



Consorzio per la Gestione del Centro  
di Coordinamento delle Attività di Ricerca  
inerenti il 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/6**

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

Contratto n. 102000953

Documento **MACROATTIVITÀ: LIVELLI DI FALDA  
III RAPPORTO DI VALUTAZIONE  
PERIODO DI RIFERIMENTO: DA GENNAIO AD  
APRILE 2011**

Versione **2.0**

Emissione **24 Maggio 2011**

Redazione

Verifica

Verifica

Approvazione

Ing. Alessandro Casasso  
(POLITECNICO TORINO)

Ing. Rajandrea Sethi  
(POLITECNICO TORINO)

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta Ing. Pierpaolo Campostrini

## Indice

<b>PARTE PRIMA: MONITORAGGIO CANTIERE DI PUNTA SABBIONI.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
1.1 Descrizione delle attività di cantiere aventi impatto sulla matrice falda .....	6
1.2 Descrizione della rete e delle attività di monitoraggio .....	7
<b>2. ANALISI DEI DATI .....</b>	<b>8</b>
2.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello .....	9
2.2 Descrizione delle forzanti naturali.....	10
<b>2.2.1</b> Precipitazioni.....	10
<b>2.2.2</b> Livello del mare.....	12
<b>2.2.3</b> Pressione atmosferica - $h_b$ .....	14
2.3 Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A) .....	16
<b>2.3.1</b> Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ .....	16
<b>2.3.2</b> Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione .....	18
<b>2.3.3</b> Effetti delle oscillazioni mareali.....	22
2.4 Piezometri profondi – secondo livello acquifero (Strato C) .....	24
<b>2.4.1</b> Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ .....	24
<b>2.4.2</b> Effetti mareali .....	26
<b>2.4.3</b> Effetti barometrici .....	28
<b>2.4.4</b> Effetti antropici.....	30
<b>3. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE.....</b>	<b>33</b>
<b>4. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA .....</b>	<b>34</b>
4.1 Il calcolo della densità dell'acqua .....	34
<b>4.1.1</b> Profili verticali di densità.....	34
<b>5. STUDIO PIEZOMETRICO .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1.1</b> Piezometria superficiale.....	45
<b>5.1.2</b> Piezometria profonda.....	51
<b>6. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE.....</b>	<b>57</b>
6.1 Misure di mitigazione.....	58
<b>7. CONCLUSIONI.....</b>	<b>67</b>
<b>PARTE SECONDA: MONITORAGGIO CANTIERE DI CA' ROMAN.....</b>	<b>68</b>
<b>8. INTRODUZIONE .....</b>	<b>69</b>
8.1 Descrizione delle attività di cantiere aventi impatto sulla matrice falda .....	69
<b>9. ANALISI DEI DATI .....</b>	<b>70</b>
9.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello .....	71

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

9.2	Descrizione delle forzanti naturali.....	71
9.2.1	Precipitazioni.....	71
9.2.2	Livello del mare.....	73
9.2.3	Pressione atmosferica - $h_b$ .....	75
9.3	Piezometro superficiale – primo livello acquifero (Strato A).....	77
9.3.1	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ (Fase A).....	77
9.3.2	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ .....	77
9.3.3	Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione.....	80
9.4	Piezometro profondo – secondo livello acquifero (Strato C).....	83
9.4.1	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ (Fase A).....	83
9.4.2	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ .....	83
9.4.3	Effetti mareali e antropici.....	86
10.	<b>CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE.....</b>	<b>89</b>
11.	<b>ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA .....</b>	<b>90</b>
11.1	Il calcolo della densità dell'acqua .....	90
11.1.1	Profili verticali di densità.....	90
12.	<b>VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE.....</b>	<b>95</b>
12.1	Misure di mitigazione.....	96
13.	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>100</b>

**PARTE PRIMA:  
MONITORAGGIO CANTIERE  
DI PUNTA SABBIONI**

## 1. INTRODUZIONE

La prima parte di questo documento descrive l'analisi dei dati derivanti dal quadrimestre di monitoraggio comprendente il periodo 1 gennaio 2011 - 30 aprile 2011, relativi all'osservazione degli effetti delle attività del cantiere alla Bocca di Lido-Treporti sui due livelli acquiferi, come previsto dal Disciplinare Tecnico (Studio B.6.72 B/6 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2009) ed illustrato nel "Rapporto di Pianificazione Operativa" (Studio B 6.72 B/1).

Nel presente rapporto sono riportati i tracciati relativi ai livelli piezometrici in corrispondenza delle 11 postazioni doppie (P01÷11) e delle 3 postazioni singole (P12,13,14) di monitoraggio. I dati registrati sono stati, quindi, messi in relazione alle forzanti naturali (precipitazioni, oscillazioni mareali e pressione atmosferica) che concorrono alla determinazione dei livelli piezometrici in corrispondenza 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 risultati delle analisi di densità elaborati a partire dai profili di conduttanza specifica lungo la verticale di ogni piezometro.

Di seguito si dà una breve descrizione delle attività di cantiere aventi impatto sulla matrice falda, delle attività di monitoraggio effettuate e della loro frequenza.

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

La realizzazione del porto rifugio di Treporti 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 di circa 50000 m<sup>2</sup> posta alla quota di -8.70 m s.l.m. e attualmente 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, realizzato tra marzo e ottobre 2006, e da palancoati lato mare) e l'installazione di un sistema di pozzi e pompe per il *dewatering* (Fig.1.1). Il pompaggio è attivo dal mese di gennaio 2007 e l'aggottamento della tura è stato completato nel mese di giugno 2007. Il pompaggio di *dewatering* è tuttora in corso al fine di mantenere i livelli di falda al di sotto del fondo della tura.

Nel quadrimestre di monitoraggio non sono stati resi disponibili i dati relativi ai livelli ed alle portate di emungimento in corrispondenza della tura.

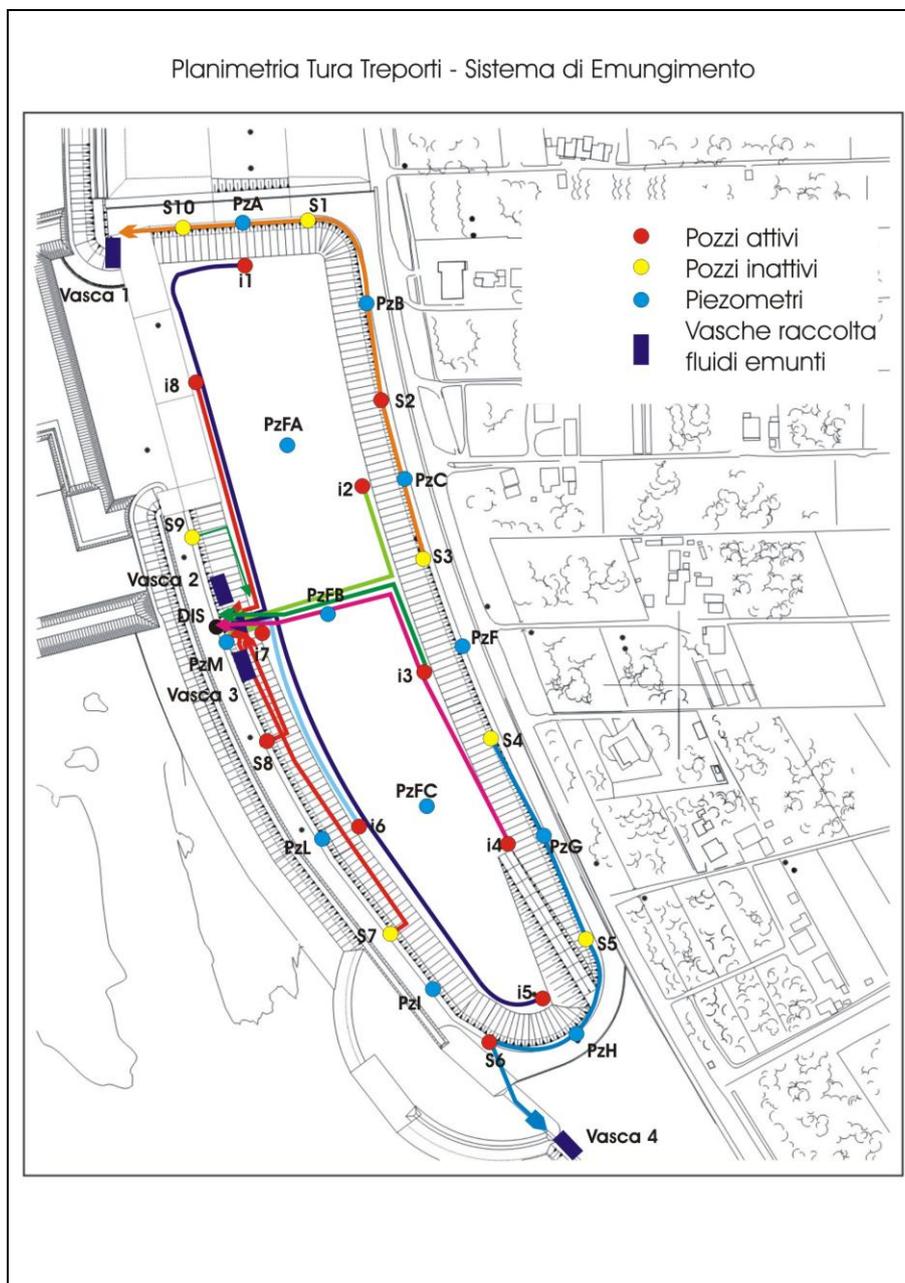


Fig. 1.1 - Planimetria del sistema di *dewatering* della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

## 1.2 Descrizione della rete e delle attività di monitoraggio

La rete di monitoraggio installata nel mese di luglio 2005 è composta da 11 postazioni doppie di monitoraggio (piezometro superficiale e profondo) per la misura dei livelli di falda nell'acquifero superficiale (denominato strato A) e nel sottostante livello acquifero in pressione (strato C); i due corpi idrici sotterranei sono intervallati da un livello argilloso (strato B). La descrizione dettagliata della rete di monitoraggio è contenuta nel "Rapporto di Pianificazione Operativa" (Studio B.6.72 B/1, Dicembre 2005). Nel mese di novembre 2008 la rete è stata integrata con 3 nuovi piezometri profondi al fine di ricostruire con miglior precisione gli effetti del pompaggio di cantiere (Studio B.6.72 B/4, II Rapporto di Valutazione, Dicembre 2008).

Ciascun piezometro è dotato di un trasduttore automatico di pressione per la misura dei livelli di falda, posto a circa 7.5 m dal piano campagna, con frequenza di acquisizione oraria. Sono installati anche due trasduttori di pressione dell'aria per la compensazione barometrica dei carichi misurati in falda.

I dati acquisiti dai trasduttori vengono scaricati nel corso di sopralluoghi mensili, durante i quali si effettuano misure della conduttanza elettrica specifica dell'acqua di falda lungo la verticale all'interno dei piezometri superficiali PS01÷11 e PP01÷11, con l'utilizzo di una sonda manuale, al fine di ricavare, tramite relazioni empiriche, i profili verticali della densità dell'acqua (Studio B.6.72 B/2, II Rapporto di Valutazione, Febbraio 2007).

Il monitoraggio della falda, iniziato nell'ottobre 2005, è stato condotto in parallelo all'esecuzione delle attività di la realizzazione della tura al fine di monitorare gli eventuali effetti sui livelli di falda. In Tab. 1.1 sono riassunte le attività di monitoraggio di falda attualmente svolte a Punta Sabbioni.

Tab. 1.1 - Riassunto delle attività di monitoraggio di falda presso il cantiere di Punta Sabbioni.

Parametro	Punto di monitoraggio		Frequenza di acquisizione	Scaricamento
Carico idraulico non compensato	Postazioni P01-P14	Postazioni superficiali PS01-PS11	1 ora	Mensile
Carico idraulico non compensato		Postazioni profonde PP01-PP14	1 ora	Mensile
Conduttanza specifica lungo la verticale	Postazioni Bilivello P01-P11	Postazioni superficiali PS01-PS11	Mensile	Manuale
Conduttanza specifica lungo la verticale		Postazioni profonde PP01-PP11	Mensile	Manuale
Pressione atmosferica	Postazione P03 e P10		1 ora	Mensile

## 2. ANALISI DEI DATI

In questo capitolo vengono analizzate le risposte del sistema dinamico registrate dai trasduttori di livello disposti nelle 11 postazioni doppie (P01÷11) e nelle 3 postazioni singole (P12÷14) di monitoraggio (Fig. 2.1 e Tab. 2.1) nel periodo compreso tra il 01/01/2011 e il 30/04/2011.

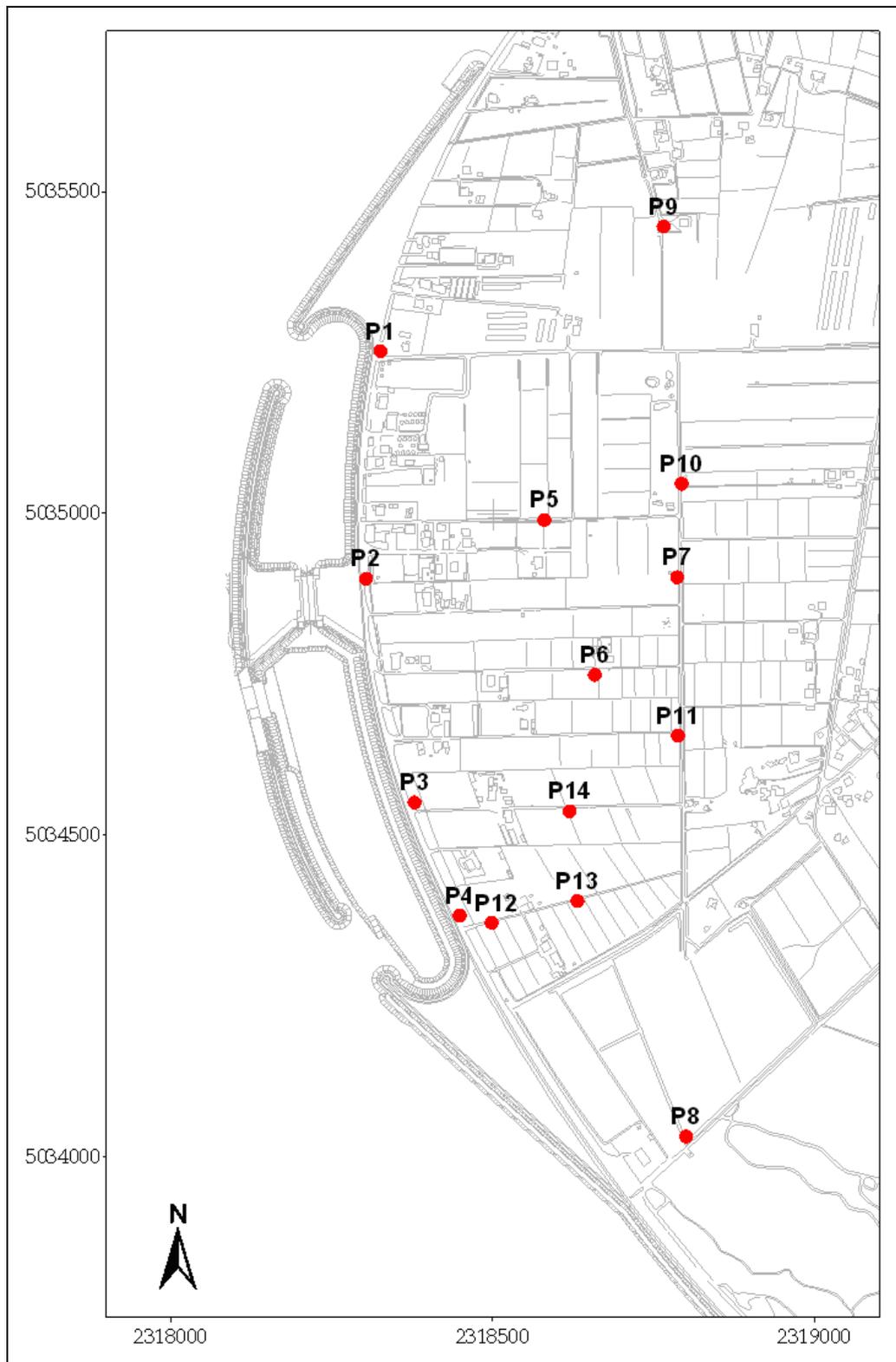


Fig. 2.1 - Ubicazione delle postazioni di monitoraggio.

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

Tabella 2.1 - Coordinate dei piezometri della rete di monitoraggio.

NOME	H geoid	N GB Fuso Est	E GB Fuso Est	N ED50 33N	E ED50 33N	N WGS84 33N	E WGS84 33N
PP01	1.801	5035252.10	2318325.44	5035423.85	298390.00	5035231.79	298321.30
PP02	1.681	5034898.36	2318303.40	5035070.12	298367.97	5034878.06	298299.27
PP03	1.431	5034550.49	2318378.37	5034722.26	298442.93	5034530.20	298374.23
PP04	1.416	5034374.67	2318448.54	5034546.44	298513.10	5034354.38	298444.40
PP05	1.718	5034989.68	2318579.81	5035161.43	298644.37	5034969.37	298575.67
PP06	1.636	5034748.80	2318658.29	5034920.56	298722.85	5034728.50	298654.15
PP07	1.318	5034900.50	2318786.12	5035072.25	298850.68	5034880.19	298781.97
PP08	0.747	5034031.14	2318800.26	5034202.91	298864.81	5034010.85	298796.11
PP09	2.255	5035445.93	2318765.07	5035617.67	298829.64	5035425.62	298760.93
PP10	2.086	5035045.83	2318793.08	5035217.58	298857.64	5035025.53	298788.93
PP11	1.149	5034652.23	2318787.28	5034823.99	298851.84	5034631.93	298783.14
PP12	1.071	5034363.43	2318498.26	5034535.18	298562.84	5034343.12	298494.15
PP13	1.169	5034397.36	2318631.11	5034569.11	298695.69	5034377.05	298627.00
PP14	1.502	5034536.86	2318619.38	5034708.61	298683.96	5034516.54	298615.27
PS01	1.790	5035253.68	2318325.88	5035425.43	298390.44	5035233.37	298321.74
PS02	1.687	5034900.48	2318303.30	5035072.24	298367.86	5034880.18	298299.17
PS03	1.459	5034552.61	2318377.62	5034724.38	298442.18	5034532.32	298373.48
PS04	1.344	5034373.27	2318449.34	5034545.04	298513.89	5034352.98	298445.20
PS05	1.816	5034989.80	2318582.01	5035161.55	298646.57	5034969.49	298577.87
PS06	1.664	5034750.84	2318658.27	5034922.60	298722.83	5034730.54	298654.13
PS07	1.403	5034898.62	2318785.95	5035070.37	298850.51	5034878.32	298781.81
PS08	0.623	5034032.43	2318799.69	5034204.20	298864.24	5034012.15	298795.55
PS09	2.248	5035448.00	2318764.67	5035619.73	298829.24	5035427.68	298760.53
PS10	2.003	5035043.94	2318792.99	5035215.69	298857.55	5035023.63	298788.85
PS11	1.086	5034654.31	2318787.40	5034826.06	298851.96	5034634.01	298783.26

## 2.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello

La risposta del sistema è misurata dal carico idraulico  $h_{tl}$ , registrato dai 25 trasduttori di livello e calcolabile mediante l'espressione (per ulteriori approfondimenti si veda "Rapporto di Pianificazione Operativa", Studio B.6.72 B/1, dicembre 2005):

$$h_{tl} = z_t - l_{cc} + h_p = z_t - l_{cc} + (h_{p-nc} - h_{cp}) - (h_b - h_{cb})$$

dove:

$z_t$  quota ortometrica assoluta del punto di riferimento;

$l_{cc}$  lunghezza cavo corretta;

$h_p$  battente idrico insistente sul trasduttore, compensato dalla pressione atmosferica;

$h_{p-nc}$  battente idrico non compensato dalla pressione atmosferica (lettura Levellogger);

$h_b$  battente idrico corrispondente alla pressione atmosferica (lettura Barologger);

$h_{cp}, h_{cb}$  coefficienti correttivi relativi al Levellogger ed al Barologger calcolati in fase di calibrazione.

## 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 dalle stazione meteorologica “MET 3000R” di Punta Sabbioni, gestita dalla “Matrice Aria e Agenti Chimici”;
- **oscillazioni mareali**, registrate dal mareografo “Diga Sud Lido”;
- **pressione atmosferica**, registrata da 2 Barologger.

### 2.2.1 *Precipitazioni*

I dati di precipitazione sono stati acquisiti dalla centralina “MET 3000R” gestita dalla Matrice Aria. In Fig. 2.2 è riportato l’andamento delle precipitazioni registrate durante i quattro mesi di monitoraggio. La Tab. 2.1 riporta gli eventi piovosi più significativi, caratterizzati da un’altezza di pioggia superiore a 5 mm.

Tab. 2.1- Eventi piovosi significativi verificatisi nel periodo di monitoraggio.

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
06-07/01/11	26	6.0
01/02/11	2	8.2
16/02/11	20	38.6
13-14/03/11	12	17.2
14-15/03/11	14	7.2
16-17/03/11	33	79
28-29/03/11	20	6.6

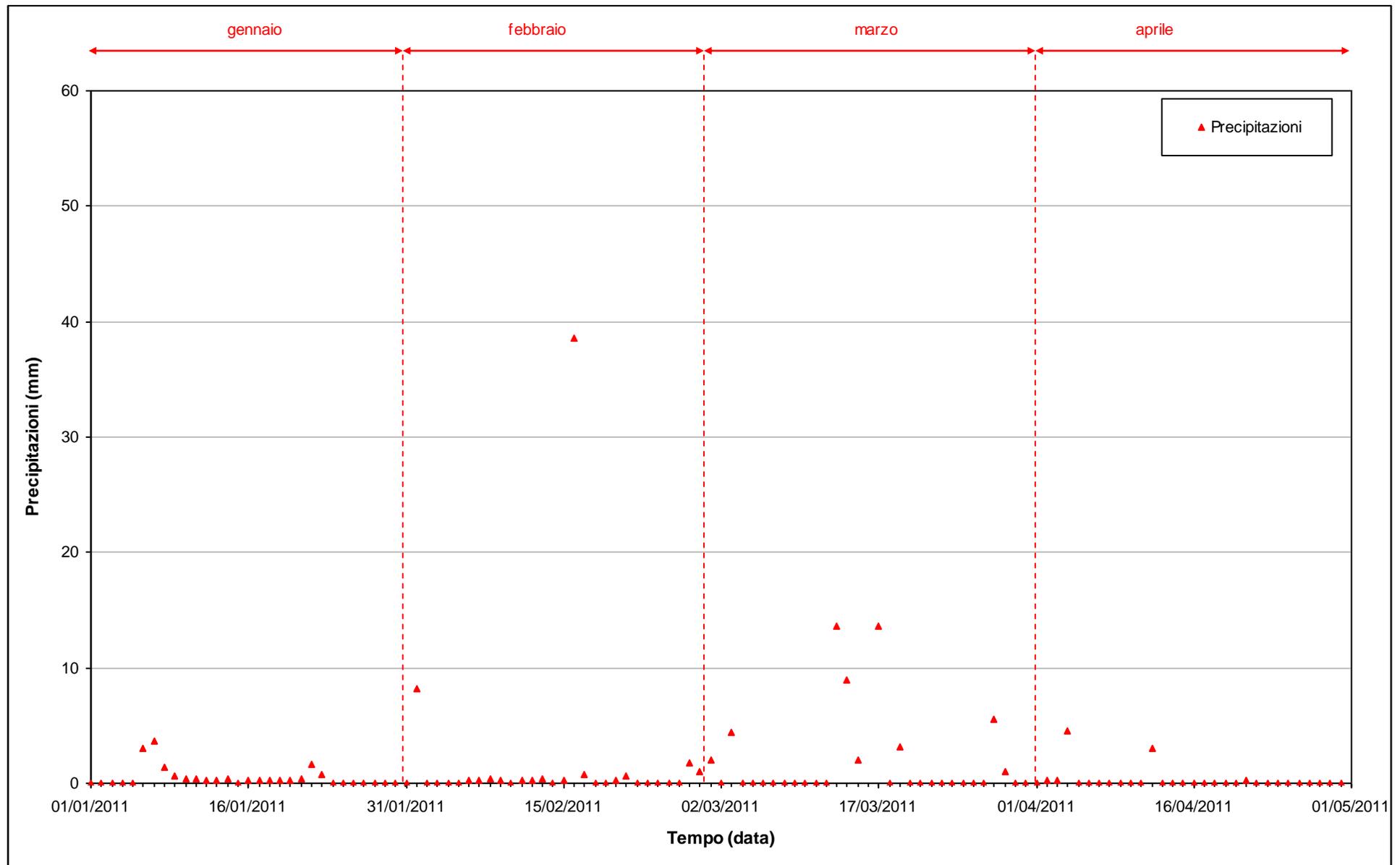


Fig. 2.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/01/2011 - 30/04/2011.

### **2.2.2** *Livello del mare*

In Allegato I è riportata la serie temporale relativa ai livelli marini ed in Fig. 2.3 è tracciato l'andamento del livello del mare registrato dal mareografo Diga Sud Lido (stazione di monitoraggio meteo-marino dell'Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree). 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.

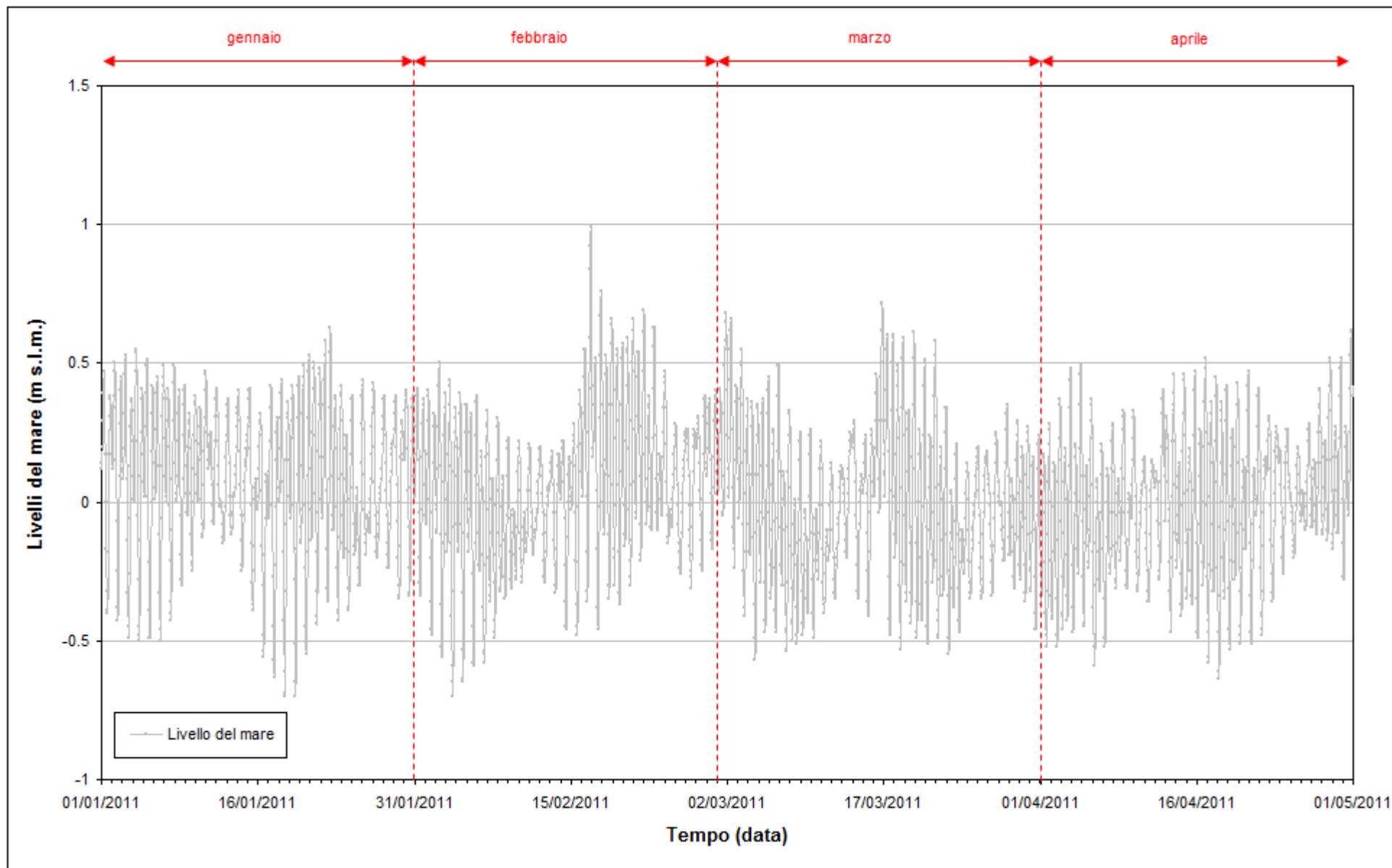


Fig. 2.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo "Diga Sud Lido". I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

### 2.2.3 *Pressione atmosferica - $h_p$*

Nell'area oggetto del monitoraggio sono presenti i Barologger B01 e B02, posizionati all'altezza del piano campagna all'interno dei due piezometri profondi PP03 e PP10. Tali trasduttori registrano la pressione atmosferica in corrispondenza di due aree: una in prossimità del Lungomare Dante Alighieri, l'altra più interna, presso Via Montegrappa (Fig. 2.4).

