



Consorzio per il coordinamento delle ricerche  
inerenti al sistema lagunare di Venezia

Palazzo Franchetti S. Marco 2847 30124 Venezia

Tel. +39.041.2402511 Fax +39.041.2402512

Progetto **STUDIO B.6.72 B/9**

**ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL  
MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI  
DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE  
BOCCE LAGUNARI**

Contratto Thetis-CORILA n. 132000442

Documento **MACROATTIVITÀ: LIVELLI DI FALDA  
III RAPPORTO DI VALUTAZIONE  
PERIODO DI RIFERIMENTO: DA GENNAIO AD  
APRILE 2014**

Versione **1.0**

Emissione **15 Maggio 2014**

Redazione

Verifica

Approvazione

Ing. Alessandro Casasso  
(POLITECNICO TORINO)

Ing. Rajandrea Sethi  
(POLITECNICO TORINO)

Ing. Pierpaolo Campostrini

## INDICE

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>1.</b>    | <b>INTRODUZIONE</b> .....   | <b>3</b>  |
| 1.1          | Descrizione delle attività di cantiere aventi impatto sulla matrice falda ..... | 3         |
| <b>2.</b>    | <b>ANALISI DEI DATI</b> .....   | <b>6</b>  |
| 2.1          | Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello .....               | 6         |
| 2.2          | Descrizione delle forzanti naturali.....  | 7         |
| <b>2.2.1</b> | Precipitazioni.....   | 7         |
| <b>2.2.2</b> | Livello del mare.....   | 10        |
| <b>2.2.3</b> | Pressione atmosferica - $h_b$ .....   | 12        |
| 2.3          | Piezometro superficiale – primo livello acquifero (Strato A).....               | 14        |
| <b>2.3.1</b> | Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ (Fase A) .....              | 14        |
| <b>2.3.2</b> | Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ .....                       | 14        |
| <b>2.3.3</b> | Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione .....                   | 17        |
| 2.4          | Piezometro profondo – secondo livello acquifero (Strato C) .....                | 20        |
| <b>2.4.1</b> | Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ (Fase A) .....              | 20        |
| <b>2.4.2</b> | Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ .....                       | 20        |
| <b>2.4.3</b> | Effetti mareali e antropici.....  | 23        |
| <b>3.</b>    | <b>CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE</b> .....                                     | <b>26</b> |
| <b>4.</b>    | <b>ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA</b> .....                          | <b>27</b> |
| 4.1          | Il calcolo della densità dell'acqua .....                                       | 27        |
| <b>4.1.1</b> | Profili verticali di densità.....   | 27        |
| <b>5.</b>    | <b>VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE</b> .....                       | <b>32</b> |
| <b>6.</b>    | <b>CONCLUSIONI</b> .....  | <b>37</b> |

## 1. INTRODUZIONE

Questo documento descrive l'analisi dei dati derivanti dai rapporti mensili di monitoraggio nel periodo 1 gennaio 2014 - 30 aprile 2014, relativi all'osservazione degli effetti delle attività del cantiere alla Bocca di Chioggia sulla falda idrica sotterranea in località Ca' Roman, come previsto dal Disciplinare Tecnico (Studio B.6.72 B/9 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2013).

Nel presente rapporto sono riportati i tracciati relativi ai livelli piezometrici in corrispondenza della postazione doppia di monitoraggio nel periodo di osservazione. I dati sono messi in relazione alle forzanti naturali (precipitazioni, oscillazioni mareali e pressione atmosferica) che concorrono alla determinazione dei livelli piezometrici dei due acquiferi monitorati. I livelli piezometrici misurati nelle postazioni di monitoraggio sono stati confrontati con quelli registrati durante la Fase A, relativa agli andamenti dei livelli nella situazione *ante operam*. Inoltre, essi sono stati confrontati con le soglie di Alto e Basso Livello, allo scopo di evidenziarne eventuali superamenti. Vengono infine presentati i profili verticali di densità elaborati a partire dai dati di conduttanza rilevati durante i sopralluoghi mensili.

### 1.1 Descrizione delle attività di cantiere aventi impatto sulla matrice falda

La costruzione del porto rifugio di Ca' Roman ha richiesto la realizzazione di un bacino (tura) in un'area precedentemente occupata dal mare, al fine di rendere agibile ai lavori un'area di cantiere posta alla quota di -11 m s.l.m. e utilizzata per il getto dei cassoni di alloggiamento delle barriere mobili. La realizzazione della tura ha previsto l'esecuzione di reinterri, la realizzazione di una cinturazione (costituita da diaframmi plastici lato terra, completato nel mese di gennaio 2008, e da palancolati lato mare) e l'installazione di un sistema di pozzi e pompe per il *dewatering*.

Completata l'infissione del palancolato di conterminazione della tura, nel mese di aprile 2008 è iniziato lo svuotamento, accompagnato dall'effetto indotto dall'emungimento dei pozzi agenti sul primo acquifero confinato. L'aggottamento del bacino è terminato a fine luglio 2008 ed il sistema a regime si è attestato con portate giornaliere pari a 4000 mc/d (fonte: Consorzio Venezia Nuova, comunicazione avvenuta in data 28/06/2012).

Nel periodo agosto 2008 - gennaio 2009 è stata ottimizzata la portata di emungimento riducendola a 3500 mc/d. Per mitigare ulteriormente l'effetto indotto dall'emungimento, nel febbraio del 2010 è stato realizzato un diaframma jet grouting (Fig. 1.1) che ha consentito di ridurre la portata da 3000 a 2100 mc/d, salvo occasionali incrementi necessari a contrastare gli effetti indotti da forzanti naturali o da problemi tecnici di cantiere, quali le attività manutentive programmate o imprevisti mal funzionamenti.

In tali condizioni è stato possibile realizzare, alla quota -12 metri, i 6 cassoni di barriera.

Le successive lavorazioni dei cassoni di spalla hanno introdotto la necessità di impostare lo strato di ripartizione del complesso fondazionale alla quota di - 13 metri, rendendo pertanto necessario l'aumento delle quantità emunte da 2100 a 3600 mc/d, portate a regime nel mese di ottobre 2011 a 3000 mc/d.

Dal 1 novembre 2011 la portata è stata mantenuta costante con regolazioni tali da non creare ulteriori perturbazioni, utilizzando tutti i pozzi inferiori ed i soli pozzi P2, P4, P5, P6, P10 e P11 posti al coronamento (Fig. 1.1).

In data 10 marzo 2014, il pompaggio di *dewatering* è stato interrotto per procedere all'allagamento

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

della tura (fonte: comunicazione Consorzio Venezia Nuova).

In Fig. 1.2 sono riportate le serie temporali dei carichi idraulici misurati nei piezometri interni alla tura e le portate di emungimento del sistema di dewatering della tura di Ca' Roman.

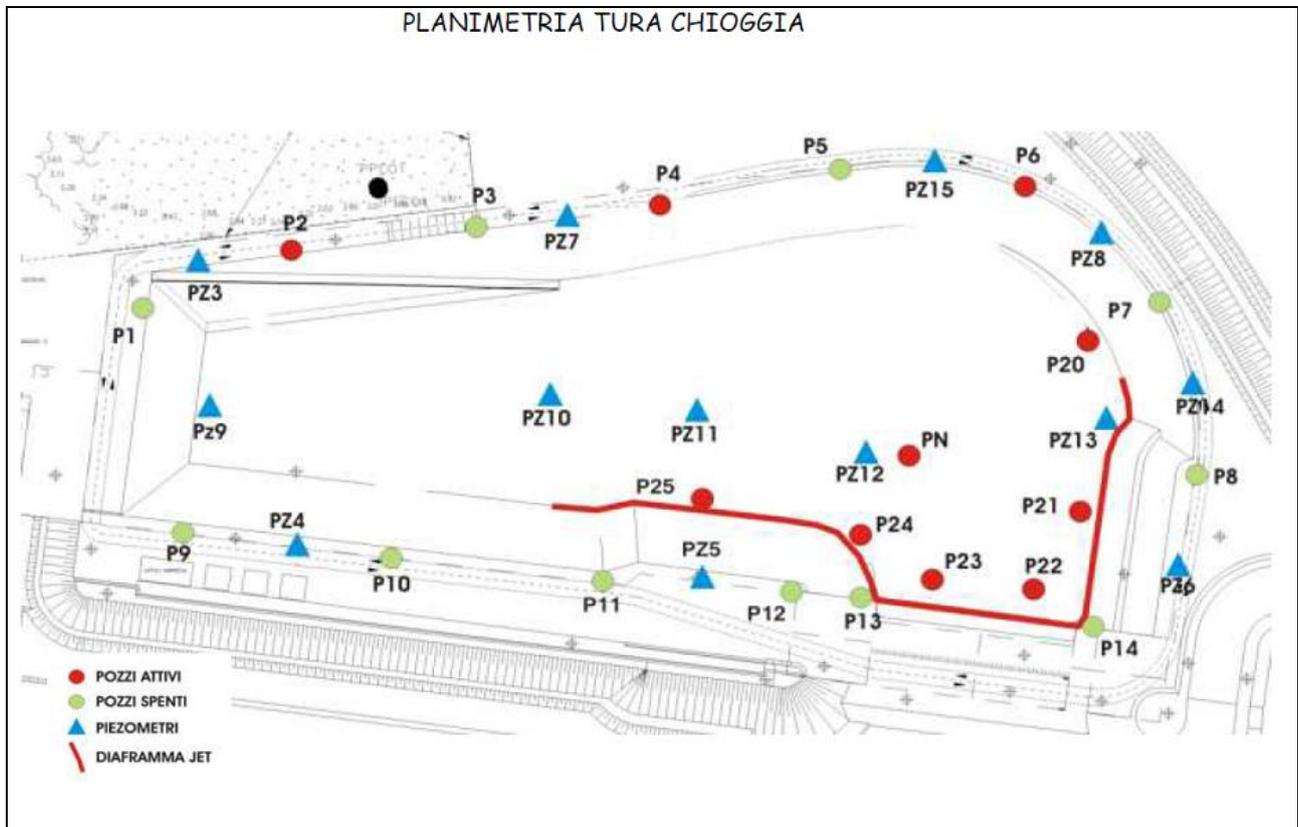


Fig. 1.1 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

## Chioggia - Livelli piezometrici e valori portata emunta

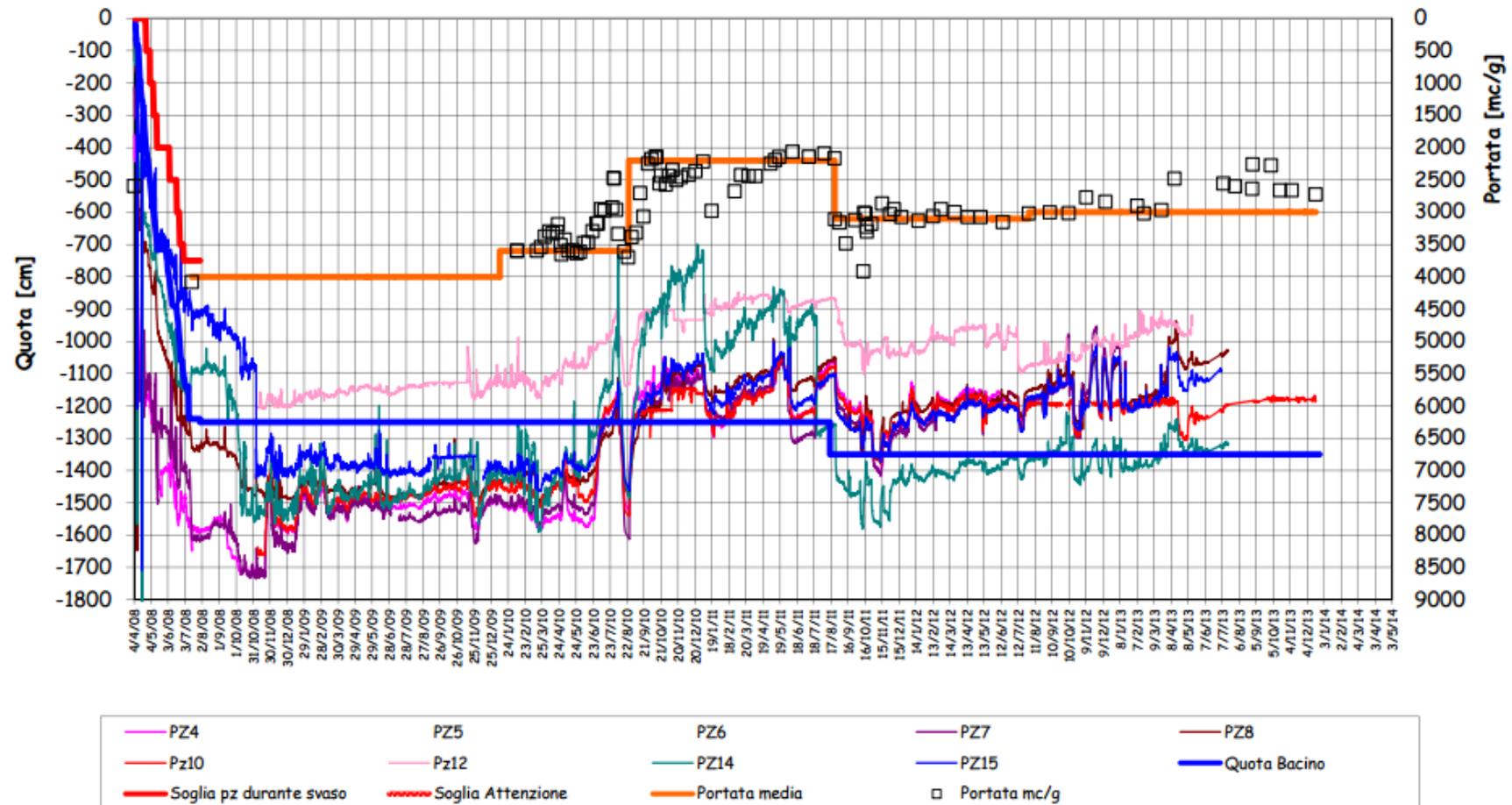


Fig. 1.2 - Portate di emungimento e carichi idraulici misurati all'interno della tura di Ca' Roman (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

## 2. ANALISI DEI DATI

In questo capitolo vengono analizzate le risposte del sistema dinamico, registrate dai trasduttori di livello disposti nella postazione doppia di monitoraggio sita in località Ca' Roman (Fig. 2.1), nel periodo compreso tra il 01/01/2014 e il 30/04/2014.



