

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 CALCINATO II**

IL PROGETTISTA
Ce.A.S. srl

IL PROGETTISTA INTEGRATORE
saipem spa
Tommaso Taranta



Dottoressa in Ingegneria Civile iscritta all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Milano al n. A23406 - Sez. A Settore:
a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione
Tel. 02.52026571 Fax: 02.52026509
CF. e P.IVA: 0825798157

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	6	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

PROGETTAZIONE GENERAL CONTRACTOR									Autorizzato/Data
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Consorzio Cepav due Project Director (Ing. F. Lombardi) 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.: IN0500DE2RGGE00010061.doc



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

CUP: F81H91000000008



INDICE

1.	PREMESSA	3
1.1	Metodologia di lavoro.....	3
2.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	5
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	5
3.1	Stratigrafia di dettaglio	7
4.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	9
4.1	Generalità.....	9
4.2	Classi di permeabilità.....	11
4.3	Andamento della falda	13
5.	BILANCIO IDROLOGICO	17
6.	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI E POSSIBILI MITIGAZIONI.....	23

1. PREMESSA

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 rappresenta una monografia di approfondimento alla Relazione Geologica Generale (doc. rif. IN0500DE2RGGE00010010) e alla Relazione Idrogeologica Generale (doc. rif. IN0500DE2RGGE00020010), 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 Calcinato II.

La galleria artificiale Calcinato II è interamente compresa nel territorio del Comune di Calcinato. Gli imbocchi, occidentale ed orientale, sono rispettivamente situati alla pk 101+740 ed alla pk 102+200. La lunghezza totale dell'opera è di 460 m.

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, 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 Calcinato, il Comune di Lonato, la Provincia di Brescia e l'ARPA Lombardia, Dipartimento di Brescia);
- analisi critica dei punti d'acqua (pozzi e fontanili) censiti e descritti nella sopracitata bibliografia;

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
IN05

Lotto
00

Codifica Documento
DE2RGGE0001006

Rev.
1

Foglio
4 di 23

- 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;
- 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 Peschiera del Garda;
- stesura di un profilo longitudinale, in scala 1:5000/1:500, con l'andamento della piezometrica (doc. rif. IN0500DE2F5GE0001022);
- conclusioni alle problematiche descritte, con la ricostruzione di semplici modelli di circolazione idrica.

2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La zona attraversata dalla galleria è situata subito ad Est del Fiume Chiese ed è interamente compresa nella cerchia morenica più esterna dell'Anfiteatro Gardesano.

Si tratta di una collina avente quota massima di circa 179 metri e sommità troncata ed appiattita, che si raccorda dolcemente ad Ovest con il terrazzo del Fiume Chiese e ad Est con l'ampia pianura di origine fluvioglaciale che si spinge fino a Lonato. Il Fiume Chiese è limitato in destra idrografica da un terrazzo fluviale; l'alveo attuale presenta struttura monocursale sinuosa, che a sud di Calcinato diventa meandriforme. La collina di Calcinato fa parte di un imponente sistema morenico che risulta interrotto dalle pianure generate dagli scaricatori fluvioglaciali più recenti.

Il reticolo idrografico è rappresentato, oltre che dal corso del Fiume Chiese, da un sistema di rogge e canali artificiali sfruttati a scopo irriguo. Gli elementi principali di questo reticolo sono la Roggia Maggiore (con decorso NS) e la Seriola di Gazzo (con decorso EW), comunque direttamente connessi con il Chiese.