In Fig. 2.5 è riportato l'andamento dei tracciati di misura dei Barologger nel periodo di riferimento. Dall'analisi delle curve si può notare come le due registrazioni siano tra loro in buon accordo, presentando tuttavia uno scarto assoluto medio quantificabile in circa 4 cm. Nell'elaborazione dei dati sono state utilizzate le misure acquisite dal Barologger B02.

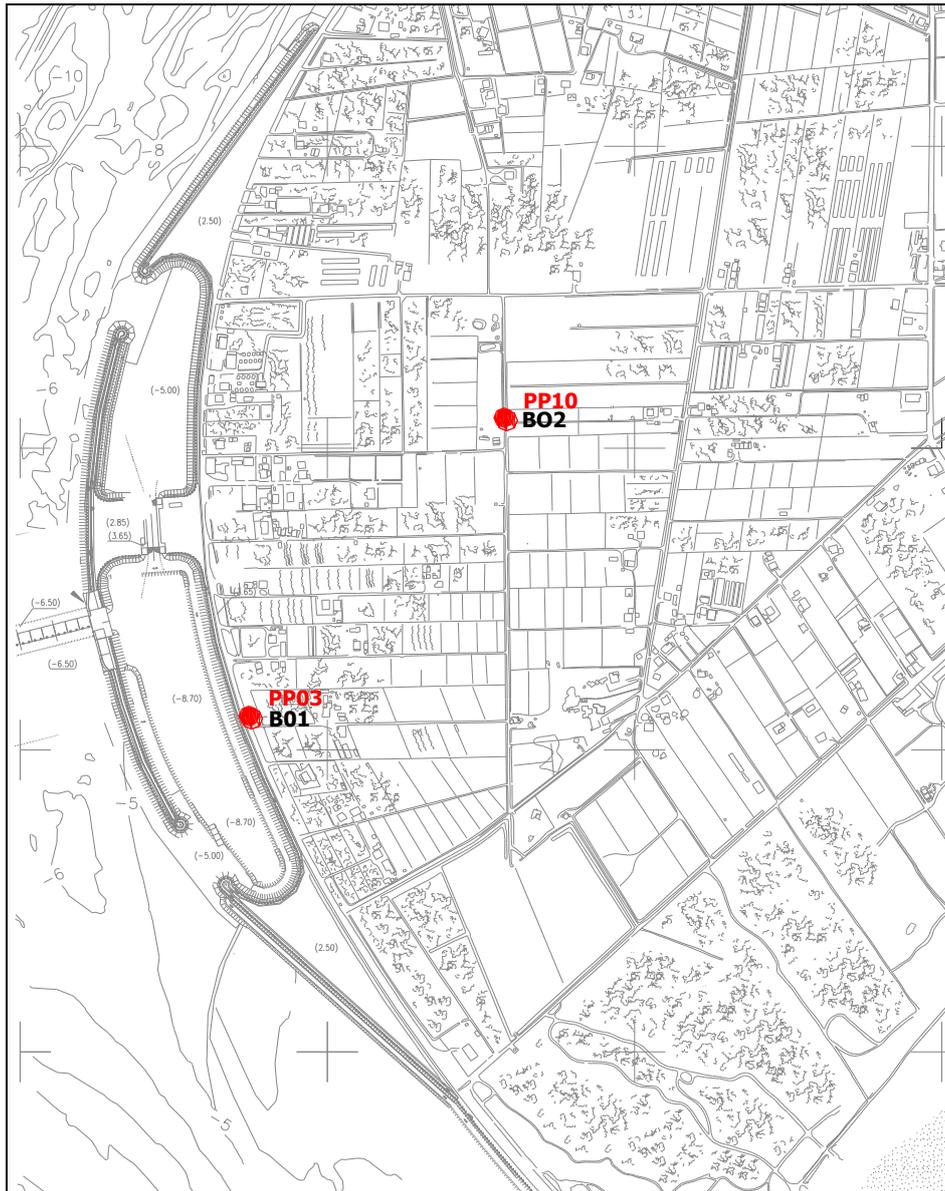
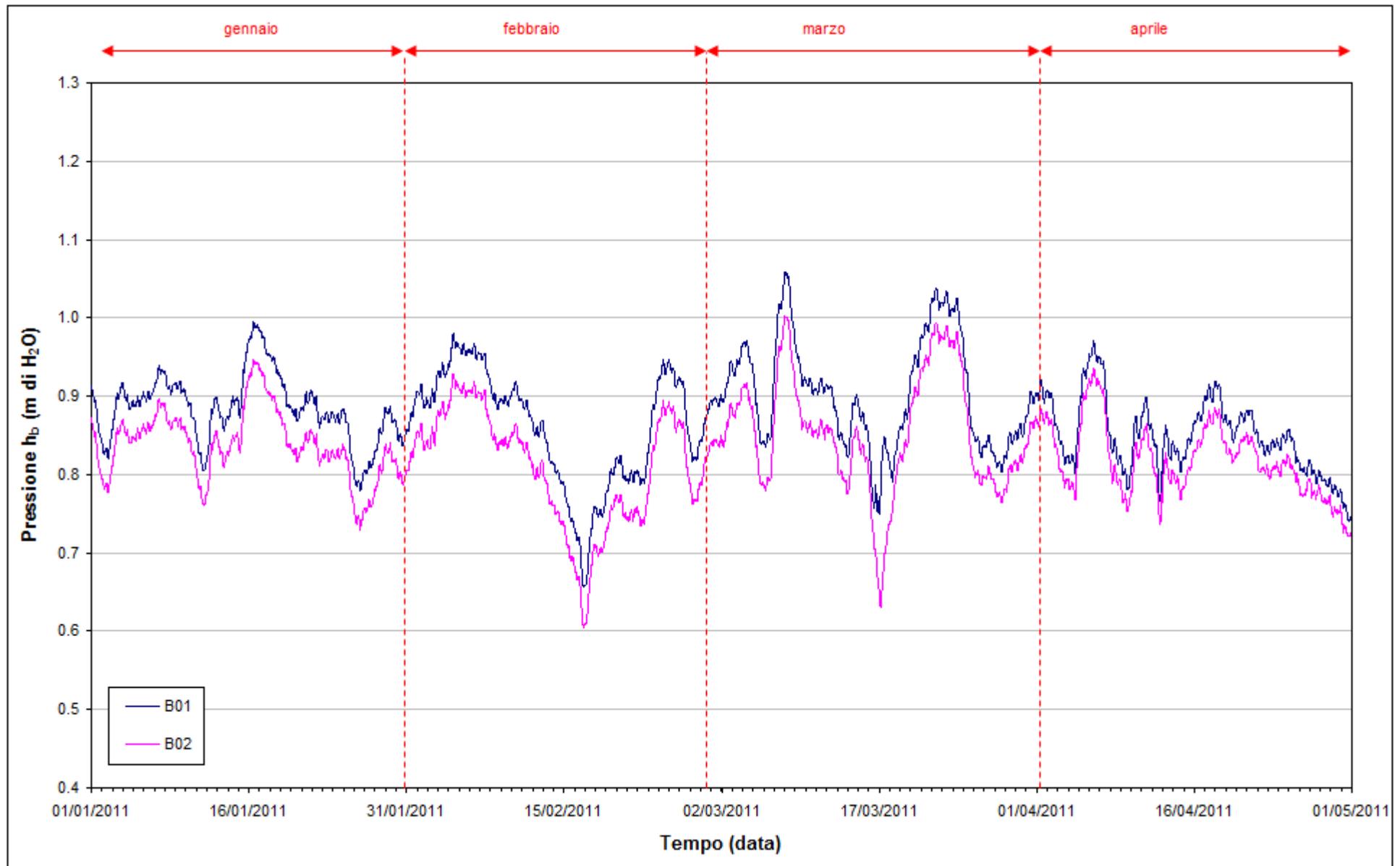


Fig. 2.4 - Ubicazione dei Barologger B01 e B02.

Fig. 2.5 - Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 ( $h_b$ ).

### **2.3 Piezometri superficiali - primo livello acquifero (Strato A)**

In questo capitolo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti degli 11 piezometri superficiali finestrati in corrispondenza del primo livello acquifero (Strato A), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

#### **2.3.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl**

I dati riportati in Fig. 2.6 sono riferiti ai quattro mesi di monitoraggio di Fase B (01/01/11 - 30/04/11).

Dall'analisi dei tracciati riportati è possibile osservare come i livelli dei piezometri superficiali siano in misura diversa sensibili alle forzanti naturali:

- i piezometri PS01 e PS02, posti sul Lungomare Dante Alighieri, sono caratterizzati da un andamento sinusoidale correlato alle dinamiche mareali;
- nei piezometri PS05, PS06, PS07, PS08, PS09, PS10 e PS11, collocati nella porzione più interna dell'area di monitoraggio e quindi più distanti dal mare, e nei piezometri PS03 e PS04 (che mostrano una dinamica simile a quella dei piezometri interni, in seguito alla costruzione del diaframma impermeabile della tura) si registra una diminuzione generale dei livelli di falda, con variazioni comprese fra 30 e 70 cm circa, dovute all'evapotraspirazione ed alle scarse precipitazioni (195.6 mm, a fronte di 294.4 mm nello stesso periodo del 2010).

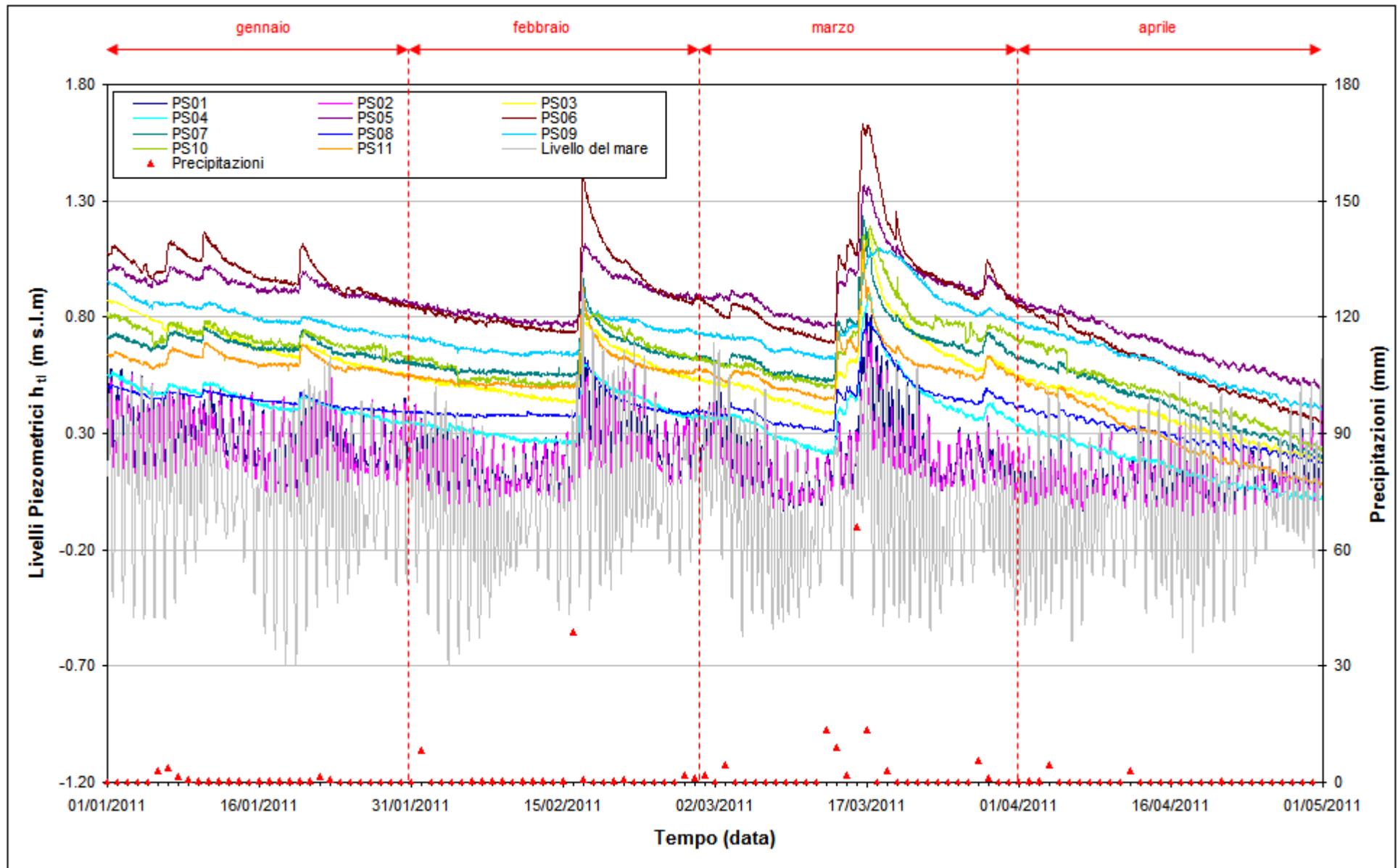


Fig. 2.6 - Livelli piezometrici ( $h_U$ ) relativi ai piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/01/2011 - 30/04/2011.

### 2.3.2 Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione

In Fig. 2.7 è visualizzato l'andamento dei livelli piezometrici in corrispondenza dei piezometri superficiali maggiormente sensibili all'infiltrazione delle piogge (i piezometri interni e i due piezometri PS03 e PS04), raffrontato con l'andamento delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione, calcolata con il metodo 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 la percentuale di ore diurne, sul totale annuale (vedi Tab. 2.2);
- c è un coefficiente (posto pari a 0.45) che tiene conto della vegetazione, dell'umidità, della velocità del vento, ecc.

Tabella 2.2-Valori di evapotraspirazione media mensile stimati con la formula di Blaney - Criddle.

Mese	T media [°C]	gg	p [%]	c	ETP [mm/d]	Precipitazioni [mm]
Gennaio	5.1	31	9.2	0.45	1.4	14.0
Febbraio	5.7	28	10.4	0.45	1.7	53.2
Marzo	9.1	31	11.9	0.45	2.1	120.2
Aprile	15.9	30	13.6	0.45	3.0	8.2
<b>TOTALE</b>	9.0 °C (media)	120 gg	-	-	247.4 mm	195.6 mm

Nel periodo monitorato (01/01/11 - 30/04/11) si registra una discesa di livello nella falda superficiale compresa tra 30 e 70 cm circa, dovuta alla forte evapotraspirazione e alle scarse precipitazioni (Tab. 2.2).

Rispetto agli anni precedenti, i livelli nel quadrimestre gennaio - aprile 2011 sono simili a quelli registrati nel 2007, superiori a quelli misurati nello stesso periodo del 2006, 2008, ed inferiori a quelli misurati nel 2009 e 2010 (Fig. 2.8 - 2.9).

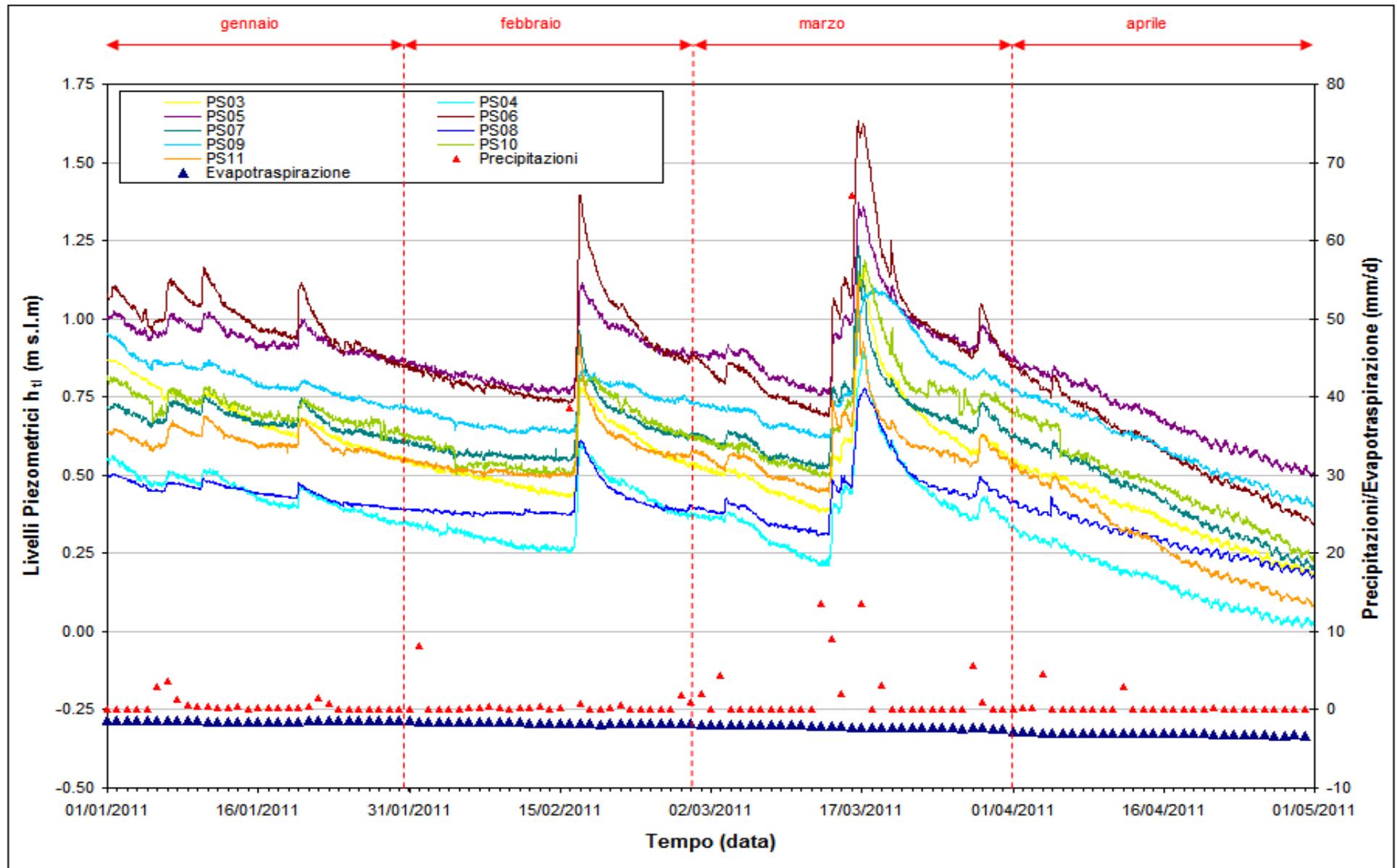


Fig. 2.7 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali maggiormente sensibili alle precipitazioni e all'evapotraspirazione.

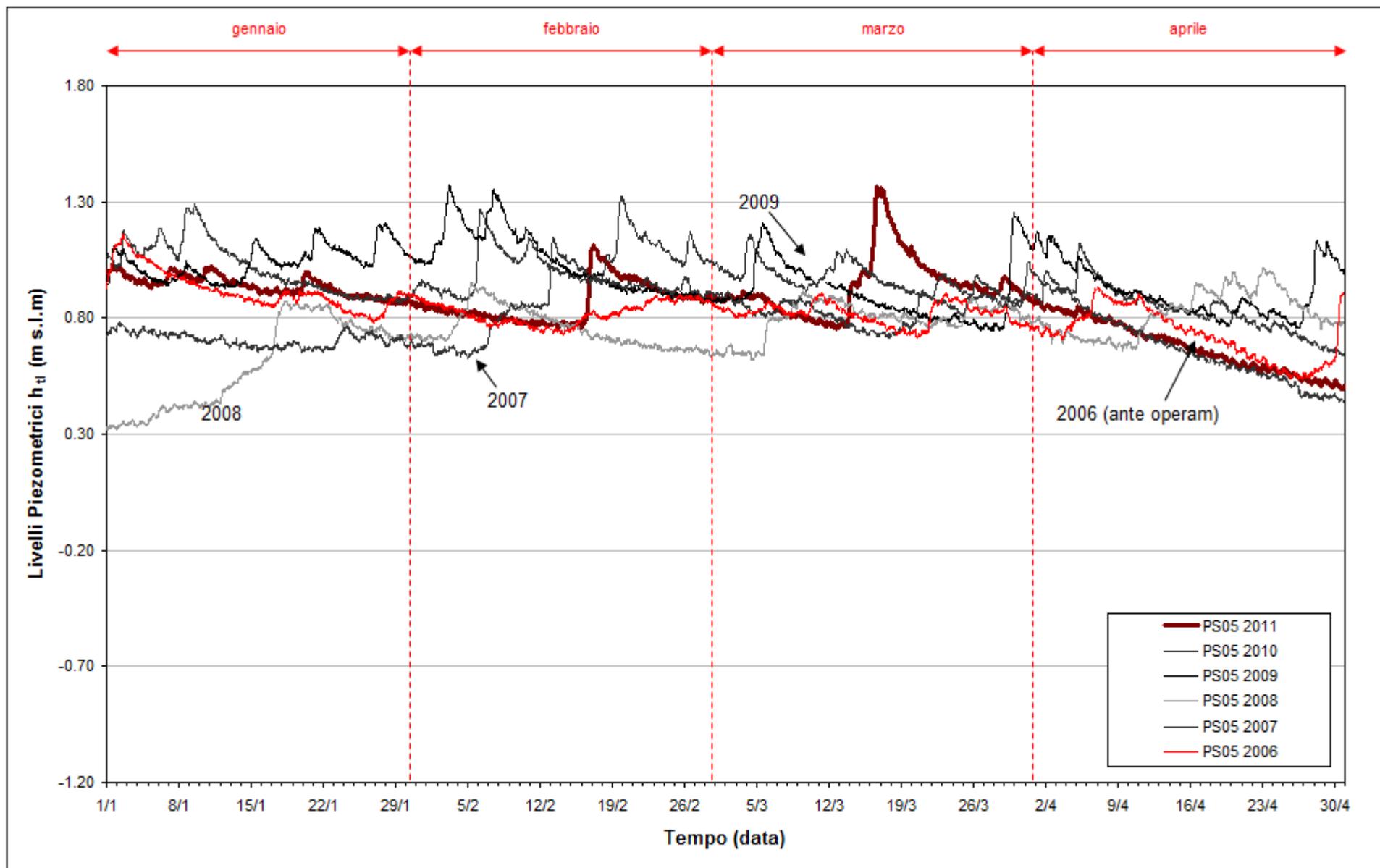


Fig. 2.8 - Confronto tra i livelli piezometrici ( $h_t$ ) nel piezometro PS05 nel periodo gennaio - aprile degli anni 2006÷2011.

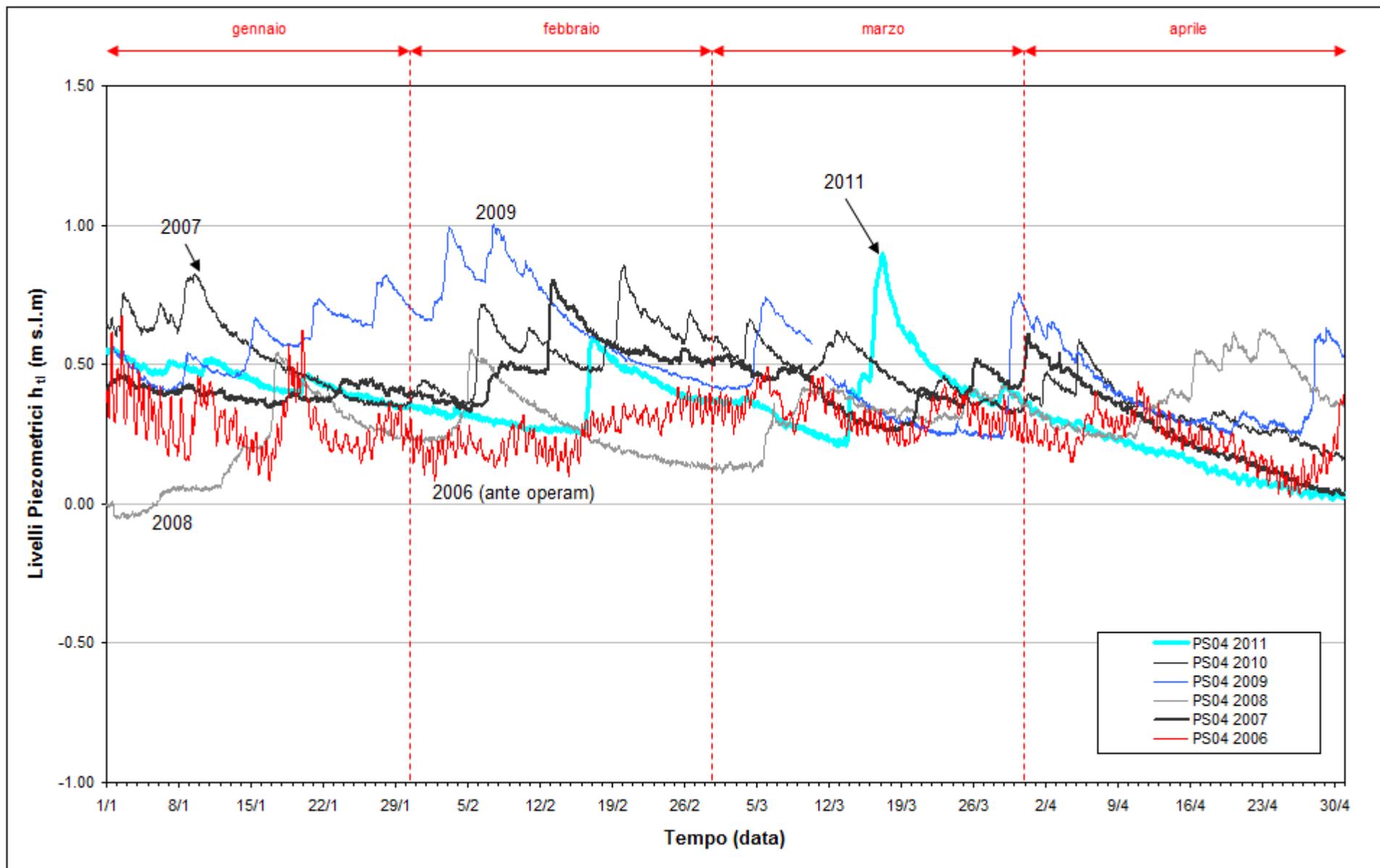


Fig. 2.9 - Confronto tra i livelli piezometrici ( $h_t$ ) nel piezometro PS04 nel periodo gennaio - aprile degli anni 2006÷2011.

