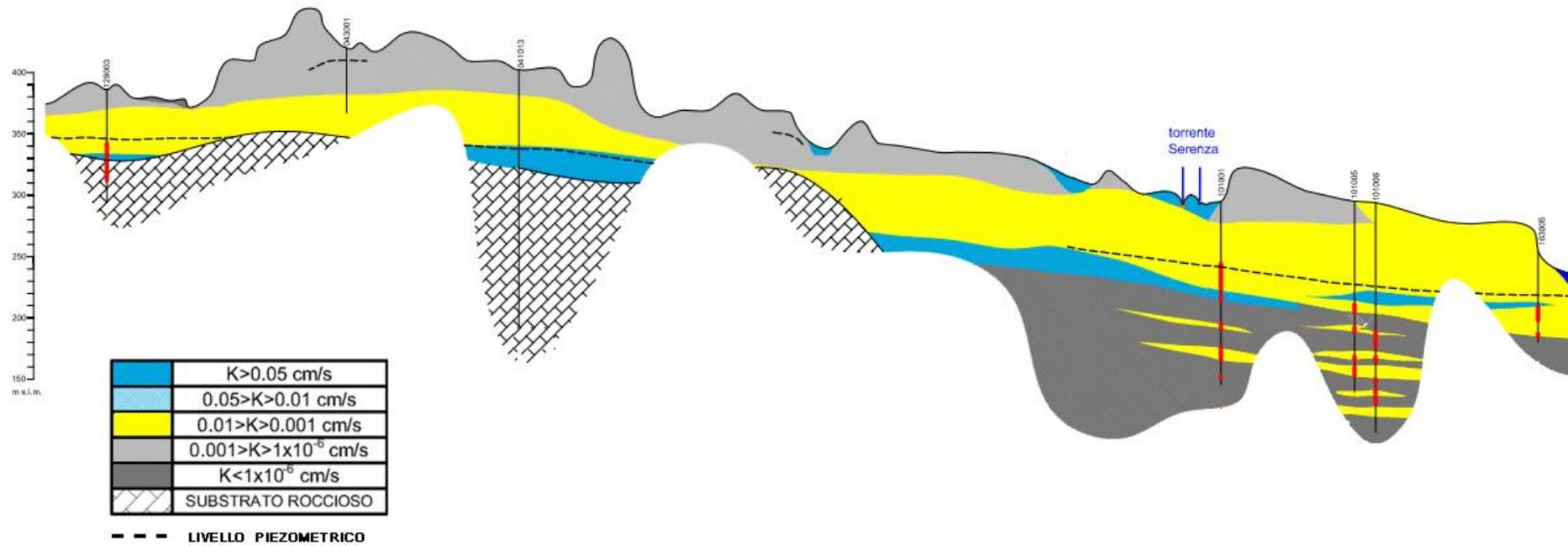
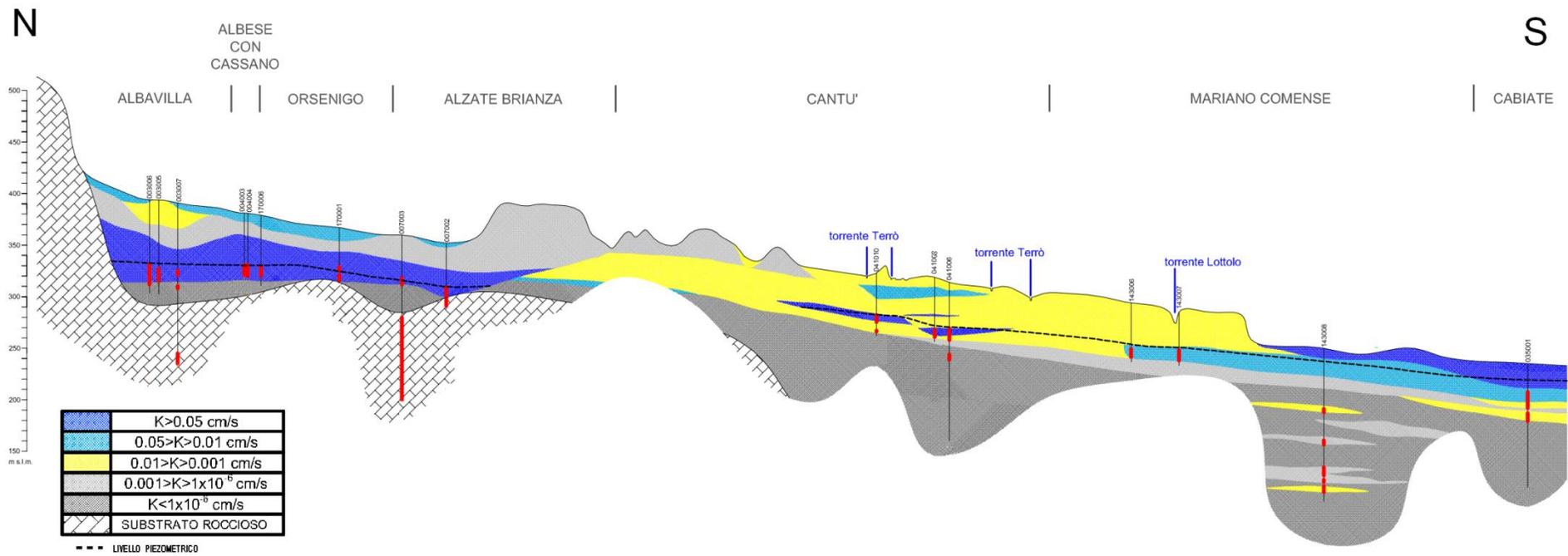