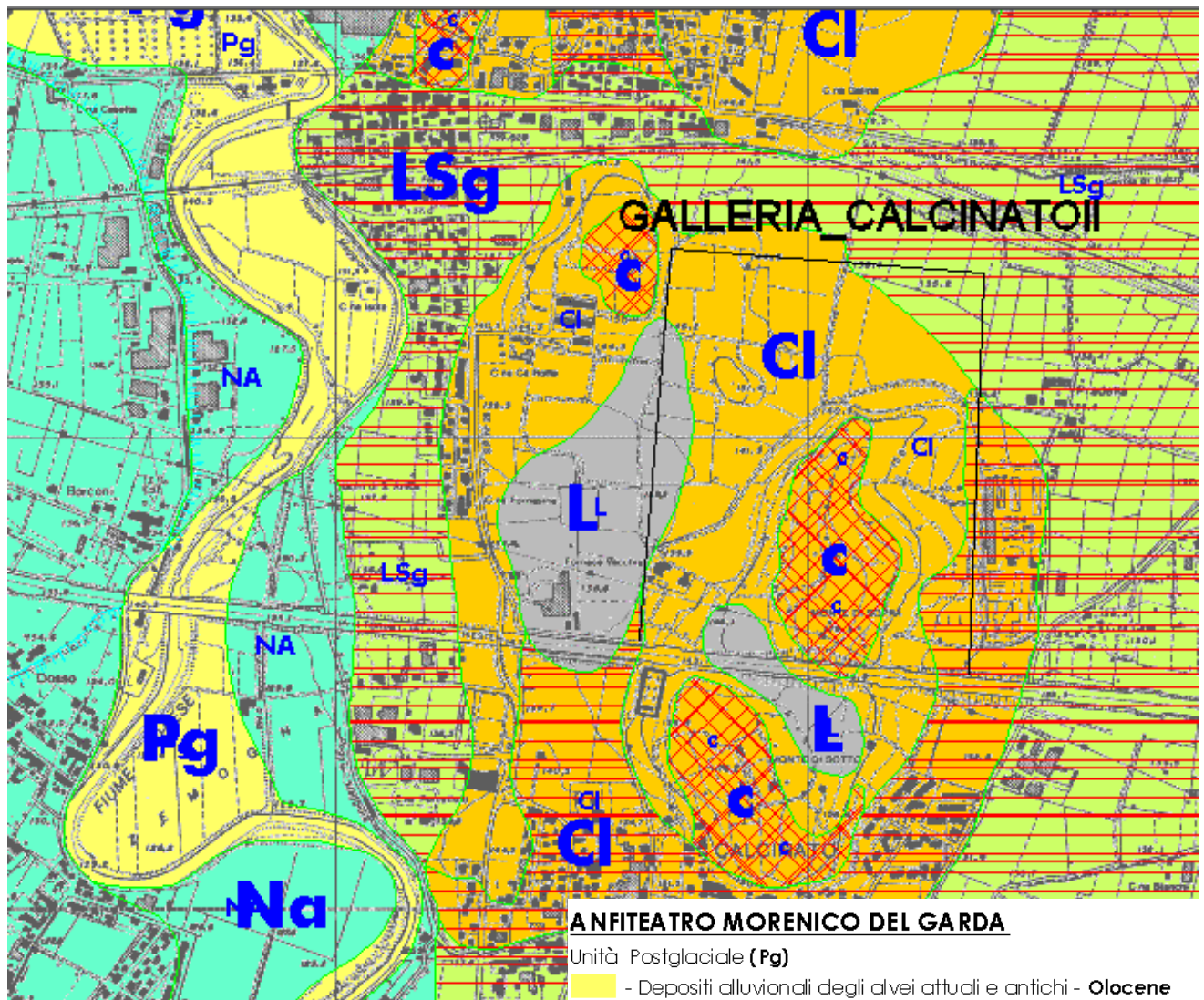
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La Galleria Calcinato II intercetta esclusivamente i depositi glaciali dell'Allogruppo di Calcinato; si tratta di diamicton massivo a supporto di matrice limoso-argillosa, talora cementata alla sommità dei depositi stessi, con clasti di dimensioni fino a metriche, da angolosi a subangolosi e frequentemente alterati.

L'unità glaciale è interrotta da depositi di origine fluvioglaciale costituiti da ghiaie grossolane a supporto di clasti con matrice sabbioso-limosa. Anche in questi depositi l'alterazione dei clasti è molto spinta. Entrambe le unità sopra descritte si sono depositate nel Pleistocene inferiore-medio.

Infine, sul versante occidentale della collina di Calcinato, sono presenti coltri di loess, un deposito eolico costituito da limo debolmente argilloso massivo in placche di spessore non quantificabile.

Nello schema che segue (fig. 1, stralcio della carta geologica 1:10000 allegata al Progetto Definitivo in oggetto - doc. rif. IN0500DE2N4GE00010010÷10140) 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**

Allograppo di Lugana (Lu)

-  - Depositi glaciali - **Pleistocene sup.**
-  - Depositi fluvio-glaciali - **Pleistocene sup.**
-  - Depositi glacialacustri - **Pleistocene sup.**

Allograppo di Lonato e San Giorgio (LSg)

-  - Depositi glaciali - **Pleistocene med.**
-  - Depositi fluvio-glaciali - **Pleistocene med.**

Allograppo di Calcinato (CI)




-  - Loess (L) - **Pleistocene med.**
-  - Depositi glaciali (C= conglomerati) - **Pleistocene inf.- med.**
-  - Depositi fluvio-glaciali - **Pleistocene inf.-med.**

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

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.

- Loess (L)

Si tratta di un deposito eolico costituito da limo debolmente argilloso massivo di colore giallastro chiaro. Si presenta il placche isolate e di spessore non quantificabile alla sommità dei cordoni morenici.

- Depositi glaciali (C= conglomerati) (m^M)

Diamicton massivo a supporto di abbondante matrice limoso-argillosa. La matrice si presenta cementata alla sommità dei depositi glaciali. I clasti sono eterometrici con dimensioni massime sino a 6 m (massi erratici), da angolosi a subangolosi, poligenici. L'alterazione colpisce circa il 90% dei clasti con litologie carbonatiche argillificate, litologie cristalline arenizzate e litologie selcifere corrose. Sono presenti numerose patine e noduli di dimensioni centimetriche di Fe-Mn.

- Depositi fluvioglaciali (f_g^M)

Sono costituiti da ghiaie da grossolane a molto grossolane a supporto di clasti con matrice sabbioso-limoso. I clasti sono arrotondati e poligenici. L'alterazione colpisce circa il 90% dei clasti con litologie carbonatiche da decarbonatate ad argillificate e litologie cristalline da fragili ad arenizzate. Sono presenti numerose patine e noduli di dimensioni centimetriche di Fe-Mn.

3.1 Stratigrafia di dettaglio

Lungo il tratto interessato dalla Galleria Calcinato II è stato prodotto un profilo geologico, in scala 1:5000/1:500, in asse con il tracciato in progetto (doc. rif. IN0500DE2F5GE0001022).



