

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
 LEGGE OBIETTIVO N. 443/01  
 LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA Tratta MILANO – VERONA  
 Lotto Funzionale Brescia-Verona  
 PROGETTO DEFINITIVO**

**STUDIO GEOLOGICO-IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO  
 GALLERIA SANTA CRISTINA  
 GALLERIA MADONNA DEL FRASSINO  
 GALLERIA MANO DI FERRO**

IL PROGETTISTA  
Ce.A.S. srl



IL PROGETTISTA INTEGRATORE  
saipem spa  
Tommaso Taranta

Dottore in Ingegneria Civile iscritto all'albo degli Ingegneri della Provincia di Milano al n. A23476 - Sez. A Settori:  
a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione  
Tel. 02.52020537 Fax: 02.52028309  
CF. e PIV/A. 00825798157

ALTA SORVEGLIANZA



| Verificato | Data | Approvato | Data |
|------------|------|-----------|------|
|            |      |           |      |
|            |      |           |      |

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    PROGR.    REV.

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | N | 0 | 5 | 0 | 0 | D | E | 2 | R | G | G | E | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| PROGETTAZIONE GENERAL CONTRACTOR |          |                   |         |          |            |          |           |          | Autorizzato/Data   |
|----------------------------------|----------|-------------------|---------|----------|------------|----------|-----------|----------|--|
| Rev.                             | Data     | Descrizione       | Redatto | Data     | Verificato | Data     | Approvato | Data     | Consorzio<br><b>Cepav due</b><br>Project Director<br>(Ing. F. Lombardi)<br>Data: _____ |
| 0                                | 31.03.14 | Emissione per CdS | M.T.    | 31.03.14 | CHERUBINI  | 31.03.14 | LAZZARI   | 31.03.14 |  |
| 1                                | 01.07.14 | Revisione per CdS | GUERRA  | 01.07.14 | CHERUBINI  | 01.07.14 | LAZZARI   | 01.07.14 |  |
|                                  |          |                   |         |          |            |          |           |          |  |

SAIPEM S.p.a. COMM. 032121

Data: 01/07/14

Doc. N.: IN0500DE2RGGE00010031.doc



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP.: F81H91000000008



## INDICE

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO .....                        | 3  |
| 1.1 | Metodologia di lavoro .....                              | 3  |
| 2.  | INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....                       | 5  |
| 2.1 | Il Laghetto del Frassino .....                           | 5  |
| 3.  | INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....                            | 9  |
| 3.1 | Il Laghetto del Frassino .....                           | 11 |
| 3.2 | Stratigrafia di dettaglio .....                          | 12 |
| 4.  | INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....                        | 16 |
| 4.1 | Generalità .....   | 16 |
| 4.2 | Classi di permeabilità .....                             | 19 |
| 4.3 | Andamento della Falda .....                              | 21 |
| 4.4 | Considerazioni conclusive: il bacino idrogeologico ..... | 22 |
| 5.  | IL BILANCIO IDROLOGICO E LA VALUTAZIONE DI IMPATTO ..... | 27 |
| 6.  | SOMMARIO E CONCLUSIONI .....                             | 34 |

**Allegato 1:** sezioni geologiche ed idrogeologiche trasversali (cfr. allegato 8)

**Allegato 2:** ubicazione delle risorgive e delle sezioni idrografiche istituite

**Allegato 3:** carte tematiche (*permeabilità superficiale, uso del suolo e acclività*)

**Allegato 4:** modello numerico bidimensionale (risultanze)

**Allegato 5:** allegato fotografico

**Allegato 6:** Caratteristiche chimico – fisiche delle acque superficiali e profonde

**Allegato 7:** Caratteristiche generali e stratigrafiche del pozzo W0892

**Allegato 8:** Ubicazione traccia delle sezioni geologiche trasversali



## 1. PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

I risultati del lavoro sono dettagliati negli elaborati, con la precisazione che il codice commessa è "IN05" in luogo di "A202".

Il presente documento rappresenta una monografia di approfondimento alla Relazione Geologica generale (doc. rif. IN0500DE2RGGE00010010) e alla Relazione Idrogeologica generale (doc. rif. IN0500DE2RGGE00020010), allegate al progetto definitivo per la Linea A.V. /A.C. Torino – Venezia, tratta Milano – Verona, lotto funzionale Brescia - Verona.

Oggetto di tale monografia è l'inquadramento geologico ed idrogeologico dell'area del Laghetto del Frassino, inserita dal P.T.R.C. nell'elenco delle aree di tutela paesaggistica di interesse regionale.

Il tracciato della linea ferroviaria in progetto si snoda, a sud del Laghetto del Frassino, per la maggior parte in galleria, sia naturale che artificiale. Le tratte previste in sotterranea sono:

- pk 120+945 ÷ pk 121+258, Galleria Santa Cristina
- pk 121+665 ÷ pk 123+605, Galleria Madonna del Frassino (naturale tra il km 122+921 e il km 123+153)
- pk 123+655 ÷ pk 124+016, Galleria Mano di Ferro

Poiché l'opera si frappona tra la principale area di alimentazione idrica del lago ed il lago stesso, è necessario valutare il potenziale impatto che lo scavo e la messa in opera delle gallerie in progetto può comportare sulla dinamica del suddetto corpo idrico.

Tale valutazione, il più possibile esaustiva alla luce dei dati ad oggi disponibili, rappresenta lo scopo di questo rapporto.

### 1.1 Metodologia di lavoro

Le fasi che hanno condotto alla stesura della presente relazione sono state le seguenti:

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
IN05

Lotto  
00

Codifica Documento  
DE2RGGE0001003

Rev.  
1

Foglio  
4 di 35

- revisione bibliografica del materiale a disposizione precedentemente redatto, con particolare riferimento alla "Relazione Idrogeologica" (P.E. 1992), allo Studio di Impatto Ambientale (P.P. 2003) e alla "Relazione Geologica" (P.P. 2003);
- revisione bibliografica delle pubblicazioni scientifiche inerenti alle tematiche in esame, con particolare riferimento agli studi idrogeologici dell'anfiteatro morenico del Garda (sono state contattate le Università degli Studi di Milano, di Verona e di Padova);
- revisione bibliografica della documentazione tecnica ufficiale reperita dagli Enti pubblici, con particolare riferimento alle relazioni geologico-tecniche dei P.R.G. comunali ed alla relativa cartografia tematica (sono stati contattati, tra gli altri, il Comune di Peschiera del Garda, il Comune di Desenzano, le Province di Brescia e di Verona, l'ARPA Lombardia e l'ARPA Veneto);
- analisi critica dei punti d'acqua (pozzi, sorgenti e fontanili) censiti e descritti nella sopracitata bibliografia;
- verifica in sito delle condizioni dei punti d'acqua potenzialmente a rischio di depauperamento e tentativo di implementare il censimento effettuato nel corso di campagne precedenti;
- analisi dei dati ottenuti dalle prove di permeabilità eseguite lungo il tracciato della linea in progetto nelle campagne geognostiche del 1992, del 2001-2002 e del 2004, ancora in fase di completamento;
- analisi dei dati piezometrici ottenuti nel corso delle citate campagne e loro confronto con informazioni ricavate da fonti differenti;
- raccolta e revisione dei dati climatici, con particolare riferimento ai dati pluviometrici e termometrici relativi alla stazione meteorologica di Castelnuovo del Garda;
- raccolta dei dati di qualità chimica e fisica delle acque superficiali e profonde;
- stesura di un profilo longitudinale con l'andamento della piezometrica (allegato in scala 1:5.000/1:500);
- conclusioni alle problematiche descritte, con la ricostruzione di semplici modelli di circolazione idrica.

## 2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area di studio è caratterizzata da una morfologia collinare, digradante in aree subpianeggianti, con quote variabili da circa 140 m s.l.m. a circa 65 m s.l.m., quota del vicino Lago di Garda. L'area è limitata a Nord dal bacino del Lago di Garda e a Sud dal Fosso Redone Superiore (quote medie di circa 89 m s.l.m.), affluente destro del Fiume Mincio.

Le zone collinari presentano scarsa erosione ed alterazione, mentre nelle aree pianeggianti la morfologia della zona favorisce il ristagno delle acque ed il conseguente impaludamento, determinati anche dalla natura limosa o argillosa di buona parte dei terreni superficiali.

Il reticolo idrografico è rappresentato, oltre che dal Laghetto del Frassino (descritto nel paragrafo successivo), dai suoi immissari (Rio Paolmano e Rio Giordano) e dai suoi emissari (Fosso Molino e Fosso Riello). Il Rio Paolmano e il Rio Giordano si generano, direttamente come acque di risorgiva, nei settori morenici a sud del laghetto, dove sfociano al termine di un breve decorso con direzione circa SN. Il Fosso Molino e il Fosso Riello, in uscita dal Frassino, terminano il loro decorso direttamente nel Lago di Garda. Il reticolo idrografico è completato da un sistema di canali di importanza e dimensioni minori, sfruttati per lo più a fini irrigui. In **allegato 2** viene fornita una cartografia di dettaglio dedicata all'idrografia di quest'area, mentre in **allegato 6** sono riportate alcune caratteristiche delle acque superficiali (portate dei corsi d'acqua e qualità chimico fisiche delle acque).

### 2.1 Il Laghetto del Frassino

Ad una distanza di circa 200 m verso nord dal tracciato previsto, si sviluppa il Laghetto del Frassino, il più vasto e profondo dei bacini intermorenici dell'Anfiteatro del Garda.

Il lago, che copre un'area di circa 0.319 km<sup>2</sup>, si colloca interamente nel territorio comunale di Peschiera del Garda (VR), a Sud del centro abitato.

Sono di seguito sintetizzati i principali caratteri fisico-geografici del Laghetto del Frassino:

- Latitudine N: 45° 26' 08''
- Longitudine E: 10° 39' 51''



- Tipologia lacustre: naturale
- Altitudine del livello medio (m s.l.m.): 73.40
- Area (km<sup>2</sup>): 0.319 circa
- Area del bacino imbrifero (km<sup>2</sup>): 3.2 circa
- Profondità massima (m): 15
- Profondità media (m): 8.15
- Lunghezza media (m): 770
- Larghezza media (m): 380
- Volume (milioni di m<sup>3</sup>): 2.6 circa
- Circolazione: invernale
- Copertura di ghiaccio: episodica
- Tempo teorico di ricambio (anni): 3 anni e 3 mesi
- Tempo effettivo di ricambio (anni): 3 anni e 10 mesi

Per la definizione accurata dell'area del bacino imbrifero è stato utilizzato il Geographical Information System ARCVIEW nella sua estensione SPATIAL ANALYST partendo dai dati topografici (file ASCII) relativi alla copertura topografica prodotta per fotorestituzione nell'ambito del Progetto Definitivo.

Il primo passaggio della procedura prevede, a partire dai dati topografici puntuali, la creazione di una griglia a maglia quadrata identificata da un dato valore di quota. Il lato di ogni cella in cui il territorio è stato discretizzato è di circa 3 m. Successivamente è stata calcolata una mappa di direzione di flusso in cui, per ogni cella, è stata determinata la direzione di flusso prevalente in funzione della propria quota e della quota delle celle limitrofe (riquadro a) nella figura 2.1). A partire da tale elaborato è stata ottenuta una carta di accumulo di flusso: per ogni cella è stato calcolato il numero di celle afferenti (riquadro b nella figura 2.1). Naturalmente maggiore è il valore di "flow accumulation", maggiore è l'importanza gerarchica della cella nell'ambito del reticolo idrografico. L'analisi dell'immagine consente di evidenziare come lo strumento adottato consenta di individuare con discreta precisione l'andamento del reticolo idrografico nell'ambito dell'area di studio e, in particolare, di

identificare la zona ove sono presenti le sorgenti dei due corsi d'acqua principali, il Torrente Giordano e il Rio Paulmano.