Fig. 2.1 - Ubicazione dei piezometri.

Tab. 2.1- Coordinate plano-altimetriche dei piezometri di monitoraggio.

| NOME  | H geoid | N GB Fuso Est | E GB Fuso Est |
|-------|---------|---------------|---------------|
| PSC01 | 2.065   | 5012706.063   | 2308002.906   |
| PPC01 | 2.072   | 5012707.515   | 2308002.753   |

### 2.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello

La risposta del sistema è misurata dal carico idraulico  $h_{il}$ , registrato dai 2 trasduttori di livello e calcolabile mediante l'espressione mostrata nel paragrafo 2.1 (per ulteriori informazioni si veda "Rapporto di Pianificazione Operativa", Studio B.6.72 B/1, dicembre 2005).

## 2.2 Descrizione delle forzanti naturali

Di seguito vengono descritti e presentati i dati relativi alle forzanti naturali che possono influenzare i livelli piezometrici:

- **precipitazioni**, registrate dalla stazione meteo “Chioggia loc. Sant’Anna” gestita da ARPA Veneto, posta a circa 12 km a sud rispetto al cantiere di Ca’ Roman;
- **oscillazioni mareali** registrate dal mareografo “Diga Sud Chioggia”;
- **pressione atmosferica** registrata dal barologger BC01, installato in corrispondenza del piezometro superficiale PSC01.

### 2.2.1 *Precipitazioni*

I dati delle precipitazioni sono registrati dalla stazione meteorologica “Chioggia loc. Sant’Anna” (Fig. 2.2), gestita da ARPA Veneto e posta a circa 10 km a sud-ovest rispetto all’area di cantiere, e hanno cadenza giornaliera. In Fig. 2.3 è riportato il grafico dell’andamento temporale delle precipitazioni, mentre in Tab. 2.2 riporta gli eventi piovosi più significativi, caratterizzati da un’altezza di pioggia superiore a 5 mm.



Fig. 2.2- Posizione della centralina meteo “ARPAV - Chioggia loc. Sant’Anna” rispetto all’area monitorata.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE LAGUNARI

Tab. 2.2- Eventi piovosi significativi verificatisi nel periodo di monitoraggio.

| <b>DATA</b> | <b>DURATA (h)</b> | <b>ENTITÀ (mm)</b> |
|-------------|-------------------|--------------------|
| 02-05/01/14 | 96                | 29.8               |
| 14/01/14    | 24                | 7.8                |
| 17-20/01/14 | 96                | 42.8               |
| 23-24/01/14 | 48                | 8.6                |
| 27-31/01/14 | 120               | 83.8               |
| 01-04/02/14 | 96                | 66.8               |
| 09-11/02/14 | 72                | 40.2               |
| 19-20/02/14 | 48                | 7.2                |
| 22/02/14    | 24                | 5.0                |
| 01-02/03/14 | 48                | 42.8               |
| 04/03/14    | 24                | 5.0                |
| 23-24/03/14 | 48                | 27.0               |
| 21/04/14    | 24                | 6.6                |
| 28-30/04/14 | 72                | 34.8               |

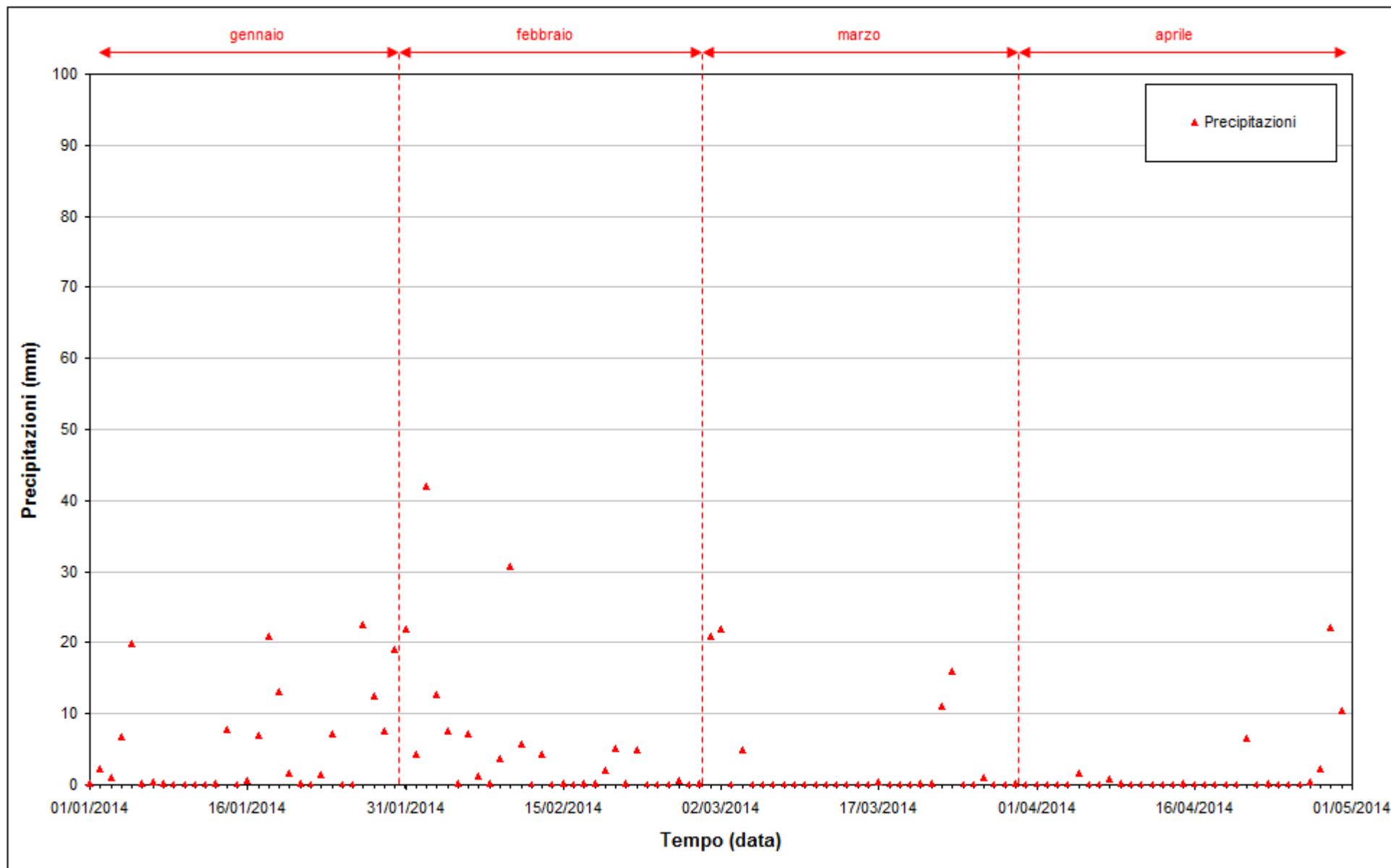


Fig. 2.3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/01/2014 - 30/04/2014.

### **2.2.2** Livello del mare

In Fig. 2.4 è tracciato l'andamento del livello del mare registrato dal mareografo "Diga Sud Chioggia". I dati riportati sono riferiti alla Rete Altimetrica dello Stato "Genova 1942" e sono caratterizzati da una frequenza di acquisizione oraria nell'intero periodo monitorato.

Il tracciato di misura è caratterizzato da una ciclicità tipica dovuta alle influenze delle fasi lunari: in corrispondenza dei periodi di novilunio e plenilunio si verificano incrementi di frequenza e di ampiezza del fenomeno oscillatorio, mentre in corrispondenza dei quarti di luna le oscillazioni sono meno frequenti e più smorzate.

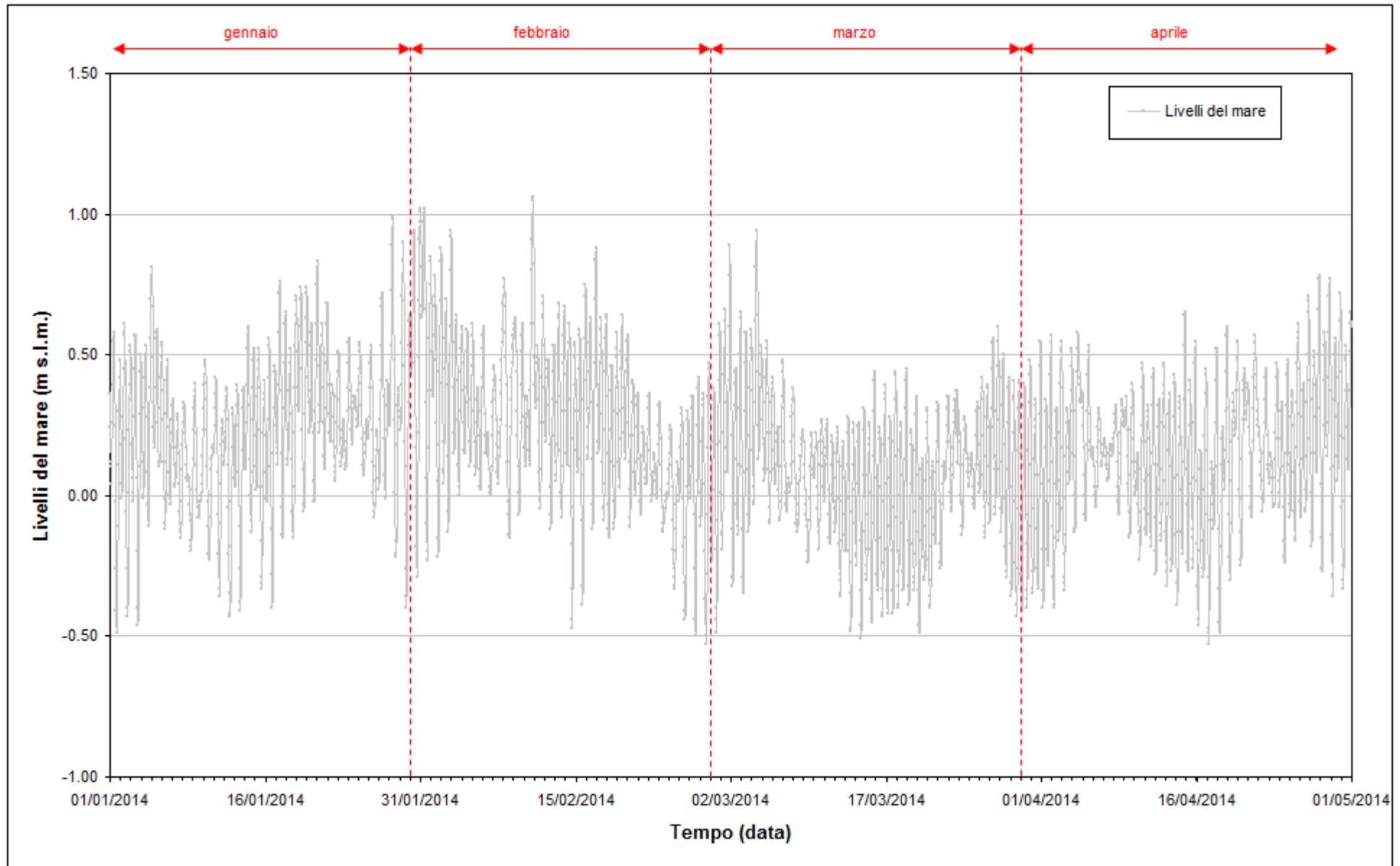
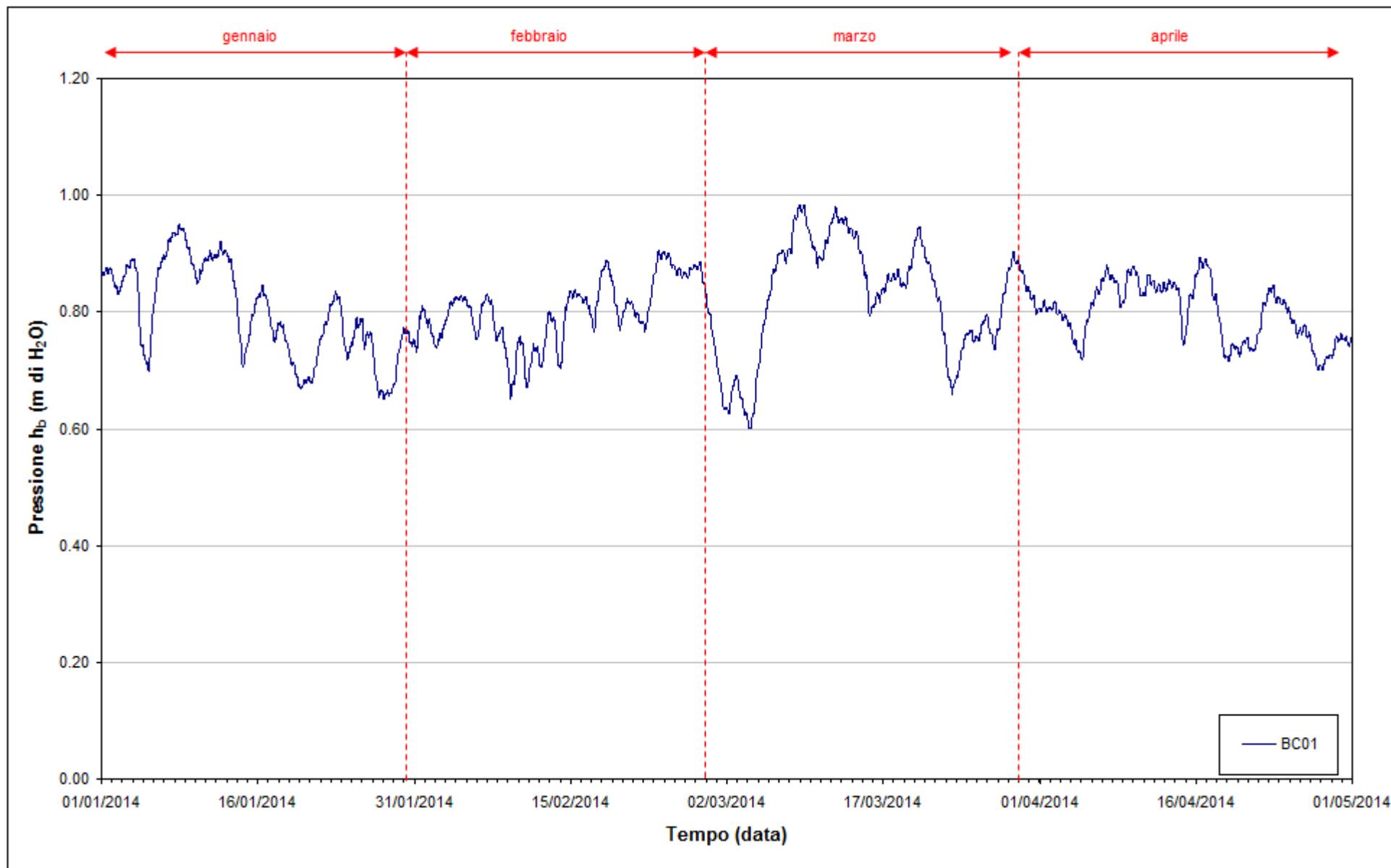