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

Nella tabella che segue (tab.1) sono descritti i sondaggi realizzati in questi settori.

Sondaggio	Anno	Pk	Quota B.F.	Profondità	Attrezzato a piezometro
3SN059	2004	101+275	139,29	40	si
XA202G127	2002	101+331	136,80	30	si
XA202G141	2002	101+715	146,31	25	si
3SC060	2004	101+761	148,38	35	si
XA202G142	2002	102+099	148,50	25	si
3SC061	2004	102+954	132,56	40	si

Tabella 1: Verticali geognostiche ubicate nell'area di interesse.

L'imbocco occidentale della Galleria Calcinato II è situato nei pressi di Fornace Vecchia, subito ad Est della SP28, in una zona in cui i depositi di origine glaciale, costituiti da ghiaie con abbondante matrice limoso-sabbiosa, sono sovrastati da coltri di loess, deposte in una zona appena depressa.

Alla pk indicativa 101+331 sono presenti livelli superficiali di limi argillosi ed argille limose con ghiaia, soprastanti orizzonti a ghiaia eterometrica in matrice argilloso-limosa o limoso-sabbiosa (incontrati fino alla profondità di 21 m circa). Localmente sono presenti livelli decimetrici di conglomerato.

Proseguendo fino alla pk 102+200, la galleria attraversa depositi glaciali a ghiaia prevalente con limo e limo con ghiaia talora alternata a livelli sabbiosi.

4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Lo scavo della Galleria Calcinato II andrà ad interessare i terreni che costituiscono l'Arco Morenico del basso Garda.

I corpi morenici, in genere, anche se costituiti in predominanza da ghiaie sabbiose, presentano valori di conducibilità idraulica modesti, 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 di continuità laterale di difficile definibilità.

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

Definire in modo chiaro ed univoco il flusso idrico attivo in questi settori, in relazione a quanto descritto, risulta pertanto assai problematico.

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. A tale proposito si sottolinea che i piezometri considerati sono (cfr tab. 1, tab. 2):

Sigla	Anno	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.)	Note
3SN059	2004	12	32,54	35,14	30,58	4,56	106,75	108,71	104,15	
XA202G127	2002	12	Assente	-	-	-	-	-	-	
XA202G141	2002	11	Assente							
XA202G141	2004	16	16,18	17,28	14,00	3,28	130,13	132,31	129,03	Nota 1
3SC060/A	2004	12	13,10	13,40	12,80	0,60	135,28	135,58	134,98	Nota 2



Doc. N.

Progetto
IN05Lotto
00Codifica Documento
DE2RGGE0001006Rev.
1Foglio
10 di 23

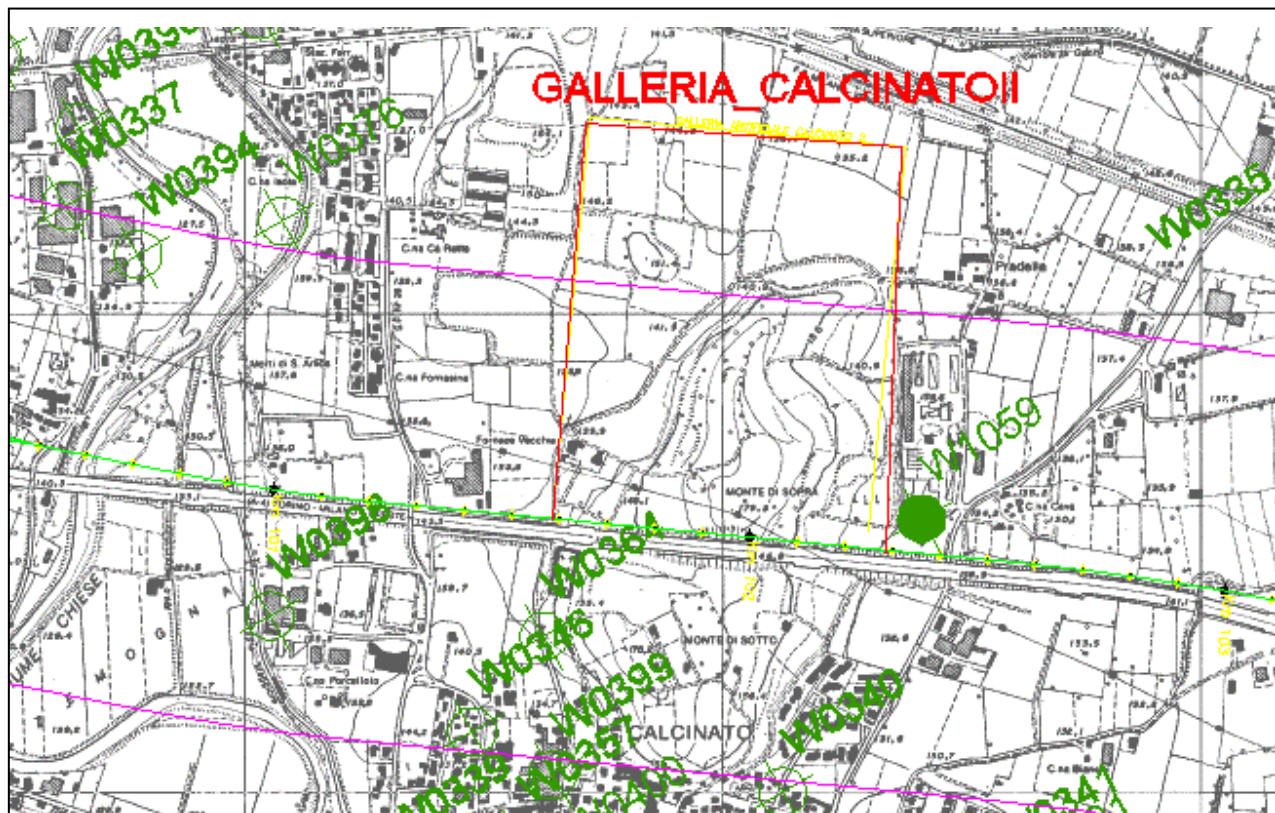
3SC060/B	2004	12	32,52	32,94	31,83	1,11	115,86	116,55	115,44	
XA202G142	2002	11	12,25	12,72	11,75	0,97	136,25	136,75	135,78	
3SC061	2004	11	35,94	37,68	31,33	6,35	96,62	101,23	94,84	

