

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 PARADISO**

IL PROGETTISTA  
Ce.A.S. srl

IL PROGETTISTA INTEGRATORE  
saipem spa  
Tommaso Tarantà



Dottore in Ingegneria Civile iscritto all'albo degli Ingegneri della Provincia di Milano al n. A23496 - Sez. A Settori:  
a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione  
Tel. 02.52020511 Fax 02.52028309  
CF. e P.IVA: 0825729157

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 | 5 | 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><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.: IN0500DE2RGGE00010051.doc



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

CUP: F81H91000000008

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
IN05

Lotto  
00

Codifica Documento  
DE2RGGE0001005

Rev.  
1

Foglio  
2 di 23

## INDICE

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Premessa e scopo del lavoro .....                       | 3  |
| 1.1 | METODOLOGIA DI LAVORO.....                              | 3  |
| 2.  | INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....                       | 4  |
| 3.  | INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....                            | 4  |
| 3.1 | STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO .....                         | 6  |
| 4.  | INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....                        | 8  |
| 4.1 | Generalità .....  | 8  |
| 4.2 | Andamento della Falda.....                              | 14 |
| 4.3 | Considerazioni conclusive.....                          | 15 |
| 5.  | BILANCIO IDROLOGICO .....                               | 16 |
| 6.  | valutazione degli impatti e possibili mitigazioni ..... | 22 |

## 1. PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

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

Il presente documento va inteso come monografia di approfondimento alla Relazione Geologica generale (doc. rif. IN0500DE2RGGE00010010) e alla Relazione Idrogeologica generale (doc. rif. IN0500DDE2RGGE00020010), allegata 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 del territorio interessato dallo scavo della Galleria Paradiso.

La Galleria Paradiso è interamente compresa nel territorio comunale di Castelnuovo del Garda (Verona). L'imbocco occidentale è situato alla pk 125+200, quello orientale alla pk 126+500. La lunghezza totale dell'opera è di 1300 metri.

### 1.1 METODOLOGIA DI LAVORO

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

- 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;
- contatti con la Provincia di Verona, l'ARPA Veneto e il Comune di Castelnuovo del Garda per il reperimento della documentazione tecnica eventualmente esistente;
- analisi critica dei punti d'acqua (pozzi e fontanili);
- 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 (2005);
- analisi dei dati piezometrici ottenuti nel corso delle citate campagne;
- raccolta e revisione dei dati climatici, con particolare riferimento ai dati pluviometrici e termometrici relativi alla stazione meteorologica di Peschiera 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
- conclusioni alle problematiche descritte, con la ricostruzione di semplici modelli di circolazione idrica.

## 2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La zona attraversata dalla Galleria Paradiso è inclusa nell'Anfiteatro Morenico del Garda, ed è situata subito ad Est del Fiume Mincio, il cui terrazzo orientale si raccorda con i cordoni morenici più esterni del Pleistocene superiore, sviluppatosi nella depressione interglaciale del Mincio fino alla località Paradiso. Queste colline, orientate circa Nord-Sud, raggiungono la quota massima di circa 120 metri s.l.m.

L'opera in progetto attraversa alcune aree pianeggianti, più estese verso l'imbocco orientale, dove la piana ad Est della località Le Tartaglie si spinge fino al terrazzo fluviale del Torrente Bisciola.

L'imbocco occidentale della Galleria Paradiso è situato in un rilievo collinare, avente quota massima di 104 m s.l.m. ed ubicato ad Est del Casello Autostradale di Peschiera del Garda. L'imbocco orientale è situato in un rilievo collinare, avente quota massima di 120 m s.l.m., ed ubicato a Sud-Est della località Le Tartaglie,

Il reticolo idrografico non presenta elementi di spicco, ad eccezione del citato Fiume Mincio e di un sistema di canali di importanza marginale, sfruttati per lo più a scopi irrigui.

Il F. Mincio, che rappresenta il principale emissario del Lago di Garda, presenta una struttura uniassiale e meandriforme che diventa più sinuosa proseguendo verso sud.

## 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Gli imbocchi della Galleria Paradiso sono situati in colline di origine glaciale, comprese nell'Allogruppo di Lonato e San Giorgio (Pleistocene medio), tali rilievi sono costituiti da diamicton massivo a supporto di matrice sabbioso-limosa, talora debolmente cementato, con clasti alterati, poligenici, da angolosi a subarrotondati ed eterometrici.

I rilievi sono interrotti da piane fluvioglaciali della stessa età costituite da ghiaie da grossolane a molto grossolane a supporto di clasti con matrice sabbioso-limosa.

E' innanzitutto necessario sottolineare che le considerazioni fatte sullo spessore e sulla distribuzione nel sottosuolo dei depositi quaternari attraversati dall'opera in progetto, sono puramente indicative: infatti tali depositi sono caratterizzati dall'avere un'estrema variabilità di facies sia laterale che verticale.