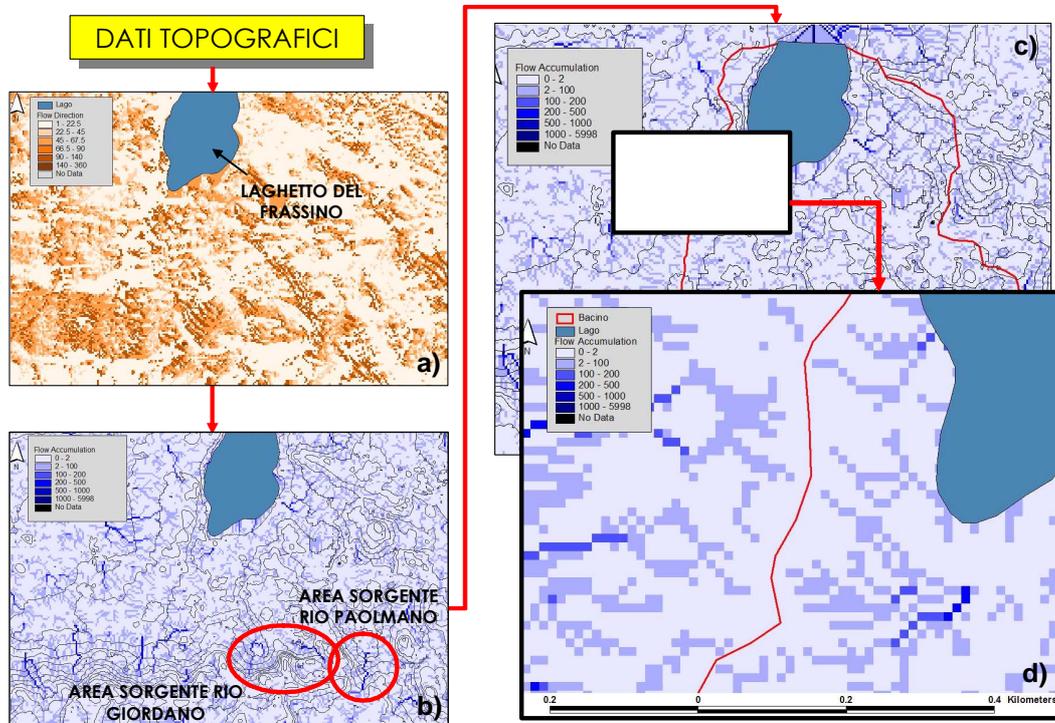


Figura 2.1: Procedura per l'identificazione del bacino superficiale del bacino del Frassinio.

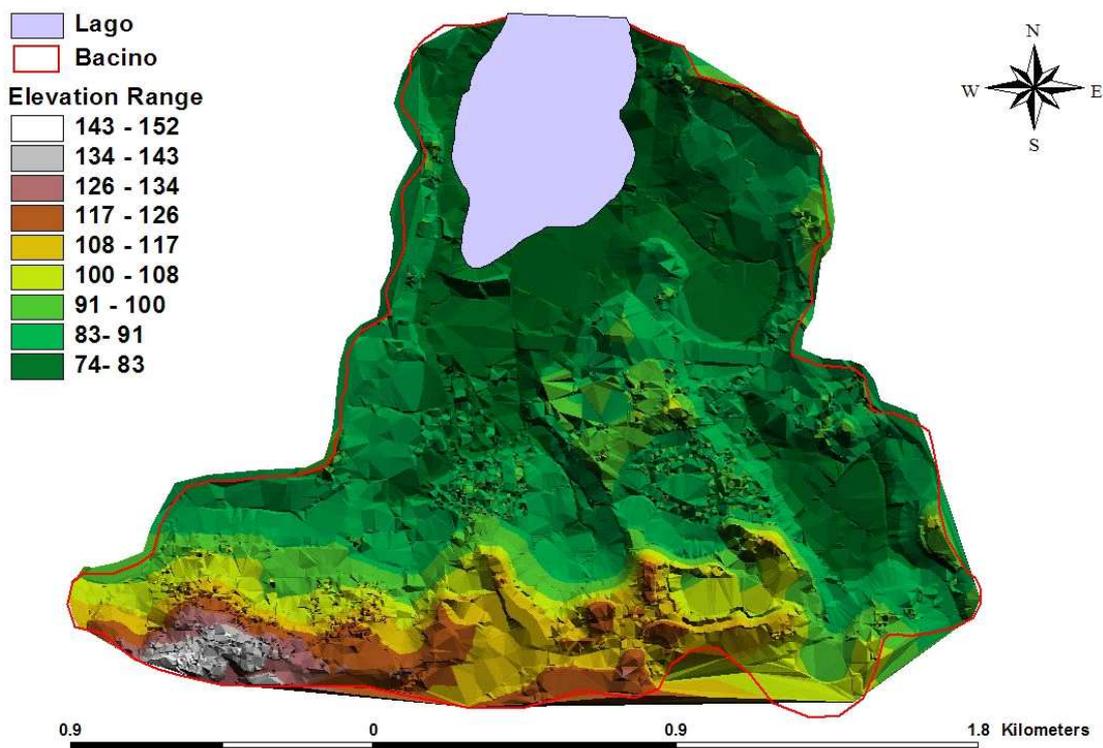


Figura 2.2: Bacino del laghetto del Frassinio suddiviso per fasce altimetriche

GENERAL CONTRACTOR

**Cepav due**



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
IN05

Lotto  
00

Codifica Documento  
DE2RGGE0001003

Rev.  
1

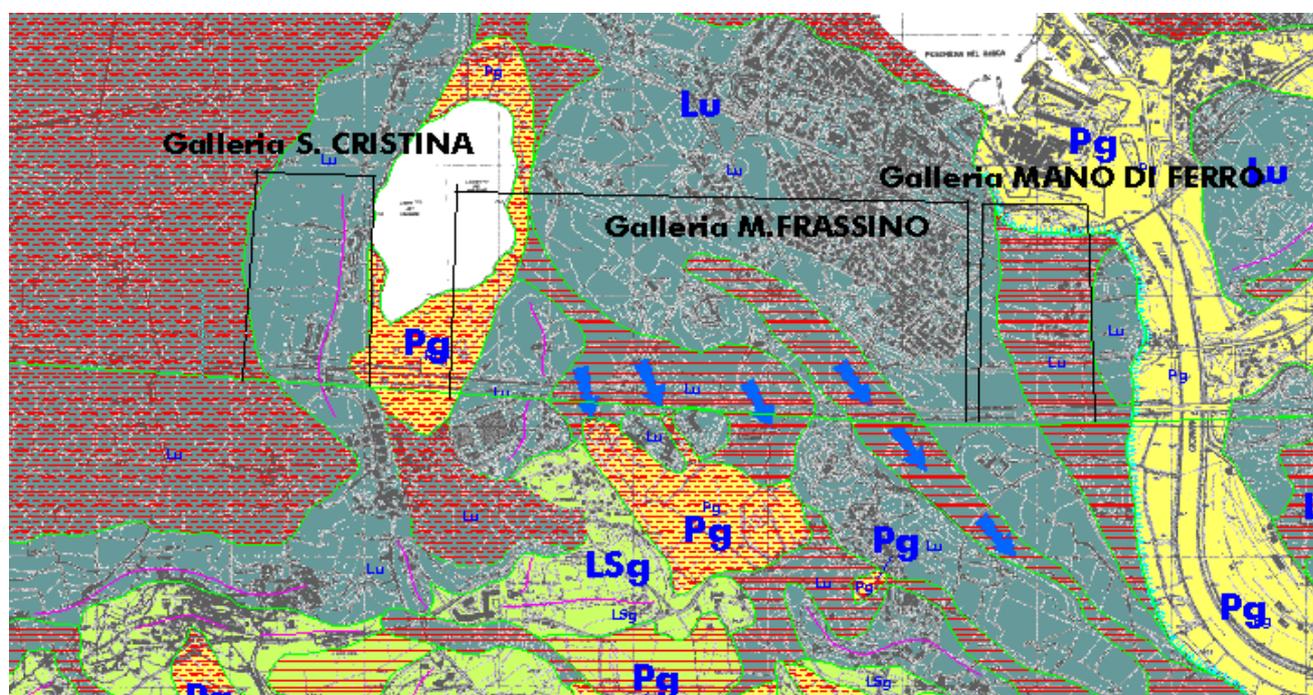
Foglio  
8 di 35

A questo punto il bacino è stato tracciato identificando le celle che svolgevano una funzione di spartiacque tra il settore territoriale che fa riferimento al laghetto del Frassino e quello al suo esterno (riquadri c e d) della figura 2.1). Il risultato finale è illustrato in figura 2.2 in cui il bacino in questione è raffigurato suddiviso per fasce altimetriche. L'area complessiva del bacino del laghetto del Frassino è di circa 3.2 km<sup>2</sup>.

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area interessata dalla Galleria Madonna del Frassino, è interamente compresa nell'Allogruppo di Lugana (Pleistocene superiore). L'opera in progetto attraversa sia depositi in facies glaciale s.s. che fluvioglaciale; inoltre, all'imbocco occidentale, sono stati rilevati depositi recenti (Olocene) di origine chiaramente lacustre.

Nello schema che segue (fig. 3.1, stralcio della *Carta Geologica 1:10000*- doc. rif. IN0500DE2N4GE00010010÷10140) allegata al Progetto definitivo in oggetto) viene rappresentata la distribuzione delle diverse alloformazioni affioranti nell'area di interesse.



#### ANFITEATRO MORENICO DEL GARDA

Unità Postglaciale (Pg)

 - Depositi alluvionali degli alvei attuali e antichi - Olocene

 - Depositi lacustri - Olocene

Allogruppo di Lugana (Lu)

 - Depositi glaciali - Pleistocene sup.

 - Depositi fluvioglaciali - Pleistocene sup.

 - Depositi glaciolacustri - Pleistocene sup.

Allogruppo di Lonato e San Giorgio (LSg)

 - Depositi glaciali - Pleistocene med.

 - Depositi fluvioglaciali - Pleistocene med.

Allogruppo di Calcinato (C)

 - Loess (L) - Pleistocene med.

 - Depositi glaciali (C= conglomerati) - Pleistocene inf.- med.

 - Depositi fluvioglaciali - Pleistocene inf.-med.

Figura 3.1: Carta geologica schematica dell'area del Laghetto del Frassino.



Per completezza vengono di seguito riportate le descrizioni dei diversi terreni attraversati, così come presentato sulla Relazione Geologica generale (doc. rif. IN0500DE2RGGE00010010) allegata al Progetto Definitivo in oggetto.

- Unità Postglaciale (Pg)

- *Depositi alluvionali degli alvei attuali e antichi (a<sup>2</sup>)*

*Sono costituiti da ghiaie a supporto di abbondante matrice sabbiosa o limosa se dovuta al rimaneggiamento di sedimenti antichi molto alterati.*

- *Depositi lacustri (P)*

*Sono costituiti da argille e limi a laminazione pianoparallela orizzontale con, talvolta, livelli torbosi. I più importanti depositi lacustri, dal punto di vista dell'estensione, si trovano nelle località Stagno del Lavagnone e Laghetto del Frassino.*

- Allograppo di Lugana (Lu)

- *Depositi glaciali (m<sup>w</sup>)*

*Sono costituiti da diamicton massivo a supporto di matrice limoso-sabbiosa con sparsi massi erratici di dimensioni anche metriche. I clasti sono eterometrici, poligenici, angolosi, frequentemente striati se di natura carbonatica. L'alterazione colpisce circa il 20% dei clasti con litologie carbonatiche da decarbonatate ad argillificate e litologie cristalline da fragili ad arenizzate.*

- *Depositi fluvioglaciali (f<sub>g</sub><sup>w1</sup>, f<sub>g</sub><sup>w2</sup>)*

*Sono costituiti da ghiaie grossolane con ciottoli a supporto di matrice sabbiosa. I clasti sono eterometrici, arrotondati, poligenici. E' presente una stratificazione pianoparallela orizzontale sottolineata da strati a diversa granulometria.*



- *Depositi glaciolacustri ( $ct^w$ ,  $f_g^{w2}$ ,  $a^1$ ,  $a^2$ )*

*Sono costituiti da limi e argille da massivi a finemente laminati con, talvolta, intercalati dei dropstone di dimensioni variabili e striati. Da un punto di vista morfologico essi riguardano la zona di pianura a Sud di Sirmione, con una quota media di circa 85 m s.l.m*

### **3.1 Il Laghetto del Frassino**

Il Laghetto del Frassino è situato in un'area subpianeggiante, delimitata da cordoni morenici del Pleistocene superiore, appartenenti all'Allogruppo di Lugana, costituiti da depositi ghiaiosi in matrice limoso-sabbiosa, privi di paleosuoli.