Fig. 2.4 - Livello del mare misurato dal mareografo "Diga Sud Chioggia". I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

**2.2.3** *Pressione atmosferica -  $h_v$*

Nell'area oggetto del monitoraggio è presente un Barologger, posizionato all'altezza del piano campagna all'interno del piezometro superficiale PSC01.

In Fig. 2.5 è riportato l'andamento del tracciato di misura del Barologger nel periodo di osservazione. Tali dati sono stati usati per la compensazione dei valori di livello dei due Levelogger installati nei piezometri PSC01 e PPC01.

Fig. 2.5- Tracciato di misura del Barologger BC01 ( $h_b$ ).

### **2.3 Piezometro superficiale - primo livello acquifero (Strato A)**

In questo capitolo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti relativi al piezometro superficiale PSC01, finestrato in corrispondenza del primo livello acquifero (Strato A), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

#### **2.3.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{pl}$ (Fase A)**

In Fig. 2.6 sono riportati i dati relativi ai livelli del piezometro PSC01 durante la Fase A (febbraio - marzo 2007).

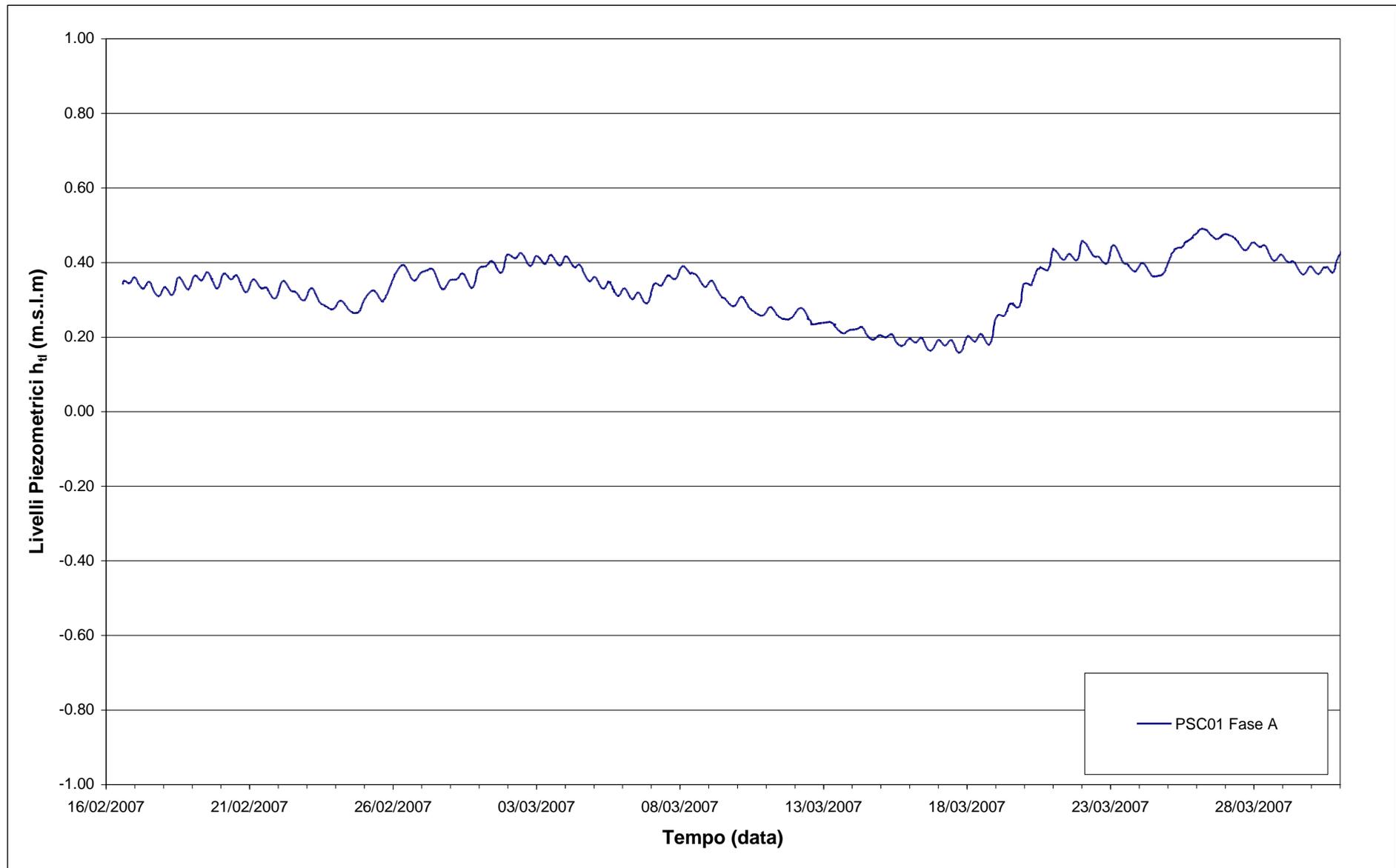
#### **2.3.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$**

I dati riportati in Fig. 2.7 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio 01/01/14 - 30/04/14.

A seguito dell'infissione dei palancolati nella porzione perimetrale della tura (gennaio 2008), i livelli registrati nel piezometro superficiale PSC01 non seguono più le oscillazioni mareali ma risultano influenzati dagli eventi piovosi e dall'evapotraspirazione.

Nel periodo monitorato (01/01/14 - 30/04/14) si osserva un incremento del livello pari a circa 15 cm e attribuibile alle intense precipitazioni registrate (totale 430.4 mm, a fronte di una media di 200.6 mm nel quadrimestre gennaio - aprile negli anni 1992÷2013. Fonte: stazione meteorologica "Chioggia loc. Sant'anna" gestita da ARPA Veneto).

I dati relativi al piezometro PSC01 nei periodi 10/01/14 - 07/02/14 e 03/03/14 - 21/03/14 non sono disponibili a causa di problemi tecnici al trasduttore di misura del livello piezometrico, che è stato sostituito in data 07/02/14.

Fig. 2.6 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale durante la Fase A.

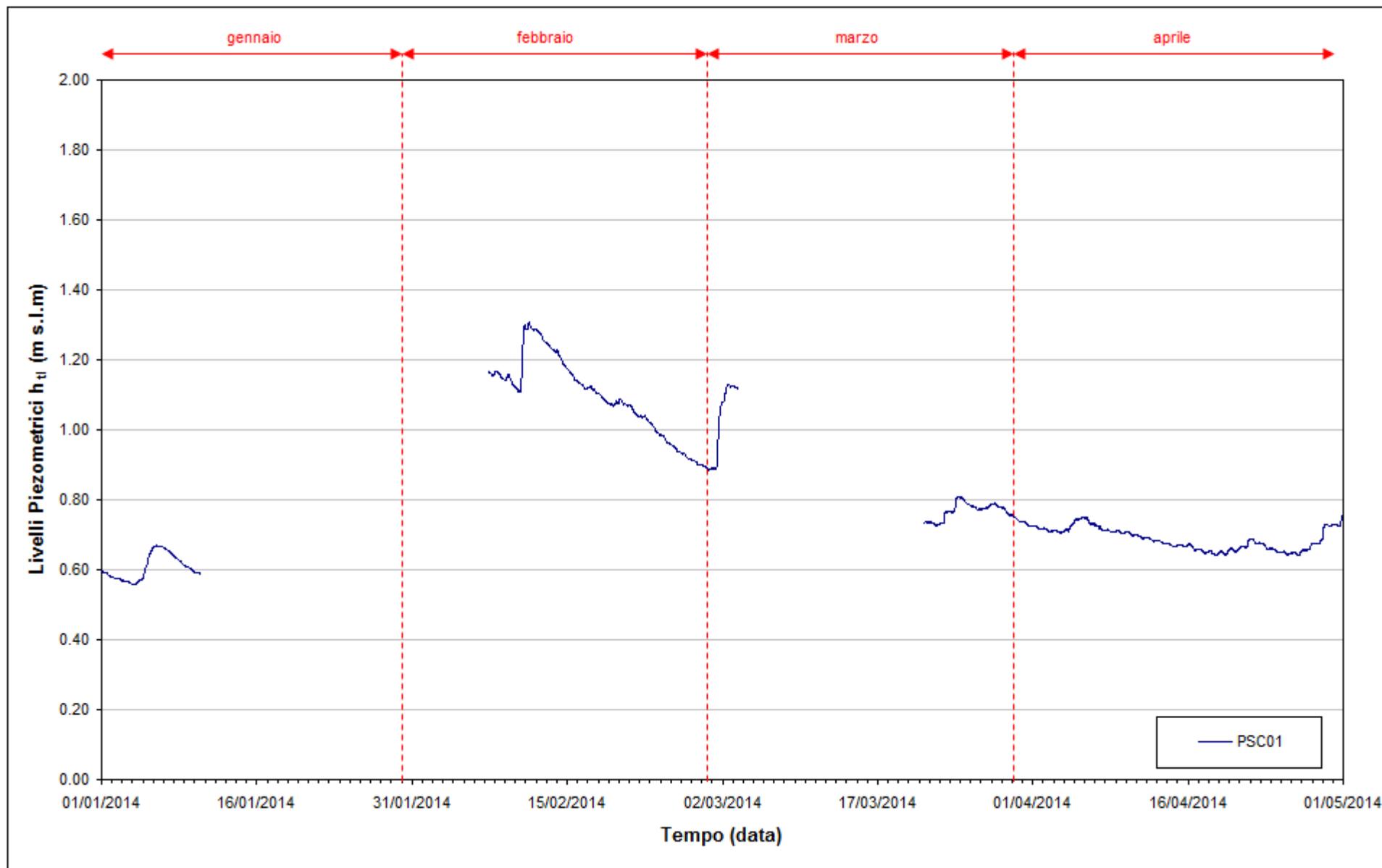


Fig. 2.7- Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PSC01 nel periodo di monitoraggio 01/01/2014 - 30/04/2014.