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

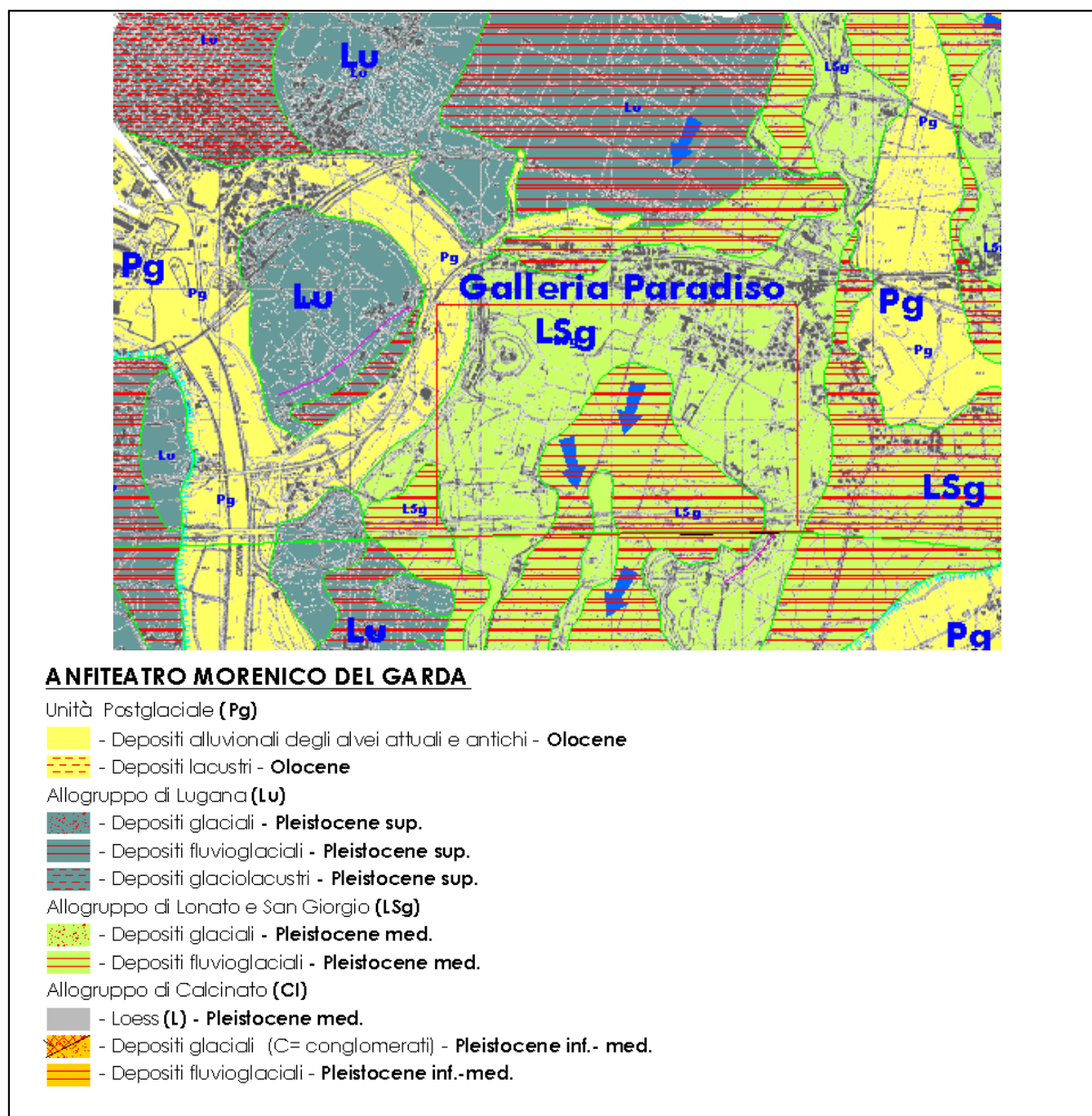


Figura 1: Carta geologica schematica dell'area interessata dallo scavo della Galleria Paradiso.



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.

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

Sono costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice sabbioso limosa, talora debolmente cementati. I clasti sono eterometrici con dimensioni massime sino a 2 m (massi erratici), da angolosi a subarrotondati, poligenici. L'alterazione colpisce circa il 50% dei clasti con litologie carbonatiche da decarbonatate ad argillificate e litologie cristalline da fragili ad arenizzate.

- *Depositi fluvioglaciali (fg<sup>R3</sup>, fg<sup>R2</sup>, fg<sup>R1</sup>)*

Sono costituiti da ghiaie da grossolane a molto grossolane a supporto di clasti con matrice sabbioso-limosa. I clasti sono arrotondati e poligenici. L'alterazione colpisce circa il 50% dei clasti con litologie carbonatiche da decarbonatate ad argillificate e litologie cristalline da fragili ad arenizzate.

### 3.1 STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO

Lungo il tratto interessato dalla Galleria Paradiso è stato prodotto un profilo geologico in asse con il tracciato della linea ferroviaria in progetto (doc. rif. IN0500DE2F5GE00010210 in scala 1:5000/1:500).

| Sondaggio | Anno | Pk      | Quota B.F. | Profondità | Attrezzato a piezometro |
|-----------|------|---------|------------|------------|-------------------------|
| ES104     | 1992 | 125+466 | 98.46      | 30         | Si (TA, 2 ÷ 27)         |
| XA202R136 | 2002 | 126+723 | 100.36     | 40         | Si (TA, 9 ÷ 40)         |
| S1GP      | 2004 | 125+099 | 89.75      | 25         | Si (TA, 6 ÷ 25)         |
| 4SS022    | 2004 | 125+358 | 101.87     | 30         | no                      |
| 4SC023    | 2004 | 125+632 | 97.48      | 20         | Si (C, 9)               |
| 4SS021    | 2004 | 124+906 | 86.94      | 30         | no                      |

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
IN05Lotto  
00Codifica Documento  
DE2RGGE0001005Rev.  
1Foglio  
7 di 23

4SN025

2005

126+486

108.61

40

Si (TA, 3 ÷ 40)

*tabella 1: verticali geognostiche ubicate nell'area di interesse (TA = tubo aperto, C = Casagrande)*

E' necessario sottolineare che dei 5 sondaggi originariamente previsti, solo tre (4SC022, 4SC023, 4SN025) sono stati effettivamente eseguiti per l'impossibilità di ottenere i permessi d'accesso nei punti ove erano programmati i rimanenti due (4SN024 e 4SN052). Peraltro del piezometro 4SN025 (la cui stratigrafia è riportata in allegato 1) è disponibile la sola lettura eseguita nell'agosto 2005. Nella tabella 1 sono riportati i sondaggi realizzati nell'area di interesse.

I sondaggi a carotaggio continuo eseguiti in quest'area prevalentemente collinare, raggiungono la profondità massima di 40 metri dal piano campagna.

La successione stratigrafica caratteristica dei settori vicini all'imbocco occidentale della galleria, è ben rappresentata dal sondaggio 4SS021, che ha attraversato, per tutti i 30 metri investigati, sabbie limose, da fini a grossolane, inglobanti ghiaia eterometrica con clasti subangolari. La stessa litologia si ritrova alle pk 125+099 e pk 125+358, dove nelle porzioni più superficiali sono presenti livelli di ciottoli e ghiaia eterometrica da subarrotondata a subangolare in abbondante matrice limoso - sabbiosa. Verso est, alla pk 125+632), prevalgono, fino a 3,5 m circa dal p.c., livelli di argille localmente sabbiose alternate a strati di sabbie fini e ghiaie; dai 13 m a fondo foro prevalgono invece argille limose talora con ghiaia fine.

I settori prossimi all'imbocco orientale, invece, sono caratterizzati dalla predominante presenza di orizzonti fini limoso-argillosi, come indicato dal sondaggio XA202R136 (pk 126+723), che ad eccezione dei primi 5 metri di profondità (intestati nelle ghiaie fluvioglaciali qui presenti) ha attraversato un'alternanza di livelli a componente fine dominante (argille limose, sabbie fini limose e limi argillosi).

In quest'area sono frequenti i massi erratici, rilevati in superficie, con dimensioni anche superiori a 2 m, spesso rimossi dalla loro posizione originaria.

I sondaggi geognostici eseguiti durante le campagne d'indagine (1992-1994, 2001-2002, 2004-2005), in realtà, a differenza di quanto riscontrato in contesti geologici simili, non indicano la presenza significativa di trovanti. Sulla base delle informazioni raccolte, comunque, non si può escludere che lo scavo della galleria in oggetto possa incontrare la presenza di trovanti, in numero e dimensioni non determinabili.