### **2.3.3** Effetti delle oscillazioni mareali

In Fig. 2.10 è possibile confrontare i tracciati di misura dei trasduttori posizionati in corrispondenza dei piezometri PS01 e PS02 disposti sul Lungomare Dante Alighieri e le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. Le due serie temporali seguono andamenti caratterizzati da una ciclicità che è tipica delle evoluzioni mareali. Si verificano, infatti, incrementi di ampiezza e frequenza del fenomeno oscillatorio in corrispondenza del plenilunio e del novilunio. In corrispondenza dei quarti di luna, invece, le oscillazioni sono meno frequenti e più smorzate. Il periodo di oscillazione dei livelli nei piezometri varia da 12 h (novilunio e plenilunio) a 24 h (durante le fasi di quadratura lunare). Da un'analisi dei dati è possibile riscontrare uno sfasamento 1 - 2 ore tra le oscillazioni mareali e quelle piezometriche.

CORILA

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

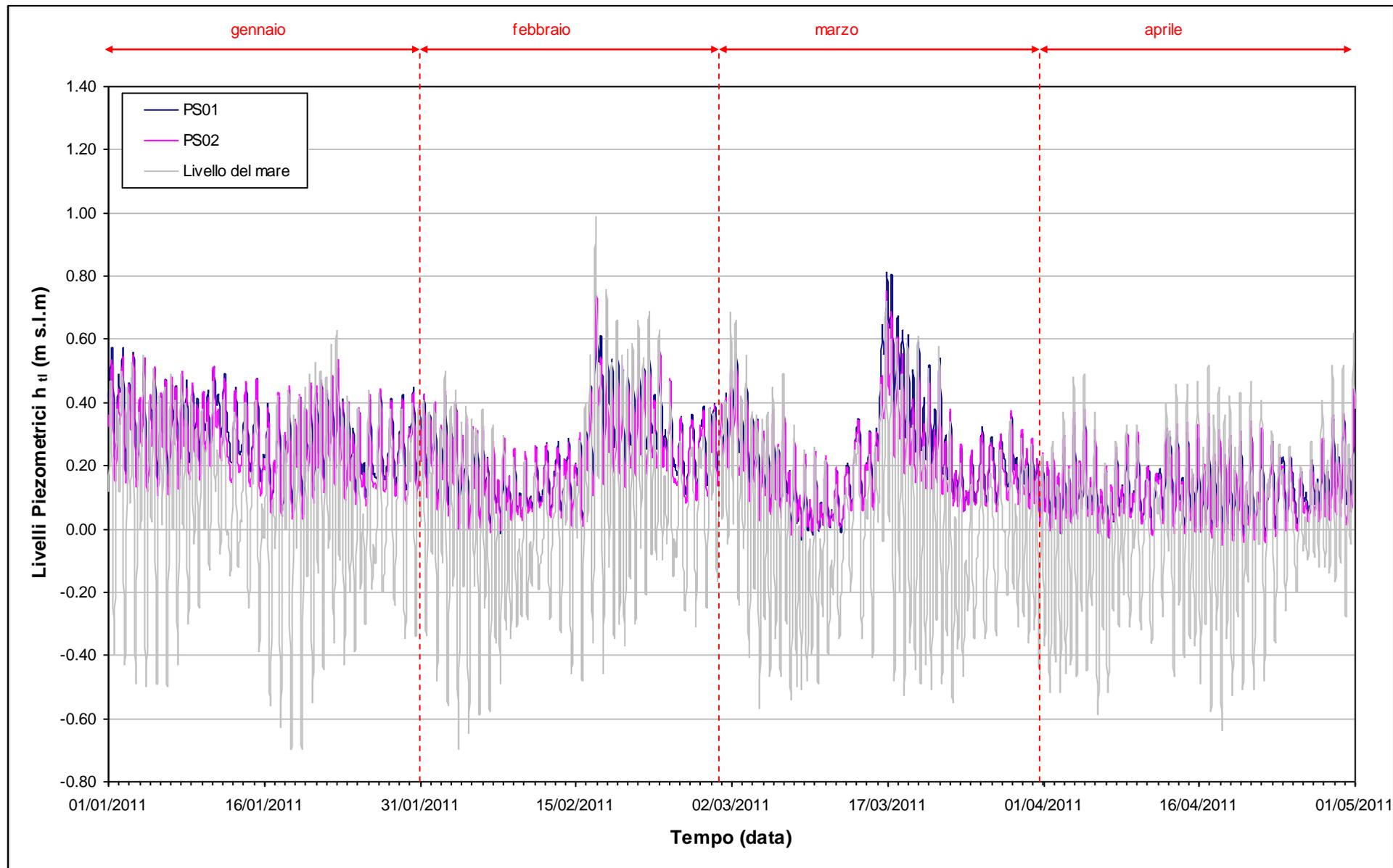


Fig. 2.10 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali PS01, PS02 e livelli del mare.

## **2.4 Piezometri profondi - secondo livello acquifero (Strato C)**

Di seguito verranno presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti nei 14 piezometri profondi finestrati in corrispondenza del secondo livello acquifero (Strato C), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

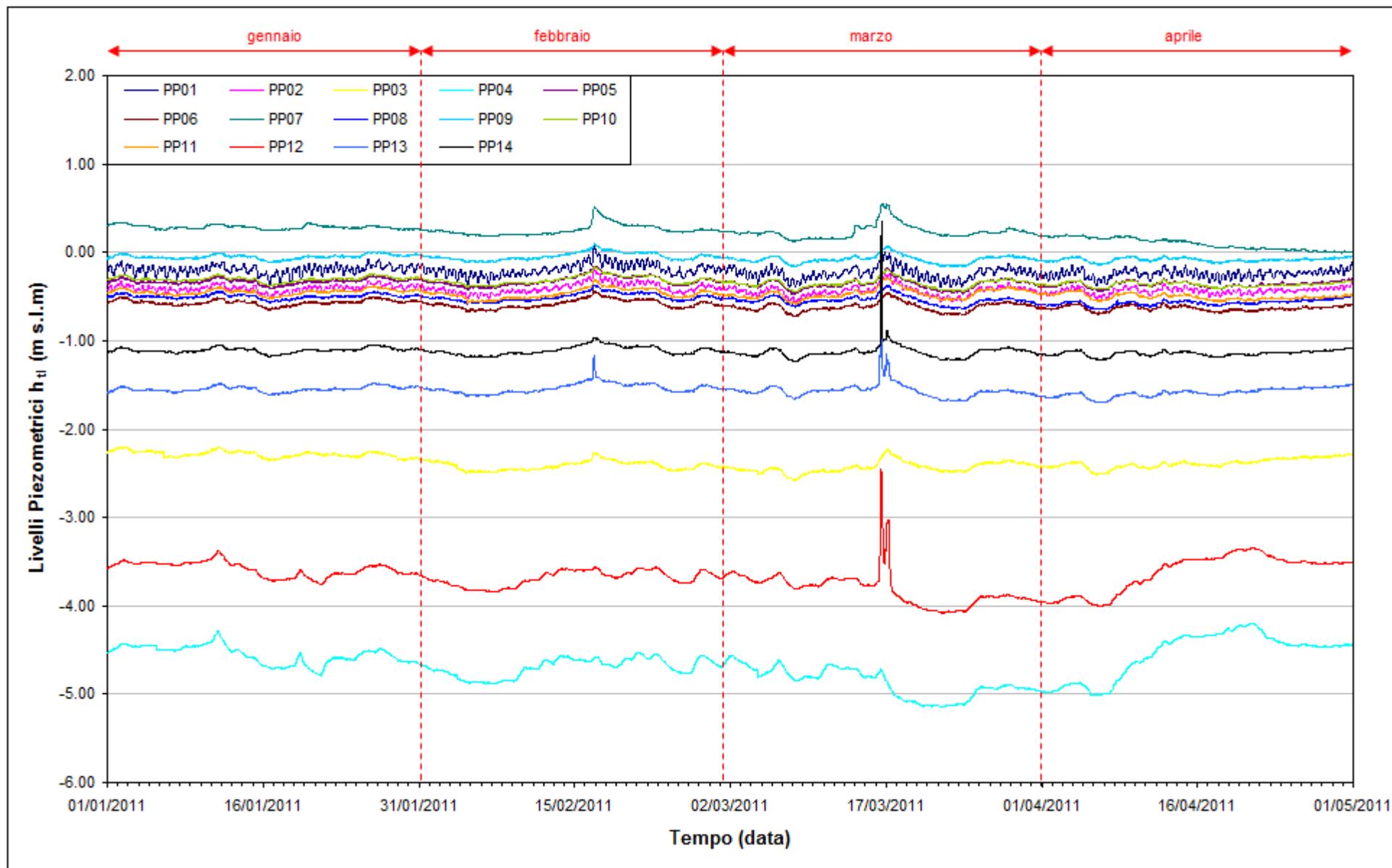
### **2.4.1 *Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_H$***

I dati riportati in Fig. 2.11 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio gennaio - aprile 2011.

Dall'analisi dei tracciati riportati è possibile osservare come i piezometri profondi siano, in misura diversa, sensibili alle forzanti fisiche esterne:

- i piezometri PP01 e PP02, posti in prossimità del Lungomare Dante Alighieri, sono caratterizzati da un andamento sinusoidale correlabile alle evoluzioni mareali, con oscillazioni di ampiezza molto minore rispetto ai piezometri superficiali PS01 e PS02;
- i piezometri PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10 e PP11, collocati nella porzione più interna della area di monitoraggio, presentano tracciati di livello dominati dalle variazioni conseguenti presumibilmente al pompaggio barometrico;
- i piezometri PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14, posti in prossimità del Lungomare Dante Alighieri sono influenzati in maniera preponderante dalle attività di cantiere (emungimento dei pozzi di dewatering della tura);.

Tra l'inizio e la fine del periodo di monitoraggio (01/01/2010 - 30/04/2010) i livelli non presentano variazioni apprezzabili.

Fig. 2.11 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi ai piezometri profondi.

#### **2.4.2** *Effetti mareali*

In Fig. 2.12 è possibile confrontare i tracciati di misura dei trasduttori posizionati in corrispondenza dei piezometri PP01 e PP02, disposti sul Lungomare Dante Alighieri, e le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. Le serie temporali seguono andamenti caratterizzati da una ciclicità che è tipica delle evoluzioni mareali. Si verificano, infatti, incrementi di frequenza del fenomeno oscillatorio in corrispondenza del plenilunio e del novilunio. In corrispondenza dei quarti di luna le oscillazioni sono meno frequenti e più smorzate. Il periodo di oscillazione dei livelli nei piezometri varia da 12 h (novilunio e plenilunio) a 24 h (durante le fasi di quadratura lunare).

Analogamente a quanto riscontrato per i piezometri superficiali costieri, è possibile riscontrare uno sfasamento di circa due ore tra le oscillazioni mareali e quelle piezometriche.

L'ampiezza delle oscillazioni di livello nei piezometri profondi PP01 e PP02 è più ridotta rispetto a quella registrata nei rispettivi piezometri superficiali PS01 e PS02.

## CORILA

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

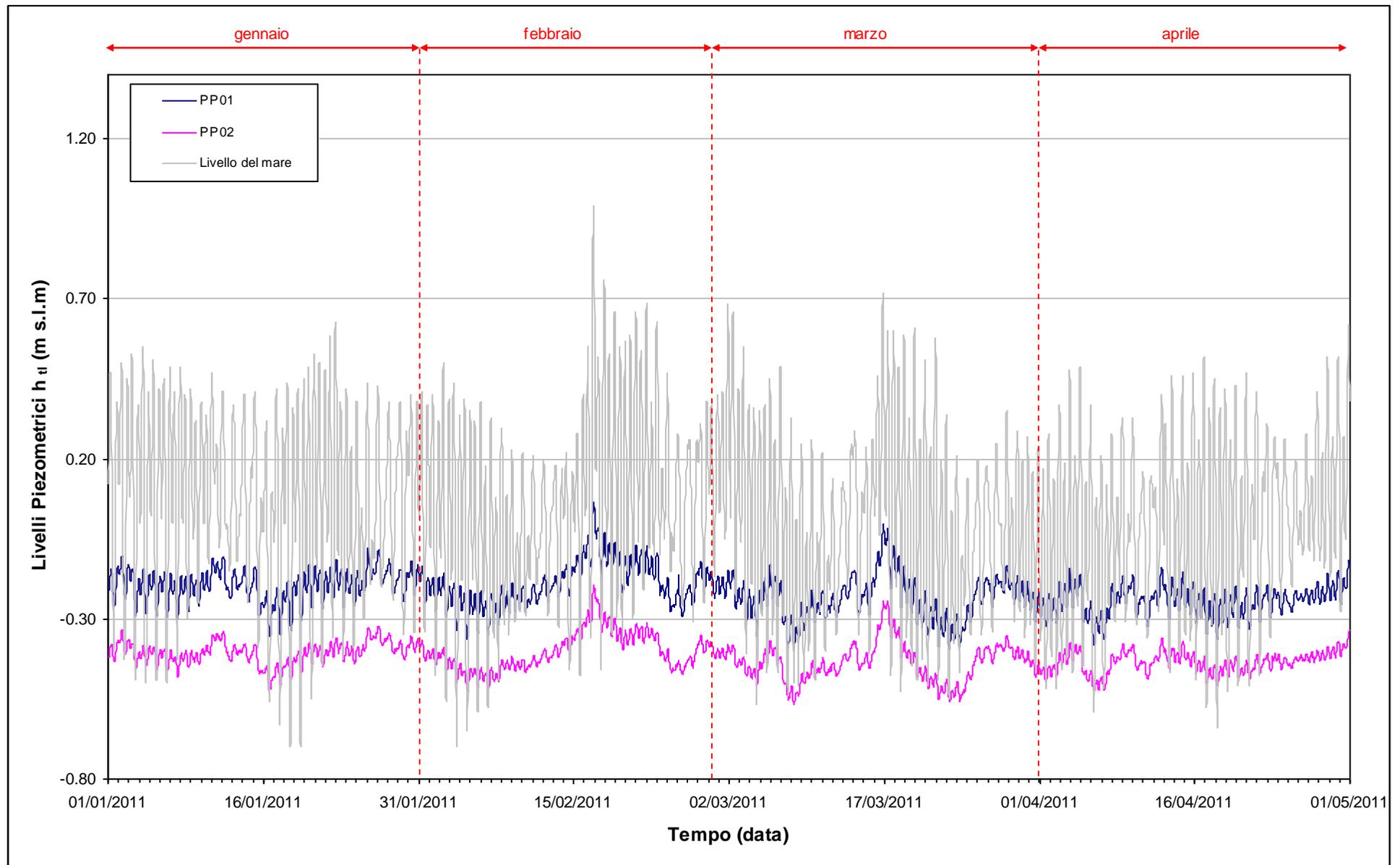


Fig. 2.12- Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP01, PP02 e livelli del mare.

### **2.4.3** *Effetti barometrici*

In Fig. 2.13, dove sono riportati i tracciati piezometrici associati al livello medio del mare e al tracciato barometrico di riferimento (B02), si possono osservare le conseguenze delle variazioni di pressione atmosferica sui livelli dell'acquifero profondo. In particolare durante i periodi di bassa pressione si osservano innalzamenti del livello piezometrico, mentre durante fenomeni di alta pressione i livelli piezometrici misurati tendono a decrescere.

Gli effetti barometrici si possono notare anche sul tracciato relativo al livello medio del mare.

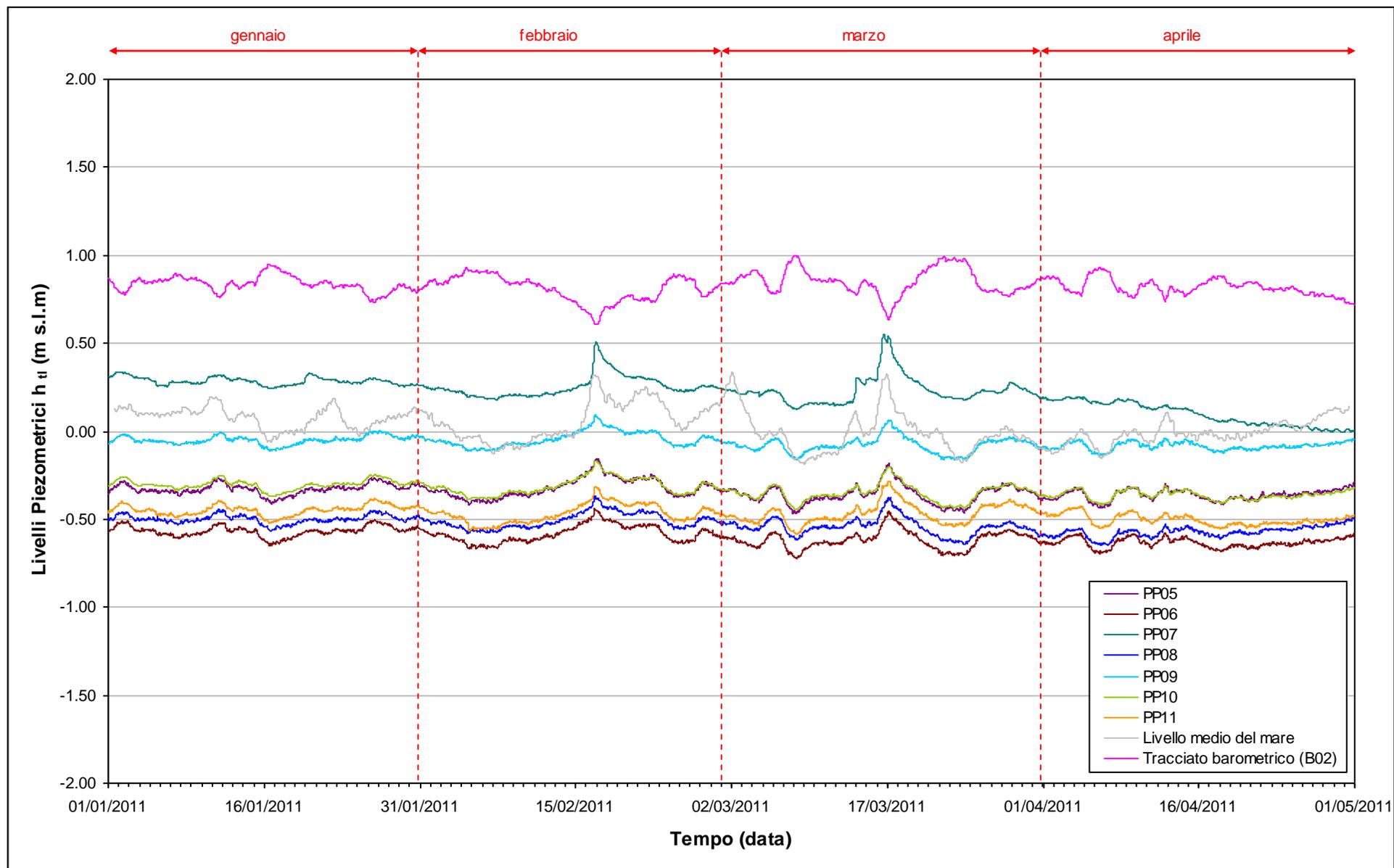


Fig. 2.13 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10, PP11, livelli medi del mare e tracciati barometrici.

#### **2.4.4** *Effetti antropici*

In Fig. 2.14 vengono visualizzati i tracciati relativi ai livelli assoluti dei piezometri profondi PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14. Nelle postazioni PP03 e PP04 è stato riscontrato, a partire dall'inizio delle operazioni di pompaggio (gennaio 2007), un significativo abbassamento del livello piezometrico rispetto ai livelli misurati in fase A (situazione *ante operam*).

Durante il quadrimestre di monitoraggio gennaio - aprile 2011 le oscillazioni di livello attribuibili a variazioni nelle portate di pompaggio del sistema di dewatering della tura sono state di circa 70 cm nel piezometro maggiormente influenzato dal pompaggio (PP04). Le brusche variazioni di livello osservabili nei piezometri PP12, PP13 e PP14 nei giorni 16-17/03/11 sono attribuibili all'infiltrazione dell'acqua piovana durante eventi meteorici intensi.

Rispetto agli anni precedenti, i livelli nel quadrimestre gennaio - aprile 2011 del piezometro PP04 (Fig. 2.14) sono inferiori di circa 5m rispetto alla situazione *ante operam*. Rispetto allo stesso periodo del 2010, nel quadrimestre gennaio - aprile 2011 si osserva una diminuzione del livello medio di circa 35 cm. Le variazioni di carico idraulico sono attribuibili a modifiche delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering della tura.

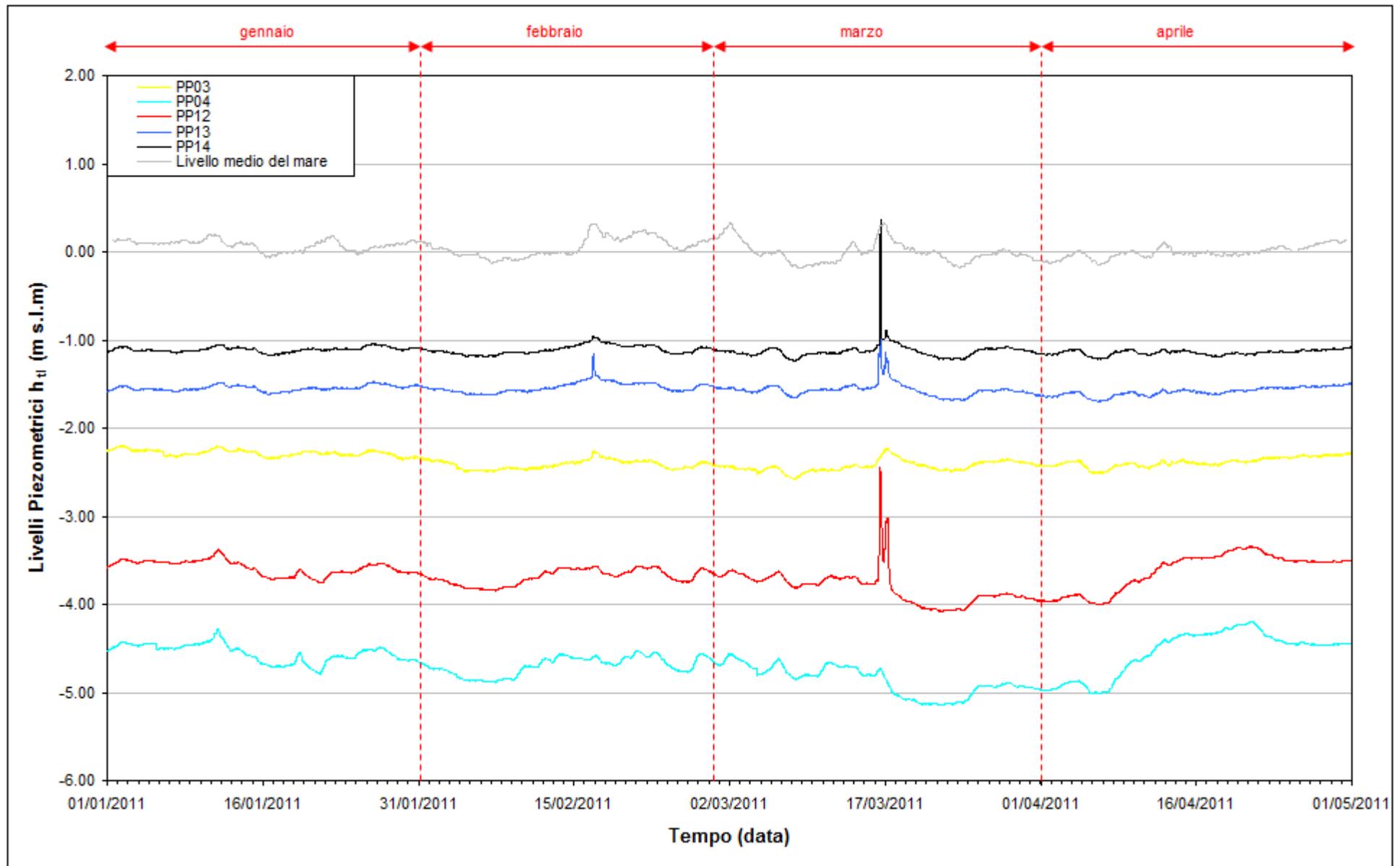


Fig. 2.14 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi influenzati dalle operazioni di pompaggio.

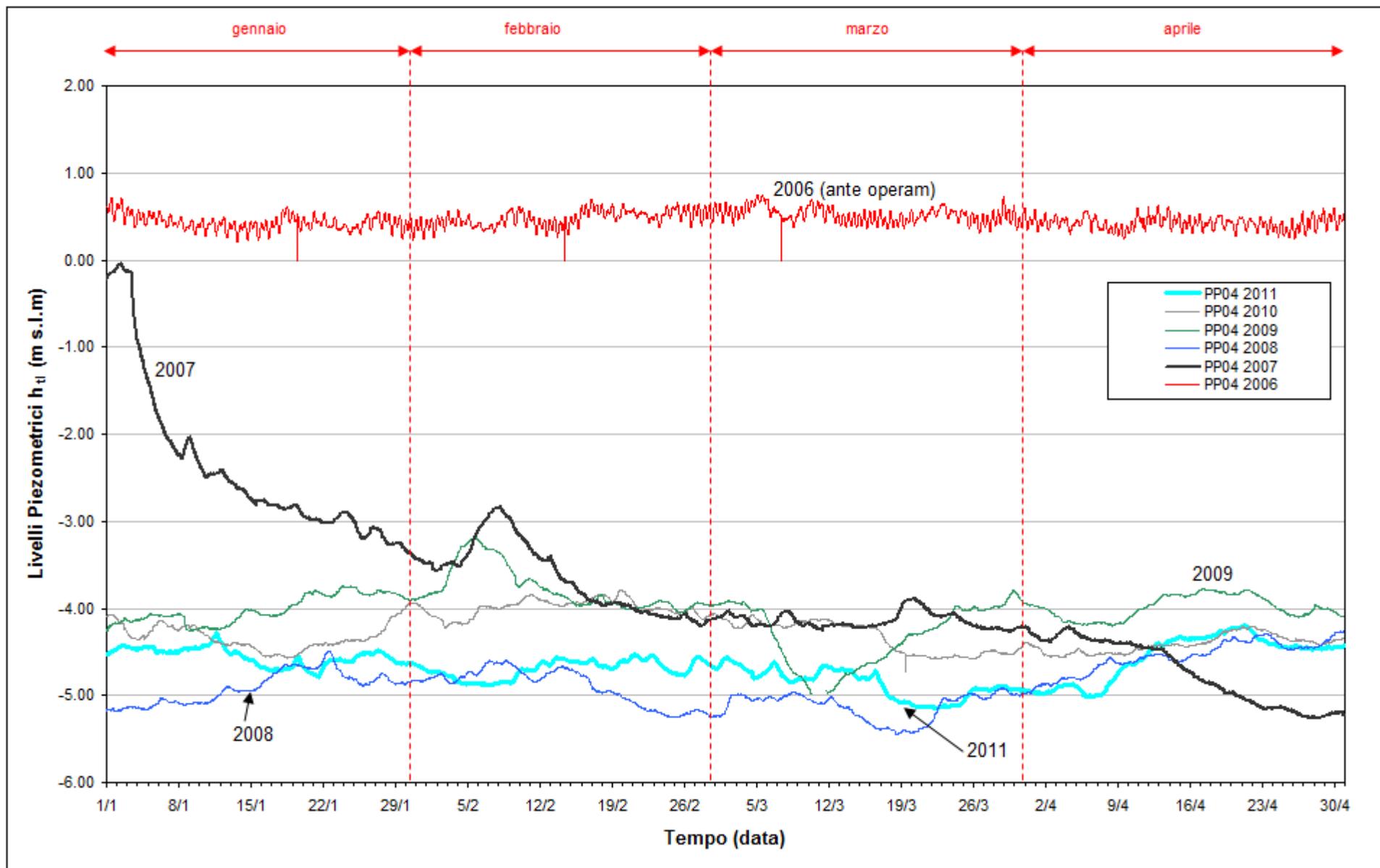


Fig. 2.15 - Confronto tra i livelli piezometrici ( $h_u$ ) nel piezometro PP04 nel periodo gennaio-aprile degli anni 2006÷2011.