### 2.3.3 Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione

In Fig. 2.8 è possibile confrontare i tracciati di misura del trasduttore posizionato in corrispondenza del piezometro PSC01 con le escursioni mareali registrate del mareografo “Diga Sud Chioggia”, con le precipitazioni piovose, rilevate dalla stazione meteorologica “ARPAV - Chioggia loc. S. Anna” e con l’evapotraspirazione, stimata con la formula di Blaney-Criddle:

$$ETP = c \cdot p \cdot (0.46 \cdot T + 8)$$

dove:

- ETP è l’evapotraspirazione media mensile [mm/mese]
- T è la temperatura media mensile [°C];
- p è il numero medio mensile di ore di sole al giorno (vedi Tab. 2.3);
- c è un coefficiente (posto pari a 0.45) che tiene conto della vegetazione, dell’umidità, della velocità del vento, ecc.

Tab. 2.3 - Valori di evapotraspirazione media mensile stimati con la formula di Blaney - Criddle.

| Mese          | T media [°C] | gg  | c    | ETP [mm/d] | Precipitazioni [mm] |
|---------------|--------------|-----|------|------------|---------------------|
| Gennaio       | 7.1          | 31  | 0.45 | 1.5        | 174.8               |
| Febbraio      | 8.9          | 28  | 0.45 | 2.0        | 134.0               |
| Marzo         | 12.0         | 31  | 0.45 | 2.3        | 76.8                |
| Aprile        | 18.0         | 30  | 0.45 | 3.3        | 44.8                |
| <b>TOTALE</b> | 11.5         | 120 | -    | 276.9      | 430.4               |

Il grafico in Fig. 2.7 evidenzia come il livello nell’acquifero superficiale, in corrispondenza del piezometro PSC01, non risenta più delle oscillazioni mareali, in seguito all’infissione dei palancolati della tura avvenuta nel gennaio 2008.

Tra l’inizio e la fine del periodo monitorato (01/01/14 - 30/04/14) si osserva un incremento del livello pari a circa 15 cm e attribuibile alle intense precipitazioni registrate (totale 430.4 mm, a fronte di una media di 200.6 mm nel quadrimestre gennaio - aprile negli anni 1992÷2013. Fonte: stazione meteorologica “Chioggia loc. Sant’anna” gestita da ARPA Veneto).

In Fig. 2.9 è riportato il confronto dei livelli nel piezometro PSC01 nel quadrimestre gennaio - aprile per gli anni dal 2007 al 2014. Rispetto agli anni precedenti, nel periodo gennaio - aprile 2014 i livelli sono inferiori rispetto allo stesso periodo nel 2013, in linea con i livelli del 2010 e 2009 e superiori di circa 50 cm rispetto alla situazione *ante operam* (gennaio - aprile 2007). Tale incremento è attribuibile all’effetto isolante del diaframma impermeabile della tura, che rallenta il deflusso delle precipitazioni verso il mare.

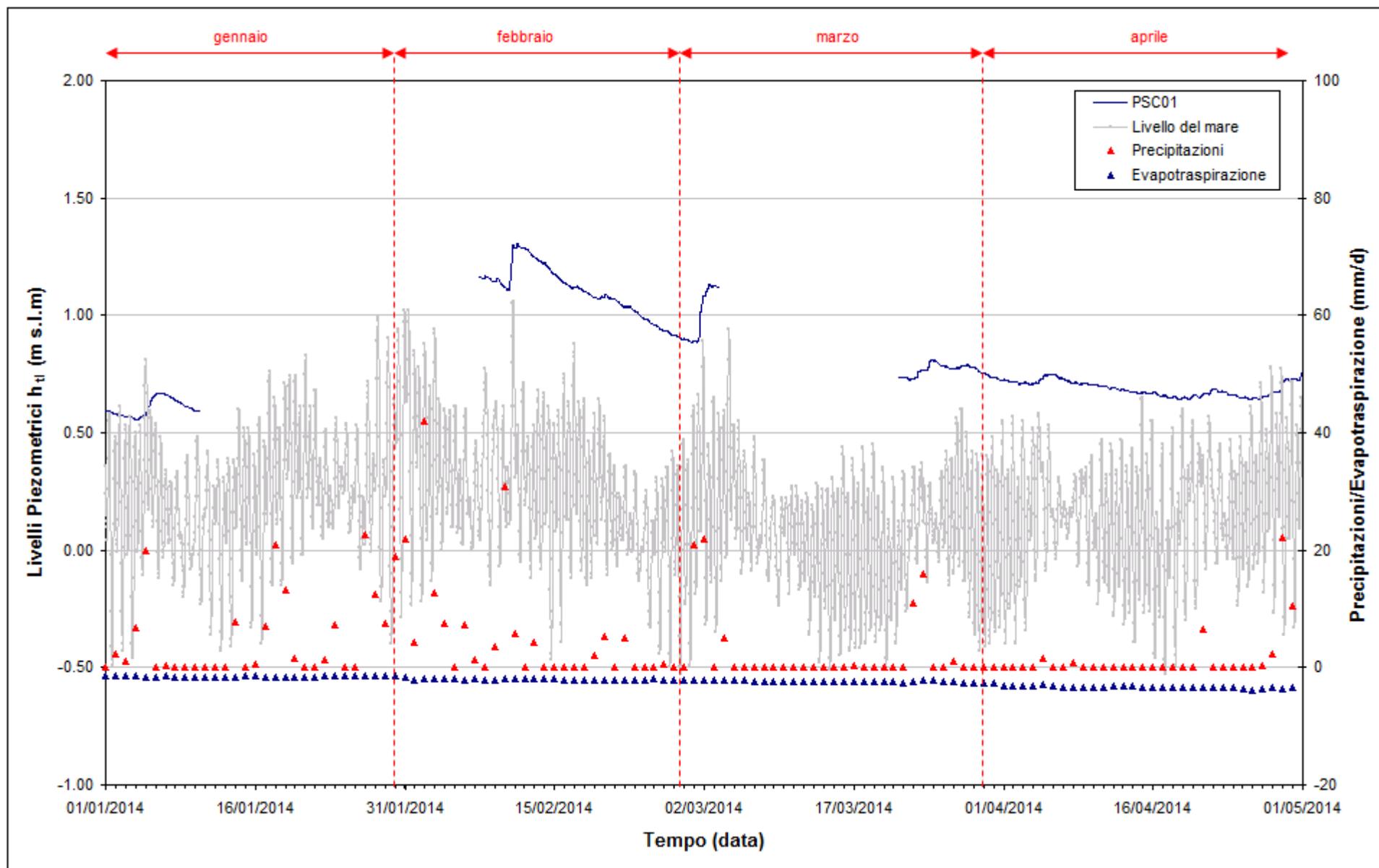


Fig. 2.8 - Livelli piezometrici del piezometro superficiale PSC01 e livelli del mare.

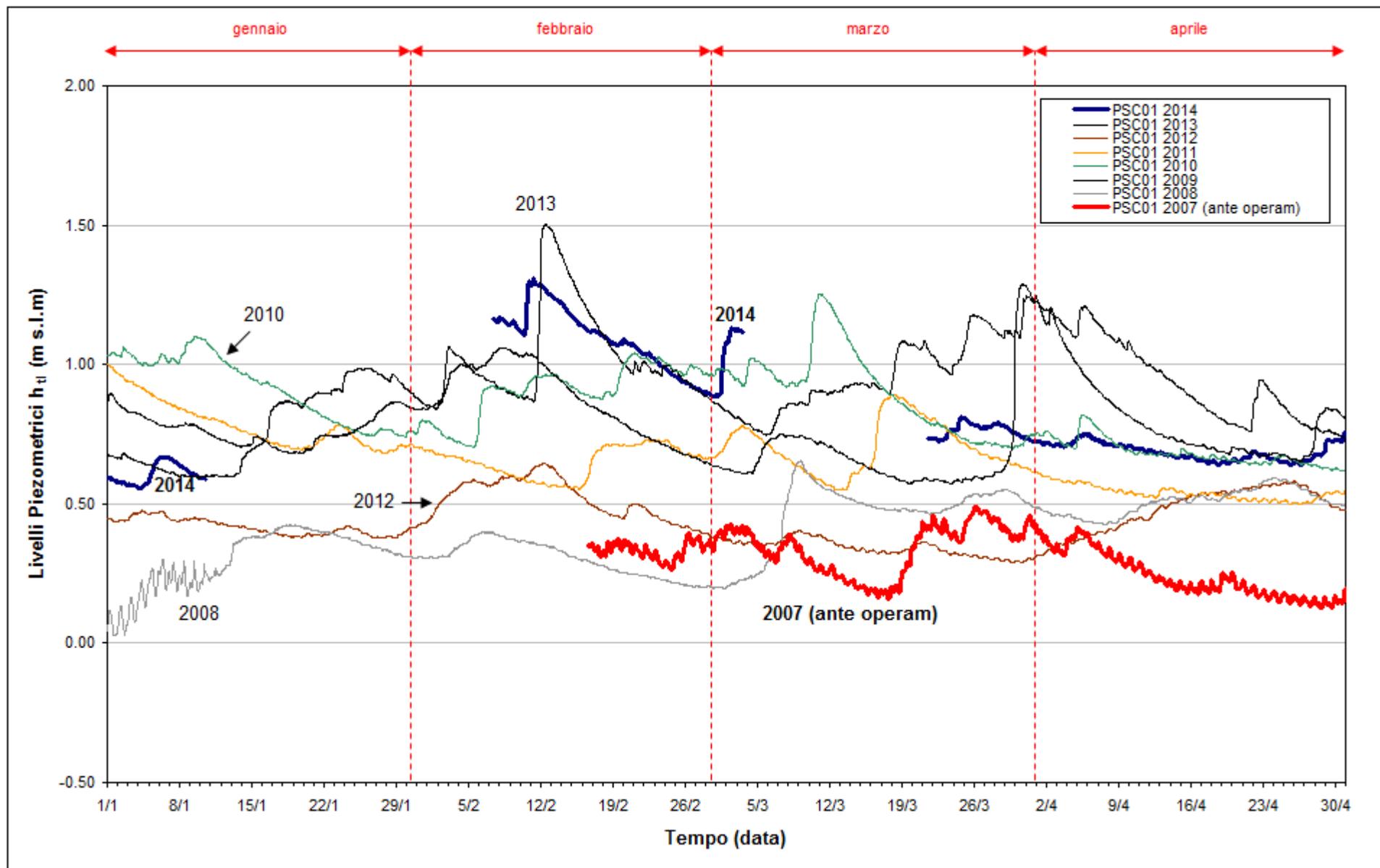


Fig. 2.9 - Confronto tra i livelli piezometrici ( $h_u$ ) nel piezometro PSC01 nel periodo gennaio - aprile degli anni 2007+2014.

## **2.4 Piezometro profondo - secondo livello acquifero (Strato C)**

Di seguito verranno presentati ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti nel piezometro profondo finestrato in corrispondenza del secondo livello acquifero (Strato C), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

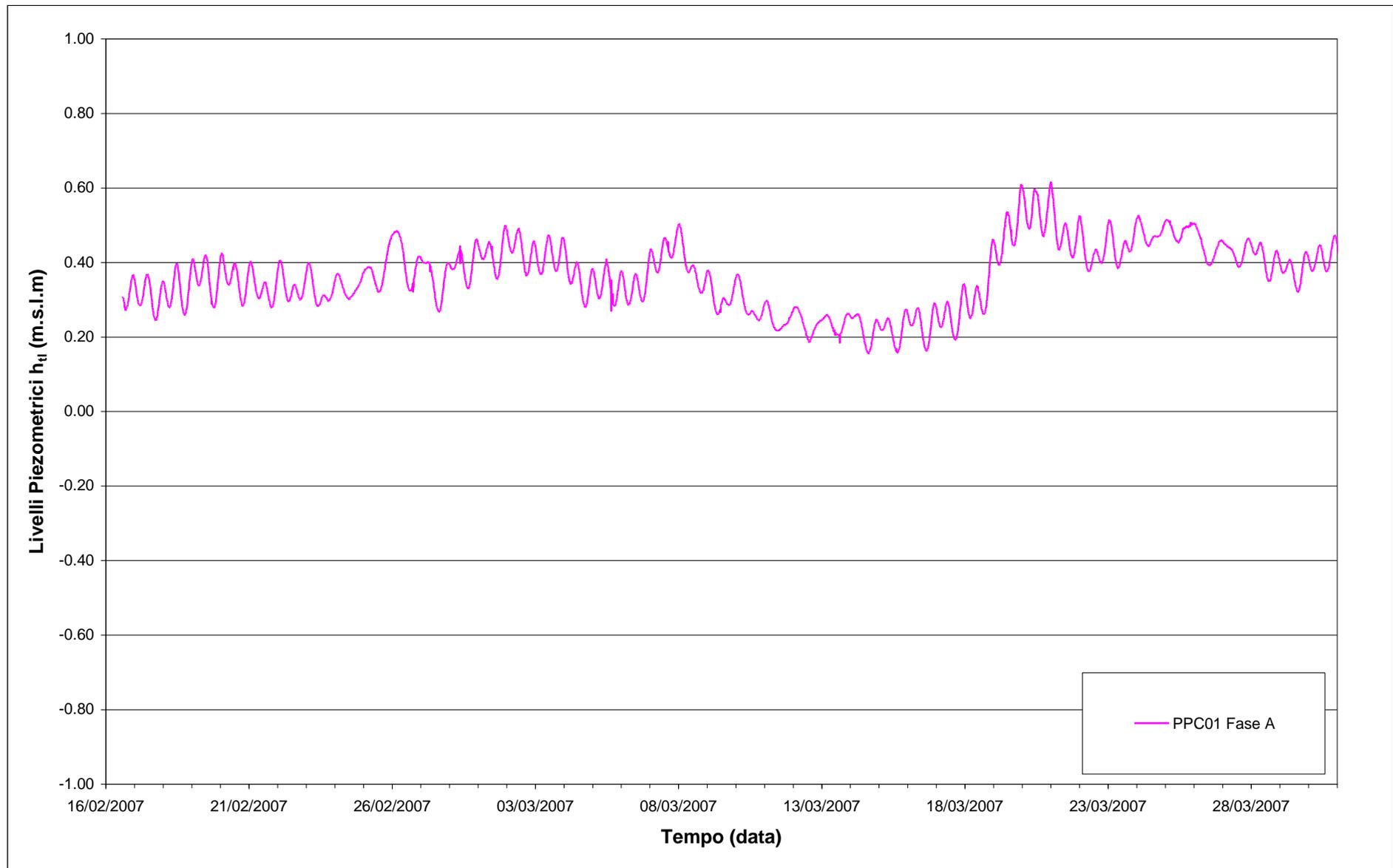
### **2.4.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_H$ (Fase A)**