#### 4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

##### 4.1 Generalità

L'assetto idrogeologico dell'area e l'andamento della superficie piezometrica sono stati ricostruiti, come anticipato, sulla base 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. A tale proposito si sottolinea che i piezometri considerati sono (cfr. tab. 1, tab. 2, figg. 2, 3, 4 e 5):

| Sigla     | Anno | pk      | Nr. letture | Soggiacenza media (m) | Soggiacenza massima (m) | Soggiacenza minima (m) | Escursione massima (m) | Quota media (m s.l.m.) | Quota massima (m s.l.m.) | Quota minima (m s.l.m.) |
|-----------|------|---------|-------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| S1GP      | 2004 | 125+099 | 10          | 3.27                  | 4.28                    | 2.61                   | 1.67                   | 86.48                  | 87.14                    | 85.47                   |
| ES104     | 1992 | 125+466 | 13          | 3.71                  | 3.80                    | 3.59                   | 0.21                   | 94.75                  | 94.87                    | 94.66                   |
| 4SC023    | 2004 | 125+632 | 24          | 3.98                  | 5.02                    | 2.74                   | 2.28                   | 93.50                  | 94.74                    | 92.46                   |
| 4SN025    | 2005 | 126+486 | 1           | 12.6*                 | -                       | -                      | -                      | 96.01*                 | -                        | -                       |
| XA202R136 | 2002 | 126+723 | 6           | 14.24                 | 17.60                   | 10.75                  | 6.85                   | 86.12                  | 89.61                    | 82.76                   |

\*è disponibile una sola lettura relativa all'agosto 2005

Tabella 2: Misure piezometriche acquisite nelle tre campagne di indagine (aggiornamento agosto 2005).

Ad integrazione di questi dati sono stati considerati i valori di soggiacenza misurati nel corso del pozzetto esplorativo 4PZ014 (-3 m dal p.c.) e del sondaggio 4SS022 (-2.8 m dal p.c.).

Ha costituito parte integrante dei dati di input anche il censimento dei punti d'acqua ubicati nel territorio di interesse (Fig. 6).



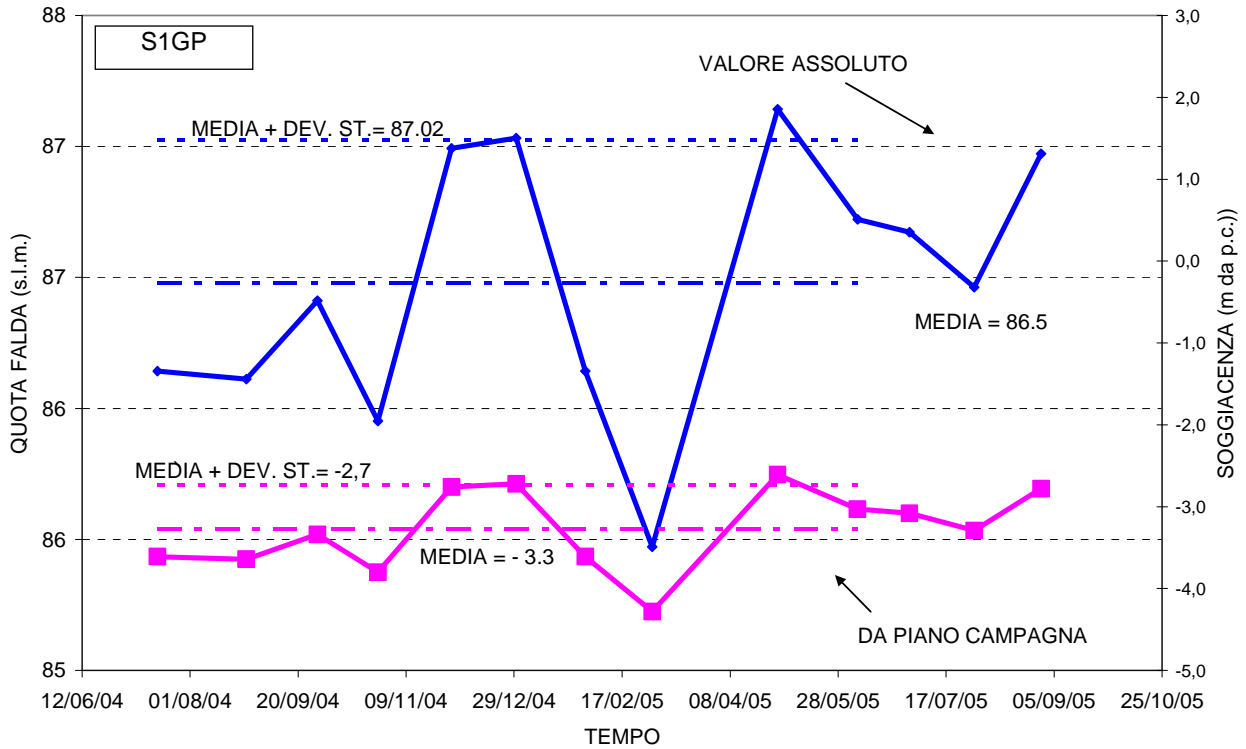


Figura 2: Andamento della falda misurata in corrispondenza del piezometro S1GP.

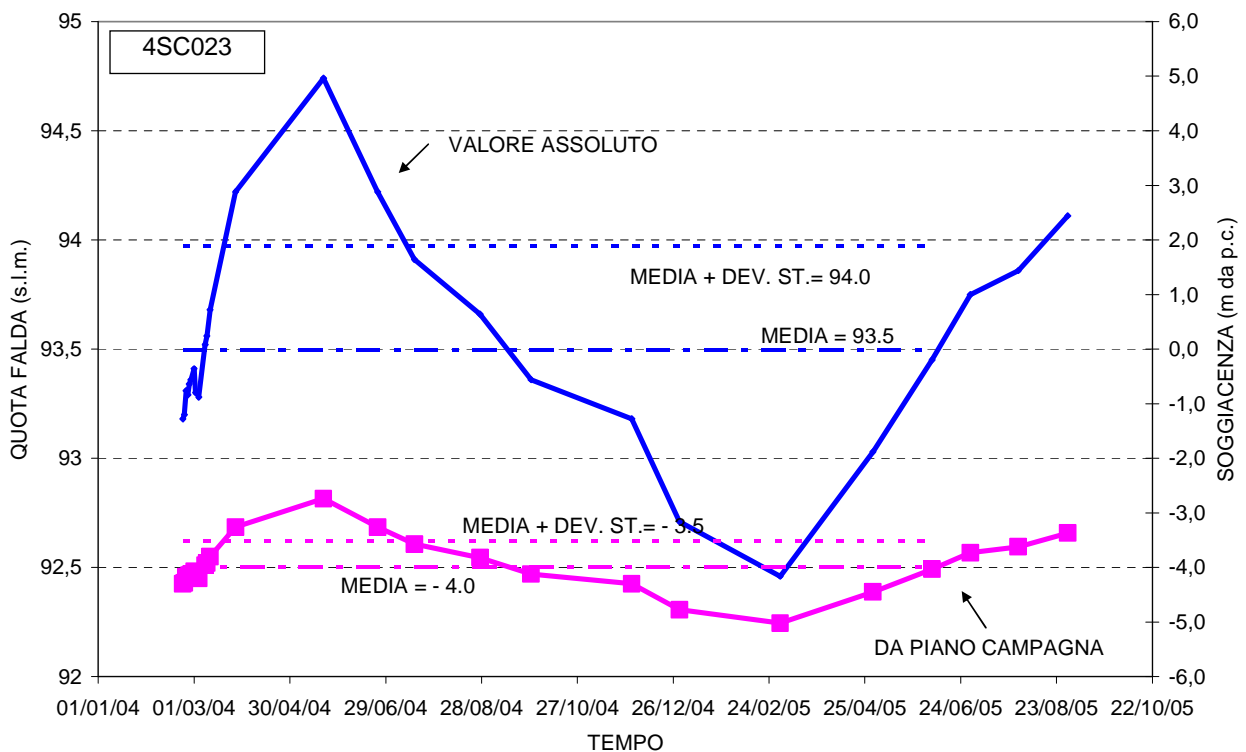


Figura 3: Andamento della falda misurata in corrispondenza del piezometro 4SC023.