### **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.

Dalle verifiche effettuate durante l'elaborazione dei dati, a meno di saltuarie valutazioni puntuali errate, tutti i trasduttori risultano funzionare correttamente.

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

### 4.1 Il calcolo della densità dell'acqua

La densità dell'acqua è funzione della temperatura e della concentrazione di soluti (principalmente cloruro di sodio). Essa cresce all'aumentare del contenuto in sali e al diminuire della temperatura. Non esistendo misure speditive che permettano la misura in campo della densità lungo la verticale all'interno di ciascun piezometro, è stata sviluppato un metodo che prevede la determinazione della densità utilizzando le misure effettuate in campo tramite sonda multiparametrica Solinst TLC modello 107 (come illustrato nel Rapporto Mensile di novembre 2006, Studio B.6.72.B/2).

La sonda Solinst restituisce la temperatura dell'acqua e la conduttanza specifica riferita a 25 °C ( $C_{25}$ ). Questo dato, una volta normalizzato alla temperatura di 20°C, è stato convertito in un valore di densità utilizzando una correlazione empirica che lega le due grandezze (per ulteriori informazioni si rimanda al I Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/2).

Oltre al ruolo della conduttanza, è opportuno considerare l'influenza della temperatura, che concorre anch'essa alla variazione della densità del acqua; per tale fenomeno è stata utilizzata una legge polinomiale del sesto grado reperita in letteratura [Perrochet, 1996].

La formula globale, derivante dalla sovrapposizione dei due contributi, è la seguente:

$$\begin{aligned} \rho(T, C) &= \rho(T, C_{20} = 0) + \rho(T = 20, C_{20}) - \rho_0 = \\ &= a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4 + fT^5 + gT^6 + 4.16066 \cdot 10^{-4} \cdot C_{25} \frac{1 + r \cdot (T - 25)}{1 + r \cdot (T - 20)} \end{aligned} \quad (1)$$

dove:

$$a = 9.998396 \cdot 10^2, b = 6.764771 \cdot 10^{-2}, c = -8.993699 \cdot 10^{-3}, d = 9.143518 \cdot 10^{-5},$$

$$e = -8.907391 \cdot 10^{-7}, f = 5.291959 \cdot 10^{-9}, g = -1.359813 \cdot 10^{-11} \text{ (Perrochet, 1996).}$$

#### 4.1.1 Profili verticali di densità

Mediante la formula (1) è possibile ricostruire i profili verticali di densità, a partire dalla temperatura dell'acqua e della conduttanza specifica misurate durante i sopralluoghi mensili (Figg. 4.1 - 4.4: piezometri superficiali; Figg. 4.5 - 4.8: piezometri profondi). Nelle figure riguardanti i piezometri profondi è evidenziata (con un tratto più spesso) la posizione della finestratura, mentre le due rette tratteggiate orizzontali indicano la quota minima e massima a cui sono collocati i trasduttori di pressione.

Nei piezometri PS02 e PS03 si osserva un aumento della densità dell'acqua di falda, mentre nei piezometri PS04 e PS08 essa è diminuita nel periodo monitorato. Nel periodo monitorato si è verificata una diminuzione generalizzata dei livelli di falda superficiale, ma non tale da determinare variazioni apprezzabili della densità dell'acqua di falda negli altri piezometri superficiali.

Nei piezometri profondi PP06 e PP08 si osserva una lieve diminuzione dei valori di densità dell'acqua, mentre negli altri piezometri profondi non si osservano variazioni apprezzabili.

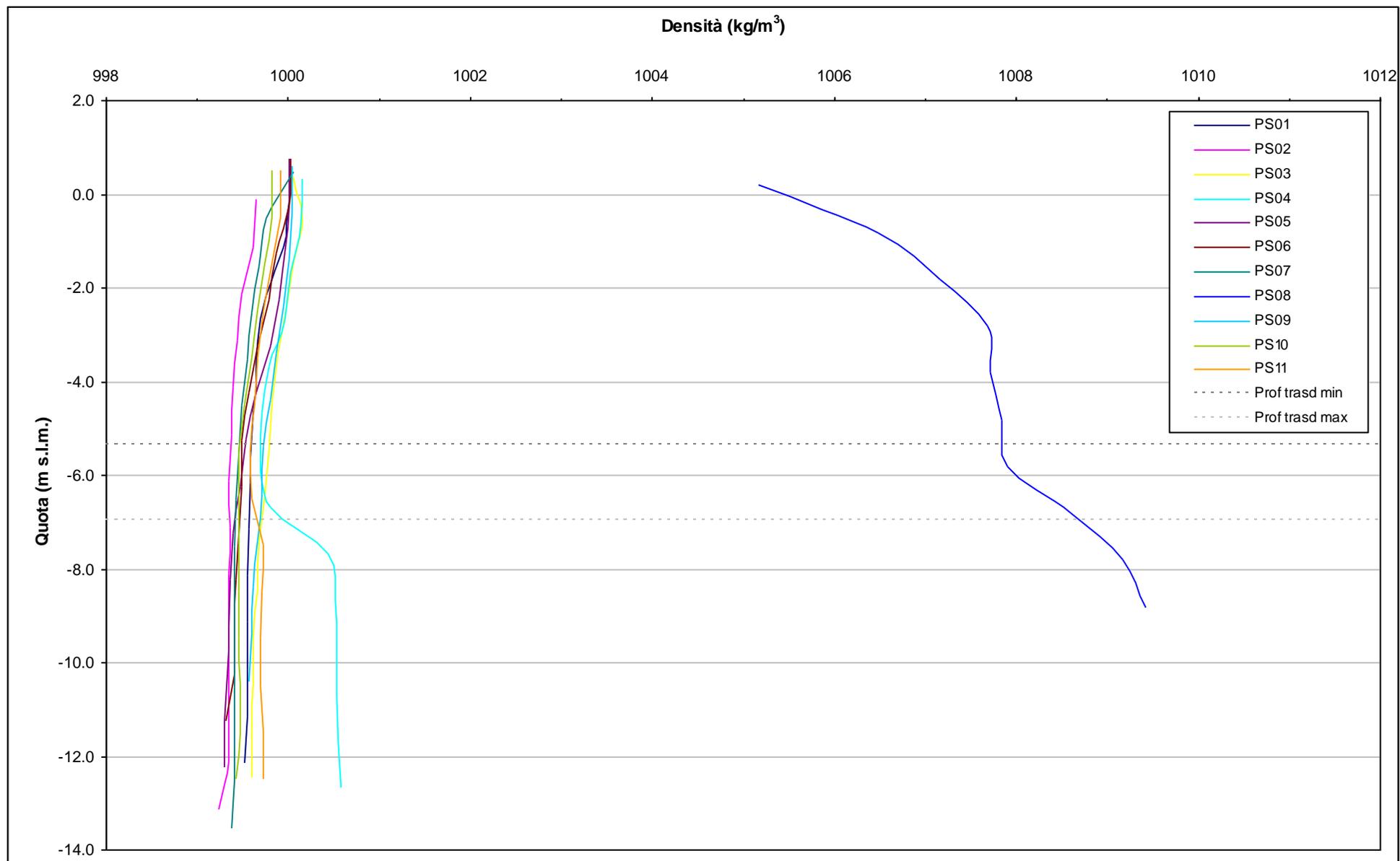


Fig. 4.1- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 3-4 febbraio 2011.

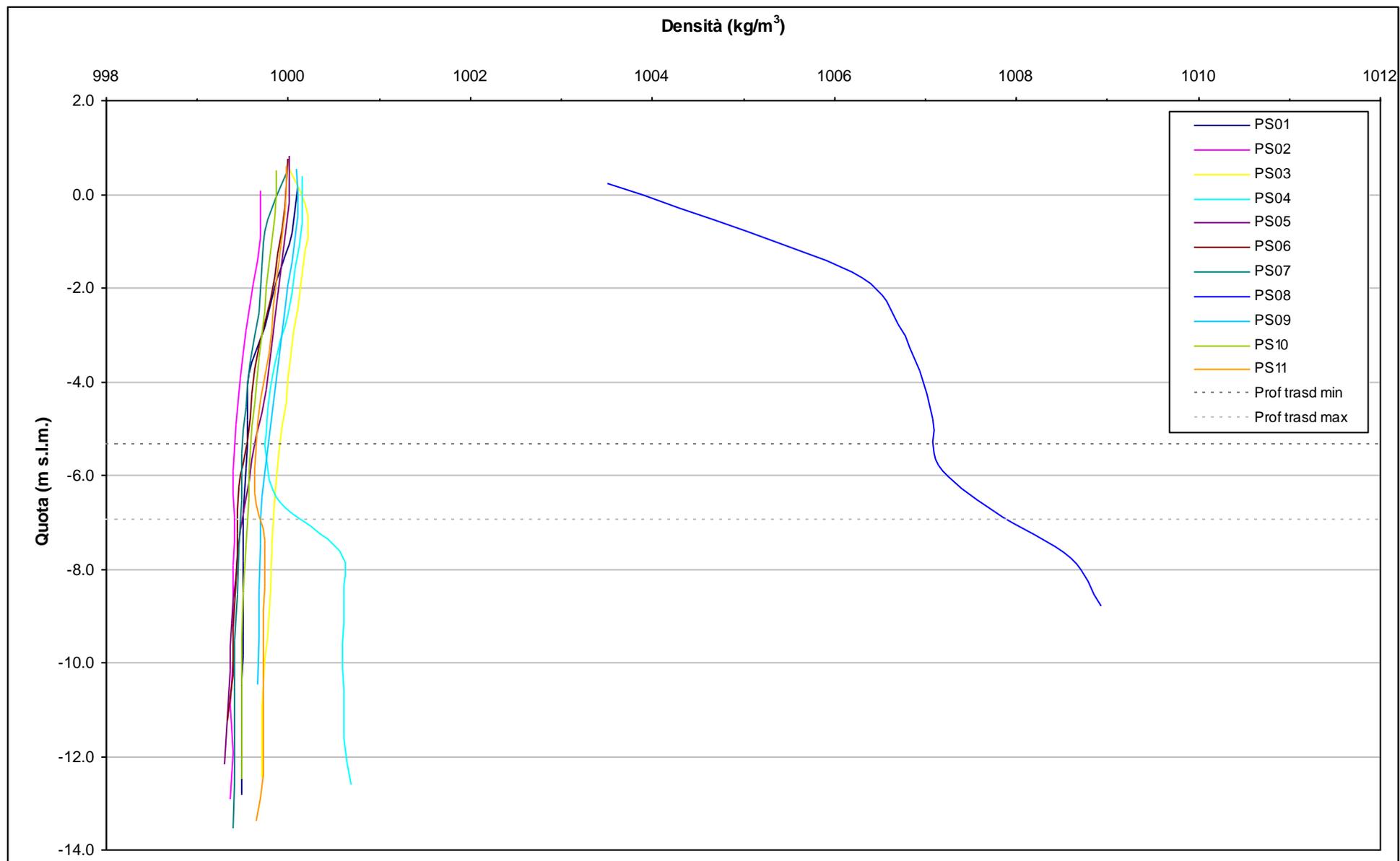


Fig. 4.2- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 4 marzo 2011.

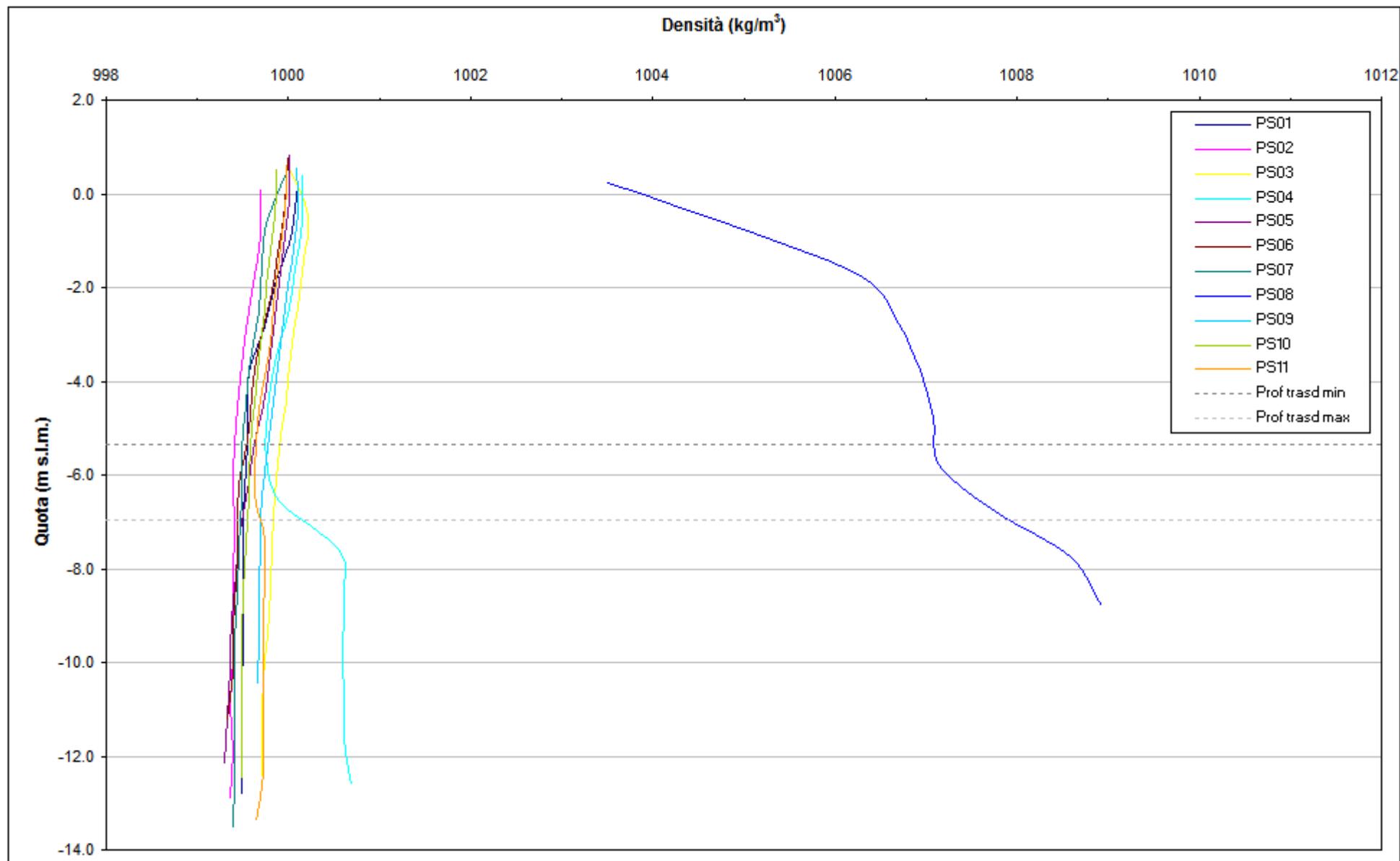


Fig. 4.3 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 5 aprile 2011.

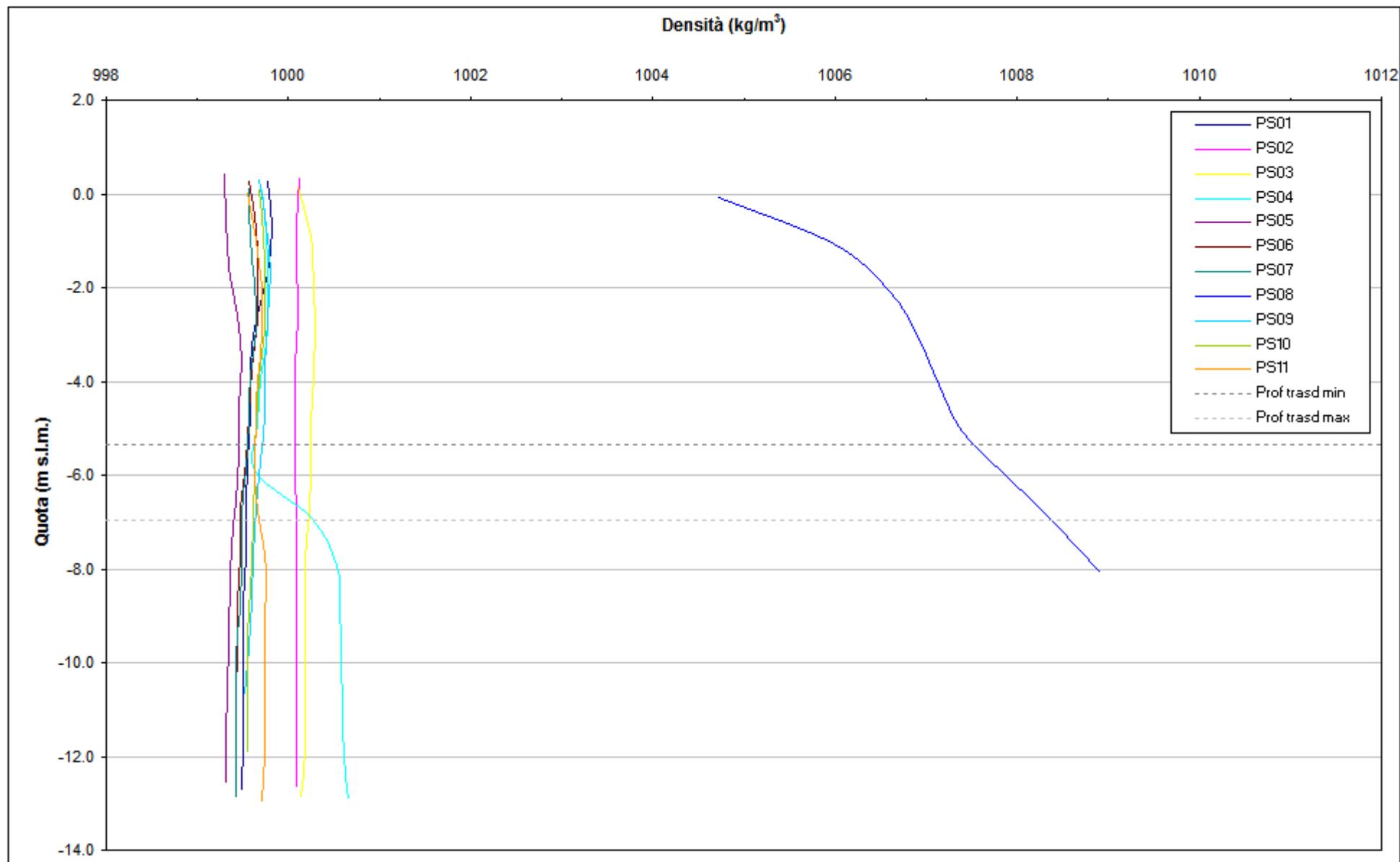


Fig. 4.4 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 4 maggio 2011.

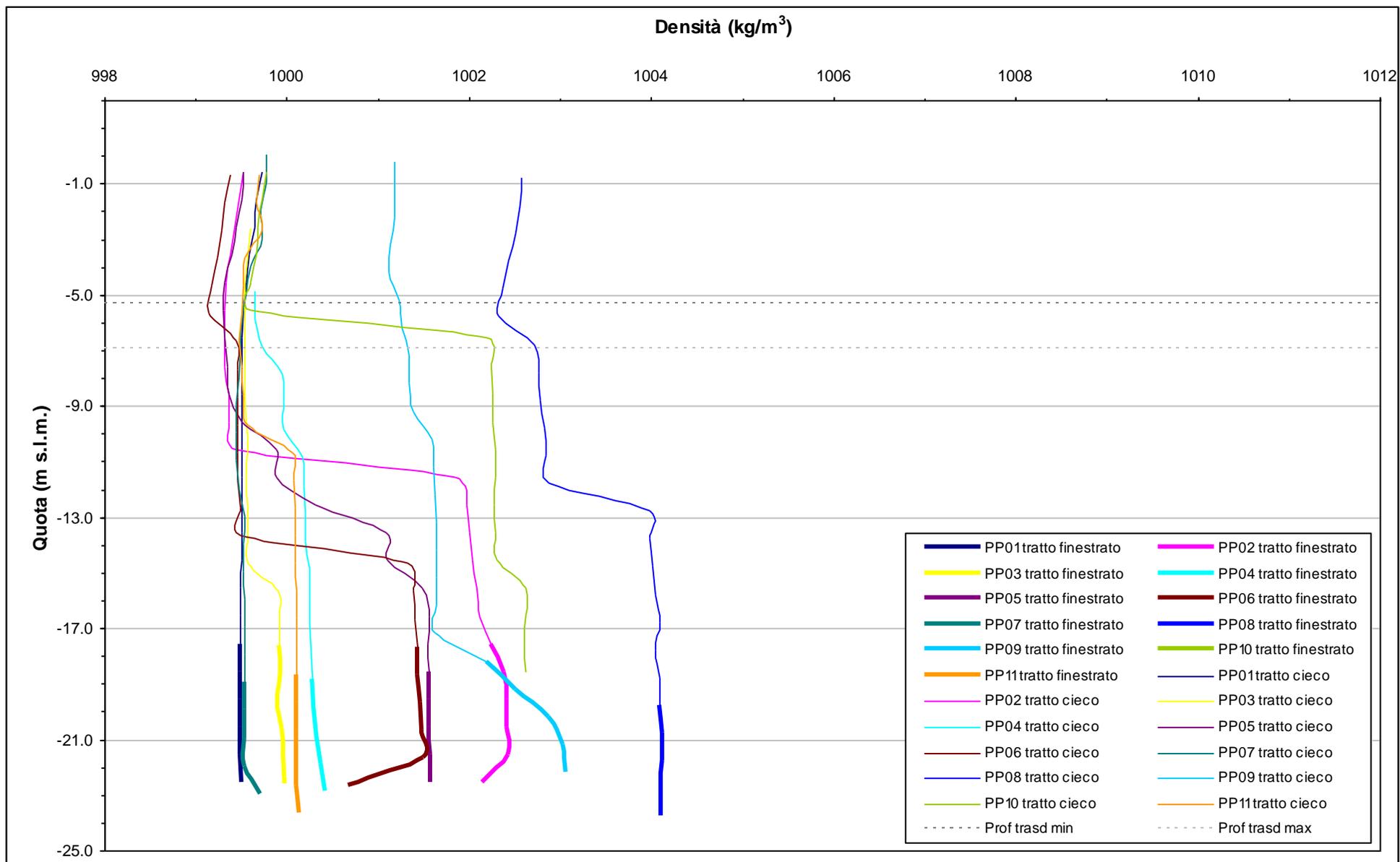


Fig. 4.5 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 3-4 febbraio 2011.

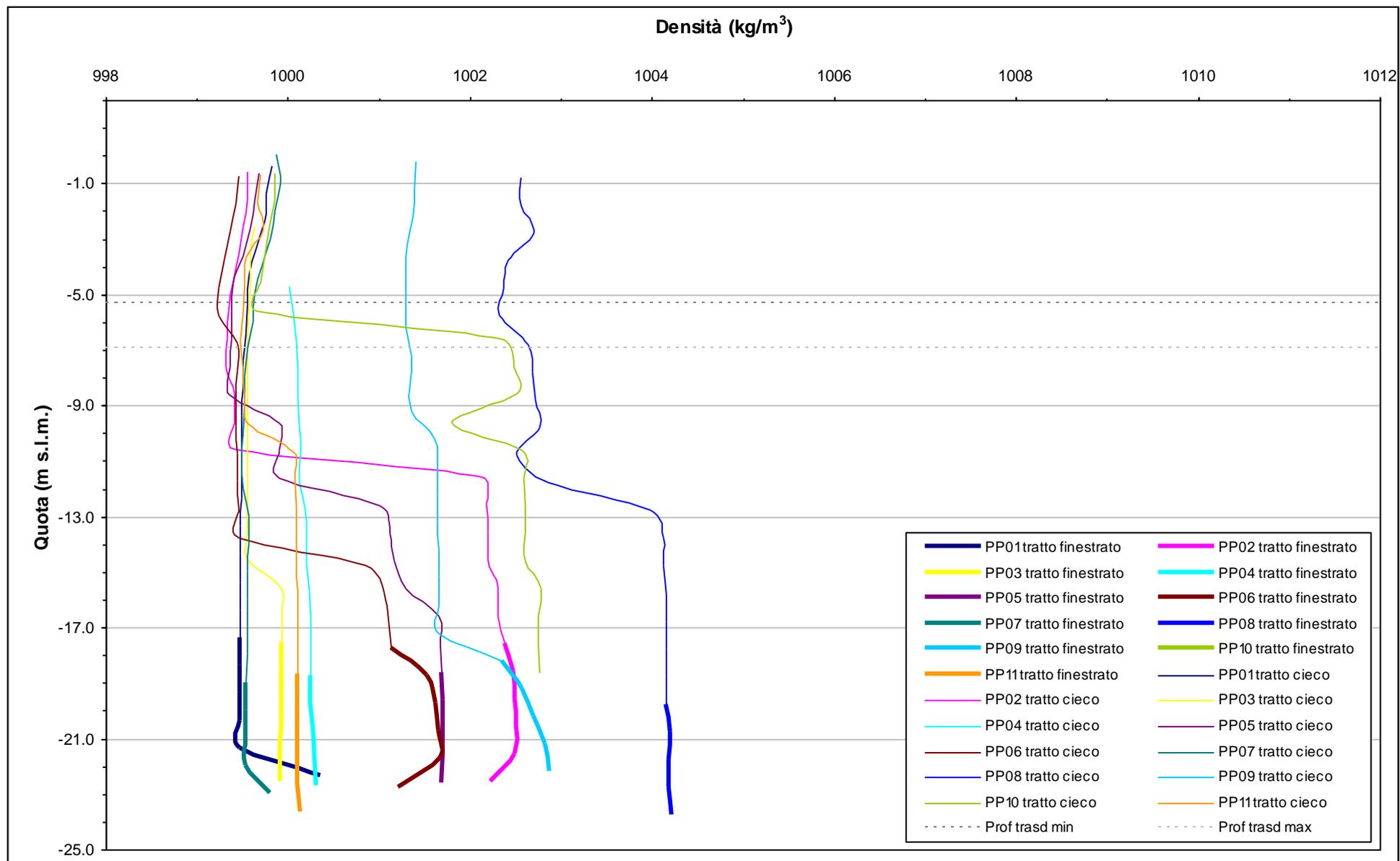


Fig. 4.6- Profili verticali di densità piezometri profondi - 4 marzo 2011.