Tabella2: Misure piezometriche acquisite nelle diverse campagne di indagine (aggiornamento maggio 2005)

Nota 1. in tutte le letture (9) dall'agosto 2004 al maggio 2005 (ultima disponibile) il piezometro è risultato asciutto.

Nota 2. in tutte le letture (10) dal luglio 2004 al maggio 2005 (ultima disponibile) il piezometro è risultato asciutto.

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



- Tracciato linea Alta Capacità.
- Limite area critica a 500 metri dall'asse A.C.
- Pozzo pubblico ad uso idropotabile.
- Pozzo pubblico ad uso diverso da idropotabile (in genere irriguo).
- Pozzo pubblico ubicato su base bibliografica, ma non verificato in fase di sopralluogo (perchè non accessibile o esterno alla fascia dei 500 metri scelta come critica).
- Area di rispetto (200 metri) dei pozzi pubblici ad uso idropotabile, D.P.R. 236 del 24 maggio 1988.
- Pozzo privato
- Pozzo privato ubicato su base bibliografica, ma non verificato in fase di sopralluogo (perchè non accessibile o esterno alla fascia dei 500 metri scelta come critica).
- Fontanile e/o emergenza della falda attivo
- Fontanile e/o emergenza della falda non attivo o in disuso, ma comunque morfologicamente riconoscibile.
- Fontanile e/o emergenza della falda ubicato su base bibliografica, ma non verificato in fase di sopralluogo (perchè non più rilevabile o esterno alla fascia dei 500 metri scelta come critica).

Figura 2: Censimento dei punti d'acqua.

Nel territorio interessato dallo scavo della Galleria Calcinato II, con riferimento alla fascia dei 500 m a cavallo della linea scelta come critica, sono ubicati 6 pozzi (W0396, W0364, W0346, W1059, W0340 e W0399); nessuno di questi è sfruttato a fini idropotabili.

4.2 Classi di permeabilità

Come anticipato nel capitolo precedente (cap. 3) le unità allostratigrafiche attraversate dall'opera in progetto sono i depositi glaciali, fluvioglaciali dell'Allogruppo di Calcinato (CI).

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' IDRAULICA (m/s)	CLASSE DI PERMEABILITA'
<u>Allogruppo di Calcinato</u> Depositi glaciali	$10^{-6} < k < 10^{-8}$	medio-bassa

Tabella 3: Unità allostratigrafiche e loro conducibilità idraulica.

Le unità allostratigrafiche comprese nella tratta interessata dalla Galleria Calcinato II, presentano notevole eterogeneità a livello litologico. Tuttavia è stata registrata una permeabilità omogeneamente distribuita su valori medio/bassi. La classe modale della distribuzione relativa alla conducibilità idraulica per questa distribuzione è 10^{-6} m/s, seguita dai 10^{-7} m/s.

Nella tabella che segue (tab. 4) vengono presentati i risultati delle prove Lefranc eseguite nelle verticali ubicate nell'area di interesse.

ondaggio	Profondità prova	Tipo di terreno	Alloformazione di riferimento	Conducibilità idraulica (m/s)
XA202G127	6,00-7,00	Ghiaia	Cl glaciale	1,19E-06
XA202G141	5,00-6,00	Ghiaia con limo	Cl glaciale	5,99E-06
	10,00-11,00	Ghiaia con sabbia	Cl glaciale	6,02E-06
	16,00-17,00	Ghiaia con sabbia	Cl glaciale	6,15E-06
XA202G142	5,00-6,00	Ghiaia con sabbia	Cl glaciale	2,63E-06
	11,00-12,00	Ghiaia con sabbia	Cl glaciale	4,79E-07
	17,00-18,00	Ghiaia con sabbia	Cl glaciale	6,06E-08
3SN060	15,00-15,50	Limo ghiaioso	Cl glaciale	8,90E-07
	25,00-25,50	Ghiaia con limo	Cl glaciale	1,18E-06
	34,50-35,00	Sabbia con ghiaia	Cl glaciale	2,70E-07

Tabella 4: Valori di conducibilità idraulica misurati in foro di sondaggio (prove 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
2,49E-06	1,19E-06	6,15E-06	6,06E-08	2,56E-06

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

La carta della permeabilità superficiale alla scala 1:10000 (doc. rif. IN0500DE2N4GE00020010÷20140) predisposta nell'ambito del Progetto Definitivo in oggetto, illustra a livello territoriale quanto ora detto. Nella figura che segue (fig. 3) se ne presenta uno stralcio.