Nella sua parte meridionale ed orientale il lago è delimitato da cordoni morenici interrotti da scaricatori fluvio-glaciali stretti tra le colline, che defluivano verso Sud attraverso le depressioni a terreni torbosi di Corte dei Cavalli e dell'area subito a Sud del Santuario Madonna del Frassino. Sempre a Sud del Laghetto del Frassino, tra le località Broglie e Marinoni, si sviluppa una zona caratterizzata da depositi di origine glaciolacustre. Ad occidente il lago è chiuso da un cordone morenico la cui quota non supera i 90 m s.l.m.; tale rilievo separa la zona collinare da un'ampia fascia pianeggiante denominata Piana di Lugana, che si estende con quote superiori ai 70 m dal lago fino alla località Venga a Sud di Rivoltella. Tale area è caratterizzata da depositi glaciolacustri. Infine, verso Nord, si chiudono i cordoni morenici e tra di essi s'incunea una striscia di depositi glaciolacustri che si spinge fino al Lago di Garda.

Lungo le sponde del Laghetto del Frassino è presente una torbiera di età olocenica che si estende prevalentemente a Nord e a Sud dell'area lacustre; è costituita da terreni neri, ricchi in materiale organico, e testimonia l'antica maggiore estensione del lago.

### 3.2 Stratigrafia di dettaglio

Sulla base di tutti i dati raccolti nelle diverse campagne geognostiche programmate (1992-1993, 2001-2002 e 2004), e con l'ausilio di sondaggi integrativi eseguiti da Cepav Due (2004), è stato possibile elaborare alcuni profili geologici di dettaglio, presentati in allegato e di seguito descritti.

Nella tabella che segue (tab.1) sono riportati i sondaggi realizzati nell'area di interesse.

| Sondaggio | Anno    | Pk      | Quota B.F. | Profondità | Attrezzato a piezometro |
|-----------|---------|---------|------------|------------|-------------------------|
| DS114     | '91-'92 | 120+953 | 84.85      | 30         | si                      |
| S3LF      | 2004    | 121+166 | 81.87      | 50         | si                      |
| 4S1SC     | 2004    | 121+210 | 85.67      | 30         | si                      |
| S2        | '01-'02 | 121+363 | 76.80      | 40         | si                      |
| S2LF      | 2004    | 121+379 | 75.37      | 52         | si                      |
| S4LF      | 2004    | 121+406 | 74.95      | 50         | si                      |
| 4SS012    | 2004    | 121+553 | 76.20      | 30         | no                      |
| S1LF      | 2004    | 121+820 | 74.10      | 50         | si                      |
| 4SC013    | 2004    | 122+060 | 83.26      | 40         | si                      |
| 4SS014    | 2004    | 122+372 | 85.42      | 30         | no                      |
| S5GF      | 2004    | 122+455 | 84.70      | 40         | si                      |
| 4SC015    | 2004    | 122+897 | 86.73      | 40         | si                      |
| 4SN015bis | 2004    | 122+991 | 97.57      | 35         | si                      |
| XA202G134 | '01-'02 | 123+091 | 86.60      | 40         | si                      |
| 4SN016bis | 2004    | 123+126 | 93.15      | 40         | si                      |
| 4SN016    | 2004    | 123+487 | 86.07      | 20         | si                      |
| S6GF      | 2004    | 123+745 | 86.98      | 40         | si                      |
| 4SN017    | 2004    | 123+960 | 82.55      | 30         | si                      |
| 4SN018    | 2004    | 124+188 | 74.37      | 50         | si                      |
| S1        | '01-'02 | 124+327 | 67.62      | 40         | si                      |
| 4SS019    | 2004    | 124+343 | 66.98      | 60         | no                      |

Tabella 1: Sondaggi realizzati nel settore del Laghetto del Frassino.



### **Profilo longitudinale**

Questa sezione (doc. rif. IN0500DE2F5GE00010200) è stata eseguita in asse al tracciato della linea ferroviaria in progetto. La Galleria Madonna del Frassino ha inizio nell'area caratterizzata dai depositi lacustri (Olocene), situati a Sud del Laghetto del Frassino, costituiti da torbe ed argille torbose molto umide e di colore nero-marrone. Questi materiali, poco consistenti, poggiano su limi argillosi o debolmente sabbiosi e argille limose con rari ciottoli subarrotondati, e sono riconducibili ad un ambiente glaciolacustre; seguono ghiaie eterogenee ed eterometriche, con clasti subarrotondati con diametro massimo di 5 cm e blocchi superiori ai 10 cm (depositi fluvioglaciali).

Quindi la galleria attraversa il cordone morenico situato subito ad Est della località Broglie, che si raccorda, verso oriente, con la piana caratterizzata da depositi fluvioglaciali (sabbia debolmente limosa con ghiaia eterometrica) e compresa tra l'Ex Forte Saladini ed il Santuario Madonna del Frassino.

Fino all'imbocco orientale la galleria attraversa le unità glaciali s.s. dell'Allogruppo di Lugana (ghiaie poligeniche, con clasti e blocchi con diametro superiore ai 15 cm, da angolari a subangolari, immersi in abbondante matrice limoso-argillosa), costituenti rilievi collinari interrotti da aree pianeggianti strette e di pertinenza fluvioglaciale, in cui, i depositi prevalentemente sabbioso-ghiaioso, presentano spessore limitato.

### **SEZIONE AA' (allegato 1)**

Questa sezione è orientata NE-SO ed è stata eseguita dalla località S. Benedetto, a Nord del Laghetto del Frassino, alla località Rondinelli a Sud.

Il profilo geologico mostra come il Laghetto del Frassino sia racchiuso, sulla sponda occidentale, da cordoni morenici, appartenenti all'Allogruppo di Lugana e costituiti da ghiaie eterometriche e poligeniche, con clasti da subangolari ad angolari, mediamente alterati, con diametro massimo di 4-5 cm, immersi in una matrice limoso-argillosa, debolmente umida, molto consistente, di colore grigio-marrone.

Su tali depositi poggiano i depositi olocenici lacustri, facilmente riconoscibili per la presenza di torbe molto umide, di colore da nero a marrone scuro.



Al di sotto si riscontra un orizzonte continuo e facilmente correlabile nei sondaggi considerati, dello spessore di 4-10 m circa, costituito da argille e argille debolmente limose sature, di colore variabile da rosa a grigio.

Seguono, per 30 m circa, limi argillosi, con rari ciottoli eterometrici, poligenici, da subangolari ad arrotondati, argille limose con intercalazioni di sabbia fine limosa e ghiaia fine, e sabbia fine limosa con ghiaia medio-fine. Questi materiali fini sono associabili ad un ambiente di tipo glaciolacustre.

Infine, è riscontrabile, al di sotto dei depositi appena descritti, uno strato continuo, dello spessore di almeno 30 m, di ghiaia e ghiaia sabbiosa, eterometrica, poligenica, con clasti da subangolari a subarrotondati, con diametro massimo di 8 cm. Tale livello ghiaioso-sabbioso è associabile ad un ambiente di tipo fluvioglaciale (Allogruppo di Lugana).

Il sondaggio S2LF mette ben in evidenza come, oltre il livello di materiale più grossolano, da 48 m circa, riprendano i limi argillosi del tutto simili a quelli riscontrati al di sopra del livello stesso.

### **SEZIONE BB' (allegato 1)**

Questa sezione orientata circa N-S, è stata eseguita dalla piana subito a Nord della Ferrovia Ordinaria Mi-Ve, alla località Broglie.

Il profilo geologico mette in evidenza, a Nord, a Sud e al fondo del lago, la presenza di torbe ed argille con intercalazioni torbose di colore da nero a marrone scuro, molto umide e poco consistenti.

Anche in questo caso è facilmente riconoscibile, al di sotto dei depositi lacustri olocenici, uno strato di circa 10 m di argille, prive di consistenza, molto umide, di colore da rosa a grigio-marrone, a cui seguono limi sabbiosi e argillosi con sottili intercalazioni di ghiaia fine. Anche in questa sezione è chiaramente definito un livello di ghiaia e ghiaia sabbiosa, con clasti poligenici, da subangolari a subarrotondati, aventi diametro di 4-10 cm (facies fluvioglaciale), al di sotto del quale riprendono limi sabbiosi e limi argillosi.



### **SEZIONE CC' (allegato 1)**

Questa sezione, orientata O-E, è stata eseguita nella porzione settentrionale del lago, dalla località Massoni alla località Bertoletta. Il profilo geologico evidenzia, così come precedentemente accennato, che il Laghetto del Frassino è delimitato, lungo le sponde occidentale ed orientale, da cordoni morenici appartenenti all'Allogruppo di Lugana. Tali depositi sono costituiti da ghiaie eterometriche e poligeniche (spessore massimo 6 m), con clasti da subangolari ad angolari, mediamente alterati, aventi diametro massimo di 4-5 cm ed immersi in una matrice limoso-argillosa, debolmente umida, molto consistente, di colore grigio-marrone.

I depositi lacustri costituiti da livelli argilloso-torbosi, poggiano sulle unità glaciali s.s. e sono più estesi sulla sponda Est. Al di sotto di essi è chiaramente riscontrabile un livello di argille umide e poco consistenti di colore grigio. Seguono altri materiali fini, in particolare limi sabbiosi e argille limose con sottili livelli di ghiaie fini, al di sotto dei quali si rileva un livello prevalentemente ghiaioso e ghiaioso-sabbioso con clasti poligenici, subarrotondati, aventi diametro massimo di 8 cm. Il sondaggio S1LF evidenzia come, inferiormente al livello di materiale più grossolano, riprendano limi argillosi e sabbiosi del tutto simili a quelli riscontrati al di sopra del livello stesso. La successione stratigrafica caratteristica di questi settori, può essere sinteticamente descritta dallo schema dei rapporti stratigrafici che segue (fig. 3.2).

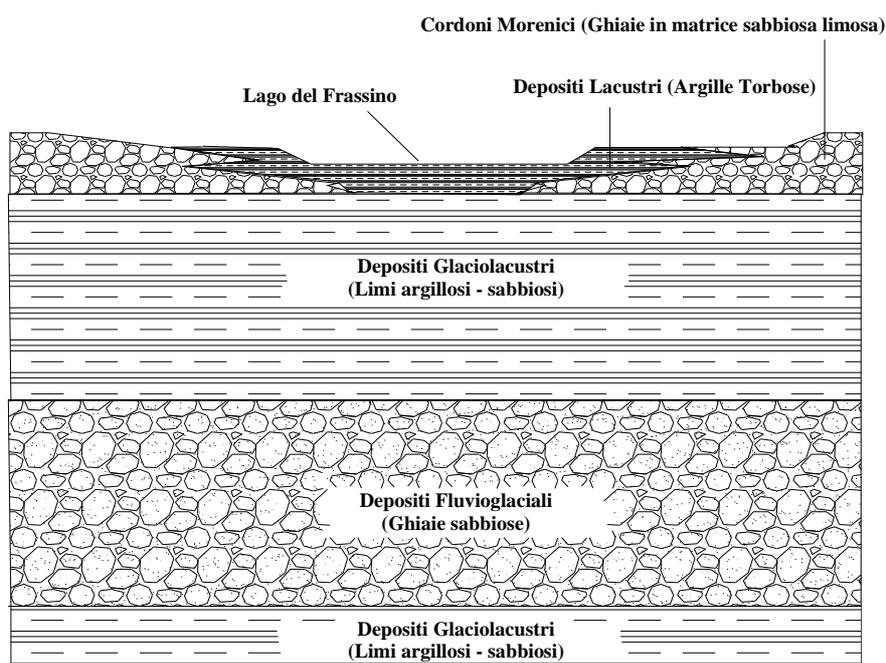


Figura 3.2: Schema dei rapporti stratigrafici.