Figura 6 - Permeabilità degli acquiferi (m/s)

**N****S**

LIPOMO | MONTORFANO | CAPIAGO INTIMIANO | CANTU' | FIGINO SERENZA | NOVEDRATE



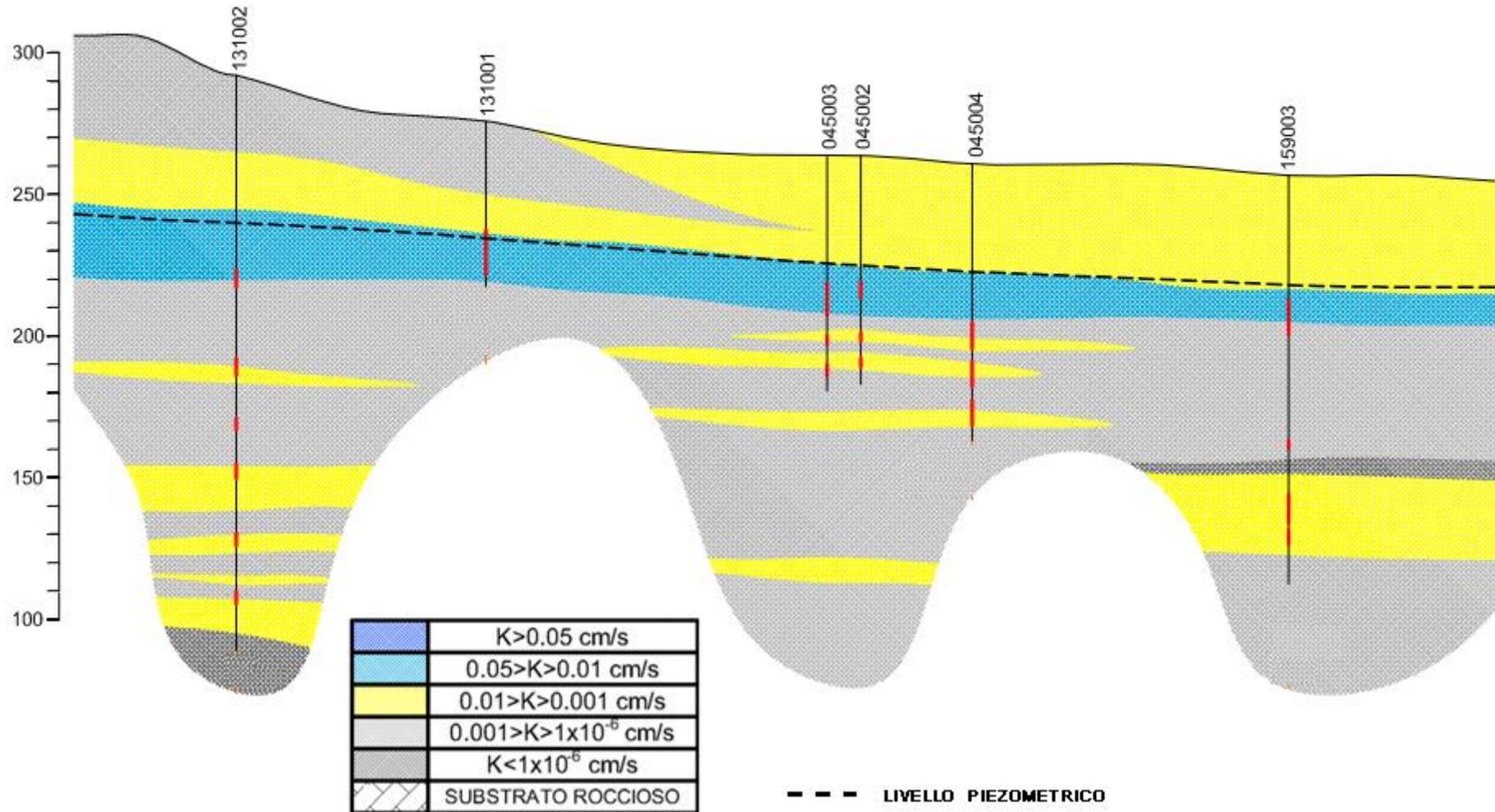


**N**

LOCATE VARESINO

| CARBONATE |

MOZZATE

**S**

W

E

MONTANO  
LUCINO

COMO

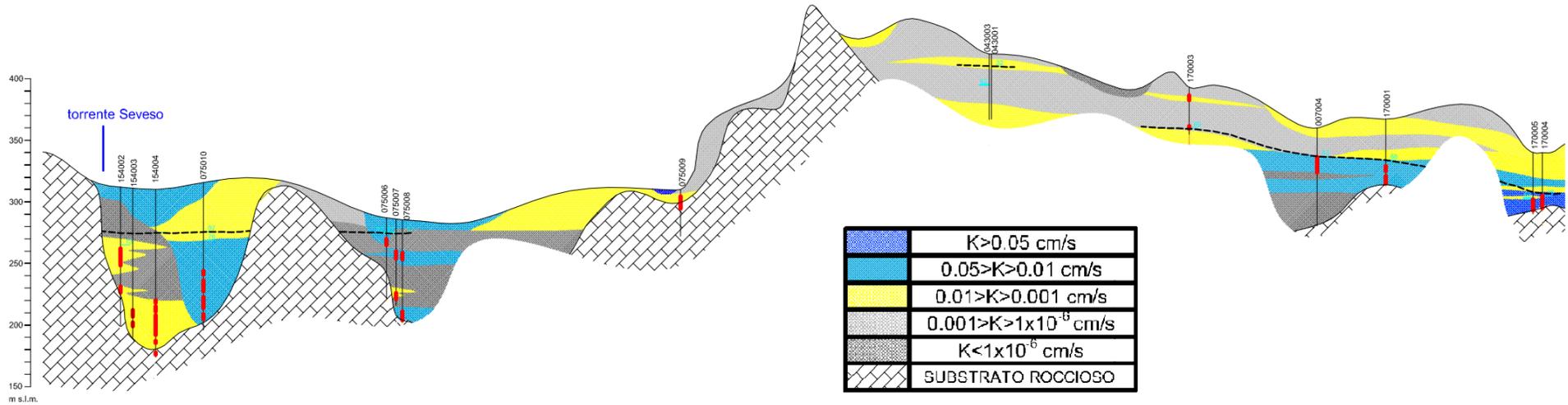
CAPIAGO INTIMIANO

ORSENIGO

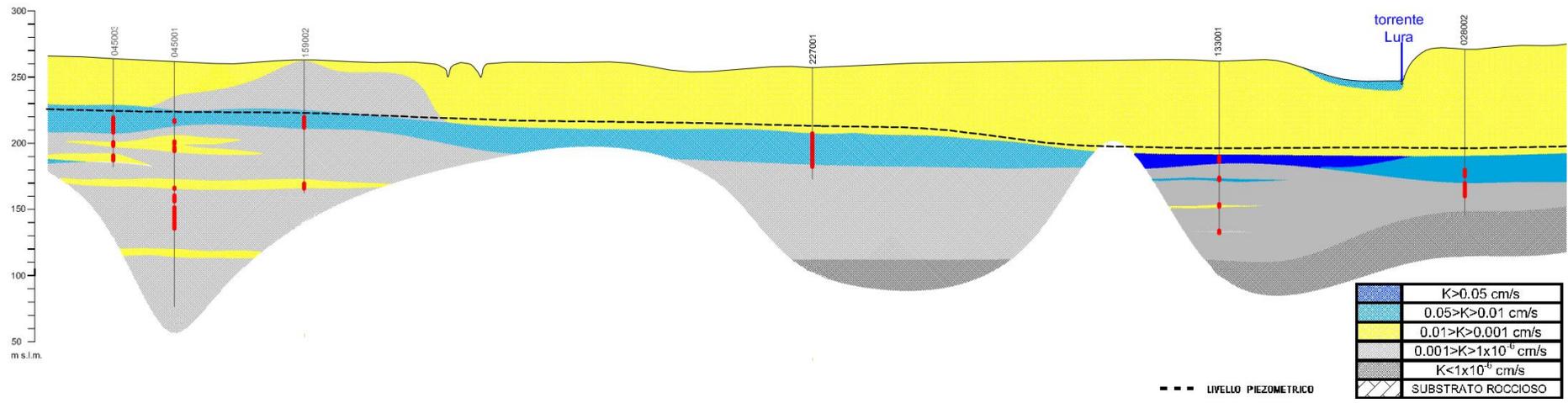
MONTORFANO

ALZATE  
BRIANZA

ORSENIGO



W CARBONATE | MOZZATE | LIMIDO COMASCO | TURATE | LOMAZZO | BREGNANO E



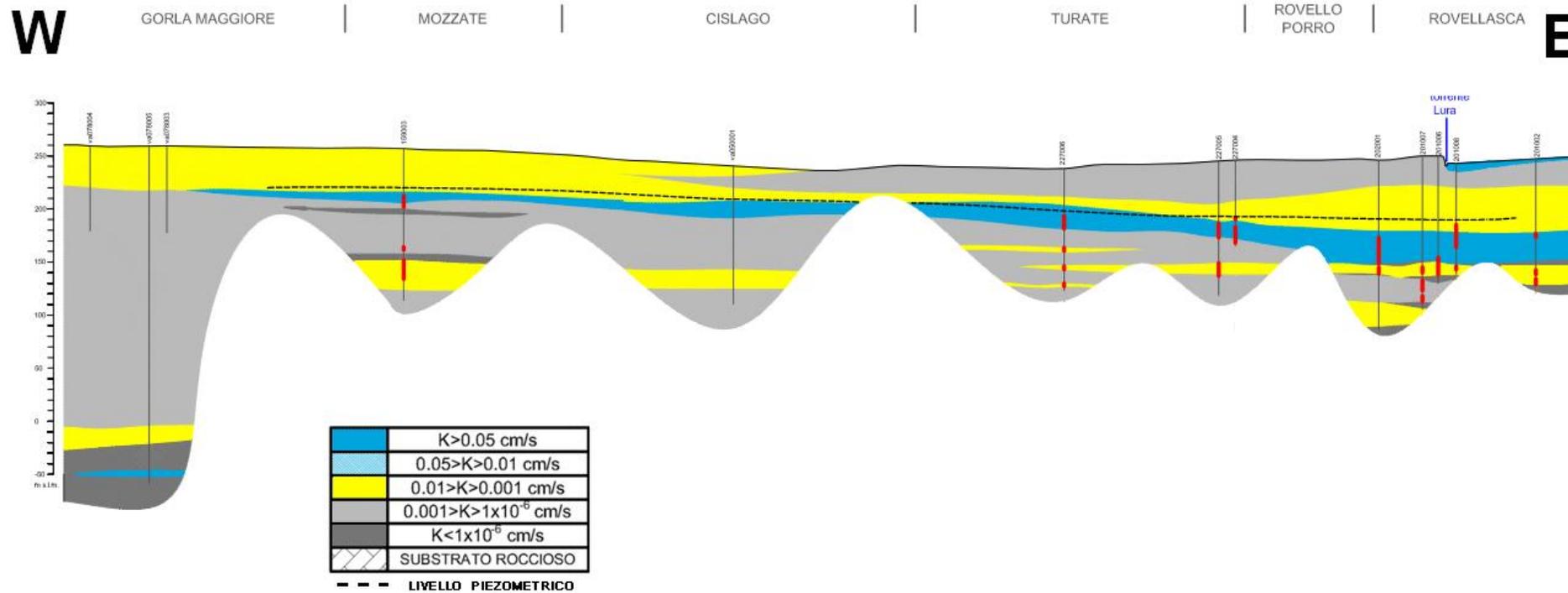


Figura 7 sezioni idrogeologiche