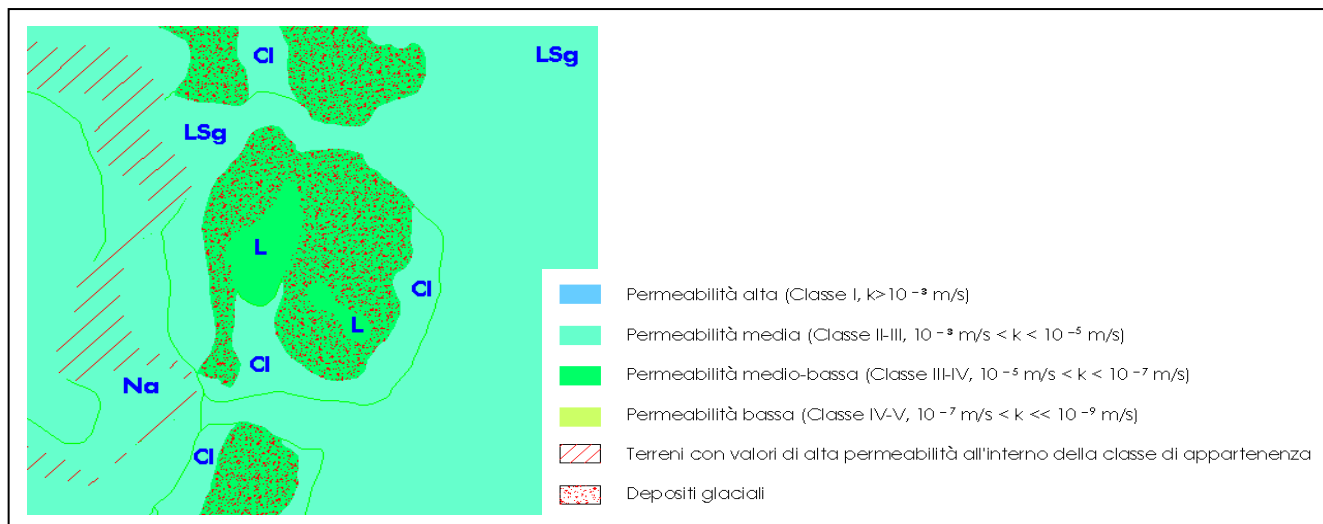


Figura 3: Carta della permeabilità superficiale (stralcio).

4.3 Andamento della falda

Sulla base di tutti i dati raccolti e rielaborati nei paragrafi precedenti, è stato possibile ricostruire un profilo idrogeologico di dettaglio, in scala 1:5000/1:500, del territorio interessato dallo scavo della galleria Calcinato II (doc. rif. IN0500DE2F5GE0001022).

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 (figure 4, 5 e 6).

Dai dati a disposizione emerge con chiarezza la presenza di un acquifero di importanza regionale (Primo Acquifero) attestato a circa 130-135 m s.l.m..