#### 4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'assetto geologico-stratigrafico descritto, si presenta piuttosto articolato. Una gran varietà di complessi geologici con caratteristiche genetiche, litologiche, granulometriche e tessiture differenti, infatti, si distribuisce sul territorio in esame con spessori e continuità laterale molto variabili. Tale complessità si ripercuote, inevitabilmente, sull'assetto idrogeologico dell'area, che risulta infatti caratterizzata da un'alternanza irregolare di unità a permeabilità anche molto differente.

I corpi morenici, in genere, anche se costituiti in predominanza da ghiaie sabbiose, presentano bassa conducibilità idraulica, in relazione all'abbondante matrice limoso-argillosa che ne controlla la struttura. All'interno degli stessi corpi morenici, in corrispondenza degli orizzonti dominati da matrice più grossolana, la conducibilità idraulica può aumentare anche di diversi ordini di grandezza, ospitando acquiferi, potenzialmente in pressione, di continuità laterale difficilmente definibile.

Alle pendici delle morene affiorano depositi alluvionali antichi e/o recenti, depositi fluvioglaciali e depositi lacustri caratterizzati da tessitura e composizione granulometrica del tutto eterogenea.

In virtù di quanto detto scaturisce che la definizione chiara ed univoca del flusso idrico attivo in questi settori, risulta assai problematica.

##### 4.1 Generalità

L'assetto idrogeologico dell'area e l'andamento della superficie piezometrica sono stati ricostruiti, come anticipato, sulla scorta delle attività svolte nell'ambito della redazione della Relazione Idrogeologica generale (doc. rif. IN0500DE2RGGE00020010) e, soprattutto, sui riscontri ottenuti dalle rilevazioni strumentali relative ai piezometri dislocati nell'area (tabelle 2a, 2b, 2c). I valori medi riportati nelle tabelle sono stati calcolati considerando l'intero periodo di funzionamento della diversa strumentazione presente.

Altre caratteristiche generali delle acque (profonde e superficiali) sono riportate in **allegato 6** alla presente relazione

| PIEZOMETRI 2004 | PK         | BF    | MEDIA | MAX    | MIN    | DS   | MED+DS | ESCURSIONE |
|-----------------|------------|-------|-------|--------|--------|------|--------|------------|
| 4SC011          | 120+533.25 | 79,3  | 67,41 | 75,76  | 62,51  | 4,27 | 71,68  | 13,3       |
| 4S1SC (1)       | 121+210.01 | 85,67 | 73,41 | 74,6   | 72,179 | 0,66 | 74,07  | 2,4        |
| S4LF (1)        | 121+406.89 | 74,95 | 74,54 | 74,79  | 74,35  | 0,11 | 74,65  | 0,4        |
| S4LF (2)        | 121+406.89 | 74,95 | 54,18 | 56,54  | 49,43  | 2,48 | 56,65  | 7,1        |
| 4SC013          | 122+060.05 | 83,26 | 79,46 | 80,09  | 77,95  | 0,52 | 79,98  | 2,1        |
| S5GF (1)        | 122+455.02 | 84,7  | 74,96 | 75,83  | 73,2   | 0,62 | 75,58  | 2,6        |
| 4SC015 (1)      | 122+897.70 | 86,73 | 68,46 | 75,86  | 65,48  | 3,05 | 71,51  | 10,4       |
| 4SC015 (2)      | 122+897.70 | 86,73 | 83,02 | 83,87  | 81     | 0,65 | 83,67  | 2,9        |
| 4SN015bis       | 122+991.95 | 97,57 | 78,69 | 82,28  | 77,57  | 1,11 | 79,80  | 4,7        |
| 4SN016 bis      | 123+126.66 | 93,15 | 85,73 | 86,374 | 85,414 | 0,30 | 86,04  | 1,0        |
| 4SN016          | 123+481.96 | 86,07 | 83,38 | 84,564 | 82,304 | 0,74 | 84,12  | 2,3        |
| S6GF (1)        | 123+745.55 | 86,98 | 82,26 | 86,84  | 80,69  | 2,19 | 84,45  | 6,2        |
| S6GF (2)        | 123+745.55 | 86,98 | 81,44 | 84,91  | 79,17  | 1,50 | 82,94  | 5,7        |
| 4SN017          | 123+960.27 | 82,55 | 78,43 | 79,52  | 76,993 | 0,84 | 79,26  | 2,5        |
| 4SN018          | 124+188.40 | 74,37 | 69,66 | 70,57  | 68,815 | 0,66 | 70,32  | 1,8        |
| 4SN019          | 124+343.64 | 66,98 | 61,22 | 62,27  | 60,01  | 0,68 | 61,90  | 2,3        |
| S1LF (1)        | 121+820.58 | 74,1  | 73,17 | 73,42  | 72,97  | 0,11 | 73,28  | 0,5        |
| S1LF (2)        | 121+820.58 | 74,1  | 66,09 | 67,11  | 64,36  | 0,87 | 66,95  | 2,8        |
| S2LF (1)        | 121+379.20 | 75,37 | 74,41 | 75,17  | 74,15  | 0,28 | 74,68  | 1,0        |
| S2LF (2)        | 121+379.20 | 75,37 | 65,74 | 70,28  | 63,38  | 1,56 | 67,29  | 6,9        |
| S3LF            | 121+166.62 | 81,87 | 66,02 | 67,59  | 63,59  | 1,07 | 67,08  | 4,0        |

Tabella 2a: Dati salienti delle misure piezometriche relative ai sondaggi del 2004 (aggiornamento agosto 2005)

| PIEZOMETRI 1992 | PK         | BF     | MEDIA | MAX   | MIN   | DS   | MEDIA + DS | ESCURSIONE |
|-----------------|------------|--------|-------|-------|-------|------|------------|------------|
| DS033           | 124+369.98 | 66,611 | 61,26 | 62,93 | 55,25 | 2,98 | 64,24      | 7,68       |
| DS110           | 121+874.55 | 93,633 | 82,56 | 83,89 | 80,33 | 1,74 | 84,30      | 3,56       |
| DS114           | 120+953.43 | 84,856 | 80,96 | 81,09 | 80,66 | 0,16 | 81,12      | 0,43       |
| ES001           | 124+491.39 | 67,789 | 65,40 | 65,89 | 64,90 | 0,28 | 65,68      | 0,99       |

Tabella 2b: Dati salienti delle misure piezometriche relative ai sondaggi del 1992

| PIEZOMETRI 2002 | PK         | BF    | MEDIA       | MAX   | MIN   | DS          | MEDIA + DS  | ESCURSIONE |
|-----------------|------------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------------|------------|
| XA202G134       | 123+091.42 | 86,5  | 73,32111111 | 73,47 | 73,12 | 0,114612875 | 73,43572399 | 0,35       |
| S1              | 124+327.42 | 67,62 | 63,30875    | 63,7  | 62,82 | 0,240994467 | 63,54974447 | 0,88       |
| S2              | 121+363.31 | 76,8  | 51,525      | 55,74 | 46,2  | 3,724661953 | 55,24966195 | 9,54       |

Tabella 2c: Dati salienti delle misure piezometriche relative ai sondaggi del 2002

Ha costituito parte integrante dei dati di input anche il censimento dei punti d'acqua.

Nella figura che segue (fig. 4.1) viene proposto uno stralcio della carta dei punti d'acqua alla scala 1:10000 (doc. rif. IN0500DE2N4GE00020290÷20420) allegata al Progetto Definitivo in oggetto.

Nell'area in oggetto sono stati censiti 5 pozzi. I pozzi W880, W1287 e W891, ubicati in località Berra Vecchia, sono di proprietà comunale (Comune di Peschiera del Garda) e sono sfruttati a scopo idropotabile. Il W0892, di competenza della ditta Franke, emunge grandi quantitativi d'acqua a scopo industriale (**allegato 7**). Per i pozzi comunali di Peschiera del Garda non è stato possibile reperire informazioni più dettagliate di quanto descritto.

Entro i 500 m dal tracciato delle gallerie in progetto, sono state censite anche 9 emergenze della falda (F211, F195, F196, F197, F198, F199, F203, F202, F205). Si tratta, in genere,



di piccole depressioni in cui affiora direttamente sul piano campagna la superficie piezometrica. Per ogni approfondimento sul censimento e sulla descrizione dei punti d'acqua descritti si rimanda alla relazione monografica di dettaglio (doc. rif. IN0500DE2RGGE00020030), allegata al Progetto Definitivo in progetto.

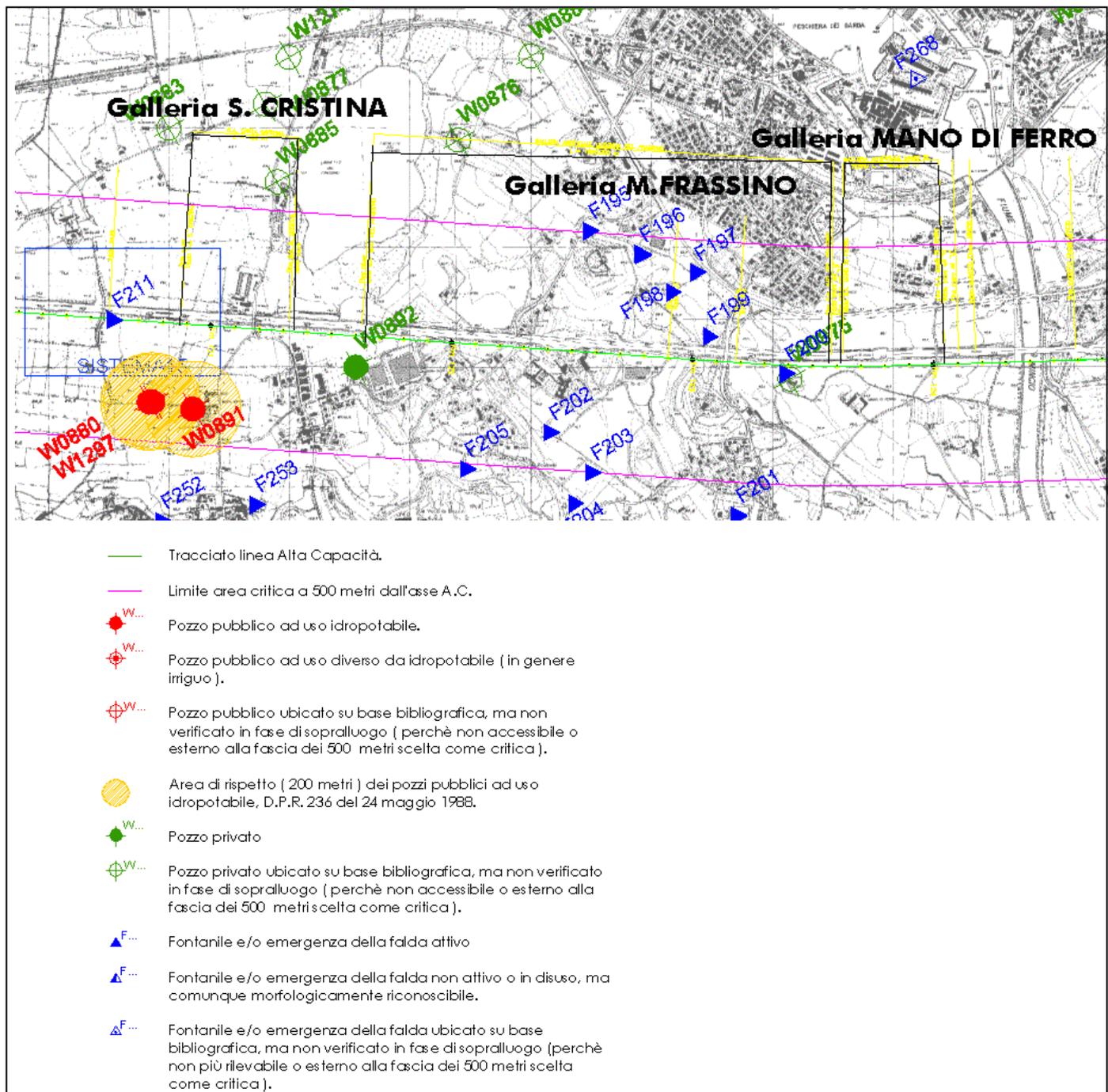


Figura 4.1: Censimento dei punti d'acqua.