### 3.4 PIEZOMETRIA

La morfologia della superficie piezometrica della falda permette di studiare a scala generale le caratteristiche di scorrimento delle acque sotterranee. Poiché queste ultime sono funzione delle strutture geologiche e delle caratteristiche geologiche ed idrogeologiche degli strati acquiferi, si può avere a disposizione un metodo di analisi diretta a livello qualitativo.

Questi acquiferi risultano inclinati verso sud sia pure in modo tutt'altro che uniforme (fig. 7). Il deflusso quindi avviene prevalentemente da NORD verso Sud con gradiente idraulico medio dell'1%. Solo nelle aree più settentrionali sono riscontrabili elevati gradienti che si portano su valori massimi del 5%.

Inoltre a causa delle numerose incisioni operate in tempi successivi dall'erosione, gli acquiferi vengono a diretto contatto con la superficie del suolo in più punti, ricevendo così dalle piogge e dai corsi d'acqua alimentazione diretta: di conseguenza anche nelle falde perviene acqua da fiumi e da torrenti. Il contatto tra i diversi acquiferi costituiti tutti da depositi di ambiente fluviale e glaciale, è dato da una superficie di erosione ed essa raramente ha andamento pianeggiante ma è caratterizzata nella maggior parte dei casi da avvallamenti e da sopraelevazioni non facilmente prevedibili dalla superficie.