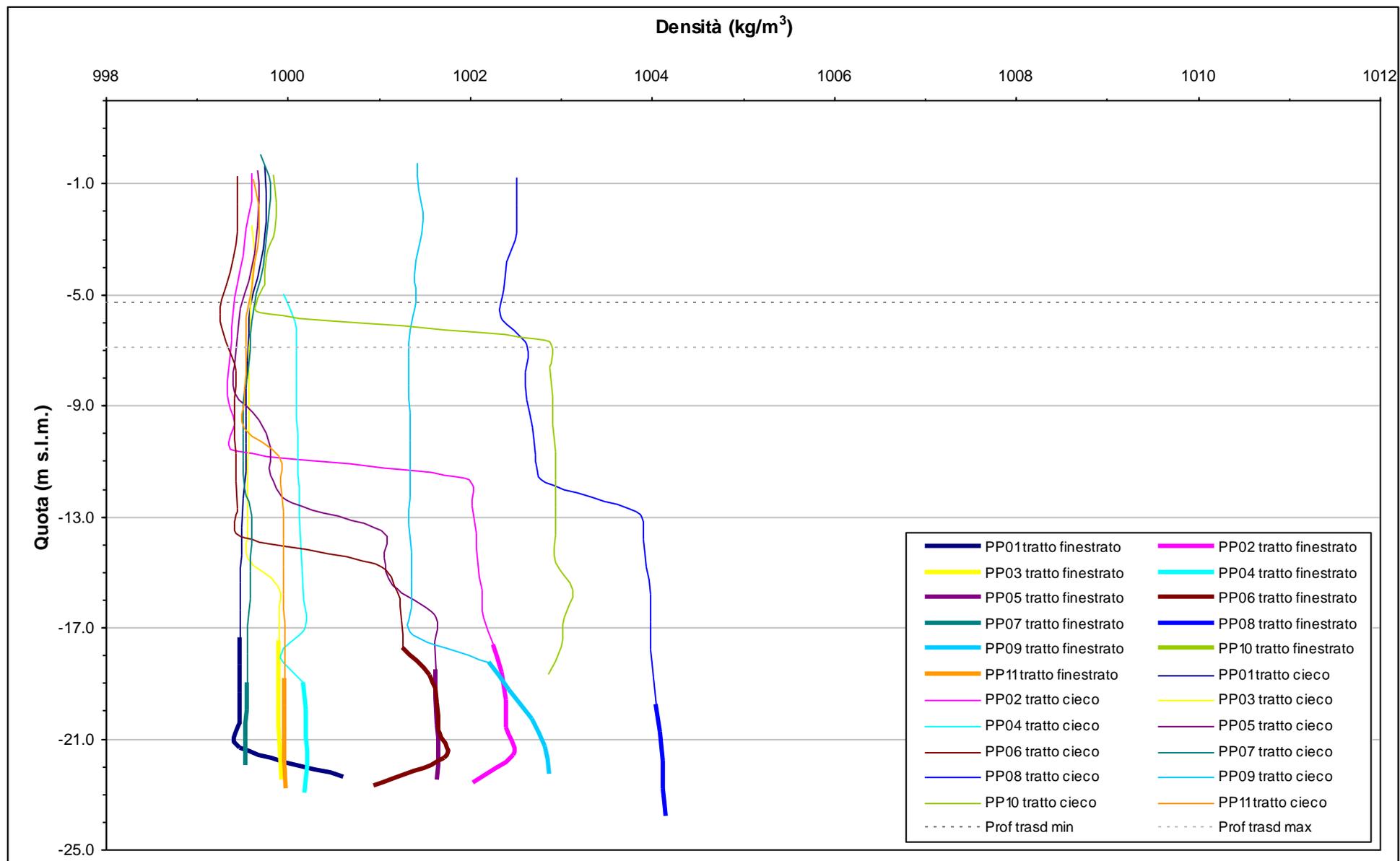


Fig. 4.7 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 5 aprile 2011.

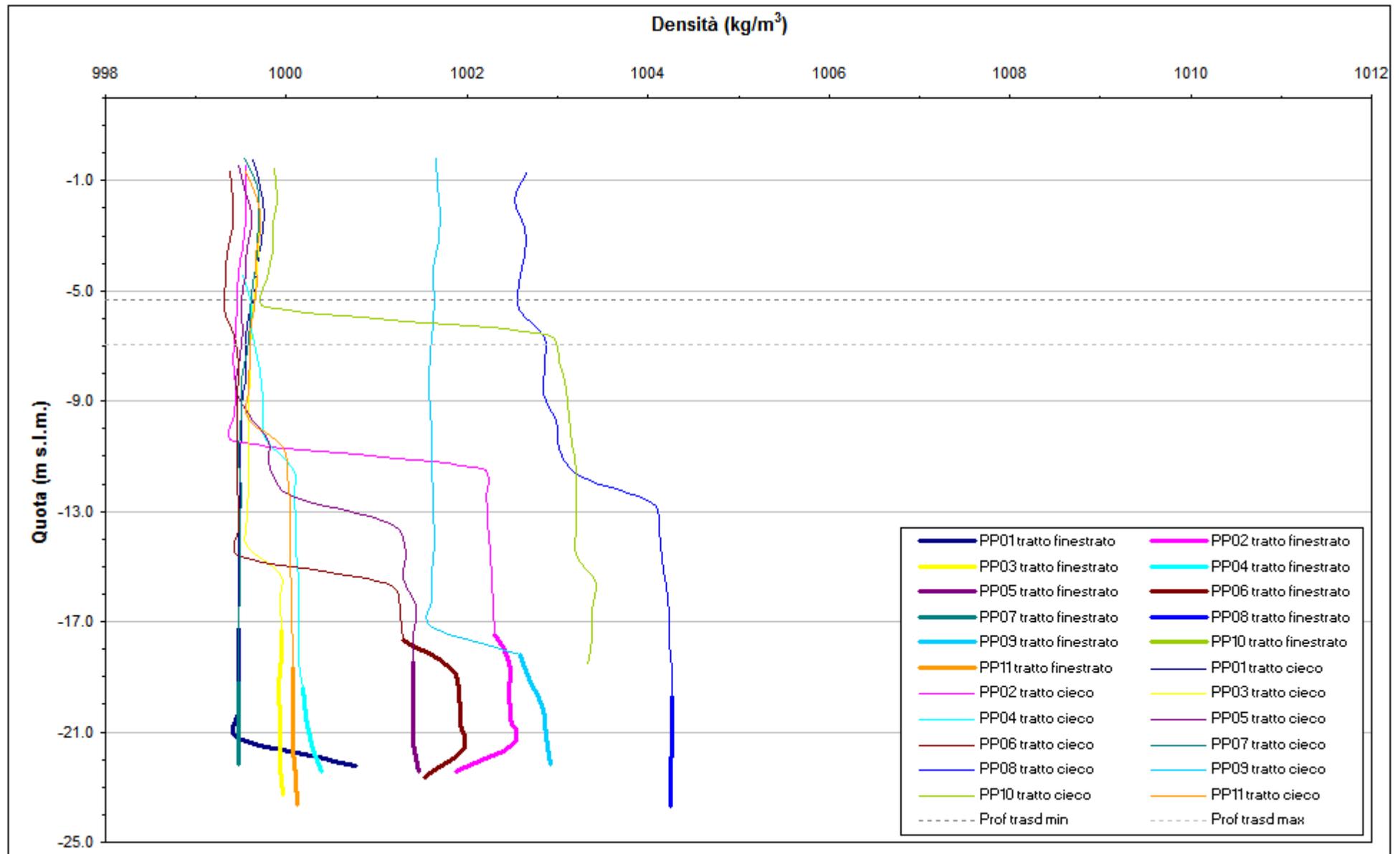


Fig. 4.8 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 4 maggio 2011.

## 5. STUDIO PIEZOMETRICO

Nel seguente paragrafo sono riportate le ricostruzioni della superficie piezometrica relative al Primo livello acquifero (Strato A) ed al Secondo livello acquifero (Strato C), derivanti dalla elaborazione dei dati acquisiti in corrispondenza delle postazioni di monitoraggio.

Sono state effettuate quattro ricostruzioni piezometriche per entrambi gli acquiferi monitorati, utilizzando i dati registrati in corrispondenza di istanti temporali lontani da eventi piovosi intensi e da estremi mareali (Tab.5.1; Figg.5.1 - 5.2). Dalle carte piezometriche è possibile effettuare un confronto con la situazione osservata in Fase A.

Le piezometrie riportate nella presente sono da intendersi come ricostruzioni dei carichi idraulici riferiti alla densità  $\rho_0$  ed alla quota media  $z_m = -6.036$  m s.l.m. (quota media di installazione dei trasduttori).

Tab. 5.1- Istanti temporali utilizzati per l'elaborazione delle piezometrie

<b>Mese</b>	<b>Data e ora</b>
Fase A	12 novembre 2005 - h. 14:00
Gennaio	14 gennaio 2011 - h. 10:00
Febbraio	12 febbraio 2011 - h. 9:00
Marzo	13 marzo 2011 - h. 6:00
Aprile	16 aprile 2011 - h. 8:00

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

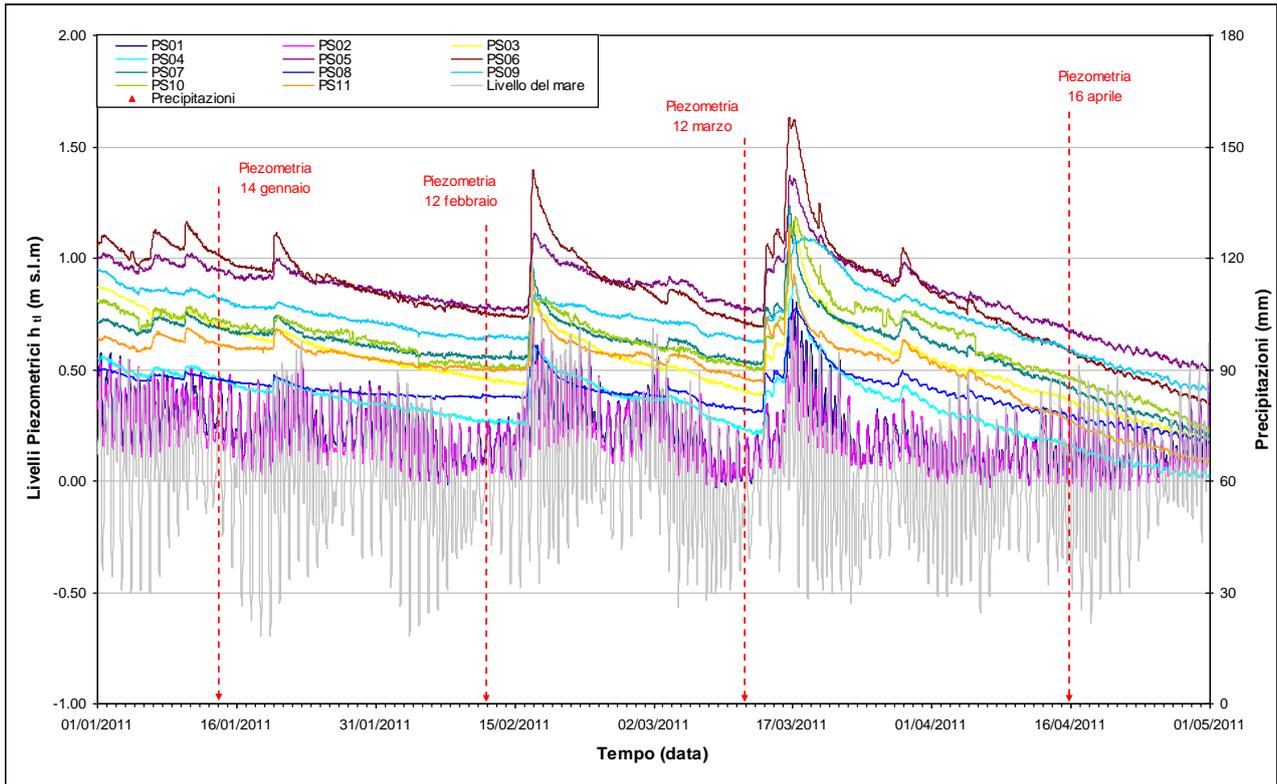


Fig. 5.1 - Elaborazione delle piezometrie superficiali.

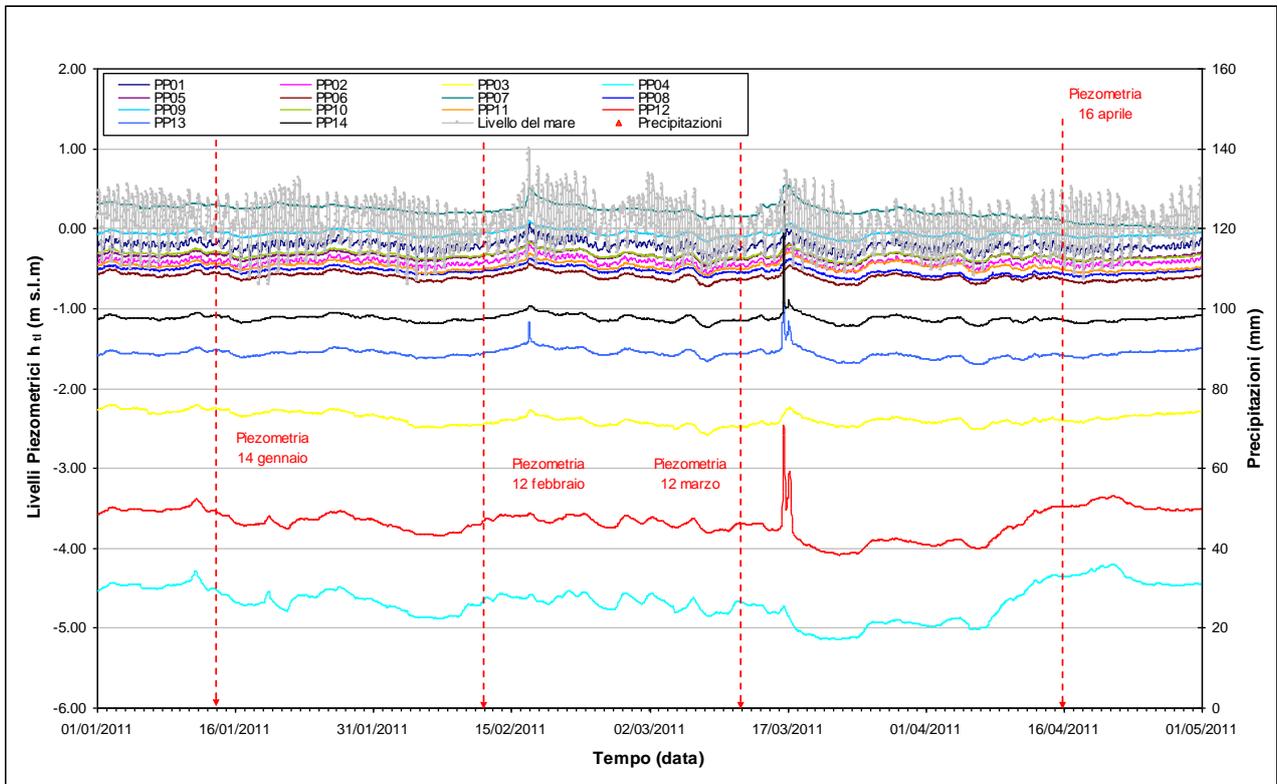


Fig. 5.2- Elaborazione delle piezometrie profonde.

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

**5.1.1** *Piezometria superficiale*

La piezometria del Primo livello acquifero (Strato A) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levelogger posti nei piezometri superficiali. In Tab. 5.2 sono riportati i livelli piezometrici riferiti agli istanti temporali scelti per ognuno dei quattro mesi monitorati e alla Fase A. Nelle Figg. 5.3+5.7 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab. 5.2- Livelli piezometrici  $h_{el}$  relativi al Primo livello acquifero: Fase A e quattro date di riferimento.

	X (m)	Y (m)	Date				
			Fase A	14/01/11 h.10	12/02/11 h.9	12/03/11 h.6	16/04/11 h.8
PS01	2318325.88	5035253.68	0.271	0.342	0.183	0.093	0.087
PS02	2318303.30	5034900.48	nd	0.268	0.135	0.068	0.100
PS03	2318377.62	5034552.61	0.331	0.702	0.451	0.397	0.355
PS04	2318449.34	5034373.27	0.147	0.454	0.266	0.232	0.156
PS05	2318582.01	5034989.80	0.799	0.947	0.777	0.771	0.662
PS06	2318658.27	5034750.84	0.843	0.999	0.746	0.704	0.574
PS07	2318785.95	5034898.62	0.654	0.687	0.552	0.532	0.409
PS08	2318799.69	5034032.43	0.345	0.455	0.380	0.321	0.292
PS09	2318764.67	5035448.00	0.638	0.815	0.649	0.630	0.577
PS10	2318792.99	5035043.94	0.634	0.714	0.515	0.503	0.456
PS11	2318787.28	5034652.23	0.673	0.608	0.498	0.457	0.262

Nel quadrimestre di monitoraggio gennaio - aprile 2011 si osserva una diminuzione dei livelli di falda superficiale, con variazioni comprese tra circa 30 e 70 cm, attribuibili all'evapotraspirazione. Rispetto alla Fase A, i livelli nel mese di gennaio 2011 sono simili, sebbene si noti una variazione della piezometria vicino alle postazioni PS03 e PS04 dovuta alla presenza della barriera impermeabile della tura. I livelli nei mesi di febbraio, marzo ed aprile 2011 sono invece inferiori rispetto alla Fase A.

In tutto il periodo monitorato, la direzione di flusso sotterraneo si mantiene diretta dalla terraferma al mare.

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

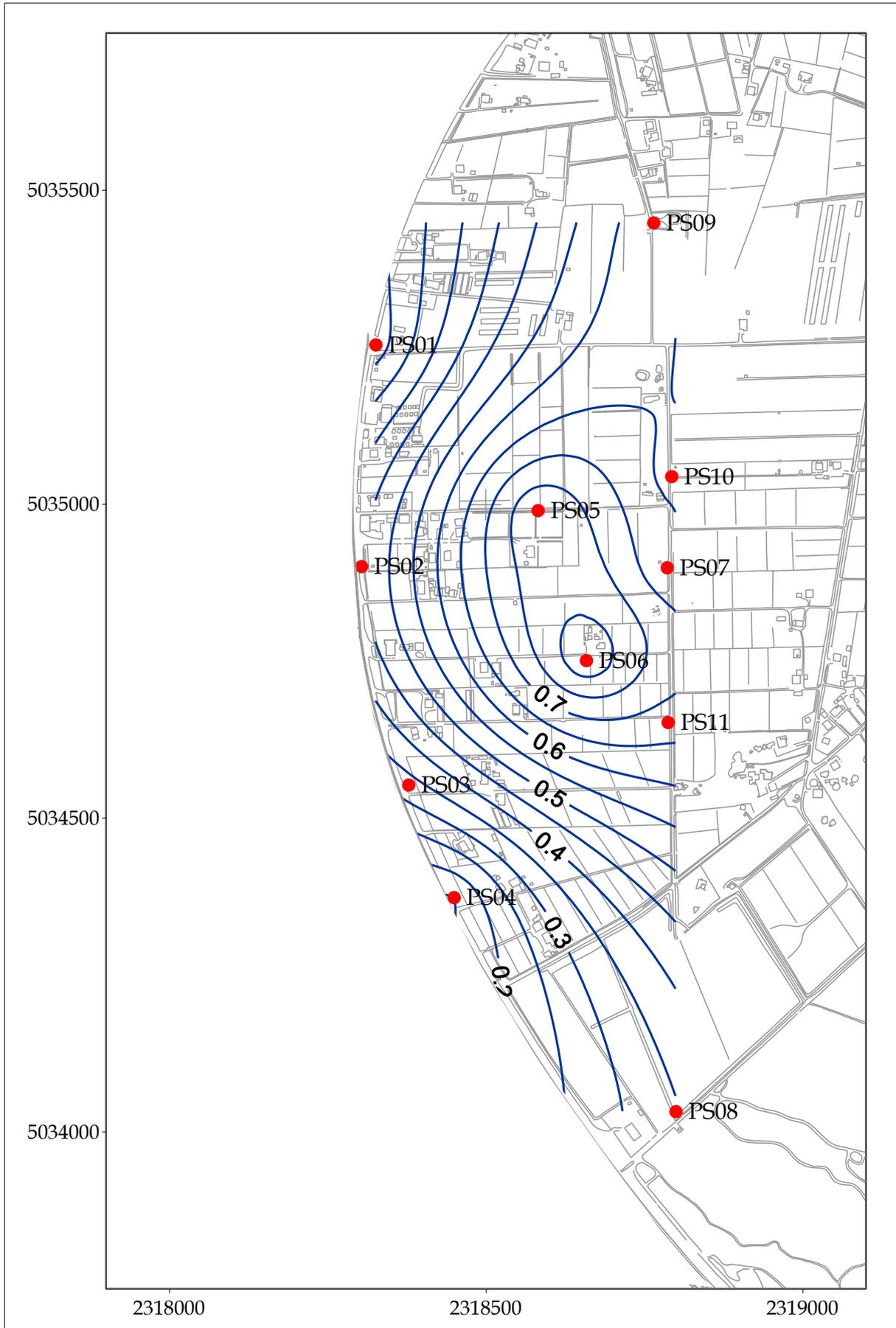


Fig. 5.3 - Piezometri superficiale Fase A - novembre 2005 ( $h_d$  - m s.l.m.).

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

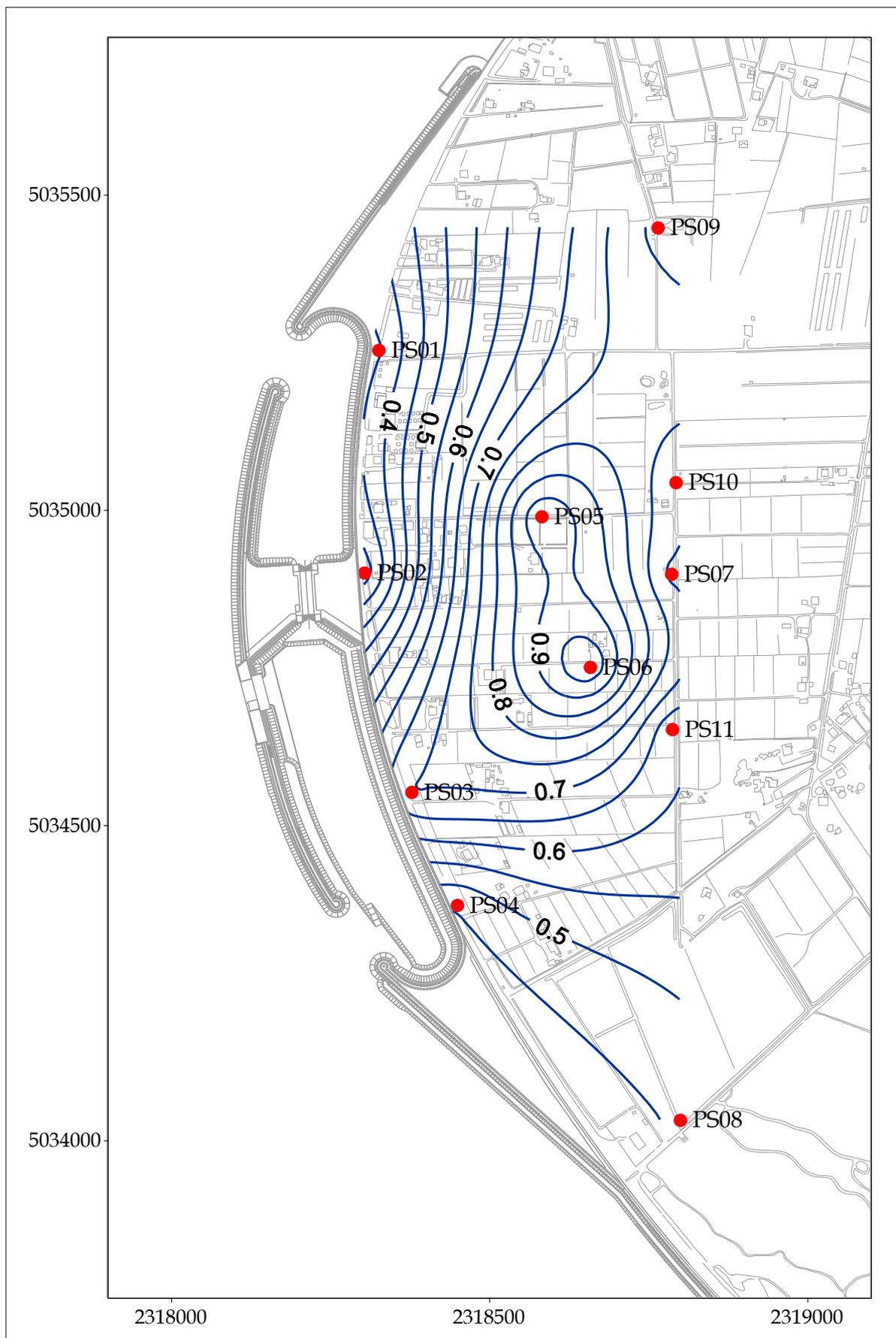


Fig. 5.4 - Piezometria superficiale - gennaio 2011 ( $h_{dl}$  - m s.l.m.).