## 4.2 Classi di permeabilità

Come anticipato nel capitolo precedente le unità allostratigrafiche attraversate dall'opera in progetto sono i depositi glaciali, fluvioglaciali e glaciolacustri dell'Allogruppo di Lugana (**Lu**) e i depositi alluvionali e lacustri dell'Unità Postglaciale.

Su basi generali, ossia utilizzando tutti i dati prodotti nel corso della caratterizzazione idrogeologica della linea, si osserva una certa variabilità nei valori di conducibilità idraulica dei litotipi coinvolti, variabilità che deve essere messa in relazione all'intrinseca eterogeneità che caratterizza i depositi morenici. La tabella 3 esplicita quanto appena detto.

| UNITA' ALLOSTRATIGRAFICA  | CONDUCIBILITA'<br>IDRAULICA (m/s)                    | CLASSE DI<br>PERMEABILITA' |
|---|--|----------------------------|
| <u>Unità Postglaciale</u><br>Depositi alluvionali alvei attuali (e antichi) | $10^{-2} < k < 10^{-3}$<br>$(10^{-5} < k < 10^{-6})$ | elevata<br>(media)         |
| <u>Unità Postglaciale</u><br>Depositi lacustri                              | $10^{-5} < k < 10^{-7}$                              | media                      |
| <u>Allogruppo di Lugana</u><br>Depositi glaciali                            | $10^{-5} < k < 10^{-7}$                              | media                      |
| <u>Allogruppo di Lugana</u><br>Depositi fluvioglaciali                      | $10^{-4} < k < 10^{-7}$                              | media                      |
| <u>Allogruppo di Lugana</u><br>Depositi glaciolacustri                      | $10^{-8} < k < 10^{-9}$                              | Bassa – molto<br>bassa     |

Tabella 3: Unità allostratigrafiche e loro conducibilità idraulica.

Tuttavia sulla base delle prove di conducibilità idraulica eseguite nel corso dei sondaggi è stato possibile osservare una certa omogeneità con valori di permeabilità mediamente compresi tra i  $10^{-6}$  m/s e  $10^{-7}$  m/s (tab. 4)



| Sondaggio | Profondità prova | Alloformazione           | Conducibilità idraulica (m/s) |
|-----------|------------------|--------------------------|-------------------------------|
| S1        | 4.75-5.25        | <b>Pg</b> Postglaciale   | 1,38E-04                      |
|           | 9.50-10.00       | <b>Lu</b> glaciale       | 7,43E-02                      |
| S2        | 6.00-6.50        | <b>Lu</b> glaciale       | 2,37E-05                      |
| S1LF      | 1.00-1.5         | <b>Pg</b> Postglaciale   | 2,70E-08                      |
|           | 9.00 - 9.50      | <b>Lu</b> glaciale       | 5,94E-08                      |
|           | 22.20 - 22.70    | <b>Lu</b> glaciale       | 3,93E-07                      |
|           | 38.00 - 38.80    | <b>Lu</b> fluvioglaciale | 6,60E-06                      |
| S2LF      | 2.0-2.50         | <b>Lu</b> glaciale       | 6,18E-08                      |
|           | 5.00-5.50        | <b>Lu</b> glaciale       | 5,49E-07                      |
|           | 17.50-18.00      | <b>Lu</b> glaciale       | 7,08E-08                      |
|           | 36.80-37.40      | <b>Lu</b> glaciale       | 3,06E-07                      |
| S3LF      | 44.90-45.50      | <b>Lu</b> fluvioglaciale | 1,33E-07                      |
| S4LF      | 5.50-6.00        | <b>Lu</b> glaciale       | 1,88E-08                      |
|           | 27.00-27.50      | <b>Lu</b> fluvioglaciale | 1,70E-08                      |
|           | 48.00-48.50      | <b>Lu</b> fluvioglaciale | 2,77E-07                      |
| S5GF      | 4.00-4.50        | <b>Lu</b> glaciale       | 8,73E-07                      |
|           | 10.00-10.50      | <b>Lu</b> glaciale       | 2,31E-07                      |
|           | 15.00-15.50      | <b>Lu</b> glaciale       | 3,48E-07                      |
|           | 19.50-20.00      | <b>Lu</b> glaciale       | 2,52E-07                      |
| S6GF      | 4.20-5.15        | <b>Lu</b> glaciale       | 5,84E-07                      |
|           | 9.90-10.70       | <b>Lu</b> glaciale       | 3,71E-07                      |
|           | 19.20-20.00      | <b>Lu</b> glaciale       | 8,40E-07                      |

Tabella 4: Valori di conducibilità idraulica (m/s) misurati in foro di sondaggio (Lefranc).

Nella tabella che segue (tab.5) sono presentati alcuni valori statistici relativi alla distribuzione dei valori di conducibilità idraulica raccolti.

| Media    | Mediana  | Max      | Min      | Dev St   |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 8,27E-06 | 3,06E-07 | 1,38E-04 | 1,70E-08 | 3,02E-05 |

Tabella 5: Valori di conducibilità idraulica misurati, elaborazioni statistiche.

Il valore di  $7,43E-02$  m/s registrato in S1, in apparente disaccordo con il trend medio riconosciuto in tutte le altre misure eseguite, non è stato considerato nelle elaborazioni statistiche effettuate.

La carta della permeabilità superficiale alla scala 1:10000 (doc. rif. IN0500DE2N4GE00020010÷20140) predisposta nell'ambito del Progetto Definitivo in oggetto, illustra quanto ora esposto. In **allegato 3** ne viene proposto uno stralcio.

E' importante osservare come i valori di conducibilità idraulica ricavati in foro di sondaggio da prove di tipo Lefranc, tendano, in genere, a sottostimare la reale conducibilità idraulica dei terreni attraversati. E' importante ricordare, infine, che la maggior parte dei sondaggi realizzati in questi contesti, sono stati eseguiti nell'intorno del Laghetto del Frassino (S1LF, S2LF, S3LF ed S4LF), caratterizzato dalla dominante presenza di terreni a granulometria più fine (limi ed argille). Si ritiene che nei settori più distanti dal Laghetto stesso la permeabilità media caratteristica dei terreni attraversati sia maggiore (come presentato in tabella 5).

### 4.3 Andamento della Falda

Tutti i dati raccolti e rielaborati nei paragrafi precedenti, hanno permesso di definire un profilo idrogeologico longitudinale all'asse della Galleria Madonna del Frassino (doc. rif. IN0500DE2F5GE00010200). Si osserva la bassa soggiacenza del livello di falda che appare, almeno in parte, interconnessa con il bacino lacustre. Sulla base delle rilevazioni strumentali disponibili è possibile, in termini schematici, proporre pertanto un profilo di "progetto"



dell'andamento della falda. Per tali livelli di riferimento si rimanda alle relazioni geotecniche delle singole opere: Galleria Artificiale S.Cristina (Doc. A20200DE2RBGA100X001) –Galleria Artificiale Madonna del Frassino (Doc. A20200DE2RBGA110X001) – Galleria naturale Colle Baccotto (Doc. A20200DE2RBGN0300001) – Galleria Artificiale Mano di Ferro (Doc. A20200DE2RBGA130X001).

#### 4.4 Considerazioni conclusive: il bacino idrogeologico

Alla luce di quanto esposto nei paragrafi precedenti, sembrerebbero dunque presenti due acquiferi sovrapposti: il primo, più superficiale, con una quota piezometrica di riferimento prossima ai 70-90 m s.l.m.; il secondo, più profondo, con una quota piezometrica prossima ai 55-70 metri s.l.m.

Lo schema che segue (fig. 4.2) sintetizza questi concetti.

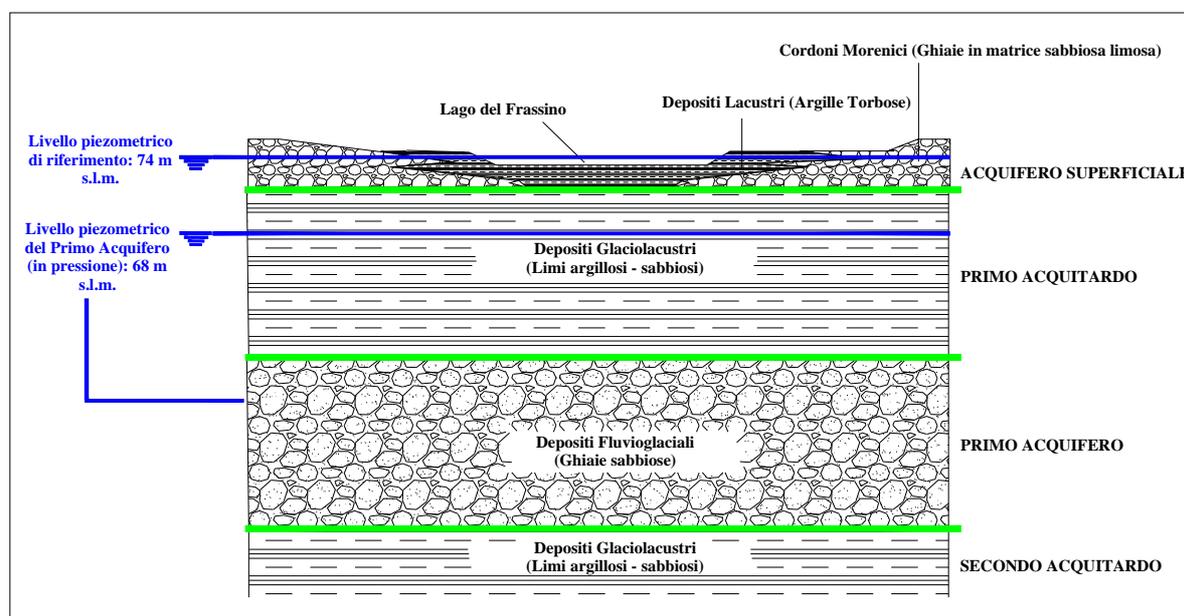


Figura 4.2: Schema idrogeologico.

L'andamento della falda superficiale e, conseguentemente, quello del bacino idrogeologico del laghetto del Frassino è stato ricostruito sulla base delle seguenti informazioni:



- i dati piezometrici relativi alle verticali attrezzate con due piezometri (entrambi Casagrande o tubo aperto - Casagrande) in cui pertanto è stato possibile evidenziare la presenza di due livelli piezometrici distinti;
- i dati piezometrici relativi a piezometri in cui il livello misurato risultava attribuibile alla falda superficiale;
- la disposizione, la collocazione e l'altezza topografica, nel bacino del Frassino, delle sorgenti o, più in generale, delle emergenze idriche superficiali (laghetti, bacini endoreici). Convenzionalmente tali emergenze sono state considerate come affioramenti della falda superficiale alla quale, pertanto, è stato assegnato in quel punto il valore corrispondente alla quota topografica del punto stesso.