## 4 QUALITÀ DELLE ACQUE

Le attività di monitoraggio dei corpi idrici rappresentano un efficace strumento per la conoscenza dello stato dell'ambiente acquatico e un valido supporto alla pianificazione territoriale ai fini del suo risanamento. Con l'emanazione della normativa sulle acque (D.lgs. 152/99 e s.m.i.), vengono richieste attività di monitoraggio nei corpi idrici significativi al fine di stabilire lo stato di qualità ambientale di ciascuno di essi. La conoscenza dello stato dei corpi idrici permette la loro classificazione e conseguentemente, se necessario, di pianificare il loro risanamento al fine del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale. Per le acque sotterranee è previsto preliminarmente, un inquadramento generale mediante un gruppo ridotto di parametri chimici, fisici e microbiologici, al fine di individuare le aree critiche o quelle naturalmente protette.

Nella normativa attualmente in vigore (D. lgs. 152/99), per le acque sotterranee sono definiti 5 stati di qualità ambientali, denominati indicatori dello stato chimico delle acque sotterranee (SCAS):

- **classe 0:** impatto antropico nullo o trascurabile, ma presenza di particolari facies idrochimiche che portano ad un abbassamento della qualità.
- **classe 1:** impatto antropico nullo o trascurabile e pregiate caratteristiche idrochimiche;
- **classe 2:** impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo e buone caratteristiche idrochimiche;
- **classe 3:** impatto antropico significativo e caratteristiche idrochimiche generalmente buone, ma con alcuni segnali di compromissione;
- **classe 4:** impatto antropico rilevante e caratteristiche idrochimiche scadenti;

Consultando i dati chimici si può immediatamente dedurre che, in linea generale, la falda profonda risulta meno inquinata di quella superficiale; fatto dovuto ad una vulnerabilità minore e dalla degradazione chimica degli inquinanti contenuti nelle acque che avviene durante il percorso per raggiungere le falde profonde.

Dai dati dello SCAS di Arpa Lombardia per gli anni 2009 ÷2012 è inoltre evidente che i principali parametri che influenzano la qualità delle acque sotterranee sono i nitrati, di presumibile origine agricola, (risultano essere l'inquinante più diffuso nei punti monitorati) e altri composti chimici, di presumibile origine industriale, che determinano una classificazione degli acquiferi piuttosto alta (SCAS 3 e/o 4). La presenza di composti organoalogenati come tetracloroetilene e triclorometano, sono riscontrabili nelle aree più antropizzate della Provincia.

In particolare il monitoraggio 2012 della rete regionale della provincia di Como (fig. xxx) ha evidenziato che il 24% dei punti di captazione ha SCAS pregiato o buono (cassi 1 o 2), il 76% dei punti di captazione ha SCAS compromesso o scadente (classi 3 o 4) e nessuno ha classe 0. Nel 56% dei punti di captazione è stata rilevata la presenza di nitrati; nel 52% dei punti di captazione è presente il tetracloroetilene; nel 20% dei pozzi monitorati è stato rilevato il tricloroetilene mentre il triclorometano e il bromacil sono risultati presenti nel 8% dei pozzi monitorati.

Si può concludere che lo stato chimico delle acque monitorate in provincia di Como è generalmente scadente (quasi il 50% dei punti di captazione presenta uno SCAS di classe 4) e che molti pozzi mostrano un peggioramento nella qualità delle acque (con conseguente aumento della classe di SCAS attribuita) nel corso del quadriennio 2009 ÷2012.