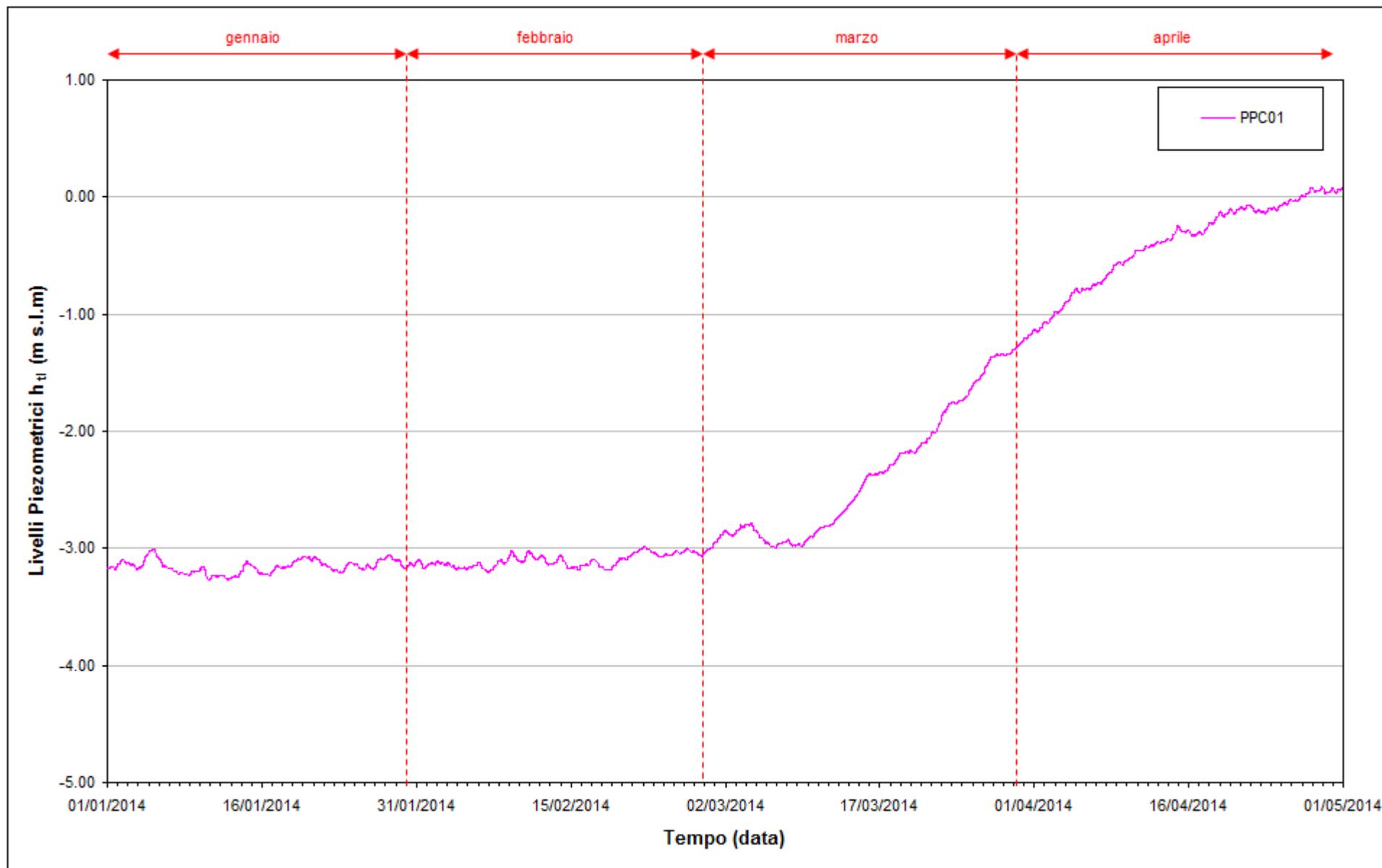
I dati riportati in Fig. 2.10 si riferiscono ai livelli piezometrici assoluti misurati in corrispondenza del piezometro profondo PPC01 nel periodo febbraio - marzo 2007 (Fase A).

### **2.4.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_H$**

I dati riportati in Fig. 2.11 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio gennaio - aprile 2014, durante il quale si osserva un forte incremento dei carichi idraulici (circa 325 cm) avvenuto a partire dal 10/03/14, quando è stato interrotto il pompaggio di dewatering della tura di prefabbricazione dei cassoni d'alloggiamento delle barriere mobili (fonte: comunicazione Consorzio Venezia Nuova).

Rispetto alla situazione *ante operam* (Fig. 2.10) il carico idraulico è ancora leggermente inferiore, con differenze di circa 35 cm: si attende tuttavia per i prossimi mesi un ulteriore recupero dei livelli di falda profonda in seguito all'interruzione del pompaggio nella tura.

Fig. 2.10- Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo durante la Fase A.

Fig. 2.11 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo nel periodo di monitoraggio 01/01/2014 - 30/04/2014.

### 2.4.3 Effetti mareali e antropici

In Fig. 2.12 è possibile confrontare i tracciati di misura del trasduttore posizionato in corrispondenza del piezometro PPC01 con le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia.

In seguito all'infissione dei palancoati perimetrali della tura, avvenuta nel mese di gennaio 2008, anche nell'acquifero profondo sono scomparse le oscillazioni di livello indotte dalle maree.

In Fig. 2.13 è riportato il confronto tra i quadrimestri gennaio - aprile, dal 2007 al 2014. Nei mesi di gennaio - febbraio 2014, si osserva che i livelli di falda profonda sono in linea con i valori registrati negli anni precedenti (2011, 2012, 2013) e superiori di circa 170÷190 cm rispetto ai valori del 2009 e 2010. La variazione osservata è conseguenza della riduzione delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering (vedi Cap. 1.1).

Nel bimestre marzo - aprile 2014, invece, si osserva un incremento del carico idraulico di circa 325 cm, dovuto all'interruzione del pompaggio di dewatering avvenuto in data 10/03/14 (fonte: comunicazione Consorzio Venezia Nuova). I livelli di falda profonda si stanno quindi riportando sui valori registrati nella situazione *ante operam*, rispetto ai quali risultavano, a fine periodo monitorato (30/04/14), inferiori di circa 35 cm. Si attende tuttavia un ulteriore recupero nei prossimi mesi, fino al ripristino dei carichi idraulici medi preesistenti, con una possibile riduzione dell'ampiezza delle oscillazioni mareali rispetto alla situazione *ante operam*, dovuta all'installazione del diaframma impermeabile della tura avvenuta nel mese di gennaio 2008.

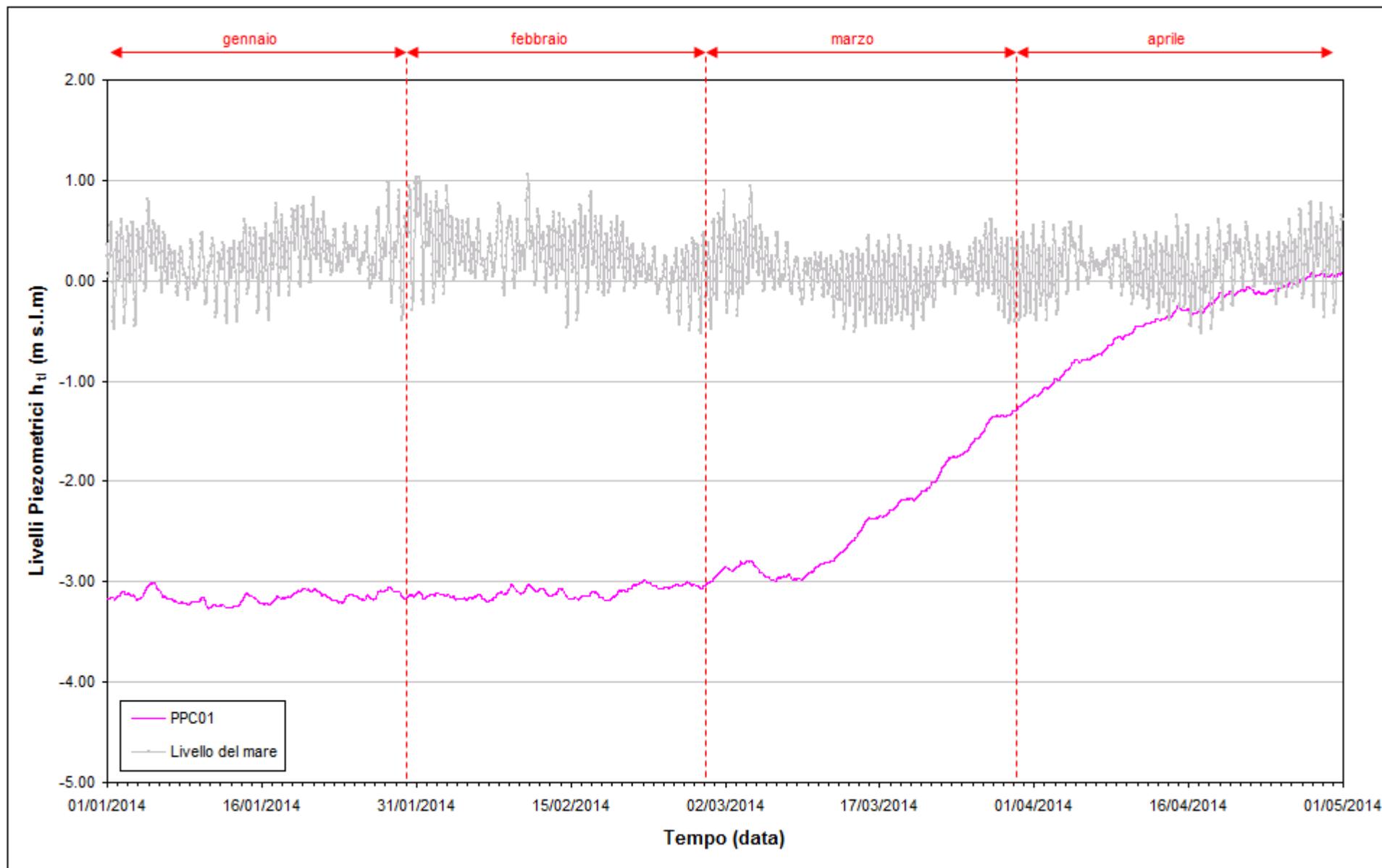


Fig. 2.12 - Livelli piezometrici del piezometro profondo PPC01 e livelli del mare nel periodo di monitoraggio 01/01/2014 - 30/04/2014.