Nella figura 4.3 viene illustrato il bacino idrologico superficiale del laghetto del Frassino suddiviso per fasce altimetriche e vengono rappresentati i punti (piezometri ed emergenze idriche) che hanno consentito la ricostruzione dell'andamento della falda superficiale.

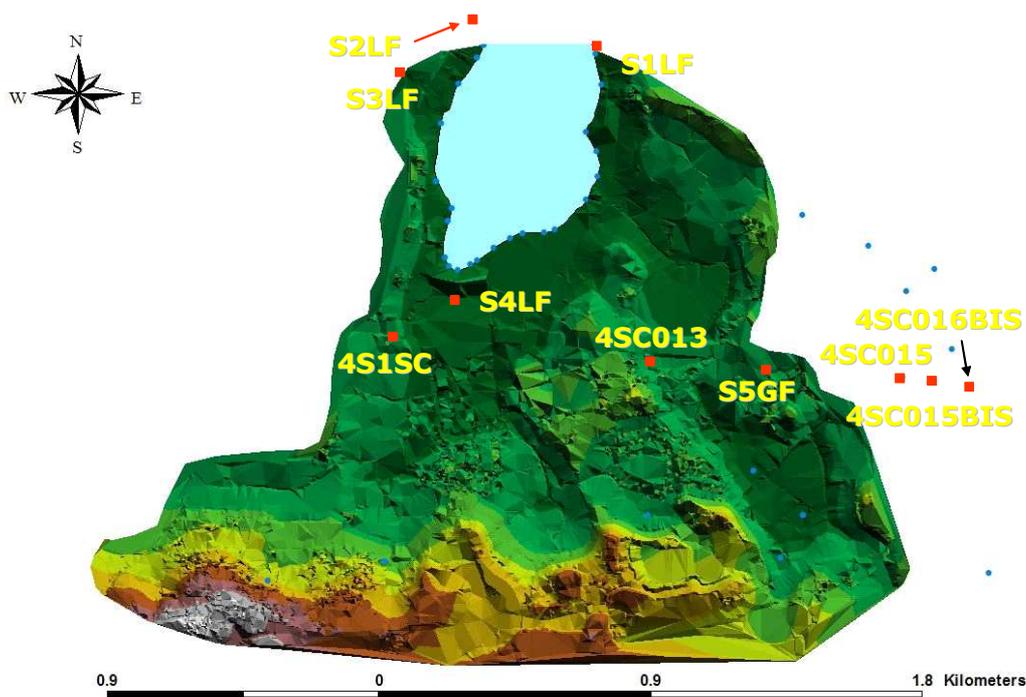


Fig. 4.3. Ubicazione dei piezometri (quadrati rossi) e delle emergenze idriche superficiali (sorgenti e bacini endoreici, cerchi blu) considerati per la definizione dell'andamento della falda superficiale

Le misure piezometriche relative ad alcuni degli strumenti interessati sono riportate nelle figure 4.4a e 4.4b dalla quale si evince che le oscillazioni del livello piezometrico superficiale risultano grossomodo sincrone tra loro. In linea di principio è possibile osservare, inoltre, che dette oscillazioni appaiono perlopiù di modesta entità e legate al naturale andamento stagionale delle precipitazioni.

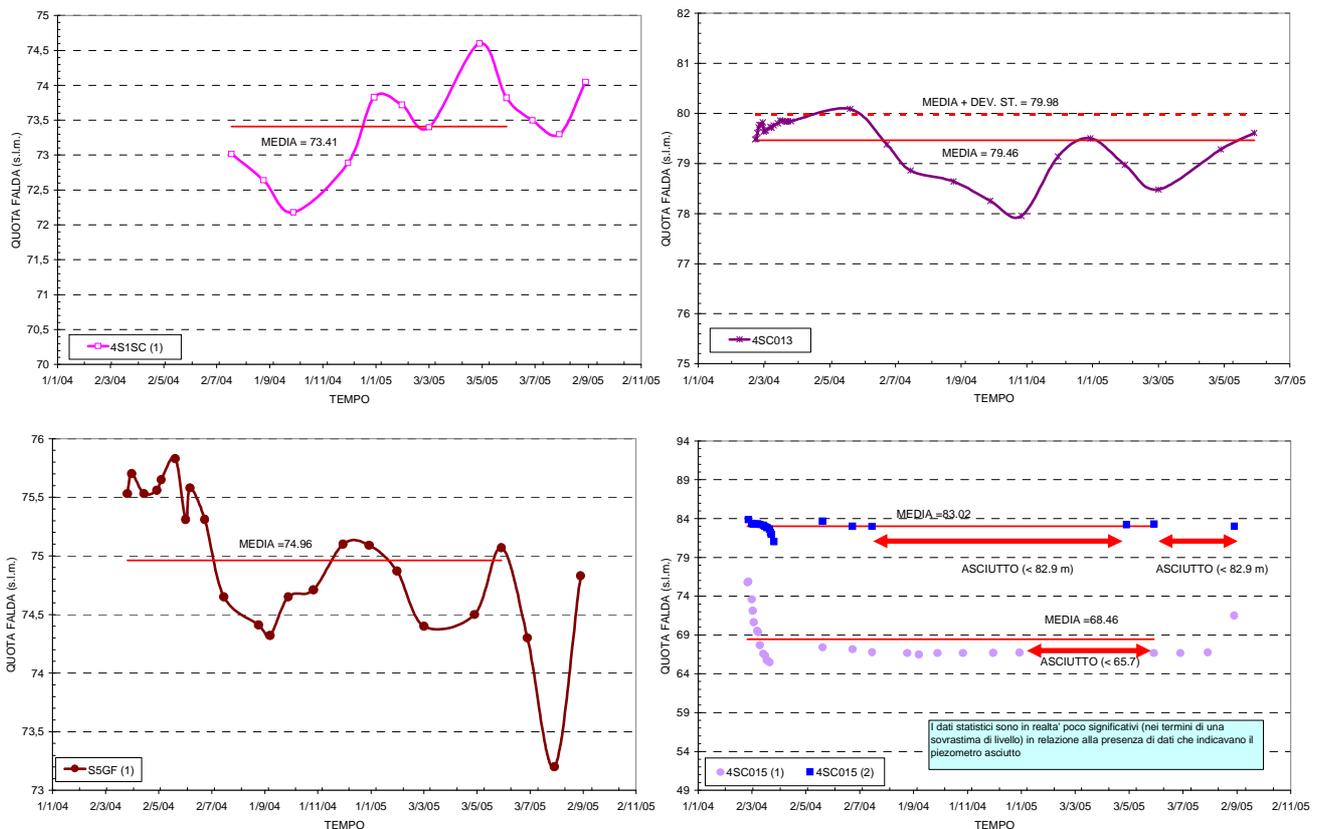


Fig. 4.4a. Andamento delle misure piezometriche in alcuni degli strumenti dislocati nell'area del bacino del laghetto del Frassino

La ricostruzione dell'andamento della falda superficiale ha consentito di mettere in evidenza una mancata sovrapposizione geometrica tra il bacino superficiale e quello idrogeologico. In particolare il bacino idrogeologico del laghetto del Frassino appare meno esteso rispetto a quello superficiale: la carta della soggiacenza della falda superficiale evidenzia, infatti, la presenza di una depressione del livello piezometrico ubicata nella porzione sud-orientale del bacino idrologico del laghetto, depressione che determina il richiamo delle linee di deflusso delle acque sotterranee verso quel settore (Fig. 4.5) che, in ragione di ciò, non concorre ad alimentare il lago relativamente alla componente delle acque sotterranee.

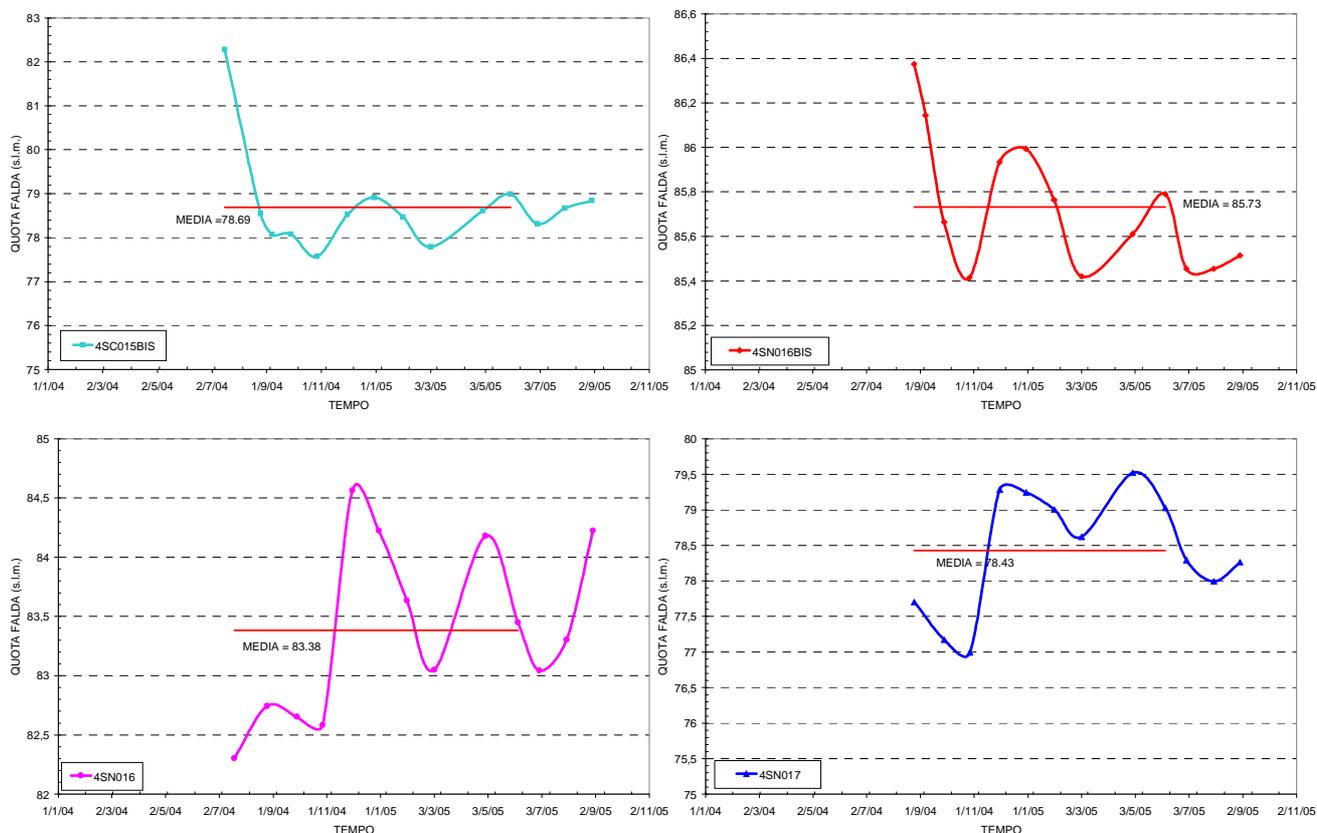


Fig. 4.4b. Andamento delle misure piezometriche in alcuni degli strumenti dislocati nell'area del bacino del laghetto del Frassino

In relazione a quanto detto è possibile affermare che l'azione di "schermatura" operata dalla messa in opera della galleria in oggetto nei confronti del laghetto del Frassino riguarda solo una porzione del bacino posto a monte della galleria stessa, ossia quella compresa tra il limite occidentale del bacino superficiale e lo spartiacque sotterraneo che definisce il limite di demarcazione tra il bacino idrogeologico del laghetto del Frassino e quello che adduce acqua alla cosiddetta "depressione" della falda.

Con riferimento alla linea in progetto è possibile affermare, seppure con le indeterminatezze e le approssimazioni implicite e ineliminabili in questo tipo di analisi (stimabile comunque nell'ordine di poche decine di metri), che tale limite è ubicato in corrispondenza del piezometro 4SC013, alla pk 122+060.