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

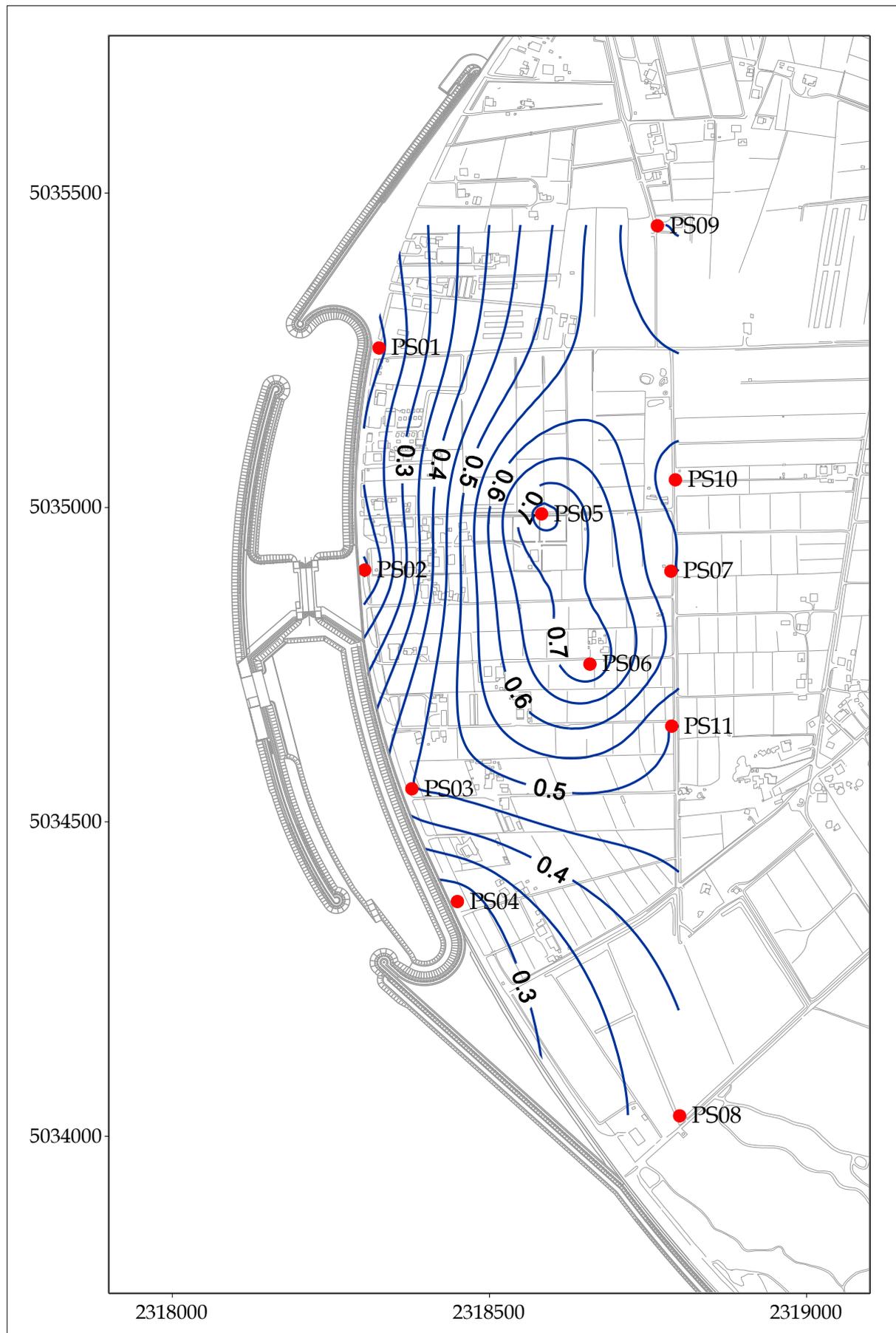


Fig. 5.5- Piezometria superficiale - febbraio 2011 ( $h_{el}$  - m s.l.m.).

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

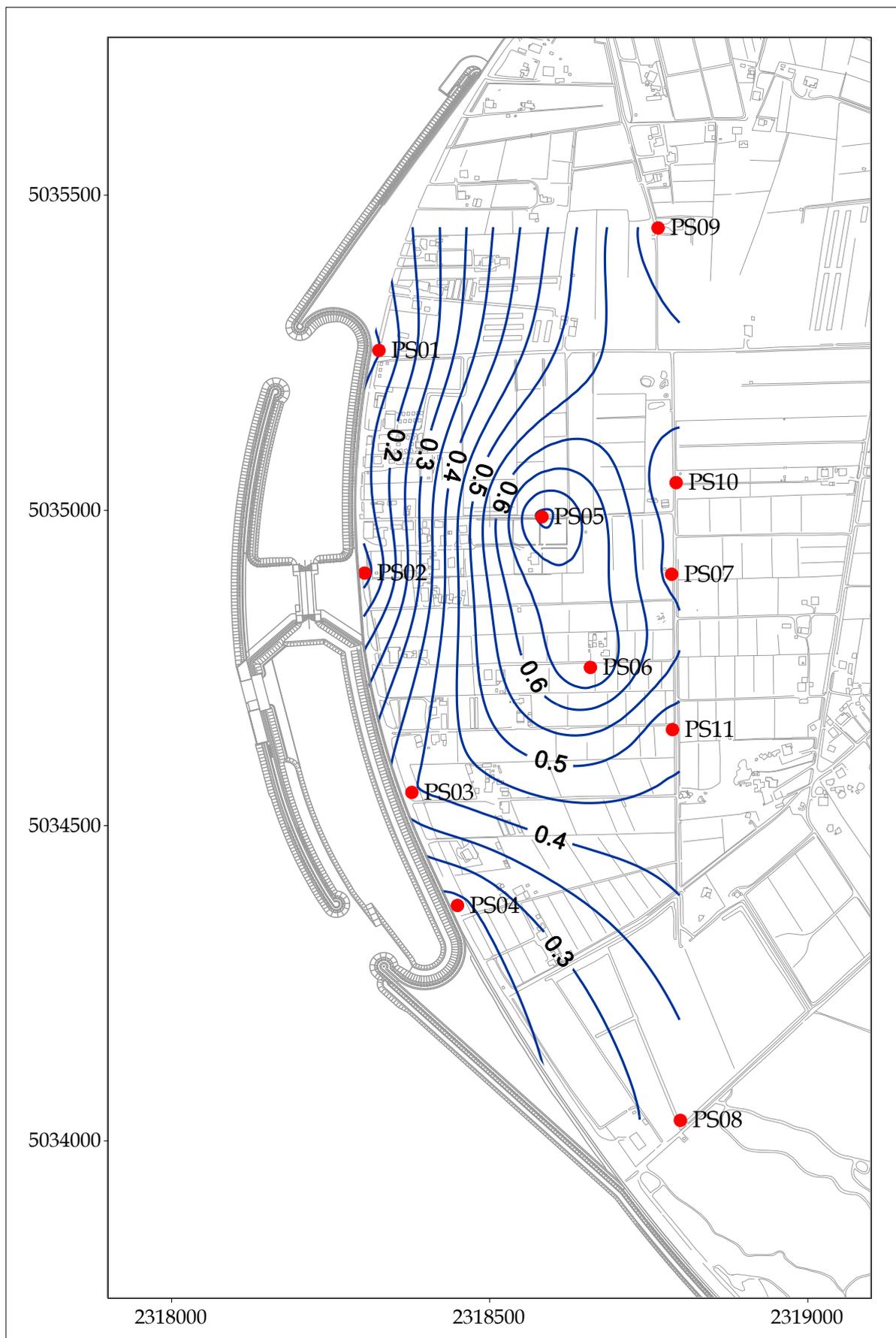


Fig. 5.6 - Piezometria superficiale - marzo 2011 ( $h_{tl}$  - m s.l.m.).

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

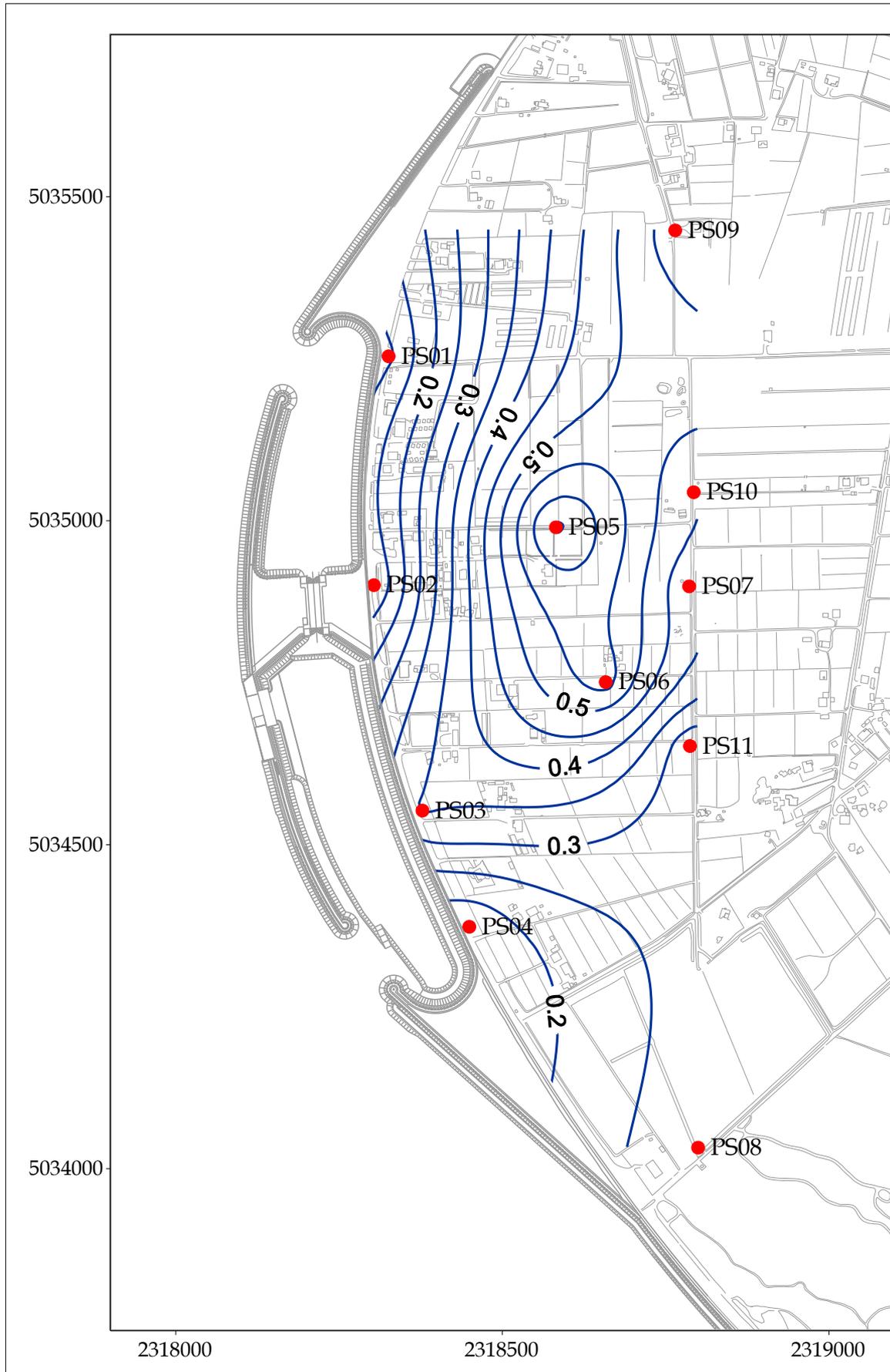


Fig. 5.7 - Piezometria superficiale - aprile 2011 ( $h_{hl}$  - m s.l.m.).

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

**5.1.2** *Piezometria profonda*

La piezometria del Secondo livello acquifero (Strato C) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levellogger posizionati in corrispondenza di piezometri profondi. In Tab. 5.3 sono riportati i livelli piezometrici riferiti a quattro istanti temporali, uno per ognuno dei mesi monitorati ed uno appartenente alla Fase A. Nelle Figg. 5.8÷5.12 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab. 5.3- Livelli piezometrici  $h_{fl}$  relativi al Primo livello acquifero: Fase A e quattro date di riferimento.

	X (m)	Y (m)	Date				
			Fase A	14/01/11 h.10	12/02/11 h.9	12/03/11 h.6	16/04/11 h.8
PP01	2318325.44	5035252.10	0.337	-0.205	-0.217	-0.276	-0.238
PP02	2318303.40	5034898.36	0.298	-0.406	-0.408	-0.462	-0.436
PP03	2318378.37	5034550.49	0.353	-2.259	-2.440	-2.486	-2.408
PP04	2318448.54	5034374.67	0.394	-4.523	-4.549	-4.618	-4.292
PP05	2318579.81	5034989.68	0.469	-0.324	-0.332	-0.385	-0.384
PP06	2318658.29	5034748.80	0.375	-0.565	-0.594	-0.641	-0.648
PP07	2318786.12	5034900.50	0.401	0.287	0.211	0.152	0.093
PP08	2318800.26	5034031.14	0.260	-0.499	-0.525	-0.550	-0.564
PP09	2318765.07	5035445.93	0.339	-0.049	-0.043	-0.091	-0.083
PP10	2318793.08	5035045.83	0.302	-0.302	-0.322	-0.366	-0.372
PP11	2318787.40	5034654.31	0.288	-0.452	-0.487	-0.504	-0.526
PP12	2318498.26	5034363.43	nd	-3.579	-3.631	-3.693	-3.479
PP13	2318631.11	5034397.36	nd	-1.535	-1.547	-1.565	-1.591
PP14	2318619.38	5034536.86	nd	-1.102	-1.120	-1.150	-1.154

Come illustrato nei precedenti Rapporti di Valutazione, la configurazione della piezometria profonda non risulta essere compatibile con quanto registrato durante la Fase A, risentendo delle operazioni di pompaggio della tura lato mare: in particolare nel piezometro PP03 si riscontra un abbassamento di livello di circa 2.5 - 3 m rispetto alla Fase A, mentre nel piezometro PP04 tale diminuzione di livello è compresa tra 4.5 e 5.5 m circa; negli altri piezometri i livelli risultano inferiori rispetto a quelli registrati nella Fase A, con differenze comprese tra 10 e 100 cm circa.

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

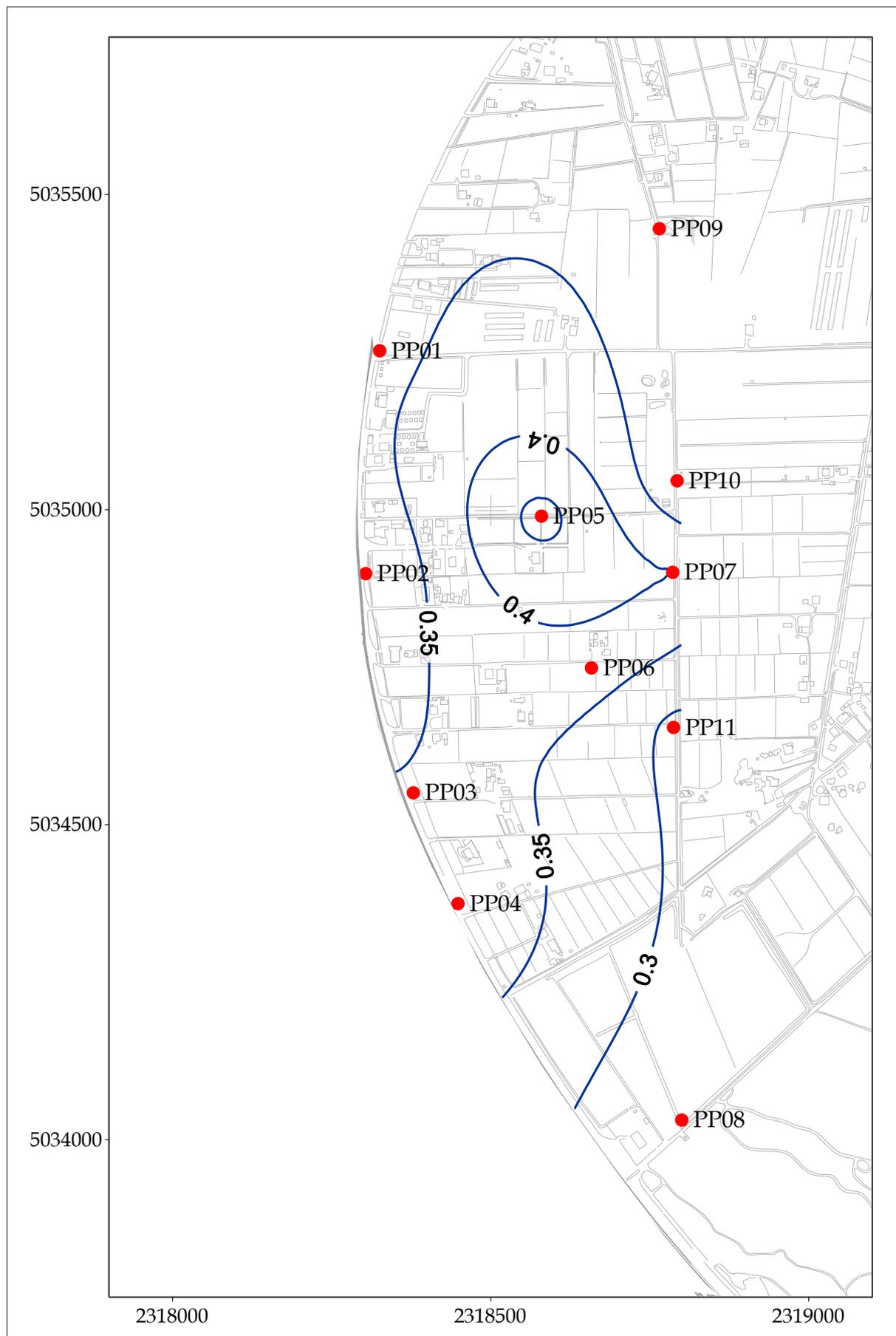


Fig. 5.8- Piezometria profonda Fase A - novembre 2005 ( $h_{el}$  - m s.l.m.).

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

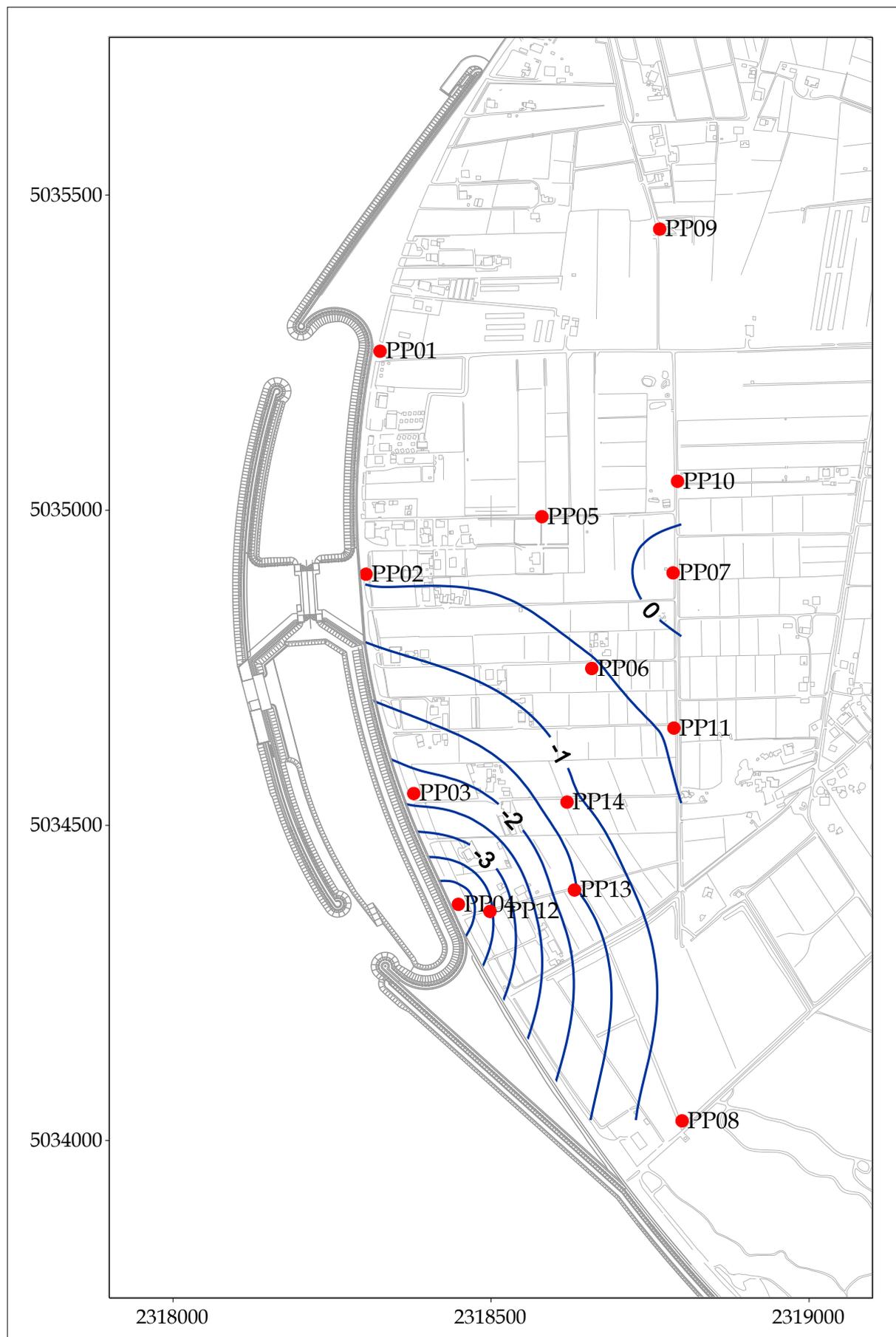


Fig. 5.9 - Piezometria profonda - gennaio 2011 ( $h_{PI}$  - m s.l.m.).

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

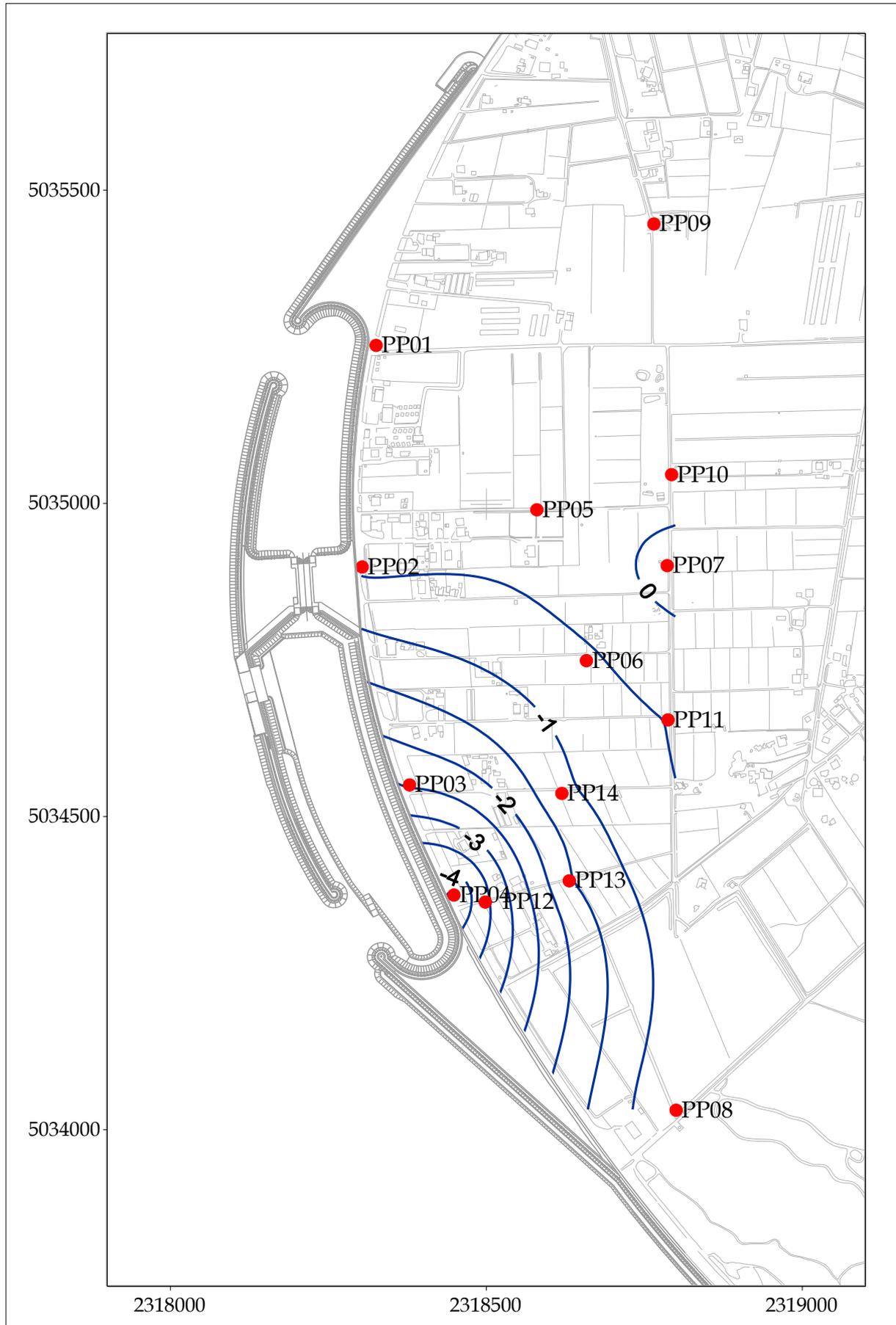


Fig. 5.10 - Piezometria profonda - febbraio 2011 ( $h_{PI}$  - m s.l.m.).

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

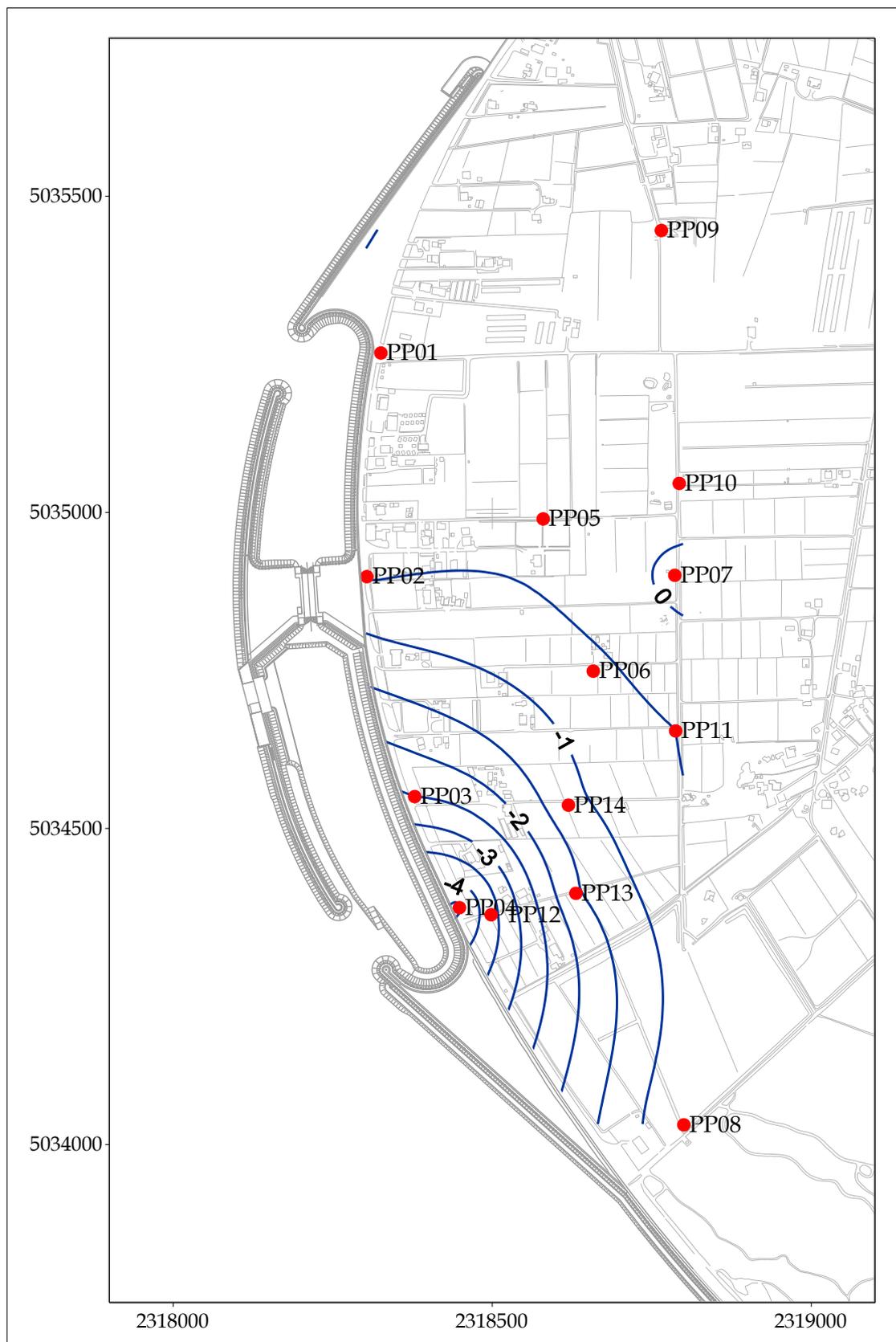


Fig. 5.11 - Piezometria profonda - marzo 2011 ( $h_{il}$  - m s.l.m.).