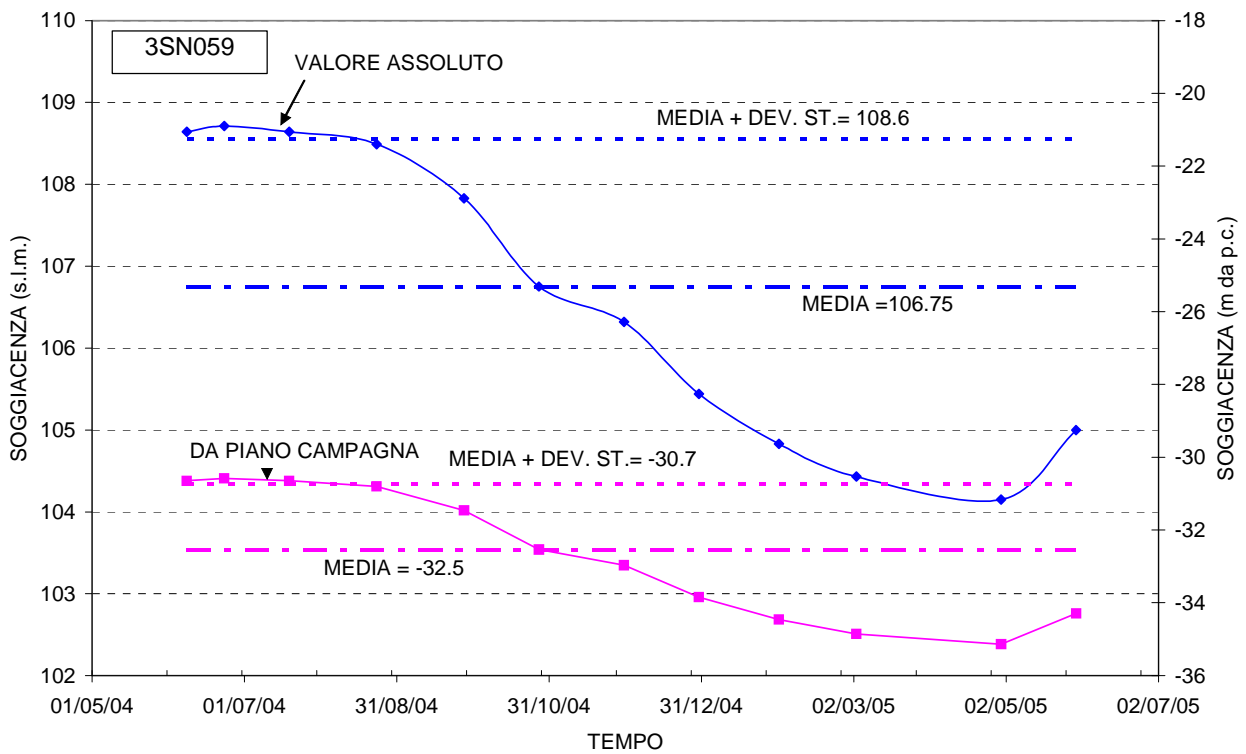


Figura 4: Misure del piezometro 3SN059.

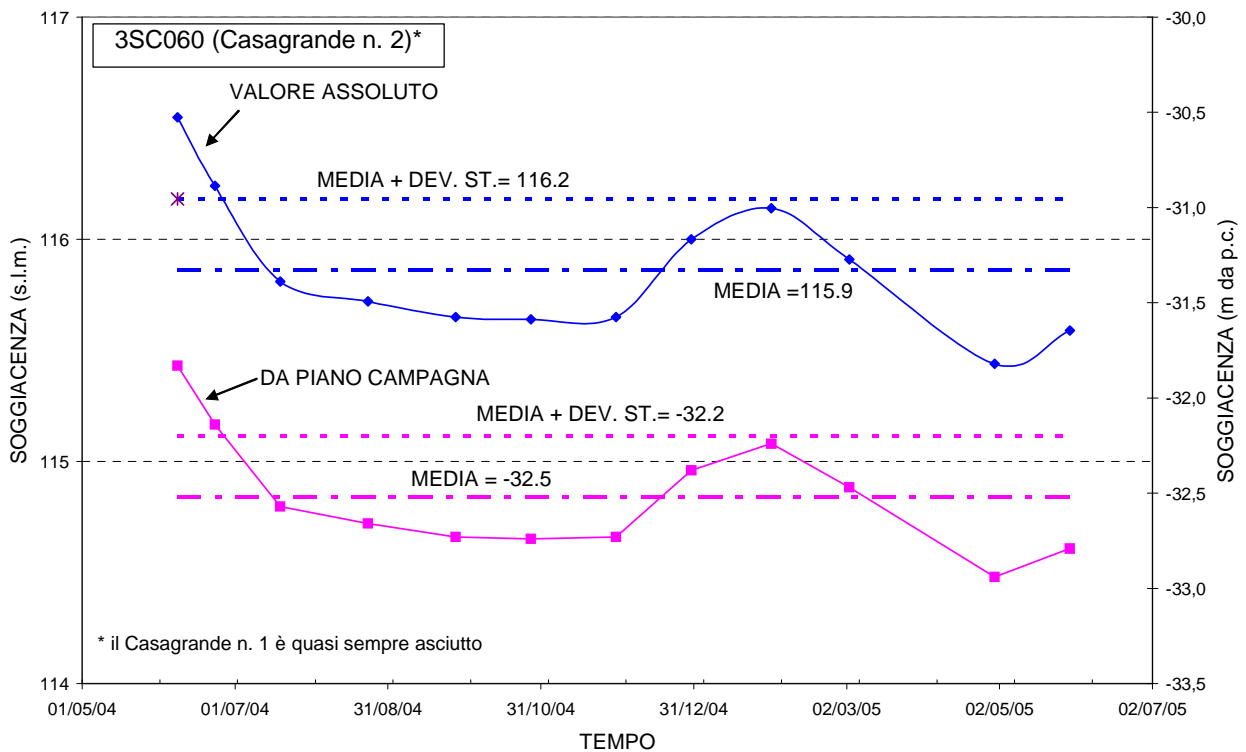


Figura 5: Misure del piezometro 3SC060 (cella B).