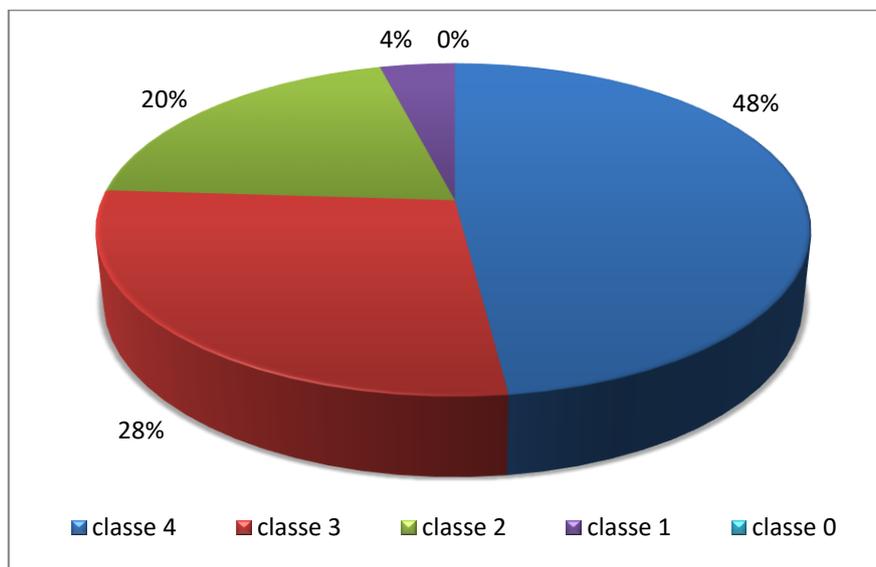


Figura 8 - SCAS anno 2012

## **5 CONSIDERAZIONI GEOLOGICO TECNICHE**

Alcune considerazioni geologico tecniche possono essere tratte da questo primo studio, tenendo presente il fatto che, mentre le unità idrostratigrafiche sono state da tempo introdotte e utilizzate dalla Regione Lombardia, così come recentemente sono stati identificati i corpi acquiferi della pianura e delle valli, non esiste una cartografia delle unità geologico-tecniche o litotecniche, la cui importanza potrebbe rivelarsi determinante nella previsione dei dissesti e nella predisposizione di progetti di fondazioni e di infrastrutture. Per il momento i dati sono ricavabili dai piani di governo del territorio, nei quali sono state presentate unità geologico-tecniche o geotecniche non formalizzate. Nel presente studio questi dati sono stati riuniti all'interno delle unità

idrostratigrafiche, ma è da ritenersi auspicabile che uno studio a carattere regionale consenta di arrivare a unità geologico-tecniche meglio definite.

## 5.1 UNITÀ A

Questa unità, corrispondente al fluvioglaciale Wurm, è costituita da ghiaie e sabbie raramente cementate, ricoperte da un suolo di 50-90 cm di colore grigio-marrone, privo della copertura di loess che caratterizza le unità più antiche. Questi depositi possono raggiungere spessori anche rilevanti (oltre 40 m). Dal punto di vista geologico-tecnico la resistenza di questi terreni, valutata mediante le prove NSPT rivela ottime caratteristiche, non essendo interessato da particolari forme di dissoluzione o di erosione sotterranea. I valori NSPT dei livelli ghiaiosi sono di oltre 20, dopo i primi 7-8 m. Questi terreni possono comunque presentare problemi di stabilità quando contengono livelli limoso-argillosi in condizioni di saturazione.

## 5.2 UNITÀ gA

Corrispondente al glaciale Wurm, è costituita prevalentemente da depositi di ablazione di fusione e di fondo. Il sedimento è formato da limi, limi argillosi, sabbie argillose e sabbie limose con ciottoli costituiti in prevalenza da rocce del bacino del F.Adda, con una sensibile percentuale di rocce carbonati che

I depositi di fondo sono prevalentemente sovraconsolidati e hanno matrice più fine prevalentemente limoso-argillosa.

La tessitura dei depositi glaciali è caotica, con lenti anche deformate di materiali ghiaioso-sabbiosi inglobate in depositi più fini. Sono presenti massi erratici anche di notevoli dimensioni con debole alterazione incipiente.

Le caratteristiche geologico-tecniche di questa unità sono simili a quelle di gB2 e gB1, ma lo stato di alterazione superficiale è molto inferiore rispetto al mB2 (circa 1 m).

## 5.3 UNITÀ B1

Le caratteristiche di questa unità, corrispondente in parte al fluvioglaciale Riss-Wurm e in parte al fluvioglaciale Riss degli Autori, sono simili a quelle della B2, ma il grado di alterazione superficiale è meno marcato, tanto che lo spessore della copertura argilloso-limosa risulta solitamente inferiore ai 10 m. I colori della MSC sono tipicamente YR, e i valori NSPT risultano inferiori a 10 nei primi 5 m, ma solo in caso di accentuato stato di alterazione si mantengono tali oltre i 15 m. In profondità ai livelli argilloso-limosi alterati si sostituiscono sabbie e ghiaie con diverso grado di cementazione di migliori caratteristiche meccaniche, ma permane un iniziale stato di alterazione. I valori di NSPT, fatta eccezione per casi localizzati, sono comunque superiori a 20, mentre quelli delle prove di frantumazione eseguiti con l'apparecchiatura Los Angeles (22-25%) denunciano un'incipiente stato di alterazione anche profondità superiore ai 15 m. Quando non si manifestano tali particolari condizioni, il valore di NSPT sale rapidamente oltre 20 e i terreni al disotto dei 10 m presentano ottima portanza, essendo costituiti da sabbie e ghiaie con percentuali di materiale fine per lo più inferiori al 20%. Lo spessore raggiunto da questa unità può superare i 40 m.

Nella Provincia di Como sono segnalati livelli cementati di forma lenticolare, che fanno passaggio verso il basso al Ceppo. Quando l'infiltrazione delle acque incontra terreni solubili, determina la dissoluzione e l'asportazione di materiali fini dal terreno attraversato fino a circa 30 m di profondità. Fino a questo livello si manifestano localmente cavità di dissoluzione ed erosione sotterranea, la cui presenza determina fenomeni di detensionamento dei terreni su vaste aree,

riscontrabili dalla riduzione dei valori di NSPT e, in prossimità della superficie, dall'incremento dei valori di resistività elettrica e dalla riduzione dei valori di accelerazione di gravità. Evidenti testimonianze di tale attività erosiva sono riportate in alcuni recenti lavori come Colombo e Lorenzo (2015) e Colombo et al. (2015). Le aree nelle quali si sono riscontrate cavità di volume consistente (oltre il metro cubo) anche nei depositi alluvionali dell'unità di Besnate a profondità superiore ai 10 m sono piuttosto numerose, e concentrate nella parte della Provincia di Como che arriva a contatto con quella di Monza Brianza