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

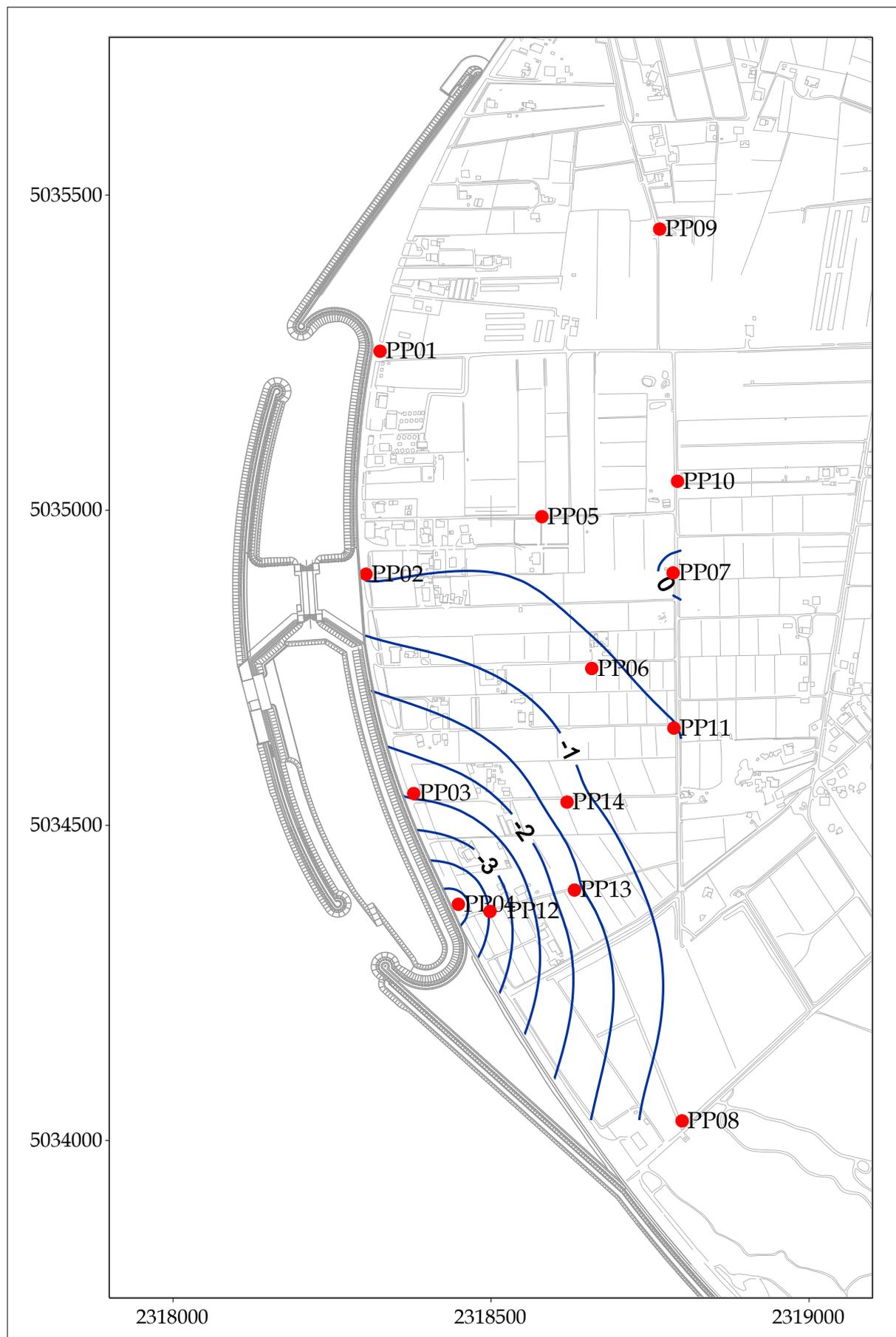


Fig. 5.12 - Piezometria profonda - aprile 2011 ( $h_{tl}$  - m s.l.m.).

## 6. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE

Le soglie identificate nel “Rapporto di Variabilità Attesa” (Studio B.6.72 B/1, dicembre 2005) 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. 6.1):

- 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. 6.1- 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 lato terra

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	Avviso Valutare affidabilità dati Barologger	Avviso Valutare affidabilità dati Barologger	Spostamento Barologger	Spostamento Barologger	Spostamento Barologger Interventi da valutare

Nel corso del quadrimestre di monitoraggio gennaio - aprile 2011 è stato verificato il rispetto delle soglie indicate in Tab. 6.1. Nel seguito sono indicati i superamenti:

- le soglie di Alto Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate per tutti i piezometri superficiali e profondi, ad eccezione del piezometro PS08 nei giorni 16-18/03/11 e del piezometro PS11 in data 16/03/11, a causa delle abbondanti precipitazioni dei giorni 13-17/03/11 (totale: 104 mm);
- le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate per tutti i piezometri superficiali;
- la soglia di Basso Livello Istantaneo non è stata rispettata nei piezometri profondi PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14 durante l'intero periodo monitorato; in occasione di alcuni massimi mareali sono stati registrati superamenti in tutti i piezometri profondi, ad eccezione delle postazioni PP07 e PP09;
- la soglia di Basso Livello Medio non è stata rispettata nei piezometri profondi PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14 durante tutto il periodo monitorato.

In Figg. 6.1, 6.2 e 6.3 sono visualizzate le soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali. In Figg. 6.5, 6.6 e 6.7 sono visualizzate le soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi. Nelle Figg. 6.4 e 6.8 sono riportati i tracciati dei livelli piezometrici mediati, rispettivamente dei piezometri superficiali e profondi, associati alla soglia di Basso Livello Medio.

## 6.1 Misure di mitigazione

La dinamica piezometrica in corrispondenza del livello acquifero profondo ha raggiunto una condizione di stabilità grazie agli interventi intrapresi nella gestione delle operazioni di pompaggio all'interno della tura (quali ad esempio la disattivazione del pozzo S5).

Nonostante ciò si osserva, in corrispondenza di tale livello acquifero, una distribuzione piezometrica fortemente dissimile da quella registrata in fase A. Per contenere ulteriormente il cono di depressione si suggerisce, come misura di mitigazione, la riduzione delle portate di pompaggio dei pozzi lato terra che risultano essere ancora attivi (S2, i2, i3, i4).

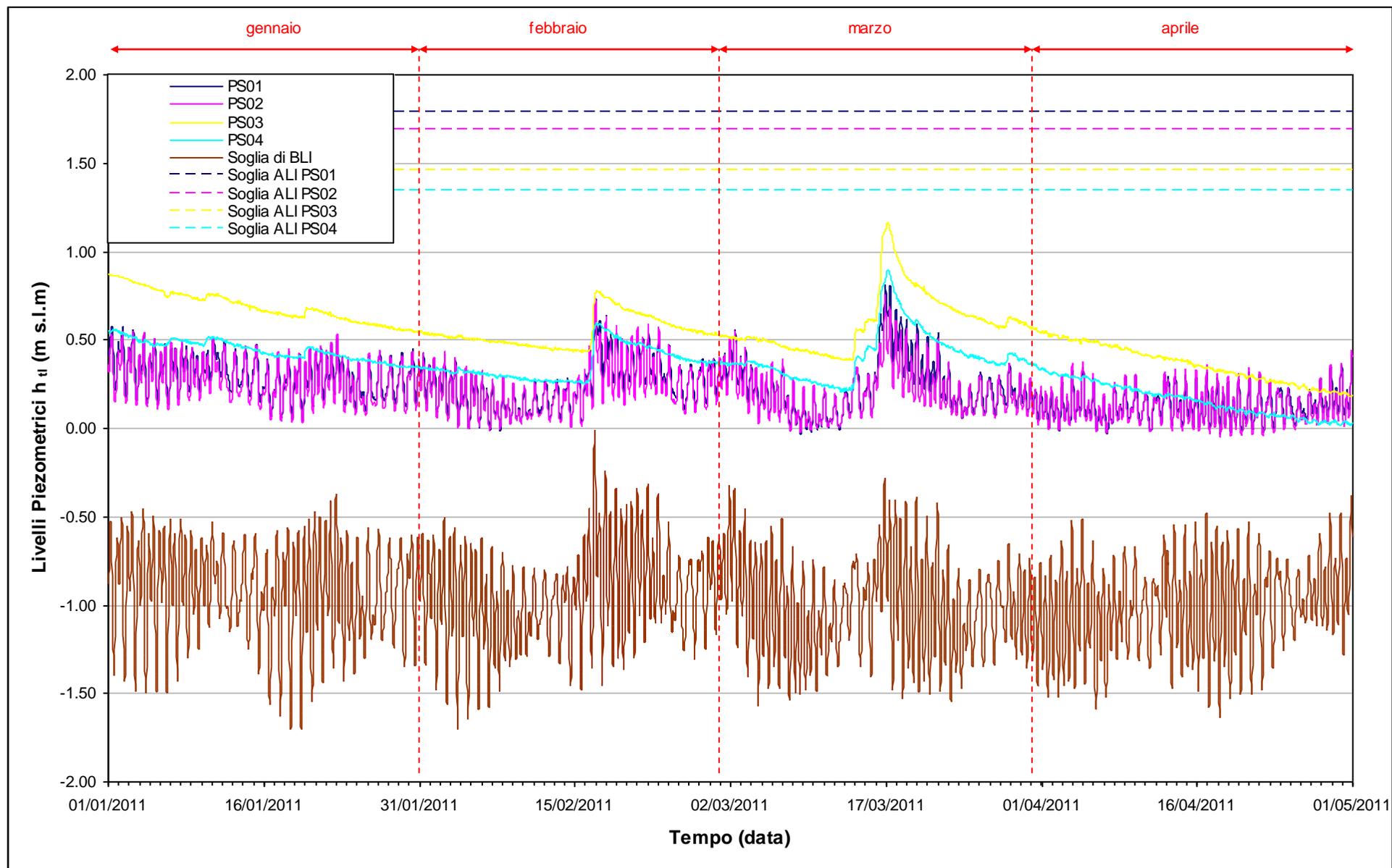


Fig. 6.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS01, PS02, PS03, PS04.

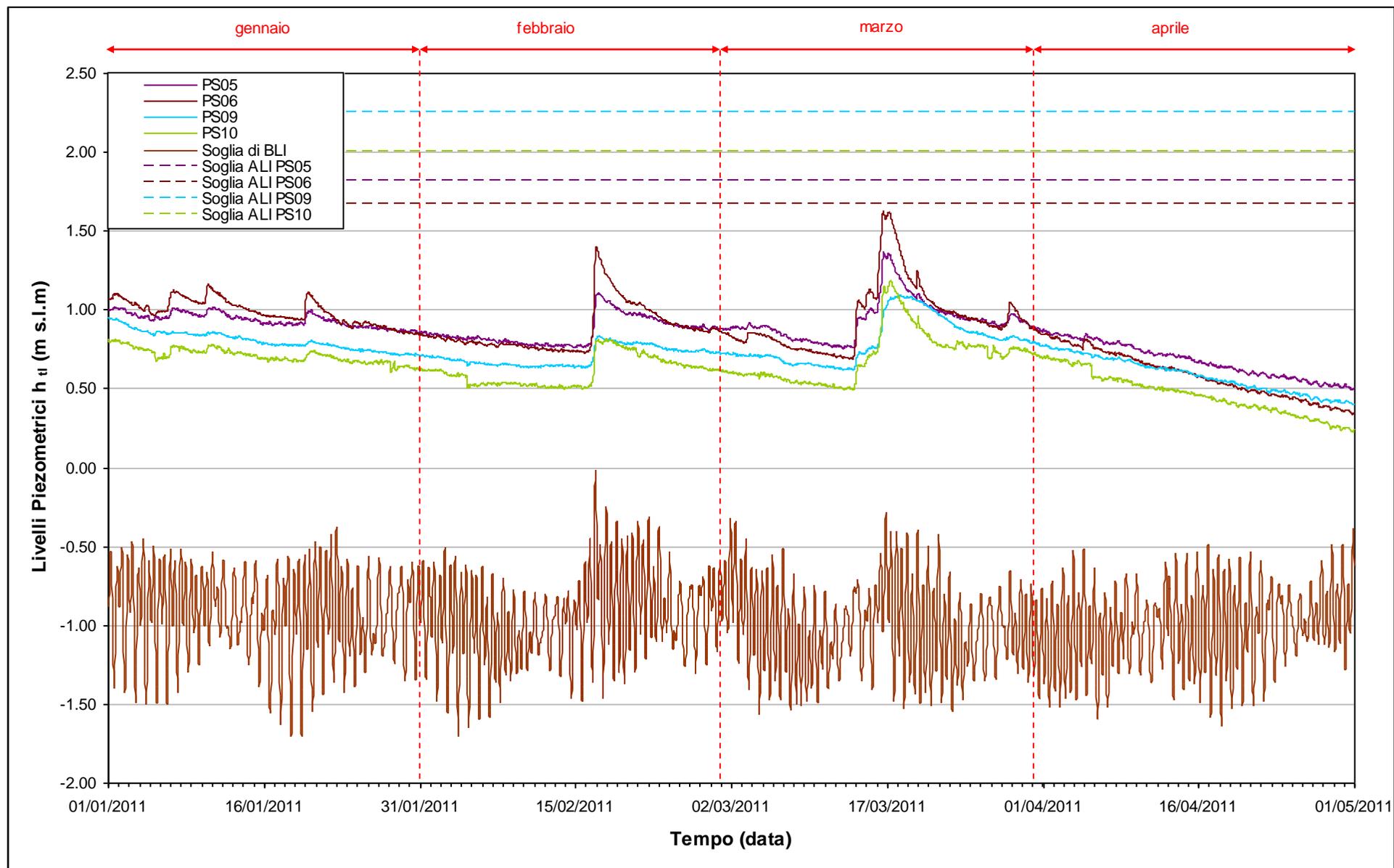


Fig.6.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS05, PS06, PS09, PS10.

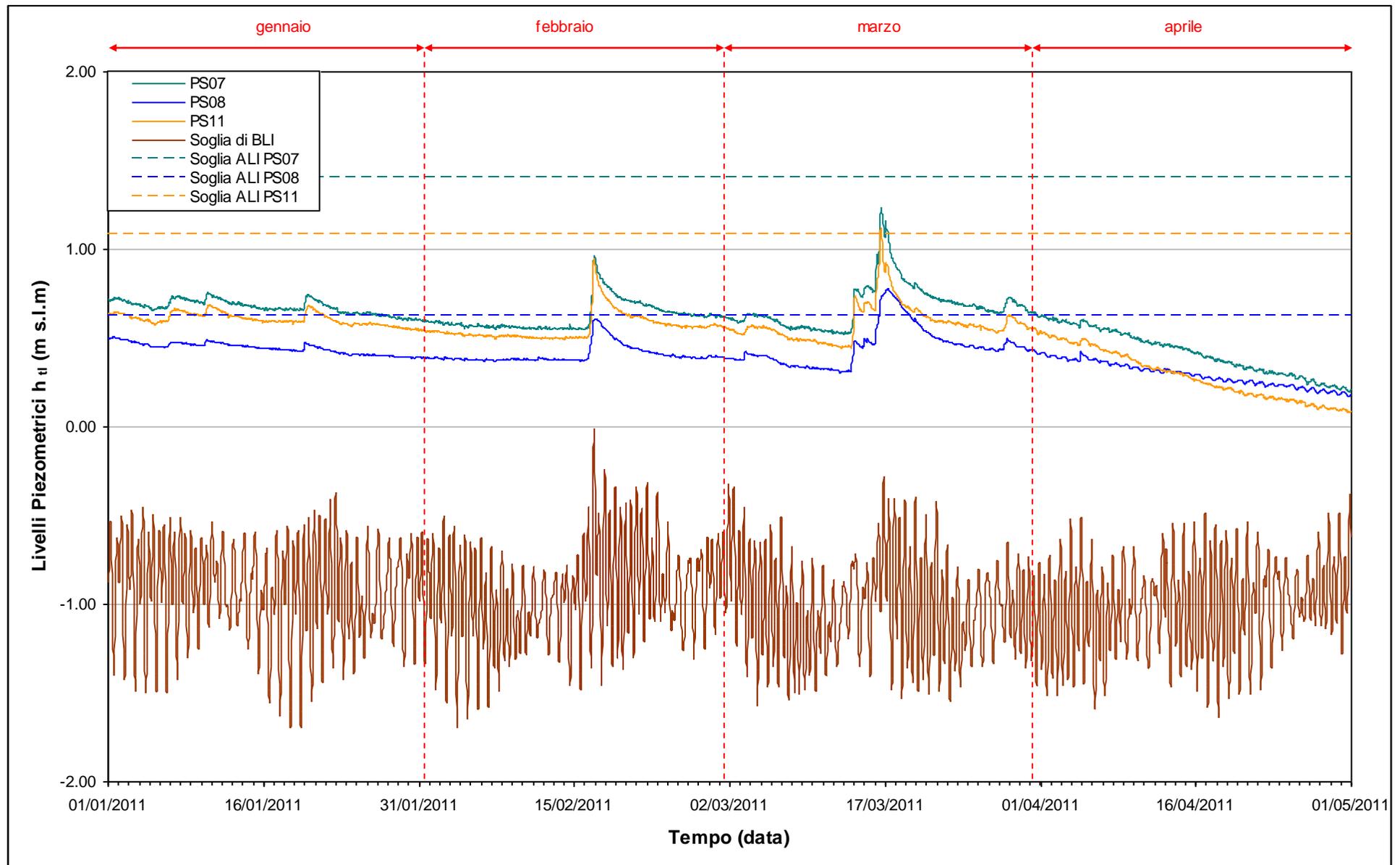


Fig.6.3 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS07, PS08, PS11.

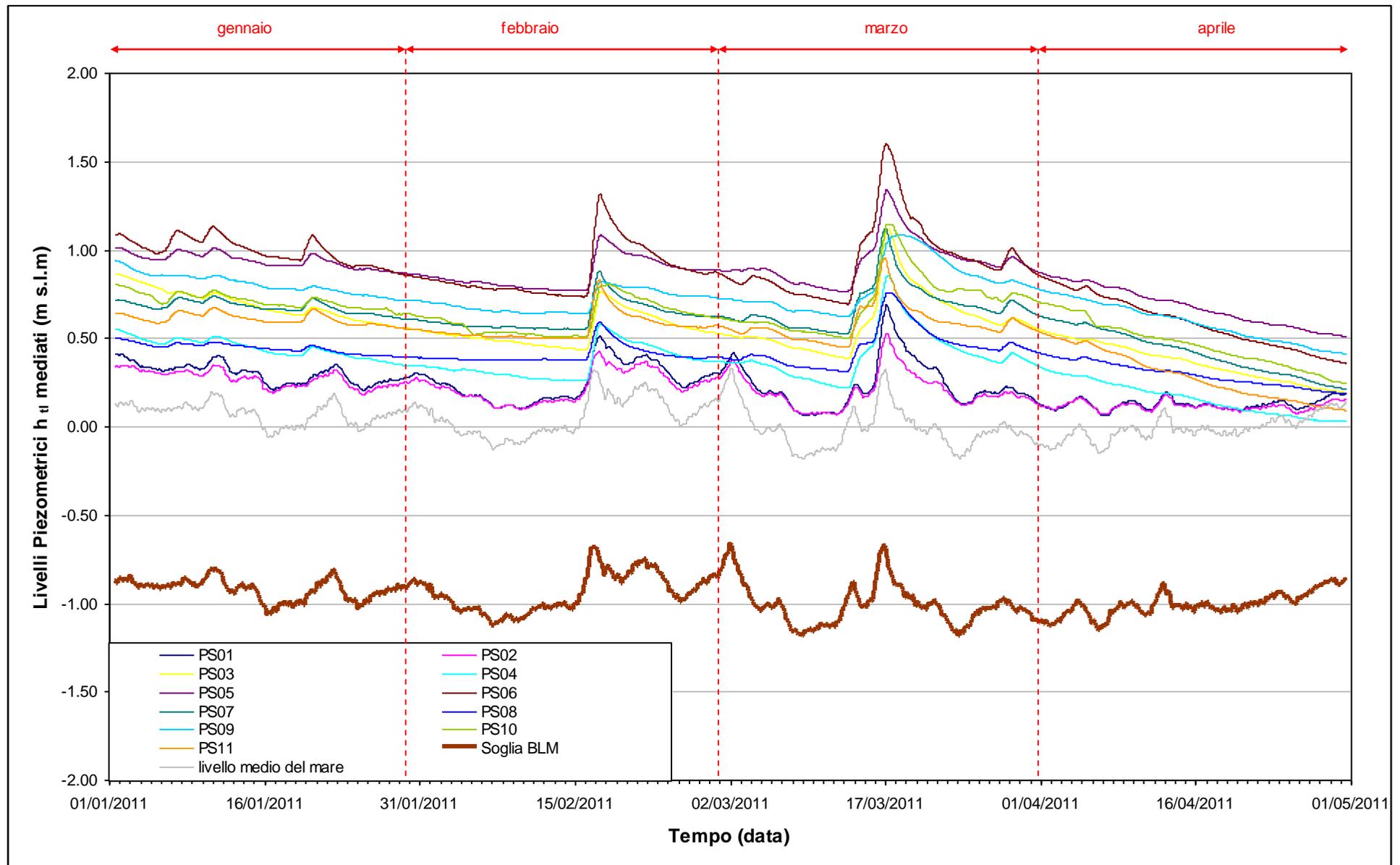


Fig. 6.4 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri superficiali e soglia di Basso Livello Medio.

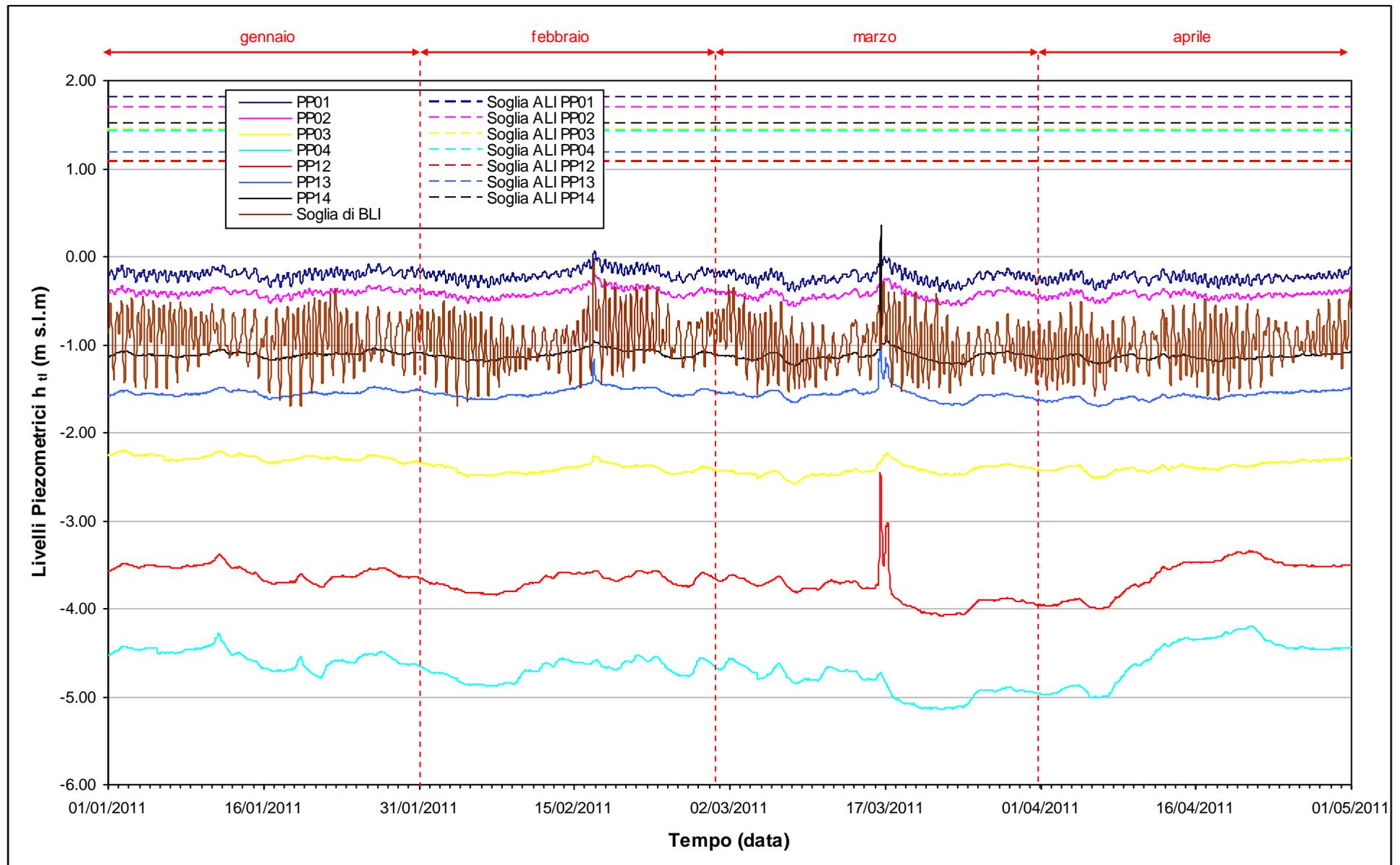


Fig. 6.5 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP04, PP12, PP13, PP14.