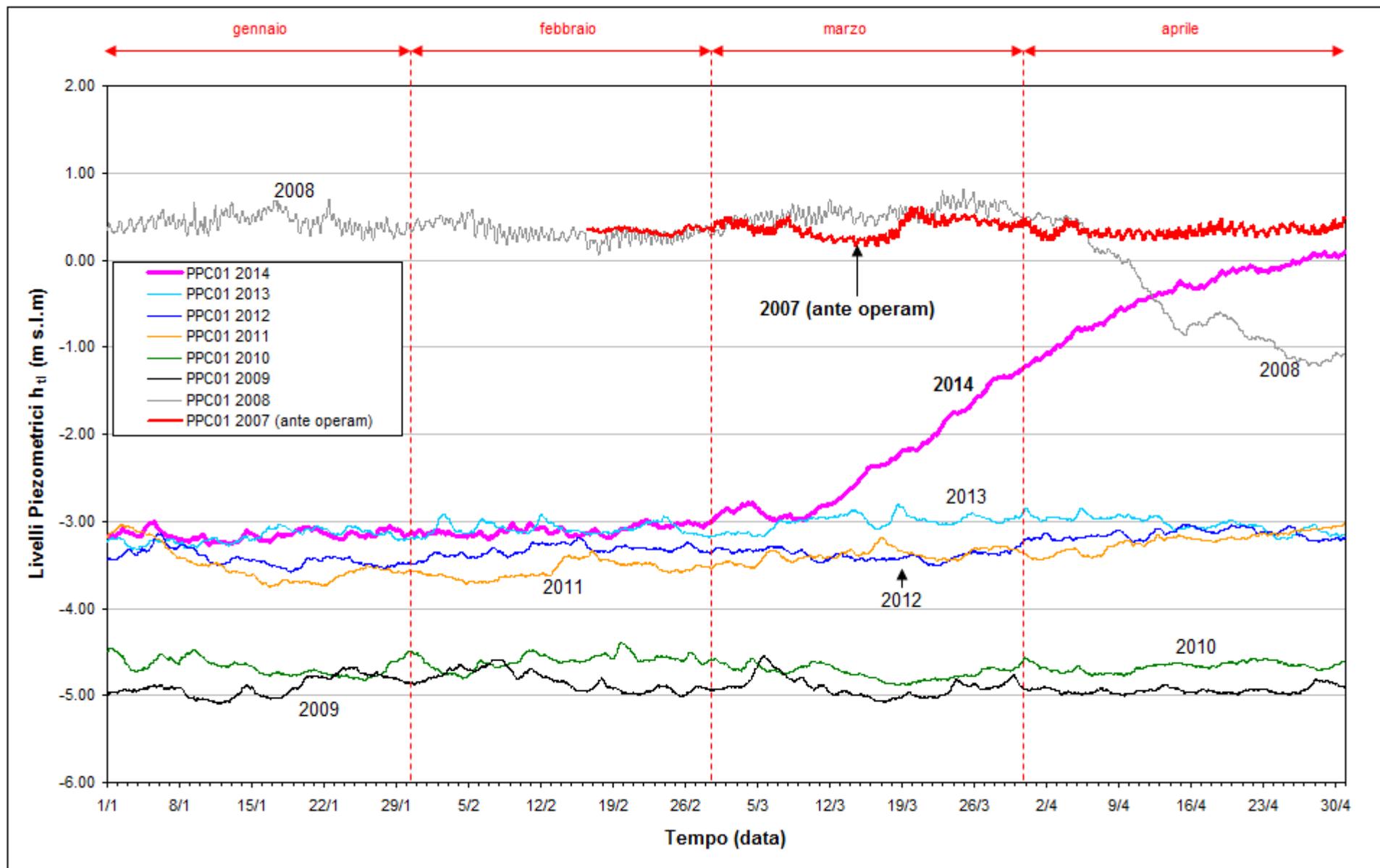


Fig. 2.13 - Confronto tra i livelli piezometrici ( $h_u$ ) nel piezometro PPC01 nel periodo gennaio - aprile degli anni 2007÷2014.

### **3. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE**

Nel corso dei sopralluoghi effettuati durante i quattro mesi di monitoraggio è stata controllata la funzionalità e l'efficienza della strumentazione installata.

I dati relativi al piezometro PSC01 nei periodi 10/01/14 - 07/02/14 e 03/03/14 - 21/03/14 non sono disponibili a causa di problemi tecnici al trasduttore di misura del livello piezometrico, che è stato sostituito in data 07/02/14.

## 4. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA

### 4.1 Il calcolo della densità dell'acqua

Allo scopo di elaborare dei profili di densità lungo le verticali dei piezometri PSC01 e PPC01, è stata elaborata una correlazione tra conduttanza specifica e densità, che permetta di utilizzare i dati acquisiti durante le acquisizioni in campo tramite sonda Solinst TLC. Il procedimento è analogo a quello sviluppato per i dati provenienti dai rilievi in località Punta Sabbioni (per ulteriori informazioni si rimanda al I Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/2).

L'algoritmo utilizzato per i le elaborazioni dei dati provenienti da Ca'Roman il seguente:

$$\begin{aligned} \rho(T, C) &= \rho(T, C_{20} = 0) + \rho(T = 20, C_{20}) - \rho_0 = \\ &= a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4 + fT^5 + gT^6 + 4.93511 \cdot 10^{-4} \cdot C_{25} \frac{1 + r \cdot (T - 25)}{1 + r \cdot (T - 20)} \quad (2) \end{aligned}$$

dove:

$$\begin{aligned} a &= 9.998396 \cdot 10^2, b = 6.764771 \cdot 10^{-2}, c = -8.993699 \cdot 10^{-3}, d = 9.143518 \cdot 10^{-5}, \\ e &= -8.907391 \cdot 10^{-7}, f = 5.291959 \cdot 10^{-9}, g = -1.359813 \cdot 10^{-11} \quad (\text{Perrochet, 1996}). \end{aligned}$$

#### 4.1.1 Profili verticali di densità

Mediante la formula (2) è possibile ricostruire i profili verticali di densità, a partire dalla temperatura dell'acqua e della conduttanza specifica misurate durante i sopralluoghi mensili. Nelle figure che seguono sono evidenziate (con un tratto più spesso) le posizioni della finestratura del piezometro profondo.

Dall'analisi dei profili (Figg. 4.1÷4.4) si può notare che il piezometro profondo presenta una distribuzione quasi omogenea di densità lungo la verticale, mentre il piezometro superficiale manifesta un incremento di densità lungo la verticale.

Tra l'inizio e la fine del quadrimestre monitorato (gennaio - aprile 2014) si osserva un forte incremento della conducibilità elettrica dell'acqua di falda, sia nel piezometro profondo (PPC01) che in quello superficiale (PSC01). Tale incremento è stato osservato nei sopralluoghi del 03/03/14 e del 07/04/14, ed è quindi avvenuto perlopiù nei mesi di febbraio e marzo 2014. Per il piezometro superficiale PSC01, tale variazione è attribuibile alla riduzione del livello di falda rispetto ai picchi raggiunti a inizio febbraio 2014, con una conseguente riduzione della diluizione dei sali disciolti nell'acqua di falda.

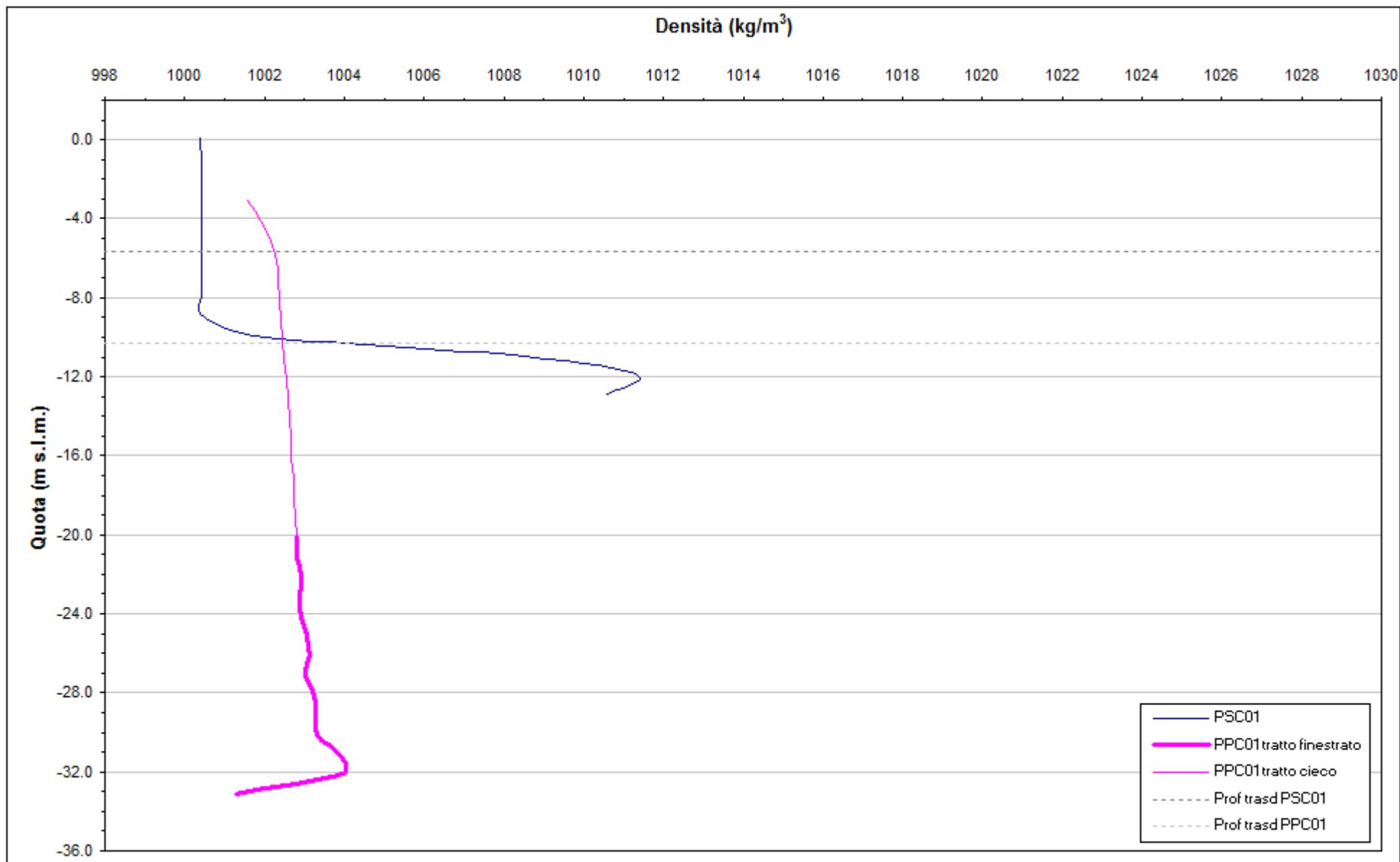


Fig. 4.1 Profili verticali di densità - 08/02/2014.

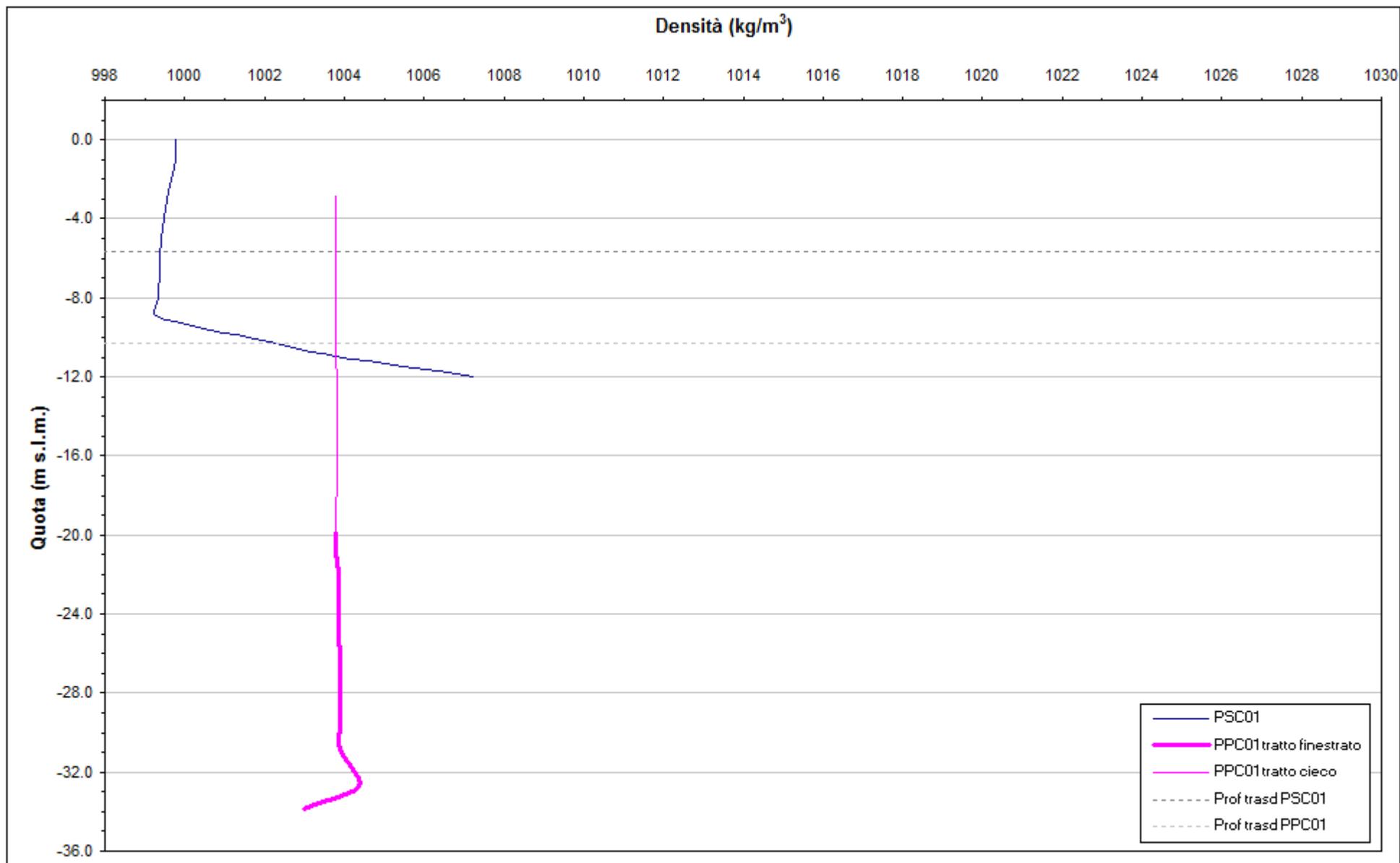


Fig. 4.2 - Profili verticali di densità - 03/03/2014.