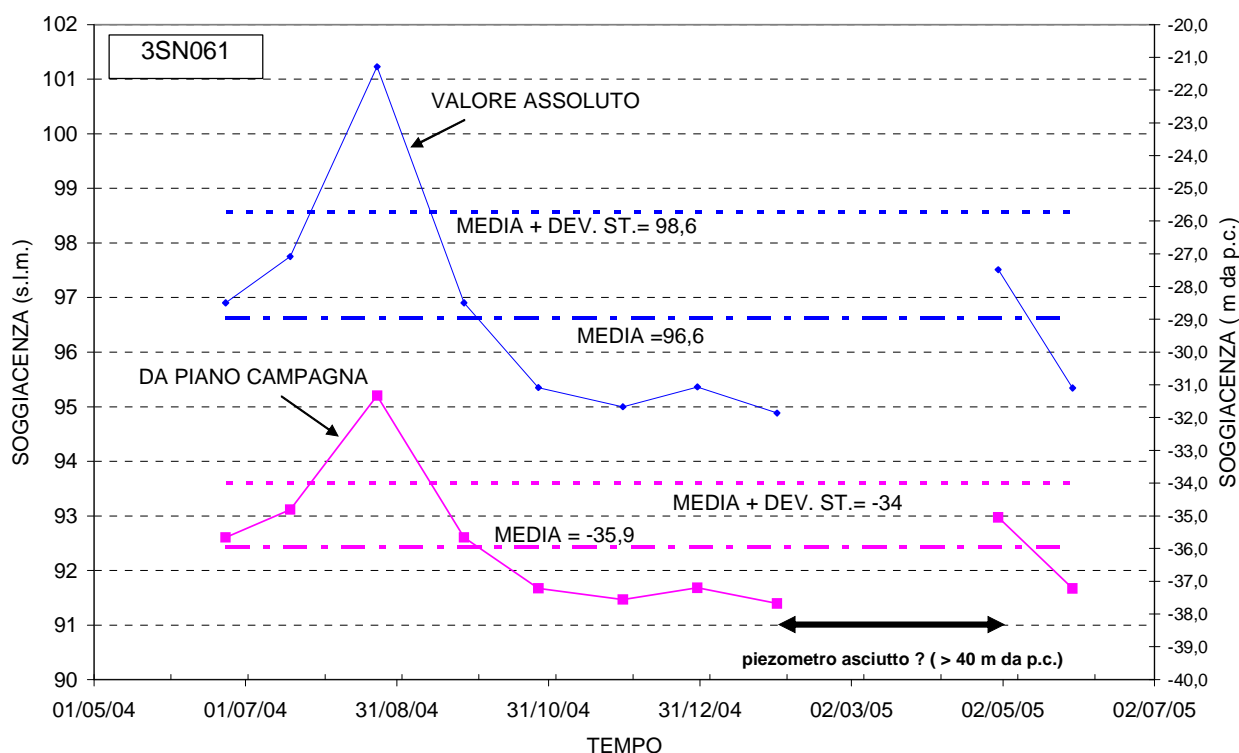


Figura 6: Misure del piezometro 3SC061.

Tuttavia nella verticale 3SC060, attrezzata con due celle Casagrande intestate a profondità diversa, è stata rilevata in alcune occasioni la presenza di due diversi livelli piezometrici rappresentativi dei due diversi acquiferi. Oltre all'acquifero regionale, pertanto, sembrerebbe presente un secondo acquifero con quota piezometrica compresa tra i 95-115 m s.l.m. Tale osservazione risulta inoltre confermata dalle misurazioni eseguite in corrispondenza del piezometro 3SN059 e da quelle condotte nel 2002 nel piezometro XA202G142 (figura 7).

L'acquifero più superficiale è rappresentato da una **Falda sospesa o sostenuta**, confinata, al letto, dalla presenza di un orizzonte limoso sabbioso ghiaioso con caratteristiche da acquitaro. La reale continuità laterale e lo spessore di tale acquifero, sulla base dei dati attualmente a disposizione, non è valutabile. Si può ritenere, comunque, che tale falda sospesa o sostenuta sia contenuta entro l'alto topografico della "Collina di Calcinato", per andare a raccordarsi, in assenza del livello limoso sabbioso che funge da orizzonte impermeabile, con il sottostante Primo Acquifero, con una geometria ed un gradiente attualmente non definibile.