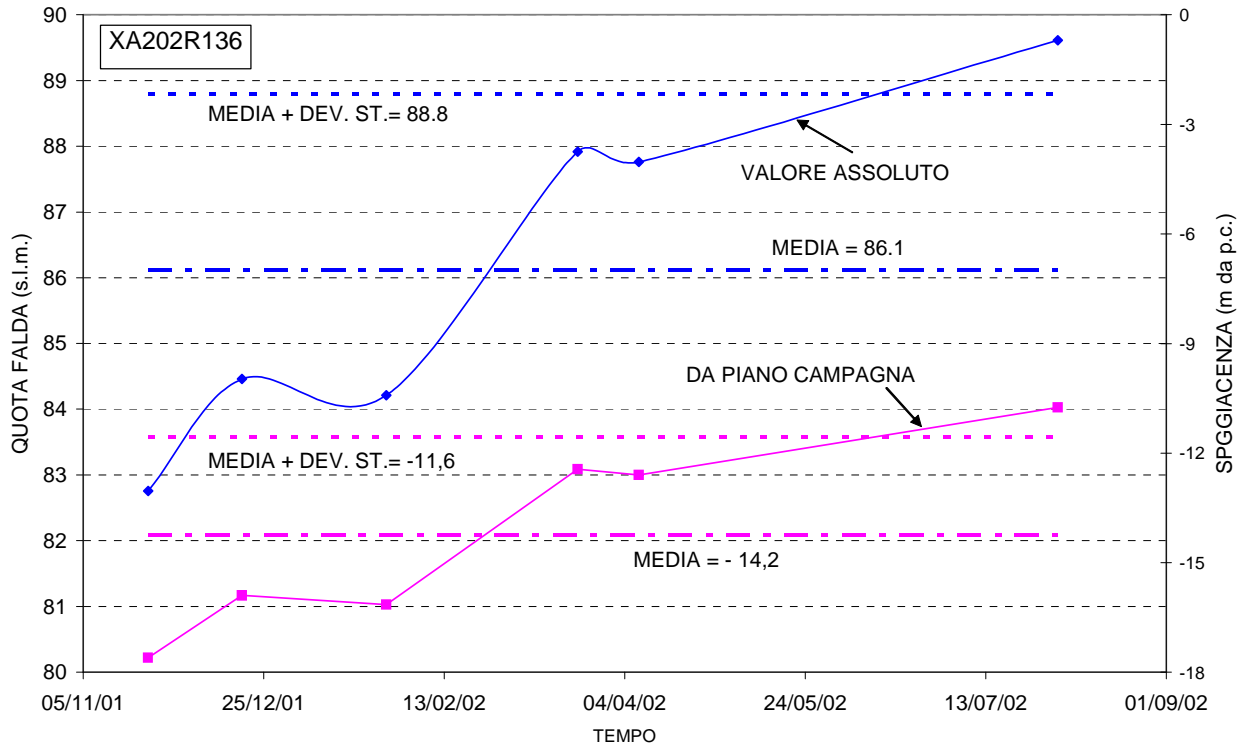
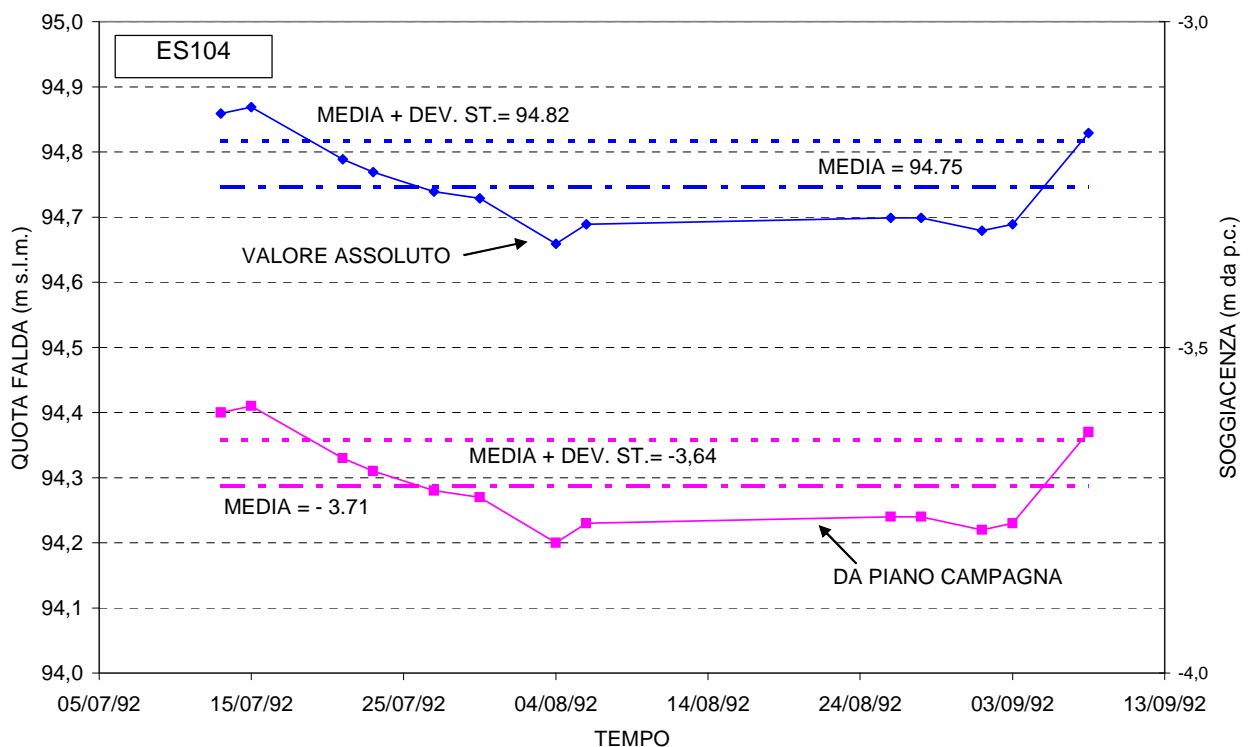


Figura 4: Andamento della falda misurata in corrispondenza del piezometro XA202R136.