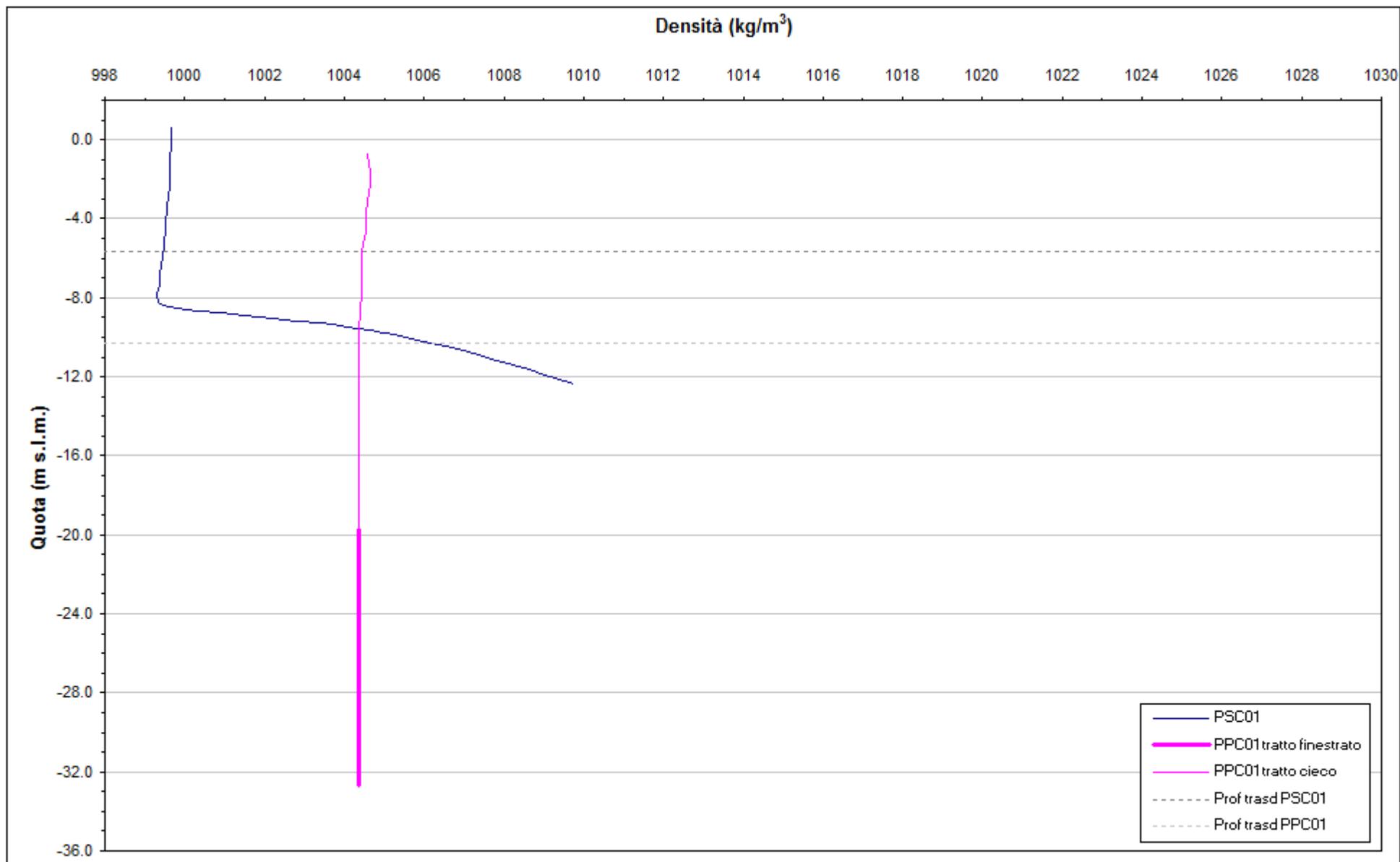


Fig. 4.3 - Profili verticali di densità - 07/04/2014.

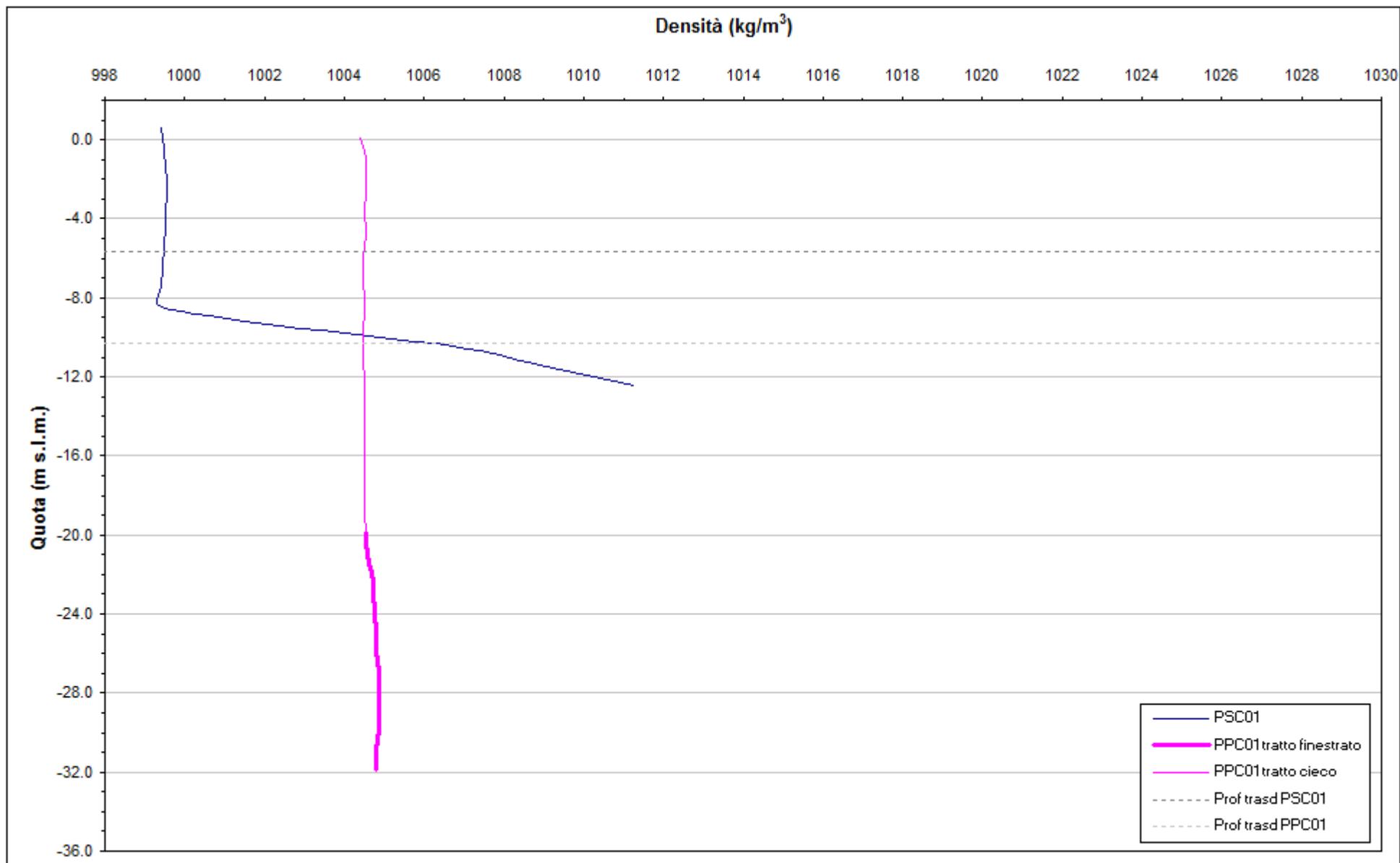


Fig. 4.4.- Profili verticali di densità - 07/05/2014.

## 5. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE

Le soglie identificate nel “Rapporto di Variabilità Attesa” (Studio B.6.72 B/2, marzo 2007) prendono in considerazione eventi quali il basso o l’alto livello piezometrico, valutati sui valori istantanei dei carichi idraulici e sui valori mediati su 24 ore, come definito dalle seguenti relazioni (vedasi Tab. 5.1):

- BLI, soglia di basso livello istantaneo: è raggiunta quando il livello piezometrico in corrispondenza di un piezometro di monitoraggio si trova almeno un metro al di sotto del livello del mare, secondo la relazione:  $h_{ul} < h_M - 1$  (m s.l.m.)
- BLM, soglia di basso livello medio su 24 h: è raggiunta quando il livello piezometrico in corrispondenza di un piezometro di monitoraggio, mediato sulle 24 h, si trova almeno un metro al di sotto del livello del mare mediato sulle 24 h, secondo la relazione:  $\bar{h}_{ul,24} < \bar{h}_{M,24} - 1$  (m s.l.m.)
- ALI, soglia di alto livello istantaneo: è raggiunta quando il livello piezometrico in corrispondenza di un piezometro di monitoraggio si trova al di sopra del punto di riferimento delle quote:  $h_{ul} > z_t$  (m s.l.m.)
- ALM, soglia di alto livello medio su 24 h: è raggiunta quando il livello piezometrico in corrispondenza di un piezometro di monitoraggio, mediato sulle 24 h, si trova al di sopra del punto di riferimento delle quote:  $\bar{h}_{ul,24} > z_t$  (m s.l.m.).

Tab. 5.1- Identificazione preliminare delle soglie ed azioni correttive.

| Sigla       | BLI                      |           |          | BLM                                    |  |  |
|-------------|--------------------------|-----------|----------|--|--|--|
| Evento      | Basso livello istantaneo |           |          | Basso livello medio (24 h)             |  |  |
| Espressione | $h_{ul} < h_M - 1$       |           |          | $\bar{h}_{ul,24} < \bar{h}_{M,24} - 1$ |  |  |
| Causa       | Naturale                 | Antropica |          | Naturale                               | Antropica                                  |  |
|             |                          | Varia     | Cantiere |  | Varia                                      | Cantiere   |
| Azione      | -                        | Avviso    | Avviso   | -                                      | Accertare la presenza di pozzi in funzione | Valutare riduzione pompaggio ed efficienza impermeabilizzazione tura |

| Sigla       | ALI                     |   |   | ALM                       |   |   |
|-------------|-------------------------|---|---|---------------------------|---|---|
| Evento      | Alto livello istantaneo |   |   | Alto livello medio (24 h) |   |   |
| Espressione | $h_{ul} > z_t$          |   |   | $\bar{h}_{ul,24} > z_t$   |   |   |
| Causa       | Naturale                | Antropica   |   | Naturale                  | Antropica   |   |
|             |                         | Varia   | Cantiere  |                           | Varia   | Cantiere  |
| Azione      | -                       | Valutare affidabilità dati Barologger e Levelogger Avviso | Valutare affidabilità dati Barologger e Levelogger Avviso | -                         | Valutare affidabilità dati Barologger e Levelogger Avviso | Valutare affidabilità dati Barologger e Levelogger Avviso |

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE LAGUNARI

Durante il periodo di monitoraggio (gennaio – aprile 2014) è stato verificato il rispetto delle soglie di Alto e Basso Livello riportate in Tab. 5.1:

- la soglia di Alto Livello Istantaneo e Medio è stata rispettata nei piezometri PSC01 (Fig. 5.1) e PPC01 (Fig. 5.2);
- le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate nel piezometro superficiale PSC01 (Fig. 5.1);
- le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono state superate nel piezometro profondo PPC01, nel periodo 01/01/14 - 05/04/14, a causa del pompaggio di dewatering, che è stato interrotto in data 10/03/14 (fonte: comunicazione Consorzio Venezia Nuova). A partire dal 06/04/14, le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono rispettate anche nel piezometro profondo PPC01, pertanto l'allarme per il loro superamento, attivato nel mese di maggio 2008 in seguito con l'avvio del pompaggio, può considerarsi chiuso.