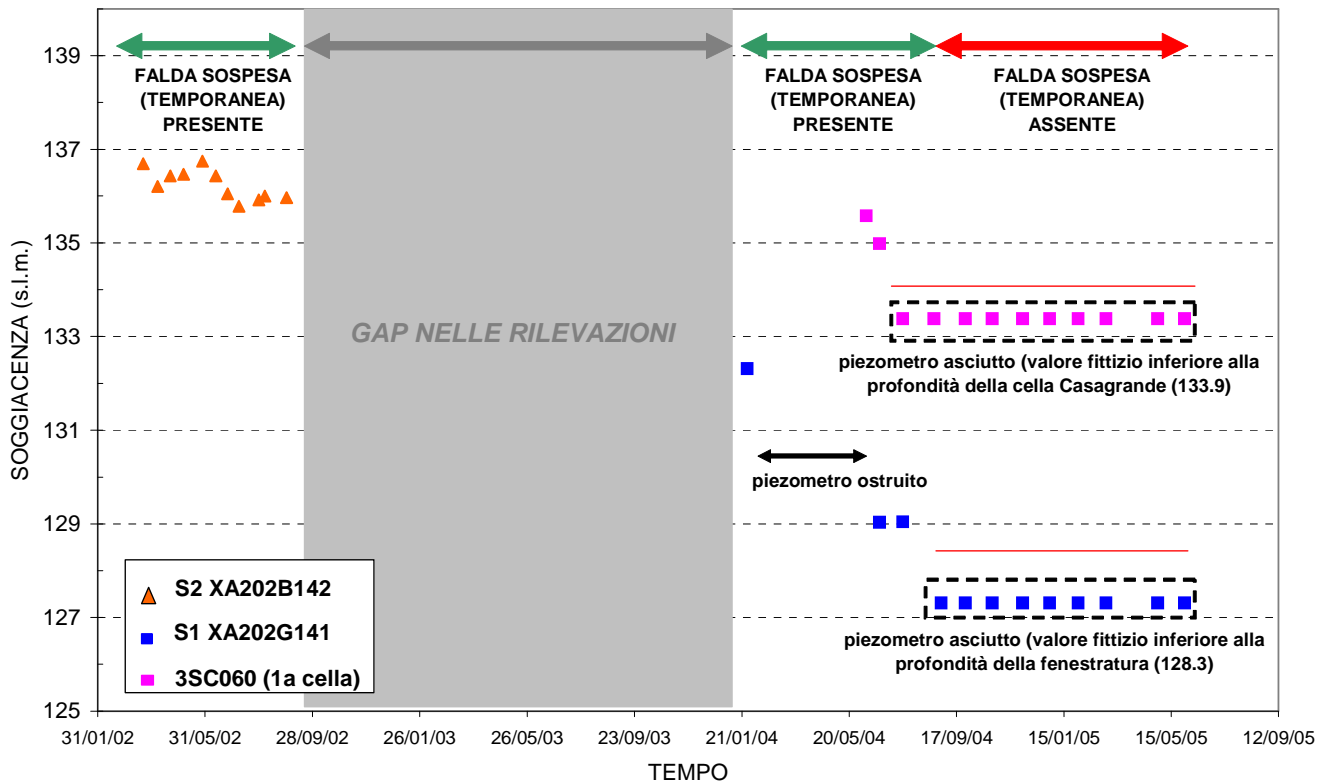


Figura 7: Rilevazioni dell'acquifero superficiale.

Peraltro si osserva che a partire dall'estate 2004 al maggio 2005 (ultima misura disponibile) tale livello non è stato più rinvenuto: è possibile che la falda superficiale abbia caratteristiche di stagionalità e non sia perenne.

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.

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 6: 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, dalle sorgenti 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} reale 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. 7).

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
P (m/mese) media	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
T (°C) media	3	4,9	8,9	13,2	17,3	21,4	24	23,3	19,8	14,4	8,7	4,3	
λ	0,82	0,67	0,49	0,38	0,31	0,26	0,24	0,25	0,28	0,36	0,50	0,71	
E_{tr} (m/mese)	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
E_{tr} (mm/mese)	48,41	45,70	55,79	65,02	83,42	71,12	60,78	64,93	63,34	74,61	74,62	52,20	759,93

Tabella 7: 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)**

¹ 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)

$$L = 300 + 25T_i + 0.05T_i^3 \quad (5.4)$$

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.8).

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
P (mm/mese)	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
T (°C)	3	4,9	8,9	13,2	17,3	21,4	24	23,3	19,8	14,4	8,7	4,3	
L	376,35	428,38	557,75	745,00	991,39	1325	1591,2	1514,9	1183,1	809,3	550,43	411,48	
E_{tr} (mm/mese)	52,71	49,42	60,15	70,00	89,96	76,29	64,98	69,50	67,88	80,45	80,91	56,69	818,94

Tabella 8: 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 (7.3), 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

Sostituendo T_i con T_c nella (7.4) ed utilizzando il nuovo valore di L nella (5.3) si ottiene:

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

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 ($E_{TR} = 573,6 \text{ mm/anno}$). Minore è il quantitativo d'acqua perso per evapotraspirazione, infatti, e maggiori saranno le portate che, in circolazione idrica sotterranea, andranno ad impattare con le opere in progetto.

Applicando la (7.1) si ottiene il quantitativo d'acqua effettivamente a disposizione per l'area di interesse:

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

Di cui, per definizione, solo (I_P) andrà effettivamente ad alimentare le riserve idriche sotterranee.

Non potendo, sulla base dei dati attualmente disponibili, quantificare il reale quantitativo d'acqua perso per ruscellamento superficiale, il quantitativo di acqua I_P stimato per la circolazione idrica profonda si ottiene dalla:

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

Non potendo quantificare il reale quantitativo d'acqua perso per ruscellamento superficiale, il quantitativo di acqua I_P 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

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 da Celico, 1988), un coefficiente di infiltrazione potenziale c.i.p. del 50% (valore da considerarsi a totale favore di sicurezza).

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

$$I_p = 102,65 \text{ mm/anno}$$

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.

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
IN05

Lotto
00

Codifica Documento
DE2RGGE0001006

Rev.
1

Foglio
22 di 23

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 dalle gallerie sul naturale assetto idrogeologico di questi settori;
- b) valutare i carichi idraulici e le spinte 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 Calcinato II** 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.

Il livello piezometrico del **Primo Acquifero** si mantiene costantemente al di sotto della quota di progetto (con riferimento alla quota della livelletta), ad una distanza, quantificabile in 18-20 m, da ritenersi di totale sicurezza.

Le previste opere di fondazione, alla luce di questa realtà, non dovrebbero rappresentare un ostacolo per la circolazione idrica sotterranea: **non** si verrebbe a creare, in sostanza, né un **effetto diga** capace di modificare il flusso idrico profondo, né un'azione **drenante** da parte della galleria stessa, che comporterebbe un depauperamento delle riserve idriche.

La **principale criticità** sembra legata alla presenza della descritta **Falda sospesa o sostenuta**, che viene intercettata dallo scavo della galleria in progetto. Si ricorda, tuttavia, che tale falda non è stata più rilevata dal luglio 2004. Ciononostante senza che vengano previste le più opportune soluzioni progettuali (sia in fase di avanzamento che in fase di esercizio), esiste il rischio che tale acquifero superficiale possa subire un impatto da parte dell'opera stessa.

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