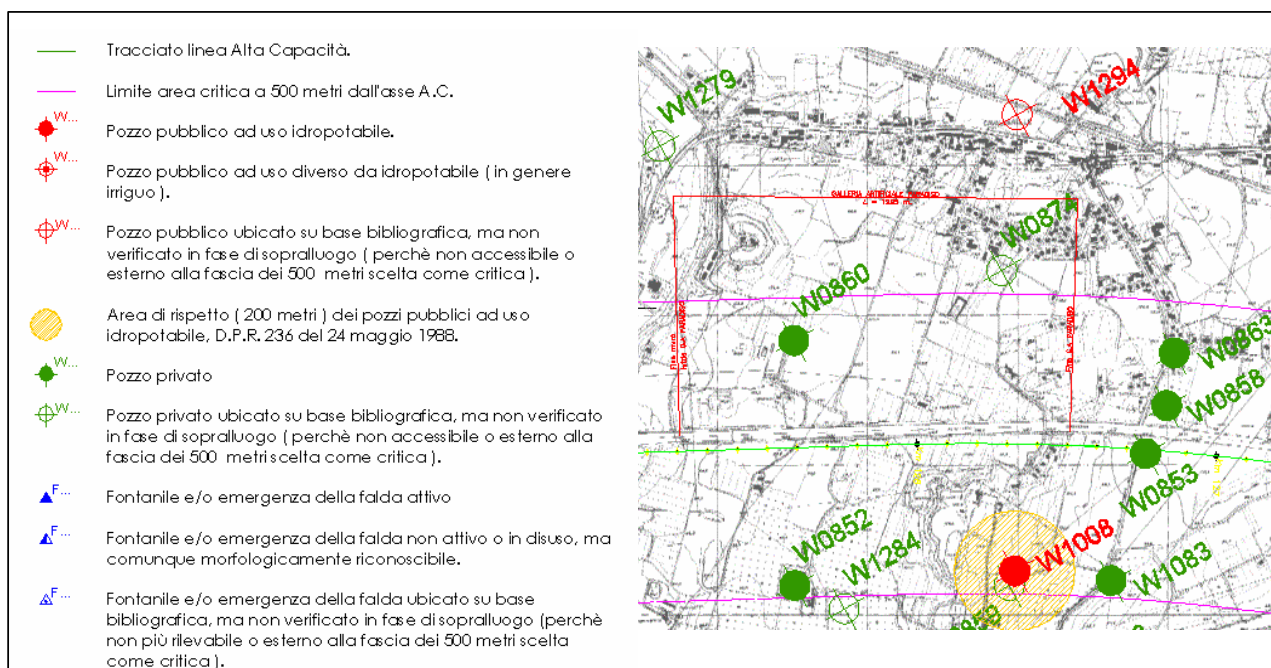


Figura 5: Andamento della falda misurata in corrispondenza del piezometro ES104.

Figura 6: Censimento dei punti d'acqua.

Come si evince dall'analisi della cartografia proposta in figura 6, nell'intorno dell'area interessata dallo scavo della Galleria Paradiso sono presenti 7 pozzi. Di questi uno solo è pubblico e sfruttato a fini idropotabili (W1008); i rimanenti 6 sono privati (W0860, W0863, W0858, W0853, W0852 e W1083).

Dei pozzi censiti, la cui ubicazione è stata verificata direttamente sul campo, non si hanno a disposizione ulteriori informazioni. Per ogni approfondimento circa la metodologia adottata nel censimento dei punti d'acqua, si rimanda alla relazione monografica dedicata a questa tematica (doc rif. IN0500DE2RGGE00020030).

Come anticipato nel capitolo precedente (cap. 3) le unità allostratigrafiche attraversate dall'opera in progetto sono i depositi glaciali e fluvioglaciali dell'Allogruppo di Lonato e San Giorgio (**Lsg**).

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 (Tav. 3).

| UNITA' ALLOSTRATIGRAFICA  | CONDUCIBILITA'<br>IDRAULICA (m/s) | CLASSE DI<br>PERMEABILITA' |
|---|-----------------------------------|----------------------------|
| <u>Allogruppo di Lonato e di San Giorgio</u><br>Depositi glaciali       | $10^{-5} < k < 10^{-7}$           | media                      |
| <u>Allogruppo di Lonato e di San Giorgio</u><br>Depositi fluvioglaciali | $10^{-4} < k < 10^{-8}$           | da media a<br>bassa        |

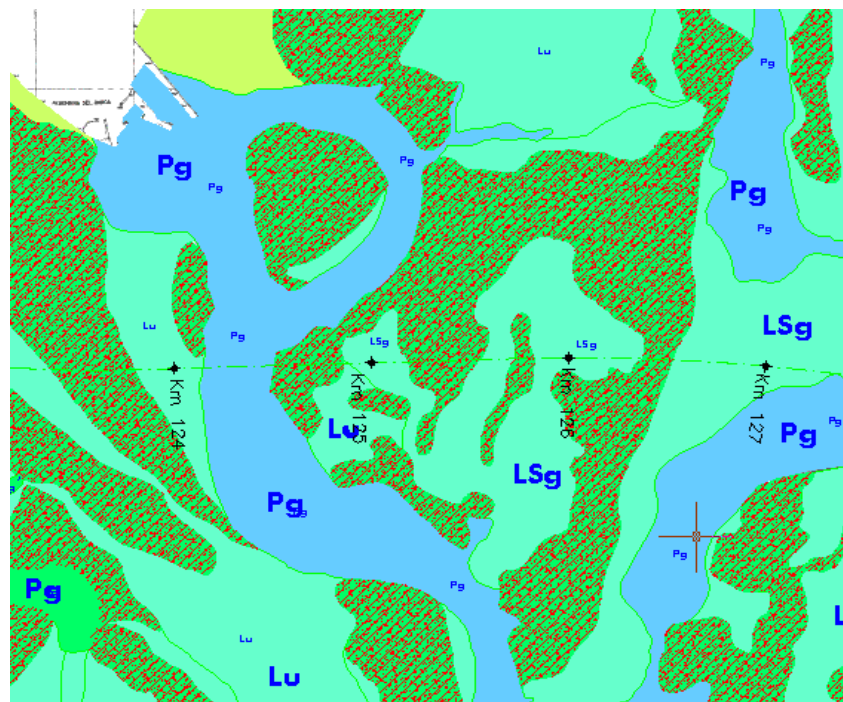
Tabella 3: Unità allostratigrafiche e loro conducibilità idraulica.

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

La *Carta della Permeabilità Superficiale*, alla scala 1:10000, (doc. rif. IN0500DE2N4GE00020010÷20140) predisposta nell'ambito del Progetto Definitivo illustra a livello territoriale quanto ora detto. Nella figura che segue (fig. 7) viene proposto uno stralcio di detta cartografia.

| Sondaggio | Profondità<br>prova | Tipo di Terreno   | Alloformazione di<br>riferimento | Conducibilità<br>idraulica (m/s) |
|-----------|---------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| S1GP      | 6,50-7,00           | Ghiaia e ciottoli | Lsg fluvioglaciale               | 1,08E-06                         |
|           | 13,50-14,00         | Sabbia            | Lsg glaciale                     | 2,49E-07                         |
|           | 20,50-21,00         | sabbia limosa     | Lsg glaciale                     | 2,06E-07                         |

Tabella 4: Valori di conducibilità idraulica misurati, elaborazioni statistiche (campagna 2004).