#### **5.4 UNITÀ gB1**

Questa unità, corrispondente in parte al glaciale Riss, è costituita da depositi caotici, ghiaiosi e sabbiosi con abbondante matrice argillosa in cui sono frequentemente inglobati blocchi provenienti dall'arco prealpino ed alpino. Le caratteristiche geologico-tecniche di questa unità sono simili a quella di gB2 e mA, ma lo stato di alterazione superficiale è molto inferiore rispetto a quelle dell'unità gB2 (circa 5 m).

#### **5.5 UNITÀ B2**

Questa unità, che viene a coincidere con il fluvioglaciale Mindel degli Autori (colori del livello superiore di alterazione YR). Presenta sia superficie sia a rilevanti profondità (fino a 10 m di profondità e oltre) un'intensa alterazione, che riduce le proprietà tecniche dei suoli. Lo spessore di questa unità può superare i 30 m, ed essa poggia generalmente sui conglomerati indicati con il nome generico di Ceppo dagli Autori. I valori di NSPT fino a 10 m risultano inferiori a 10, e nei primi 15-20 m raramente superano i 20, come riscontrabile ad esempio a Copreno, dove fino a 22 m i valori di NSPT sono inferiori o uguali a 20. Le Vs fino a questa profondità risultano inferiori a 250 m/s. I terreni limoso-argillosi sono indeboliti da infiltrazioni d'acqua che si manifestano fra 5 e 10 m di profondità (es. 7 m fra Rovellasca e Lomazzo, e in loc. Maticolo presso Lazzate) a quote ben superiori a quelle della prima falda. E' logico pensare che le infiltrazioni d'acqua possano produrre falde sospese locali e fenomeni di erosione sotterranea capaci di ridurre ulteriormente la capacità portante dei terreni per la genesi di cavità. Come l'unità mB1 la morfologia dell'orlo dei pianalti ferrettizzati costituiti da depositi di questa unità presenta un consistente numero di vallecicole in corrispondenza delle modeste sorgenti che derivano dall'infiltrazione nei suoli, tutte caratterizzate da piccole frane di materiale argilloso-limoso. In queste aree le caratteristiche sedimentologiche dei terreni corrispondono a quelle dell'alloformazione del Bozzente. In profondità ai livelli argilloso-limosi alterati si sostituiscono sabbie e ghiaie con diverso grado di cementazione di migliori caratteristiche meccaniche, ma permane un iniziale stato di alterazione. I valori di NSPT, fatta eccezione per casi localizzati, sono comunque superiori a 20, mentre quelli delle prove di frantumazione eseguiti con l'apparecchiatura Los Angeles (22-25%) denunciano un'incipiente stato di alterazione anche a profondità superiore ai 15 m.

Si sottolinea che, dove la frazione carbonatica è più marcata, si formano cavità di varie dimensioni anche a profondità considerevole. Tale caratteristica è comune all'unità B1 ed è stata rilevata dai sondaggi e dalle prove penetrometriche esistenti in tutta la Provincia, e merita un approfondimento per le rilevanti conseguenze che ne possono derivare per le opere in sotterraneo e le fondazioni.

## **5.6 UNITÀ gB2**

Questa unità corrispondente al glaciale Mindel degli Autori, è costituita da depositi prevalentemente limosi e limoso-sabbiosi con ciottoli spesso spigolosi e appiattiti, in cui è presente una consistente frazione argillosa, e dove si incontrano rari "trovanti" di dimensioni metriche. I suoli sono marcatamente pedogenizzati, quasi sempre sovraconsolidati. Lo stato di alterazione, ben visibile dalla colorazione rossastra interessa tutta la coltre superficiale anche lungo i versanti, fino a una profondità di diversi metri. Si riscontrano localmente piccole sorgenti che escono fra 5 e 10 m di profondità in corrispondenza di livelli cementati, danno origine a piccole cavità e alimentano rivi dotati di una consistente capacità di erosione. La morfologia dei versanti costituiti da questi terreni è quindi caratterizzata dalla presenza di vallette incise, ramificate e franose. In generale si riscontra una marcata tendenza al rigonfiamento delle argille contenute in questi terreni, dove è stata comprovata la presenza di minerali del gruppo della montomorillonite anche in più del 30% dei campionamenti dei quali risultano disponibili i dati. Le sue caratteristiche geologico tecniche sono molto simili a quelle di gA e gB1.