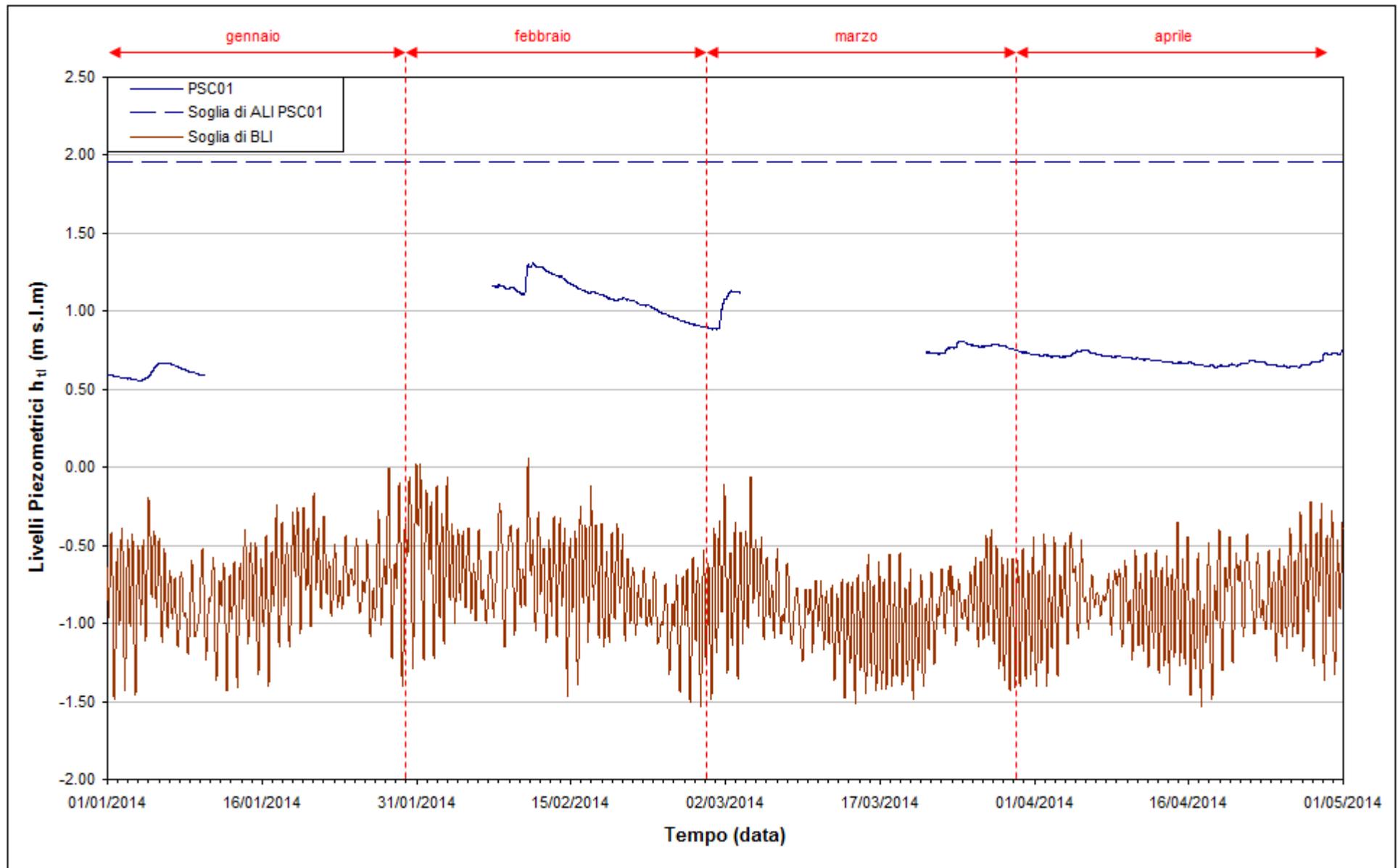


Fig. 5.1.- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro superficiale PSC01.

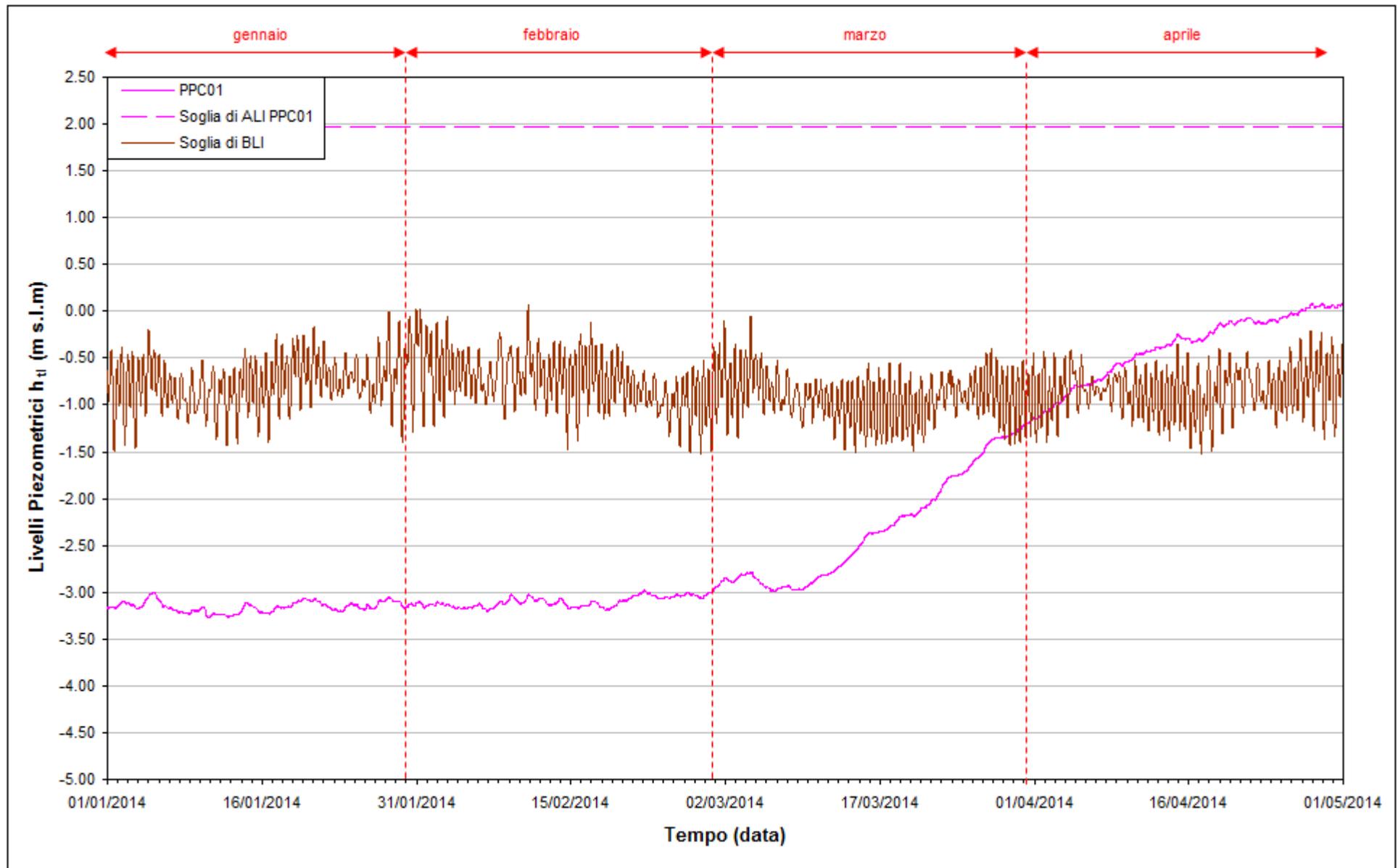


Fig. 5.2.- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro profondo PPC01.

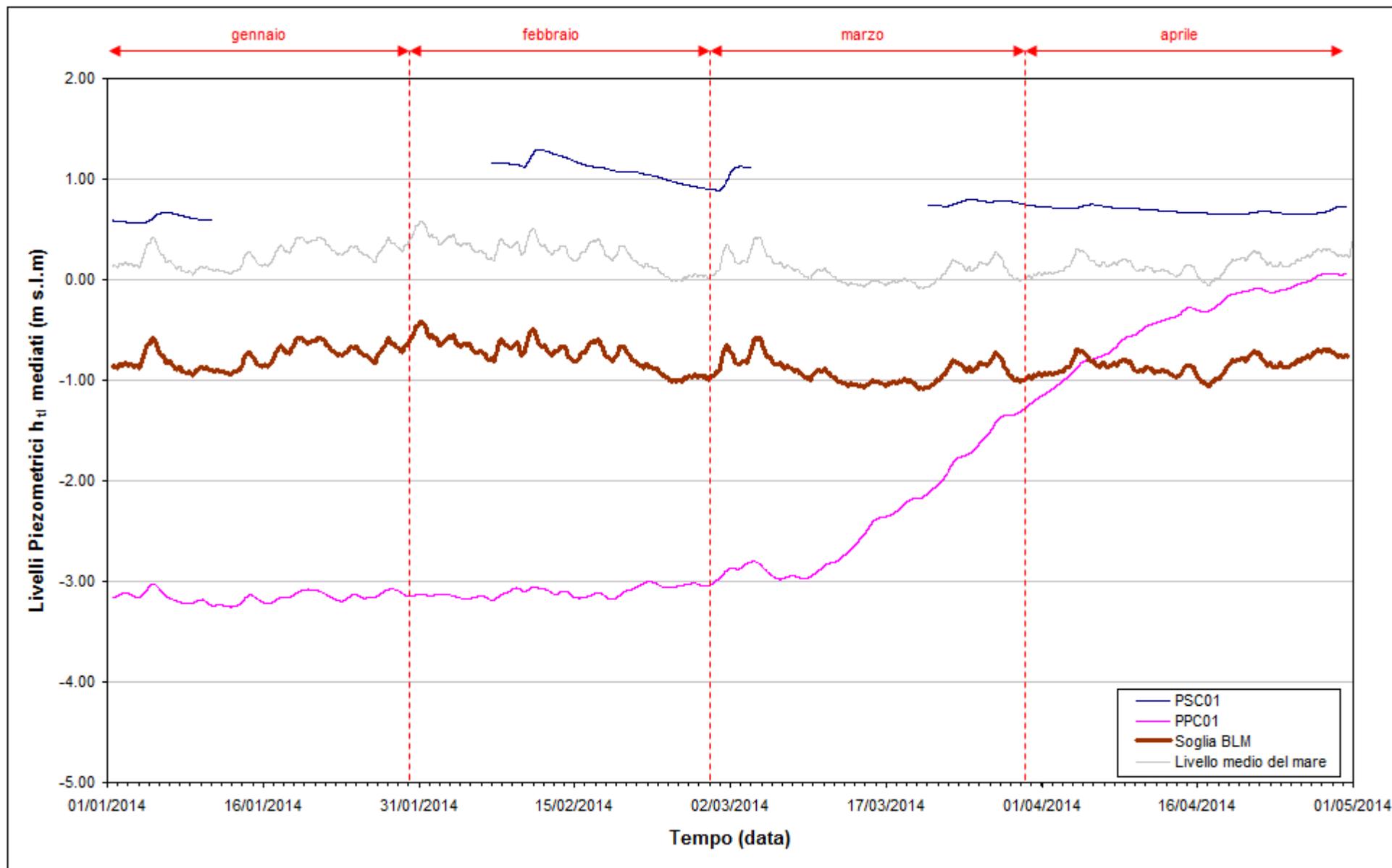


Fig. 5.3.- Soglia di Basso Livello Medio per i piezometri PSC01 e PPC01.

## 6. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/01/2014 e il 30/04/2014, sono stati valutati gli andamenti dei livelli piezometrici all'interno del primo e secondo livello acquifero. Sono inoltre state analizzate le influenze delle forzanti naturali ed antropiche agenti sul sistema dinamico ed è stato effettuato uno studio sulla variazione spazio-temporale della densità dell'acqua di falda.

Diversamente da quanto osservato durante la fase A, a seguito del completamento della cinturazione della tura i livelli registrati nel piezometro superficiale PSC01 e nel piezometro profondo PPC01 non risentono più delle oscillazioni mareali.

Tra l'inizio e la fine del periodo di monitoraggio (01/01/14 - 30/04/14) si osserva un incremento del livello nel piezometro superficiale PSC01 pari a circa 15 cm e attribuibile alle intense precipitazioni registrate (totale 430.4 mm, a fronte di una media di 200.6 mm nel quadrimestre gennaio - aprile negli anni 1992÷2013. Fonte: stazione meteorologica "Chioggia loc. Sant'anna" gestita da ARPA Veneto).

Nel piezometro profondo PPC01, invece, si osserva un forte incremento del carico idraulico (325 cm circa), avvenuto in seguito all'interruzione del pompaggio di dewatering in data 10/03/14 (fonte: comunicazione Consorzio Venezia Nuova). Alla fine del periodo monitorato (30/04/14) il carico idraulico è ancora inferiore rispetto alla situazione *ante operam*, con uno scarto di circa 35 cm: si ipotizza comunque che nei prossimi mesi avverrà un ulteriore recupero dei livelli in seguito all'interruzione del pompaggio nella tura.

Tra l'inizio e la fine del quadrimestre monitorato (gennaio - aprile 2014) si osserva un forte incremento della conducibilità elettrica dell'acqua di falda, sia nel piezometro profondo (PPC01) che in quello superficiale (PSC01). Tale incremento è stato osservato nei sopralluoghi del 03/03/14 e del 07/04/14 e, per il piezometro superficiale PSC01, è attribuibile alla riduzione del livello di falda rispetto ai picchi raggiunti a inizio febbraio 2014.

Le soglie di Alto Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate, per tutto il periodo monitorato (01/01/14 - 30/04/14), in entrambi i piezometri. Per quanto riguarda il piezometro superficiale PSC01, le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate durante l'intero quadrimestre.

Le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono state superate nel piezometro profondo PPC01, nel periodo 01/01/14 - 05/04/14, a causa del pompaggio di dewatering, che è stato interrotto in data 10/03/14. In seguito alla risalita dei carichi idraulici avvenuta da allora, a partire dal 06/04/14 le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono rispettate anche nel piezometro profondo PPC01; pertanto l'allarme per il loro superamento, attivato nel mese di maggio 2008 in seguito con l'avvio del pompaggio, può considerarsi chiuso.