- Permeabilità alta (Classe I,  $k > 10^{-3}$  m/s)
- Permeabilità media (Classe II-III,  $10^{-3}$  m/s  $< k < 10^{-5}$  m/s)
- Permeabilità medio-bassa (Classe III-IV,  $10^{-5}$  m/s  $< k < 10^{-7}$  m/s)
- Permeabilità bassa (Classe IV-V,  $10^{-7}$  m/s  $< k << 10^{-9}$  m/s)
- Terreni con valori di alta permeabilità all'interno della classe di appartenenza
- Depositi glaciali

Figura 7: Carta della permeabilità superficiale del territorio interessato dallo scavo della Galleria Paradiso.

## 4.2 Andamento della Falda

In tabella 2 sono riportati i dati piezometrici relativi ai sondaggi realizzati durante le campagne d'indagine sopra citate, e ubicati nella tratta interessata dalla Galleria Paradiso.

In generale la quota della falda si attesta su valori medi di 90 m s.l. m. e presenta valore minimo (letture 2002) di 82.76 m s.l.m. nel piezometro XA202R136, situato subito ad Est dell'imbocco orientale, e valore massimo (letture 1992) di 94.87 m s.l.m. nel piezometro ES104.

Sulla base dei dati raccolti è stato possibile ricostruire un profilo longitudinale con l'andamento della piezometrica del territorio interessato dallo scavo della Galleria Paradiso.

Nel profilo si è scelto di rappresentare graficamente il livello di falda corrispondente al valore medio tra quelli misurati in ogni verticale, sommato del valore relativo alla deviazione standard dell'intero campione di misurazioni. Tale scelta è stata dettata dalla duplice necessità di illustrare un andamento fisicamente rappresentativo della superficie piezometrica presente (il livello rappresentato sottende il 75-80% delle rilevazioni) fornendo contestualmente un dato utile nella scelta del livello di falda da adottare in sede progettuale. In questo senso occorre sottolineare, pertanto, che la falda riportata nel profilo idrogeologico di dettaglio non rappresenta la falda di progetto per la quale si rimanda, invece, alla specifica relazione geotecnica di dettaglio.

In sintesi i dati piezometrici a disposizione sembrano indicare l'esistenza di un unico sistema acquifero, con una quota del livello di falda variabile entro i limiti anzi detti. Il livello di falda è attestato ad una profondità di 3 m circa dal p.c. nel pozzetto esplorativo 4PZ014 e, verso Ovest, si riconosce l'azione drenante esercitata dal Fiume Mincio: infatti la superficie piezometrica segue la topografia digradando verso l'alveo del fiume stesso.

Alla pk 125+244 la galleria attraversa un cordone morenico (loc. Monpiani) e la superficie piezometrica segue la topografia portandosi al di sopra della livelletta di progetto.

Procedendo verso Est il livello piezometrico torna a presentare un andamento relativamente regolare; tra la pk 125+466 e la pk 126+700 la superficie piezometrica segue blandamente la morfologia di superficie attestandosi su quote massime di 96-97 m s.l.m, solitamente al di sotto del piano di progetto.

All'imbocco orientale il livello di falda scende verso la piana fluvioglaciale (loc. Le Tartaglie) dove si mantiene ad una profondità media di 15 m circa dal p.c.



### 4.3 Considerazioni conclusive

Sulla base delle considerazioni illustrate nei paragrafi precedenti è possibile concludere, relativamente all'aspetto idrogeologico dell'area, quanto segue :

- è presente un unico sistema acquifero;
- il livello piezometrico medio si mantiene, quindi, su valori compresi tra i 95 e gli 85 metri sul livello del mare, diminuendo con un gradiente crescente con l'avvicinarsi al Lago di Garda (a livello piezometrico costante di 65 m s.l.m.);
- il Lago di Garda e il Fiume Mincio, elementi drenanti, tendono a richiamare le linee di flusso idrico sotterraneo, che si orientano da Est verso Ovest, mantenendosi circa parallele all'asse della galleria in progetto;

La figura che segue (fig. 8) schematizza l'andamento regionale della falda.

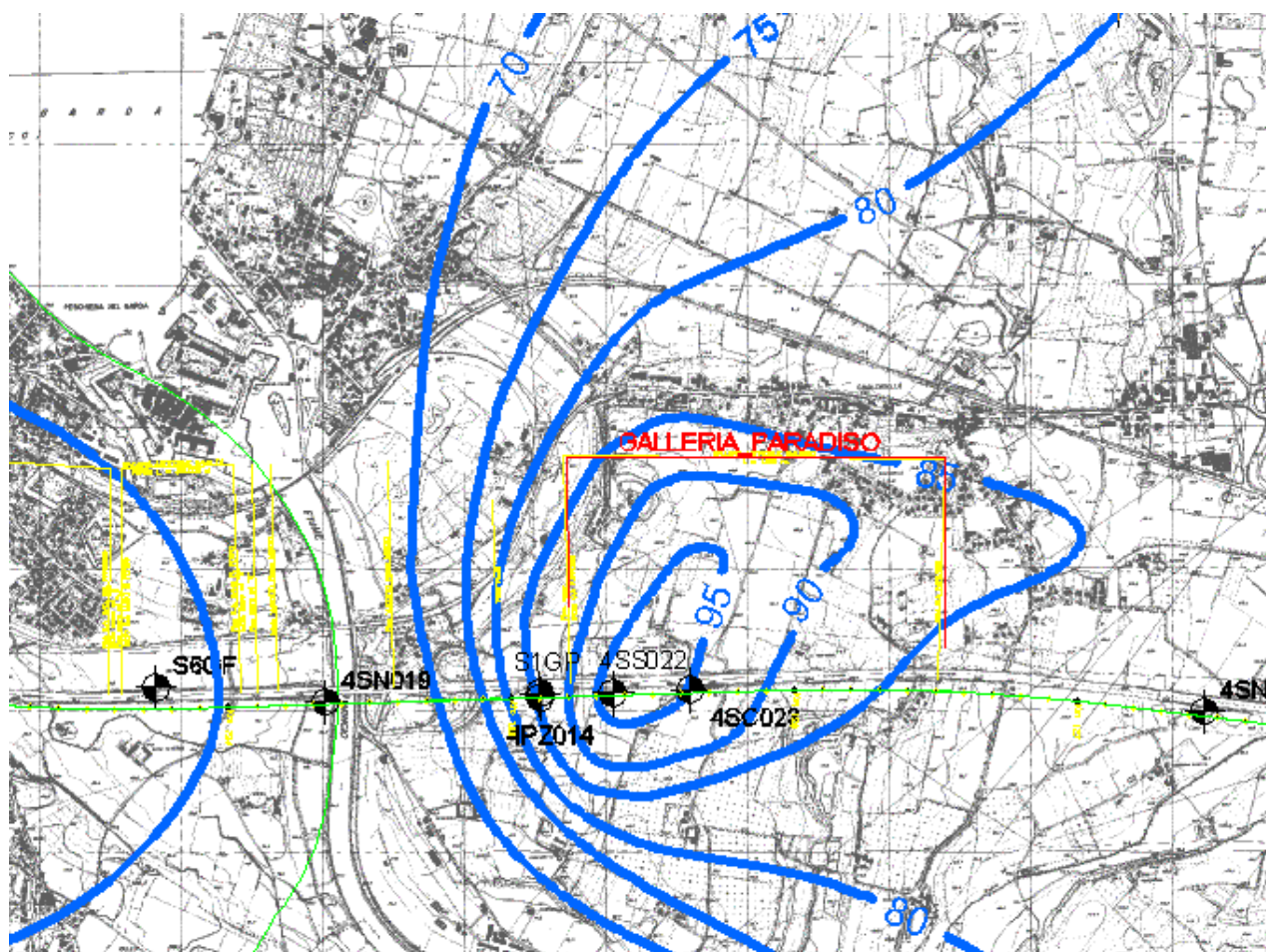


Figura 8: Andamento regionale della falda nel territorio interessato dallo scavo della Galleria Paradiso.