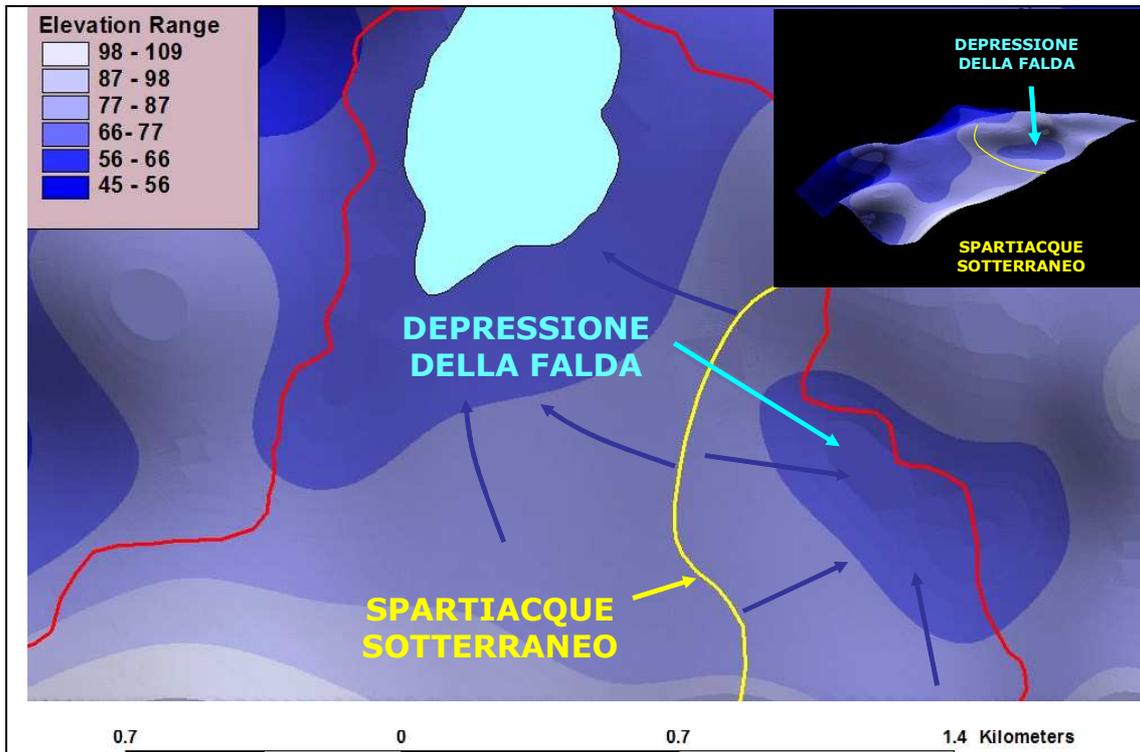


Fig. 4.5. Andamento della falda superficiale nell'area del laghetto del Frassino



## 5. IL BILANCIO IDROLOGICO E LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO

Il laghetto del Frassino viene alimentato da:

- A. le precipitazioni che cadono direttamente sulla sua superficie. Nel bilancio complessivo tale precipitazione deve essere diminuita della quota parte di acqua che viene perduta per i normali processi di evaporazione;
- B. le precipitazioni che cadono sui versanti sottratta della quantità persa per i fenomeni di evapotraspirazione. Una porzione delle acque che precipitano sui versanti e che non evapotraspirano si infiltra andando ad alimentare prevalentemente la falda superficiale (B1), la rimanente parte, invece, ruscella raggiungendo il reticolo di drenaggio superficiale e, dunque, il lago (B2).

Poiché la struttura in progetto si configura come opera interamente in sotterraneo, la sua influenza sul regime di alimentazione del lago si rivolge esclusivamente alle acque di infiltrazione (componente B1) mentre non sono da prevedersi ripercussioni significative relativamente alle altre componenti. Tuttavia per quantificare tale effetto risulta inevitabile contestualizzarlo all'insieme degli afflussi che coinvolgono il lago definendo una ad una le singole componenti. Nelle pagine che seguono vengono brevemente presentati e sintetizzati i risultati ottenuti rimandando ogni ulteriore approfondimento sulle metodologie, alla relazione finale.

Occorre premettere che il bilancio idrogeologico ora discusso fa riferimento ai dati meteorologici relativi all'anno 2004 (fig. 5.1). Se tale scelta può apparire discutibile in quanto rischia di risultare eccessivamente calata ad una situazione specifica non necessariamente rappresentativa dell'andamento medio del bilancio del lago, d'altra è bene osservare che la contemporanea disponibilità dei dati piezometrici ha consentito una taratura dei risultati ottenuti e, in ultima analisi, una verifica della bontà delle assunzioni fatte.

Con riferimento alla componente A, nella figura 5.2 viene schematizzato l'andamento dell'evaporazione così come calcolato in corrispondenza della superficie del lago. Si osserva, ovviamente, che l'evaporazione risulta fortemente legata alla variazione delle temperature nel corso dell'anno, essendo massima nel periodo estivo e molto modesta in



quello invernale. Complessivamente oltre il 90% della pioggia che interessa il lago viene persa a causa di questo meccanismo.



Fig. 5.1. Andamento delle precipitazioni mensili nell'anno 2004 (stazione di Castelnuovo)

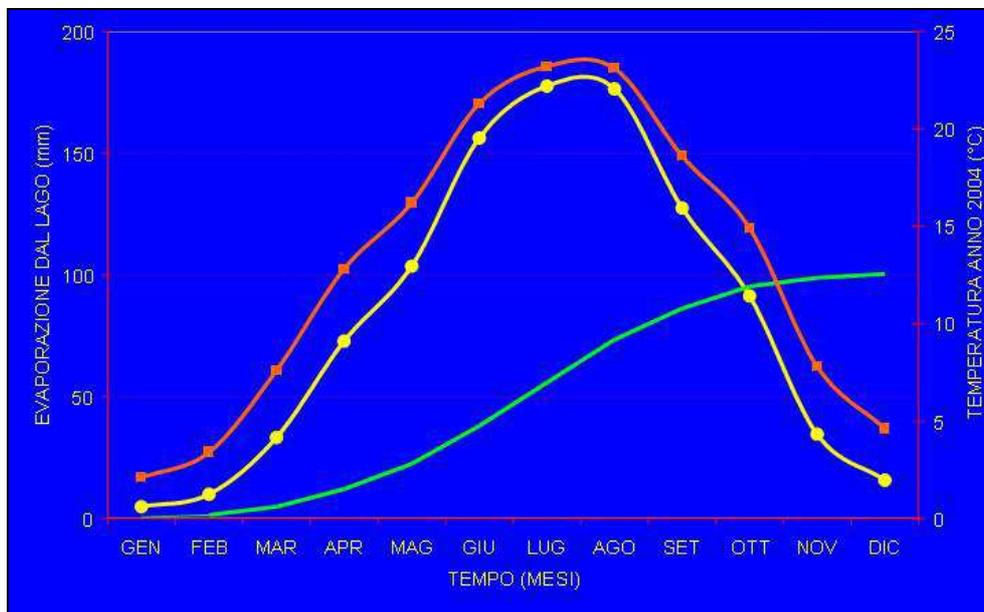


Fig. 5.2. Andamento delle temperatura e dell'evaporazione mensile e cumulata in corrispondenza della superficie del laghetto del Frassino

Per ciò che attiene le precipitazioni che interessano la restante parte del bacino del laghetto (componente B) occorre preliminarmente definire la quantità di acqua che viene perduta in virtù dei fenomeni di evapotraspirazione e solo successivamente operare la



suddivisione tra acque che si infiltrano e acque che ruscellano. Il calcolo dell'evapotraspirazione è piuttosto complesso essendo funzione di svariati fattori, tra i quali oltre alla precipitazione e alla temperatura, è possibile citare l'uso del suolo, la pendenza dei versanti, l'indice di calore, la latitudine (e pertanto il rapporto tra ore diurne e ore notturne), ecc.. Inoltre risulta indispensabile distinguere tra evapotraspirazione potenziale, ossia quella che in linea teorica si può indurre in relazione alla particolare combinazione dei fattori al contorno appena menzionati, ed evapotraspirazione reale, definita come evapotraspirazione che di fatto può verificarsi in virtù dell'effettiva disponibilità di risorse idriche.

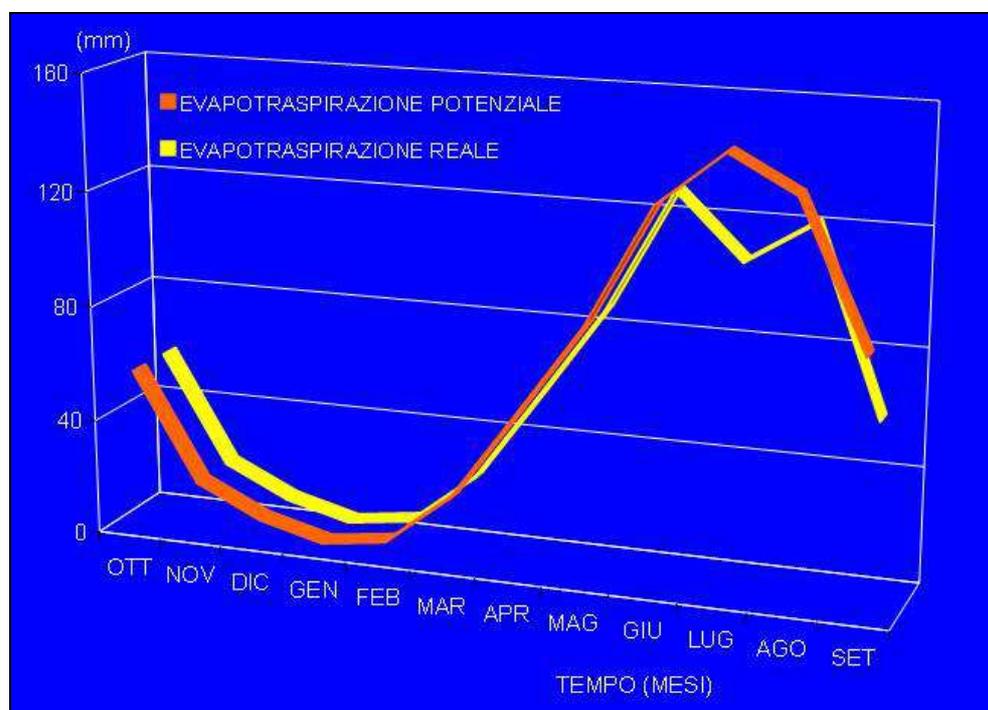


Fig. 5.3. Confronto tra evapotraspirazione potenziale e reale

Un bilancio idrico deficitario si rileva nel periodo estivo determinando come conseguenza la distinzione tra evapotraspirazione potenziale e quella reale, essendo quest'ultima costantemente inferiore nei mesi di giugno, luglio e agosto (Fig. 5.3).

Considerando in definitiva l'insieme di tutti gli apporti idrici (pioggia sul lago [A], afflusso idrico dai versanti, sia come ruscellamento che come acqua di infiltrazione[B]), in relazione ai deflussi (evaporazione, evapotraspirazione, rete idrica uscente dal lago) è stato calcolato un bilancio idrogeologico del laghetto del Frassino (Fig. 5.4) dal quale si evince un andamento negativo nei mesi compresi tra giugno e ottobre (stagione secca) e positivo per la rimanente parte dell'anno (stagione umida). I picchi positivi maggiori si rilevano nei mesi di

marzo e novembre-dicembre in virtù di un apporto idrico consistente e di un contestuale basso valore di evaporazione (basse temperature) ed evapotraspirazione (modesta attività delle colture presenti). Per contro il valore fortemente negativo di bilancio che si sostanzia soprattutto nel mese di luglio oltre ad essere correlato al valore massimo delle temperature (circa 22°C) trova giustificazione anche nel basso apporto idrico (precipitazioni relativamente scarse) e nello sviluppo di alcune tipologie di colture che comporta elevati tenori di evapotraspirazione.