## **5.7 CONGLOMERATI (CEPPO INDIFFERENZIATO)**

Questi terreni presentano ottime caratteristiche meccaniche, quando non sono alterati. Tuttavia frequentemente danno luogo a dissesti quando affiorano sui bordi dei terrazzi ferrettizzati o si trovano a piccola profondità così da essere sottoposti a un'intensa circolazione idrica. In particolare quando si collocano a meno di 15 m di profondità e ricevono acque di infiltrazione dalla superficie, la loro elevata percentuale di carbonati li espone a una rapida dissoluzione che crea cavità e un generale stato di indebolimento dei terreni. Quando sono esposti ad affioramento sui versanti, questo fenomeno produce una diffusa franosità che coinvolge singoli blocchi o grandi volumi di conglomerato. Quando non affiorano, ma si trovano a debole profondità, favoriscono l'incanalamento delle acque di infiltrazione al loro interno verso la falda o verso corsi d'acqua superficiali e questa accentuata circolazione idrica agevola la genesi di cavità anche di grandi dimensioni che costituiscono un fattore di debolezza da considerare nei progetti di fondazioni di edifici e di infrastrutture.

## **6 CONCLUSIONI**

Dalla sintesi delle notizie esistenti sulla distribuzione dei parametri idrogeologici e geologico-tecnici della Provincia di Como, è risultato evidente che l'approfondimento delle conoscenze sulle unità idrostratigrafiche, basate sui parametri idrogeologici dei terreni, può portare ad ottimi risultati per i progetti che interessano le acque sotterranee, dal momento che sono state formalmente riconosciute e utilizzate per diversi progetti ambientali dalla Regione Lombardia. Recentemente sono stati anche introdotti e identificati i corpi acquiferi sotterranei, che sono in fase di sperimentazione. L'utilizzo di unità idrostratigrafiche facilmente riconducibili sia a quelle

utilizzate tradizionalmente per definire le fasi glaciali sia alle unità allostratigrafiche (le quali consentono di comprenderne appieno le caratteristiche sedimentologiche e litologiche) facilita il compito dei progettisti e rende chiare e comprensibili le informazioni fornite dallo studio geologico sulle caratteristiche idrogeologiche. Non esiste invece al momento una cartografia delle unità geologico-tecniche o litotecniche, la cui importanza potrebbe rivelarsi determinante nella previsione dei dissesti e nella predisposizione di progetti di fondazioni e di infrastrutture. Per il momento i dati sono ricavabili dai piani di governo del territorio, nei quali sono state presentate unità geologico-tecniche o geotecniche non formalizzate. Nel presente studio questi dati sono stati riuniti all'interno delle unità idrostratigrafiche, ma è da ritenersi auspicabile che uno studio a carattere regionale consenta di arrivare a unità geologico-tecniche meglio definite.

## **7 BIBLIOGRAFIA**

Amministrazione Provinciale di Como – Assessorato Ecologia (1985). Indagini sull'ambiente fisico, Como.

ARPA Lombardia (2013). Stato delle acque sotterranee della provincia di Como, rapporto annuale 2012.

Bini A. (1987). L'apparato glaciale Wurmiano di Como. - Tesi di Dottorato, AA. 1987, Università di Milano.

Bini A., Strini A., Violanti D., Zuccoli L. (2004) - Geologia di sottosuolo dell'Alta Pianura a NE di Milano. Il Quaternario, 17(2/1):343-354. ISSN 0394-3356

Castany G., 1985. Idrogeologia. Principi e metodi. Dario Flaccovio Editore. p. 243

Cesareo L., Consonni M., Colombo L. e Gattinoni P. (2015). Il rischio per le infrastrutture legato alla presenza di cavità sotterranee nell'alta pianura lombarda, 3°WORKSHOP ISPRA SINKHOLES, At ROMA

Colombo L., Gattinoni P., Francani V. (2015). Control of suffosion along riverbanks: the case of the Olona river (Italy).

Francani V. (1992). Idrogeologia generale, Ed. CLUO, Milano. 251 pagine

Maxey G. B., (1964). Hydrostratigraphic Units. Journal of Hydrology, 2, p. 124-129.

Nangeroni G., (1954) – i terreni Pleistocenici dell'anfiteatro morenico del Verbano e del territorio varesino. Atti Soc. It. Sc. Nat., 93: 7-106. Milano.

Orombelli G.; (1976). Indizi di deformazioni tettoniche quaternarie al margine meridionale delle Prealpi Comasche. Quaderno - Gruppo di Studio del Quaternario Padano, 3, 25-37

Politecnico di Milano e Provincia di Como (2004). Studio Idrogeologico della parte meridionale della Provincia di Como".

Penck, A. & Brückner, E. 1901-9 Die Alpen im Eiszeitalter. Taunitz: Leipzig 1199pp.

Riva A. (1957). Gli anfiteatri morenici a Sud del Lario e le pianure diluviali tra Adda e Olona. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 7: 5-95