## 5. BILANCIO IDROLOGICO

I dati pluviometrici e termometrici da utilizzare per la formulazione del bilancio idrologico in oggetto, fanno riferimento alle registrazioni ottenute dalla stazione meteorologica di Peschiera del Garda. Questi, già rielaborati nella Relazione Idrogeologica (doc. rif. IN0500DE2RGGE00020010) allegata al Progetto Definitivo, vengono di seguito richiamati in modo sintetico.

| Stazione meteorologica di Peschiera del Garda |                            |
|---|----------------------------|
| Precipitazione media annua (mm/anno)          | 778,9                      |
| Precipitazione annua minima (mm/anno)         | 323                        |
| Precipitazione annua massima (mm/anno)        | 1387                       |
| Mese mediamente più piovoso                   | maggio, con 85.7 mm/mese   |
| Mese mediamente meno piovoso                  | febbraio, con 47.2 mm/mese |
| Temperatura media annua (°C)                  | 13,6                       |
| Mese mediamente più freddo                    | gennaio, con 3,0 °C        |
| Mese mediamente più caldo                     | luglio, con 24°C           |

Tabella 5: Sintesi dei principali parametri pluvio – termometrici relativi alla stazione di Peschiera del Garda, e riferiti al periodo di tempo 1921-1986.

Il bilancio idrologico di un bacino è riassunto, in sintesi, dalla relazione (5.1):

$$P = E_{TR} + Q_P + I_P \quad (5.1)$$

dove:

P = precipitazioni

$E_{TR}$  = evapotraspirazione

$Q_P$  = ruscellamento superficiale potenziale

$I_P$  = infiltrazione potenziale



Dal valore di infiltrazione potenziale  $I_p$  così ottenuto è possibile, nota la quantità d'acqua che si perde dai pozzi e dai fontanili presenti sul territorio, quantificare l'acqua che rimane a disposizione per le riserve idriche profonde.

Per il calcolo dell'Evapotraspirazione  $E_{TR}$  è possibile adottare due differenti procedure.

1) Calcolo dell'evapotraspirazione, metodo di **Coutagne (1956)**

Per il calcolo dell'evapotraspirazione reale si applica la relazione:

$$E_{TR} = P - \lambda P^2 \quad (5.2)^1$$

dove:

$E_{TR}$  = evapotraspirazione reale (m/a)

P = precipitazioni (m/a)

$\lambda = 1 / (0.8 + 0.14 T)$

T = temperatura media annua (°C)

I valori mensili di evapotraspirazione ottenuti per l'area in esame, sono riassunti nella tabella seguente (tab. 6).

|                                 | G      | F      | M      | A      | M      | G      | L      | A     | S      | O      | N      | D      | ANNO          |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| <b>P (m/mese)</b>               | 0,0505 | 0,0472 | 0,0574 | 0,0667 | 0,0857 | 0,0725 | 0,0617 | 0,066 | 0,0645 | 0,0767 | 0,0776 | 0,0543 | 0,78          |
| <b>T (°C)</b>                   | 3      | 4,9    | 8,9    | 13,2   | 17,3   | 21,4   | 24     | 23,3  | 19,8   | 14,4   | 8,7    | 4,3    |               |
| <b><math>\lambda</math></b>     | 0,82   | 0,67   | 0,49   | 0,38   | 0,31   | 0,26   | 0,24   | 0,25  | 0,28   | 0,36   | 0,50   | 0,71   |               |
| <b>E<sub>tr</sub> (m/mese)</b>  | 0,05   | 0,05   | 0,06   | 0,07   | 0,08   | 0,07   | 0,06   | 0,06  | 0,06   | 0,07   | 0,07   | 0,05   | 0,76          |
| <b>E<sub>tr</sub> (mm/mese)</b> | 48,41  | 45,70  | 55,79  | 65,02  | 83,42  | 71,12  | 60,78  | 64,93 | 63,34  | 74,61  | 74,62  | 52,20  | <b>759,93</b> |

Tabella 6: Valori di evapotraspirazione mensile ed annua (metodo di Coutagne).

Applicando la formula di Coutagne, quindi, si ottiene un valore di evapotraspirazione reale di:

$$E_{TR} = 759,93 \text{ mm/anno}$$

2) Calcolo dell'evapotraspirazione, metodo di **Turc (1954)**

<sup>1</sup> Formula di Coutagne, valida solo se  $1/8 \lambda < P < 1/\lambda$

Per il calcolo dell'evapotraspirazione reale si applica la relazione:

$$E_{TR} = P / \sqrt{0,9 + (P^2 / L^2)} \quad (5.3)$$

dove:

$E_{TR}$  = evapotraspirazione reale (mm/a)

P = precipitazioni (mm/a)

$L = 300 + 25T_i + 0.05T_i^3$

$T_i$  = temperatura media dell' i-esimo mese

I valori mensili di evapotraspirazione ottenuti per l'area in esame, sono riassunti nella tabella seguente (tab. 7).

|                                 | G      | F      | M      | A      | M      | G     | L      | A      | S      | O     | N      | D      | ANNO          |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|---------------|
| <b>P (mm/mese)</b>              | 50,5   | 47,2   | 57,4   | 66,7   | 85,7   | 72,5  | 61,7   | 66     | 64,5   | 76,7  | 77,6   | 54,3   | 780,80        |
| <b>T (°C)</b>                   | 3      | 4,9    | 8,9    | 13,2   | 17,3   | 21,4  | 24     | 23,3   | 19,8   | 14,4  | 8,7    | 4,3    |               |
| <b>L</b>                        | 376,35 | 428,38 | 557,75 | 745,00 | 991,39 | 1325  | 1591,2 | 1514,9 | 1183,1 | 809,3 | 550,43 | 411,48 |               |
| <b>E<sub>tr</sub> (mm/mese)</b> | 52,71  | 49,42  | 60,15  | 70,00  | 89,96  | 76,29 | 64,98  | 69,50  | 67,88  | 80,45 | 80,91  | 56,69  | <b>818,94</b> |

Tabella 7: Valori di evapotraspirazione mensile ed annua (metodo di Turc).

Il valore annuo di evapotraspirazione reale  $E_{TR}$  così ottenuto, in realtà, non tenendo conto di numerosi parametri (umidità del suolo, tipo di copertura etc), tende a sovrastimare il reale valore di  $E_{TR}$ .