Fig. 5.4. Bilancio idrogeologico del bacino del laghetto del Frassino

Il bilancio idrogeologico del lago così come determinato è stato messo a confronto con i dati piezometrici disponibili al fine di individuare l'esistenza di un'eventuale correlazione tra questo fattore e l'andamento della falda superficiale. I risultati ottenuti hanno posto in evidenza non solo una buona correlazione tra oscillazioni del livello piezometrico e bilancio ma anche tra quest'ultimo e oscillazioni del laghetto del Frassino. Non disponendo di misure dirette dell'andamento del lago è stato assunto che il piezometro S1LF potesse indirettamente rappresentarle in relazione a:

- la sua vicinanza alle sponde del laghetto (inferiore ai 50 m circa);



- i valori di soggiacenza in esso misurati (intorno ai 73 m s.l.m.), assai prossimi a quelli del livello del lago.

Pur con le approssimazioni legate all'assunzione appena esposta e nella consapevolezza della possibilità di postulare una più modesta entità di variazione del livello misurato dal piezometro rispetto a quella che effettivamente interessa il lago, la figura 5.4 mostra inequivocabilmente che le suddette modifiche stagionali sono connesse all'andamento del bilancio idrogeologico e che il lago presenta un minimo stagionale nel corso della stagione secca, allorquando i deflussi prevalgono sugli afflussi.

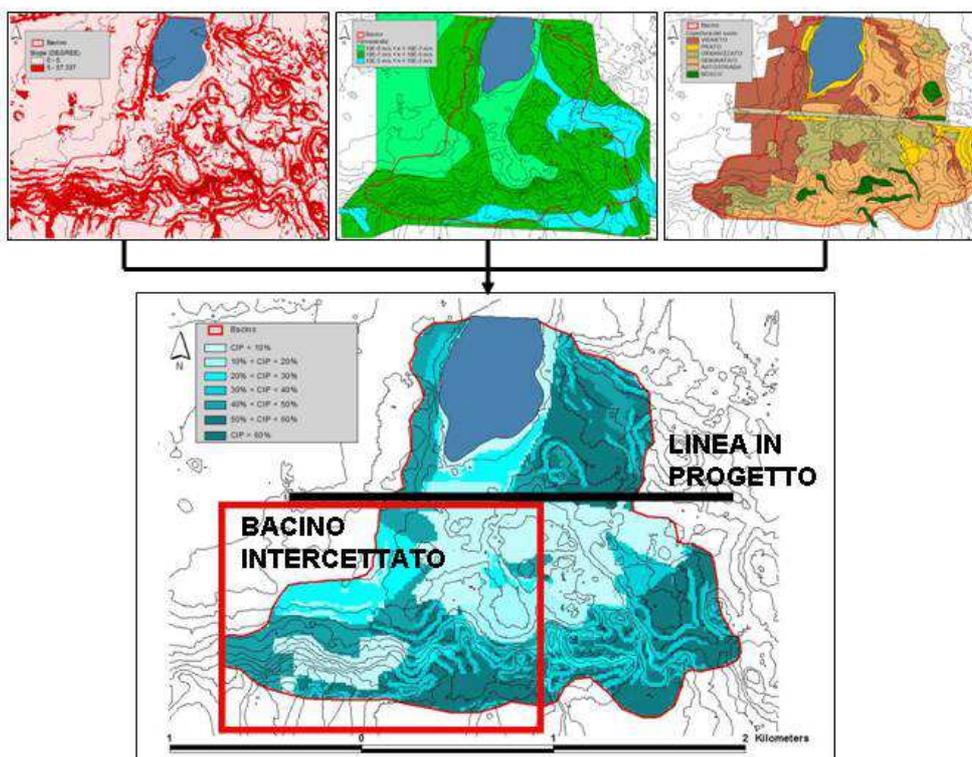


Fig. 5.5. Calcolo del coefficiente di infiltrazione potenziale

Come premesso ad inizio capitolo per quantificare l'impatto prevedibile della realizzazione delle gallerie risulta indispensabile, a questo punto, operare una distinzione nell'ambito della componente B degli afflussi (precipitazioni sui versanti) tra acque di ruscellamento ( $Q_P$ ) e acque di infiltrazione ( $I_P$ ), al netto di quelle disperse per i processi di evapotraspirazione di cui già si è discusso ( $D = \text{deflusso idrico totale} = Q_P + I_P$ ). Le acque di infiltrazione  $I_P$  possono essere calcolate, indirettamente, introducendo un coefficiente di

infiltrazione potenziale (cip), secondo l'espressione  $I_P = D \cdot \text{cip}$  (con cip espresso come valore percentuale). Il coefficiente di infiltrazione potenziale è funzione dell'acclività dei versanti (maggiore è la pendenza e minore è l'infiltrazione), della permeabilità dei terreni (cresce al crescere della permeabilità) e dell'uso del suolo (infiltrazione seminativo > infiltrazione vigneto > infiltrazione prato > infiltrazione bosco > infiltrazione in ambito urbanizzato).

Incrociando e sovrapponendo tramite un G.I.S. i diversi parametri opportunamente suddivisi in classi aventi un differente peso è stato possibile spazializzare nell'ambito del bacino l'andamento del coefficiente di infiltrazione e, in ultima analisi, determinarne un valore medio, valutato in  $\text{cip} = 0.37$  (Fig. 5.5). Pertanto, secondo i calcoli eseguiti, il 37% delle precipitazioni interessanti i versanti (e non evapotraspirate) andrebbero ad alimentare la falda superficiale. Tuttavia, in relazione a quanto concluso nel capitolo precedente, solo una porzione limitata del bacino profondo verrebbe intercettata dalle gallerie in esame (riquadro rosso in figura 5.4) e in questa porzione di bacino il coefficiente di infiltrazione potenziale risulta sensibilmente inferiore essendo stato stimato in  $\text{cip} = 0.29$  in ragione, soprattutto, della presenza di un'ampia fascia intensamente urbanizzata.

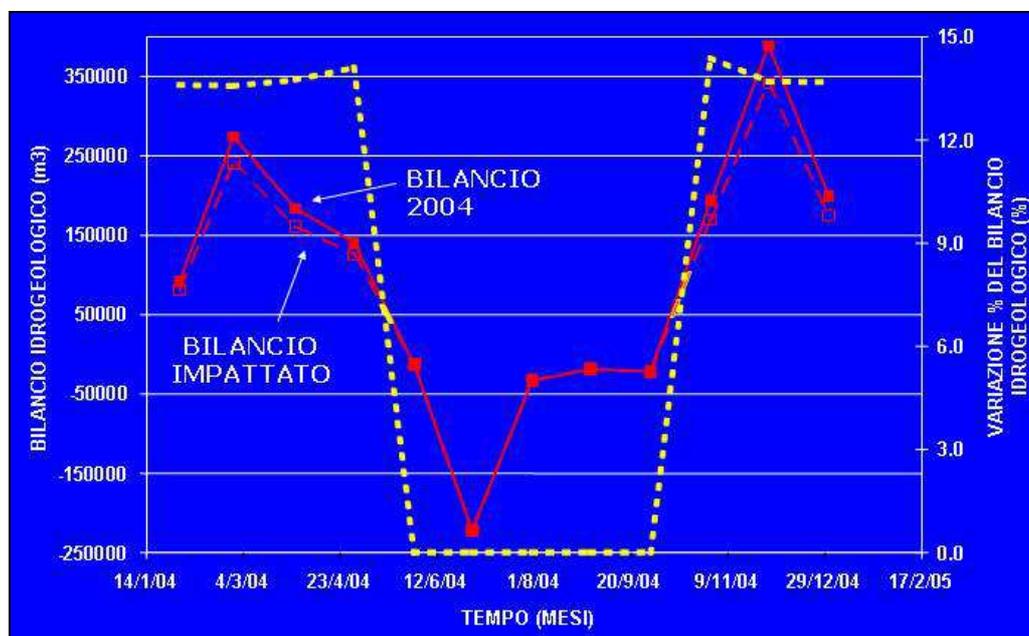


Fig. 5.6. Andamento del bilancio idrogeologico del laghetto e del bilancio "impatto" a seguito della realizzazione delle gallerie in progetto

Per calcolare l'impatto delle gallerie sull'alimentazione del lago è stato assunto che le piogge infiltratesi nell'ambito del cosiddetto bacino intercettato (il 27% delle precipitazioni non evapotraspirate in quel settore) non confluissero più al lago risultando totalmente

GENERAL CONTRACTOR

**Cepav due**



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
IN05

Lotto  
00

Codifica Documento  
DE2RGGE0001003

Rev.  
1

Foglio  
33 di 35

impattate. Inserendo tale valore nell'ambito del bilancio del laghetto del Frassino è stato possibile calcolare che la realizzazione delle gallerie, nel caso di soluzione progettuale tra paratie verticali profonde e permanenti (caso dei diaframmi), comporterebbe una diminuzione degli apporti idrici al lago stimabile nel 15-20% circa su base annuale (Fig. 5.6).

Al fine di mitigare tale effetto il progetto dovrà prevedere una soluzione di maggior "trasparenza" (palancolati provvisori ad esempio) quantomeno per i tratti relativi alla G.A. di S. Cristina, la successiva trincea ed il tratto ovest della G.A. del Frassino fino alla pk 122+060 ca..

## 6. SOMMARIO E CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state discusse le problematiche idrogeologiche relative alle gallerie Santa Cristina, Madonna del Frassino e Mano di Ferro al fine di evidenziare e quantificare l'impatto che è lecito attendersi a seguito della realizzazione di tali opere sul regime di alimentazione del laghetto del Frassino.

Oltre ad una definizione dell'andamento della superficie piezometrica in corrispondenza dell'asse della galleria, le principali conclusioni cui si è giunti possono essere sinotticamente riassunte nei punti che seguono:

- il bacino del Frassino ha un'area di poco superiore ai 3 km<sup>2</sup>;
- l'area è interessata dalla presenza di litotipi molto eterogenei e di limitata continuità laterale, per la maggior parte riferibili a meccanismi di deposizione di tipo glaciale e/o fluvioglaciale;
- sono riconoscibili due acquiferi distinti e sovrapposti, il primo più superficiale (Acquifero Superficiale) con una quota piezometrica di riferimento superiore ai 70 m s.l.m., il secondo più profondo (Primo Acquifero) con un livello piezometrico misurabile intorno ai 55-70 m s.l.m.;
- il laghetto del Frassino risulta alimentato, per ciò che attiene la componente di acque sotterranee, esclusivamente dalla falda superficiale mentre non risulta essere in "contatto" con l'Acquifero Profondo, essendo da esso separato da uno spesso orizzonte pressoché impermeabile;
- le gallerie in progetto, ponendosi lungo le direttrici di alimentazione sotterranea tra la porzione di monte del bacino e il laghetto del Frassino opererebbero un'azione di schermatura, intercettando di fatto una quota parte delle acque che alimentano subsuperficialmente il laghetto stesso.
- le gallerie interferiscono con il sistema di alimentazione del lago fino alla progressiva 122+060 circa; il tratto più orientale delle gallerie intercettano un sistema acquifero sotterraneo che, sulla base dei dati disponibili, non apporta direttamente acqua al laghetto;

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
IN05

Lotto  
00

Codifica Documento  
DE2RGGE0001003

Rev.  
1

Foglio  
35 di 35

- la diminuzione del quantitativo d'acqua in entrata sul laghetto del Frassino, sul restante tratto impattato e nel caso di utilizzo di diaframmi, è stimabile in circa il 15-20% del totale.
- in allegato 4, è stata sviluppata un'analisi di filtrazione mirata a dimostrare l'efficacia della soluzione finale di progetto (scatolare più dreni passivi).