E' stato dimostrato, infatti, che il tasso di evapotraspirazione, a parità di condizioni pedologiche e climatiche, dipende dal grado di umidità esistente al suolo, ovvero dalle precipitazioni. Sulla base di queste considerazioni, nella formula di Turc proposta (5.3), la temperatura media dell'aria viene corretta in funzione della piovosità.

Il valore di *temperatura corretta* è dato dalla:

$$T_c = (\sum P_i \times T_i) / \sum P_i$$

dove:

$P_i$  = precipitazione media dell' i-esimo mese



$T_i$  = temperatura media dell' i-esimo mese

Introducendo questo valore nella formula per il calcolo del parametro "L" ( $L = 300 + 25T_c + 0.05T_c^3$ ) e nella (5.3), si ottiene un valore di evapotraspirazione reale corretta di:

$$E_{TR} = 573,6 \text{ mm/anno}$$

L'evapotraspirazione rappresenta, con le debite approssimazioni, il quantitativo d'acqua in uscita da un sistema idrologico. A favore di sicurezza, si è scelto di considerare come maggiormente attendibile il valore di  $E_{TR}$  corretta ottenuto applicando il metodo di Turc ( $E_{TR} = 573,6 \text{ mm/anno}$ ).

Il bilancio idrologico del bacino di interesse, quindi, si ottiene dalla:

$$P = E_{TR} + Q_P + I_P$$

dove:

P = precipitazione media annua (778,9 mm/anno)

$E_{TR}$  = evapotraspirazione (573,6 mm/anno)

$Q_P$  = ruscellamento superficiale potenziale

$I_P$  = infiltrazione potenziale

Il quantitativo d'acqua effettivamente a disposizione per l'area di interesse, quindi, si ottiene sottraendo il valore di evapotraspirazione reale dal contributo fornito dalle precipitazioni:

$$Q_P + I_P = P - E_{TR}$$

$$Q_P + I_P = 205,3 \text{ mm/anno} = D \text{ (deflusso idrico totale)}$$

Di questo quantitativo, una parte sarà persa per ruscellamento superficiale ( $Q_P$ ), il rimanente ( $I_P$ ) andrà effettivamente ad alimentare le riserve idriche sotterranee.

$$I_P = P - E_{TR} - Q_P \quad (5.4)$$

Non potendo quantificare il reale quantitativo d'acqua perso per ruscellamento superficiale, il quantitativo di acqua **Ip** stimato per la circolazione idrica profonda e, quindi, per le probabili venute d'acqua nell'asse della galleria in progetto si ottiene dalla:

$$I_p = c.i.p. (\%) \times D / 100 \quad (5.5)$$

dove:

**c.i.p. (%)**=coefficiente di infiltrazione potenziale (ricavato da Celico, 1988)

**D** = deflusso idrico totale

Per il calcolo del coefficiente di infiltrazione potenziale, è stato necessario prendere in considerazione i seguenti aspetti:

- la distribuzione della permeabilità superficiale
- l'uso del suolo
- l'acclività dei versanti interessati

In particolare, nella scelta dei valori da assegnare, si è tenuto conto dei seguenti aspetti:

- ad una permeabilità superficiale maggiore corrisponde un coefficiente di infiltrazione potenziale maggiore
- ad un'acclività maggiore corrisponde un coefficiente di infiltrazione potenziale minore
- le coperture che limitano l'infiltrazione delle acque nel suolo sono il prato e il bosco (in grado di intercettare la maggior parte delle acque in precipitazione meteorica).

Per i terreni affioranti nell'area in oggetto si è scelto (sulla base di quanto introdotto nei paragrafi precedenti), un coefficiente di infiltrazione potenziale c.i.p. del 70% (valore da considerarsi a totale favore di sicurezza).



Introducendo questo valore nella (5.5), si ottiene un valore di infiltrazione potenziale  $I_p$  di:

$$I_p = 143,71 \text{ mm/anno}$$

Il valore di infiltrazione potenziale così ottenuto dovrebbe rappresentare il quantitativo d'acqua a disposizione per la circolazione idrica profonda. Da questo valore, in realtà, è necessario sottrarre il quantitativo d'acqua emunto dai numerosi pozzi presenti sul territorio in esame, dalle sorgenti, dai fontanili e da tutte le altre captazioni qui attive.

Non potendo quantificare le reali portate perse per emungimento, il valore di infiltrazione potenziale così ottenuto non può che sovrastimare il reale quantitativo d'acqua a disposizione per la circolazione idrica profonda.



## 6. VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI E POSSIBILI MITIGAZIONI

Lo scopo della presente relazione è quello di:

- a) valutare il potenziale impatto esercitato dalla galleria sul naturale assetto idrogeologico dell'area in cui si inserisce;
- b) valutare il carico idraulico e la spinta che le acque di falda eserciteranno sulle opere previste, nel tentativo di fornire quei dati indispensabili per la progettazione delle opere stesse;
- c) individuare le possibili mitigazioni per gli impatti eventualmente riconosciuti.

Alla luce di tutti i dati raccolti ed analizzati nei paragrafi precedenti, la **Galleria Paradiso** non sembra rappresentare una particolare criticità né per il potenziale impatto che lo scavo della stessa potrà comportare; né per i carichi idraulici cui la galleria sarà sottoposta.

L'asse della galleria in progetto, infatti, risulta in buona approssimazione parallela alla direzione del flusso idrico sotterraneo che, in questi settori, si muove verso il vicino Lago di Garda e verso il corso del Fiume Mincio. Le previste opere di fondazione, alla luce di questa situazione, non dovrebbero rappresentare un ostacolo per la circolazione idrica sotterranea: **non** si verrebbe a creare, in sostanza, un **effetto diga** capace di intercettare le acque profonde. Come dettagliatamente descritto nel paragrafo 4.3, inoltre, il livello piezometrico medio riconosciuto in questi settori, si mantiene costantemente al di sotto (ad eccezione di brevi tratti e con un carico idraulico comunque minimo) delle quote di progetto: le opere previste, in sintesi, dovrebbero rimanere al di sopra del livello di falda, o comunque sotto un **carico idraulico** modesto.

Il problema, almeno in via teorica e con riferimento alla messa in opera della galleria, è quello relativo ad un possibile **inquinamento** delle acque di falda durante la realizzazione del progetto. Il grado di permeabilità dell'acquifero, in relazione alla sua soggiacenza relativamente ridotta, rappresentano, infatti, una difesa insufficiente verso l'azione di potenziali inquinanti. Sarà necessario prevedere, in fase progettuale, tutte le soluzioni necessarie per evitare, in fase di avanzamento, la dispersione in falda di sostanze potenzialmente inquinanti (miscela additivanti, olii, idrocarburi etc).

GENERAL CONTRACTOR

**Cepav due**



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto  
IN05

Lotto  
00

Codifica Documento  
DE2RGGE0001005

Rev.  
1

Foglio  
23 di 23

Il presente studio è stato redatto con la collaborazione scientifica e la supervisione del Prof. Giovanni Pietro Beretta, Università degli Studi di Milano.