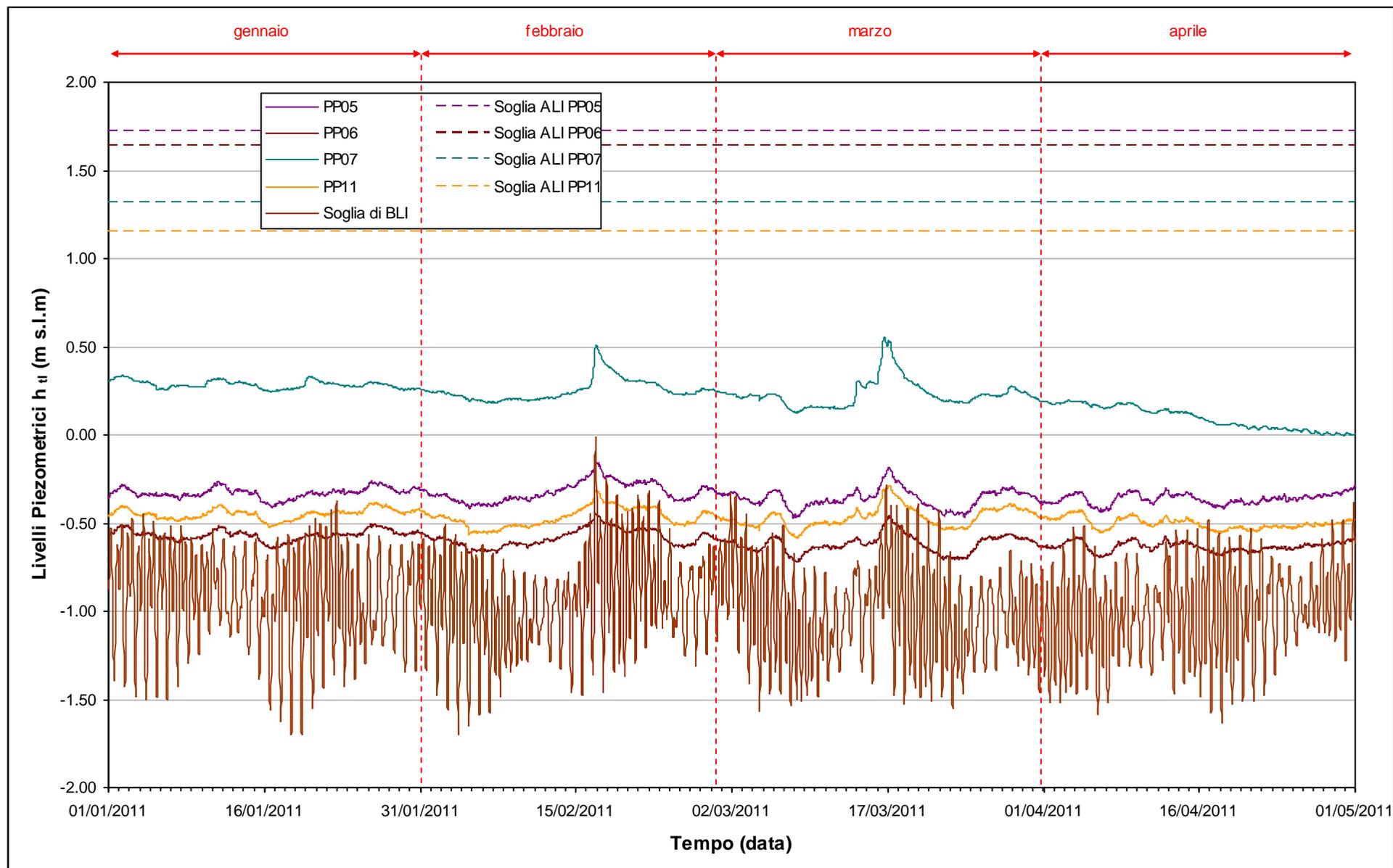


Fig. 6.6 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP11.

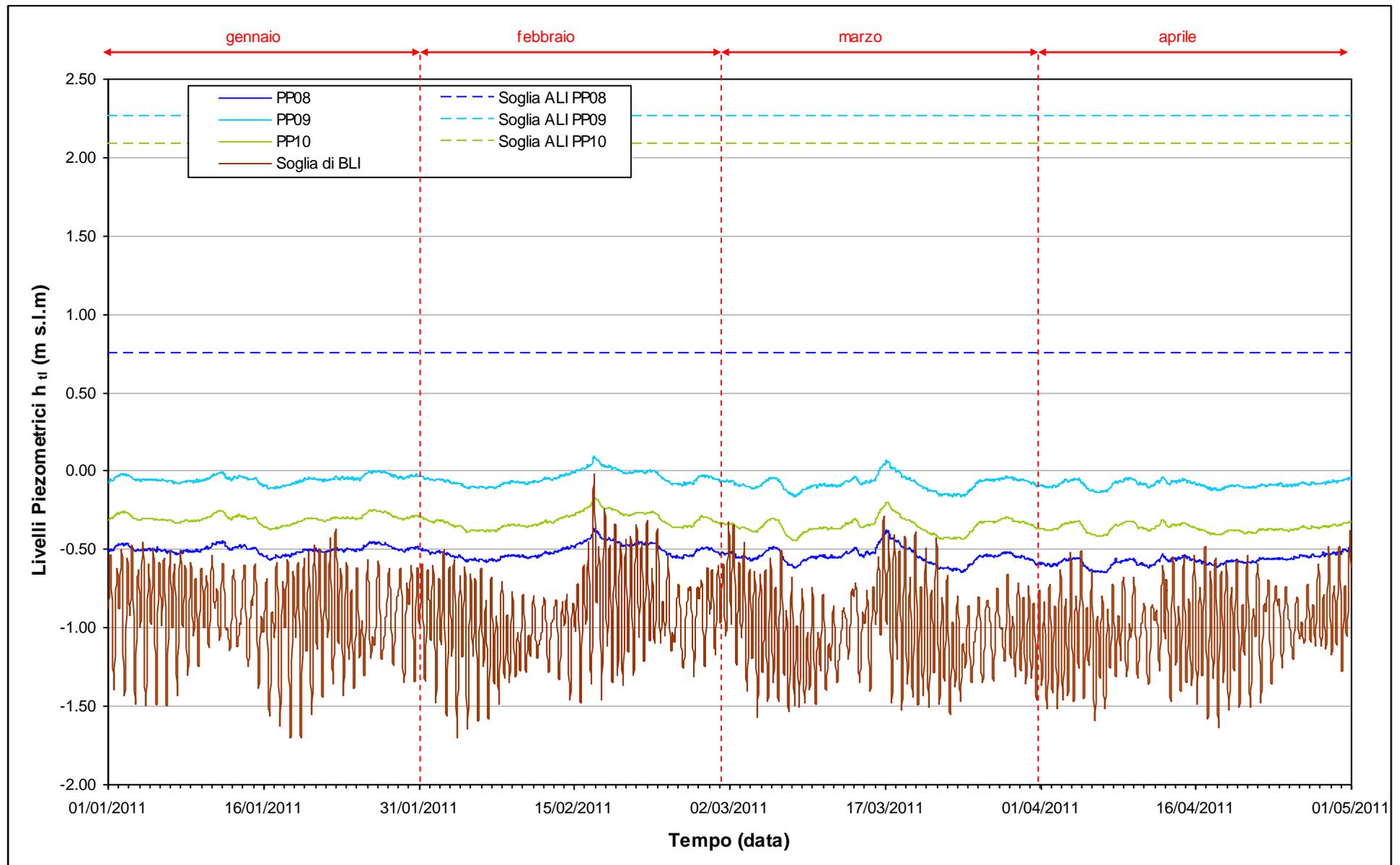


Fig. 6.7 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP08, PP09, PP10.

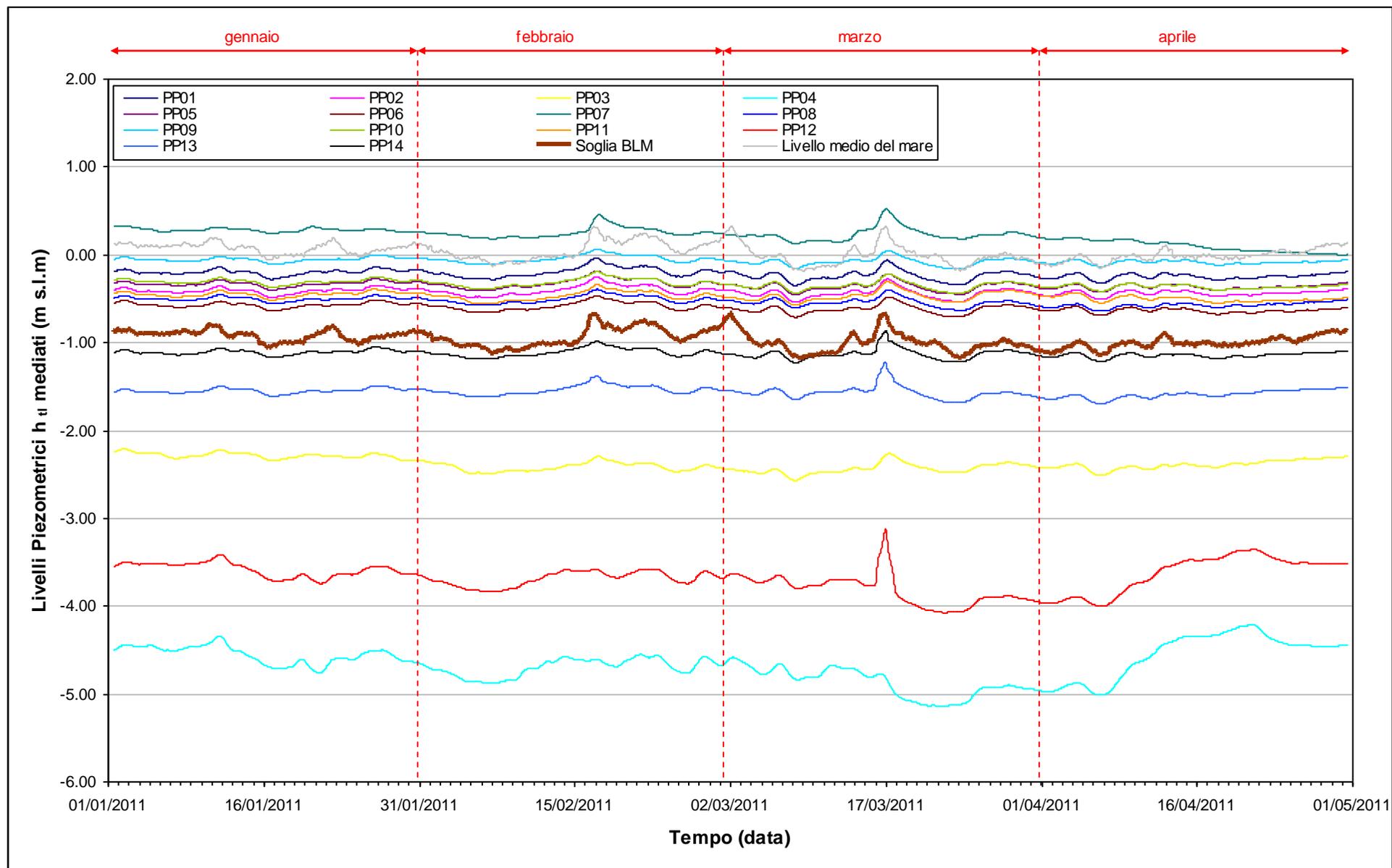


Fig. 6.8 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri profondi e soglia di Basso Livello Medio.

## 7. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/01/2011 e il 30/04/2011 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.

In tutti i piezometri dell'acquifero superficiale, ad eccezione delle postazioni PS01 e PS02 (i cui livelli sono legati alle oscillazioni mareali), si osservano diminuzioni del livello comprese tra 30 e 70 cm circa dovute alle scarse precipitazioni e all'evapotraspirazione.

La configurazione piezometrica in corrispondenza del secondo livello acquifero risente delle operazioni di pompaggio della tura lato mare. Tra l'inizio e la fine del periodo monitorato (01/01/11 - 30/04/11) non si osservano variazioni apprezzabili dei carichi idraulici nei piezometri profondi.

**PARTE SECONDA:  
MONITORAGGIO CANTIERE  
DI CA' ROMAN**

## 8. INTRODUZIONE

La seconda parte di questo documento descrive l'analisi dei dati derivanti dai rapporti mensili di monitoraggio nel periodo 1 gennaio 2011 - 30 aprile 2011 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/6 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2010).

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.

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

La realizzazione 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 attualmente 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*. Il pompaggio è attivo dal mese di aprile 2008. Il pompaggio di *dewatering* è tuttora in corso al fine di mantenere i livelli di falda al di sotto del fondo della tura.

Nel quadrimestre di monitoraggio non sono stati resi disponibili i dati relativi ai livelli ed alle portate di emungimento in corrispondenza della tura.

## 9. 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. 9.1), nel periodo compreso tra il 01/01/2011 e il 30/04/2011.

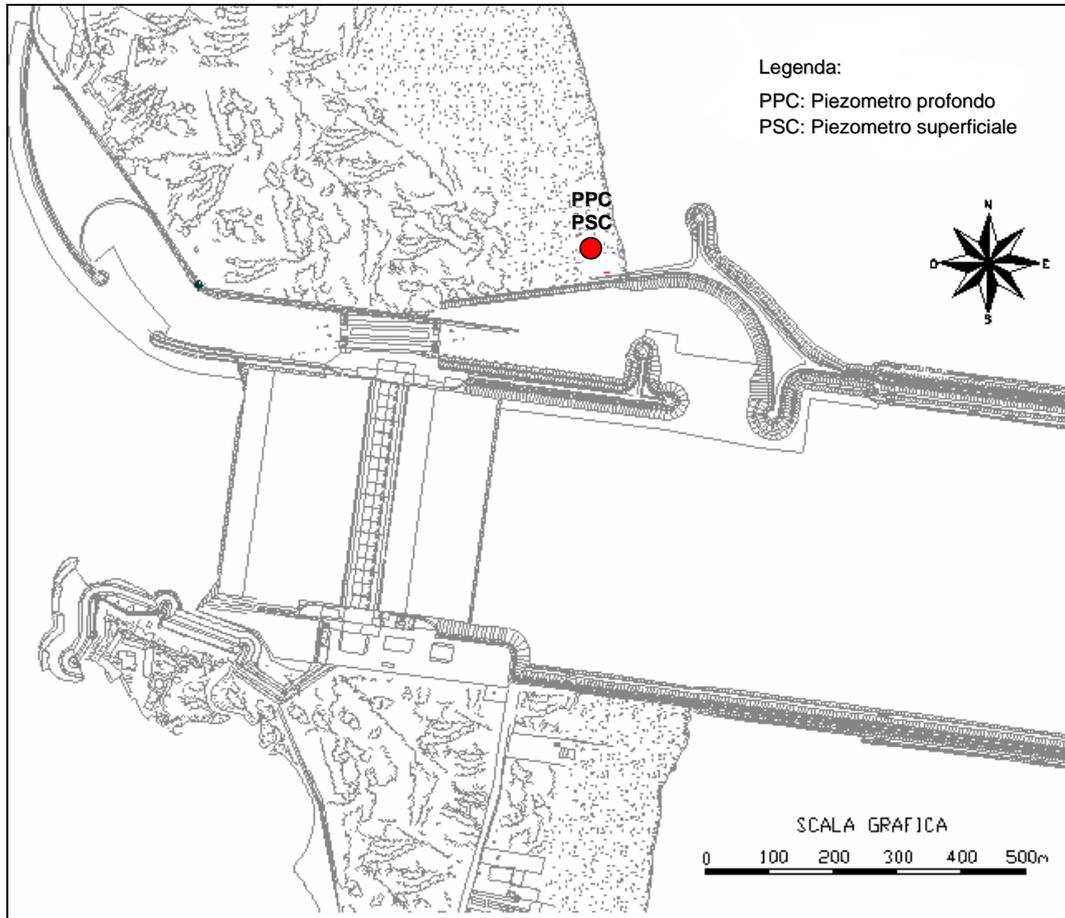


Fig. 9.1 - Ubicazione dei piezometri.

Tab. 9.1- 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

## 9.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello

La risposta del sistema è misurata dal carico idraulico  $h_{it}$ , 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).

## 9.2 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 meteorologica "Molo Ceppe" di Malamocco, gestita dal Magistrato alle Acque di Venezia (MAV) per i mesi di febbraio, marzo e aprile 2011; i dati relativi al mese di gennaio 2011 sono invece registrati dalla stazione "Chioggia loc. Sant'Anna" gestita da ARPA Veneto;
- **oscillazioni mareali** registrate dal mareografo "Diga Sud Chioggia";
- **pressione atmosferica** registrata dal barologger BC01, installato in corrispondenza del piezometro superficiale PSC01.

### 9.2.1 Precipitazioni

In Fig. 9.2 è riportato l'andamento delle precipitazioni registrate durante il periodo di monitoraggio dalle stazioni meteorologiche "ARPAV - Chioggia loc. Sant'Anna" (gennaio 2011) e "Ceppe" di Malamocco (febbraio, marzo e aprile 2011). La Tab. 9.1 riporta gli eventi piovosi più significativi, caratterizzati da un'altezza di pioggia superiore a 5 mm.

Tab. 9.2- Eventi piovosi significativi verificatisi nel periodo di monitoraggio.

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
16/02/11	19	28.7
13-14/03/11	11	15.6
14-15/03/11	13	8.1
15-17/03/11	33	52.7

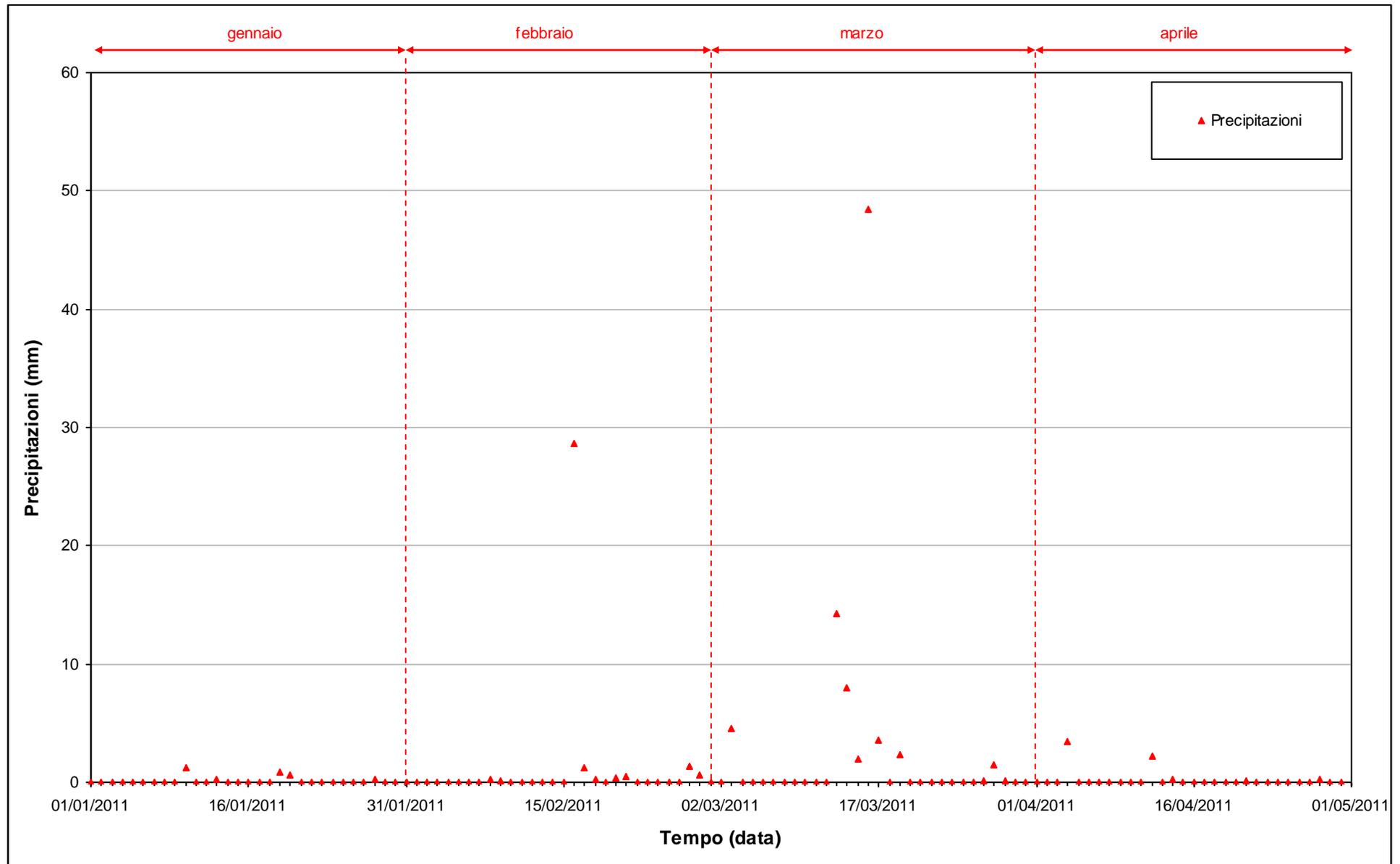


Fig. 9.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/01/2011 - 30/04/2011.

### 9.2.2 Livello del mare

In Fig. 9.3 è tracciato l'andamento del livello del mare registrato dal mareografo "Chioggia Città" durante il mese di monitoraggio. 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.

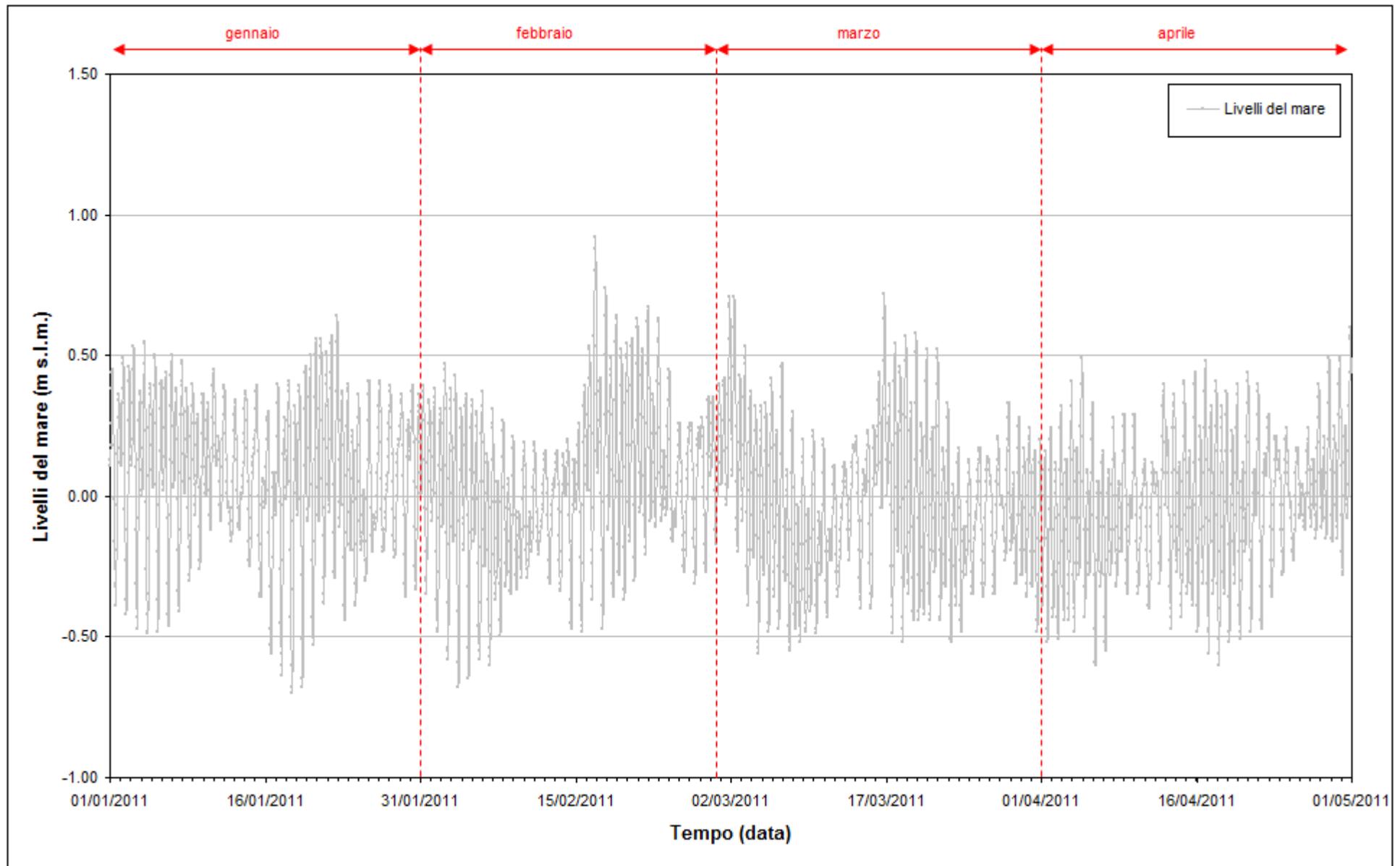
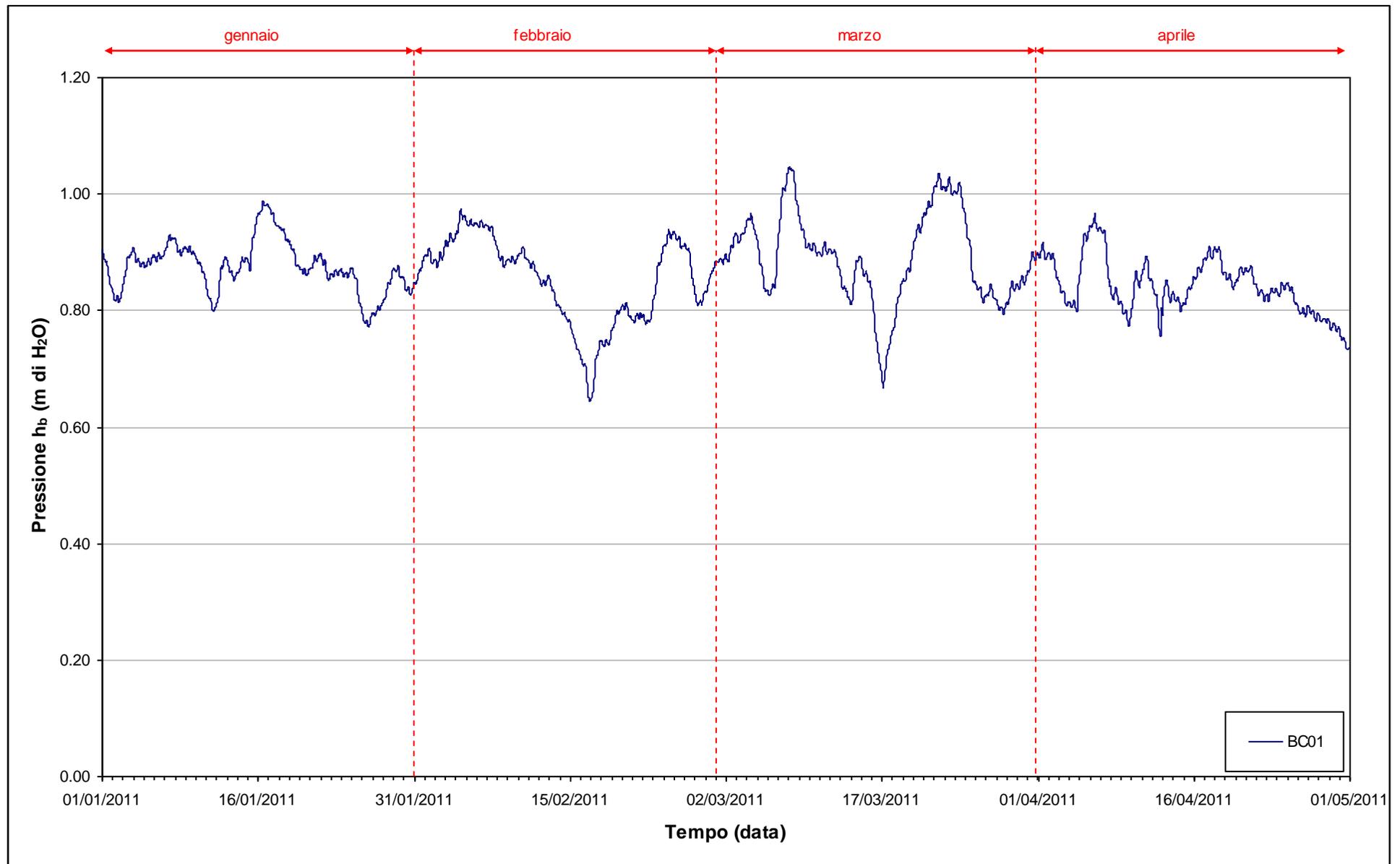


Fig. 9.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Chioggia Città. I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

**9.2.3** *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. 9.4 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. 9.4- Tracciato di misura del Barologger BC01 ( $h_b$ ).

### **9.3 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.

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

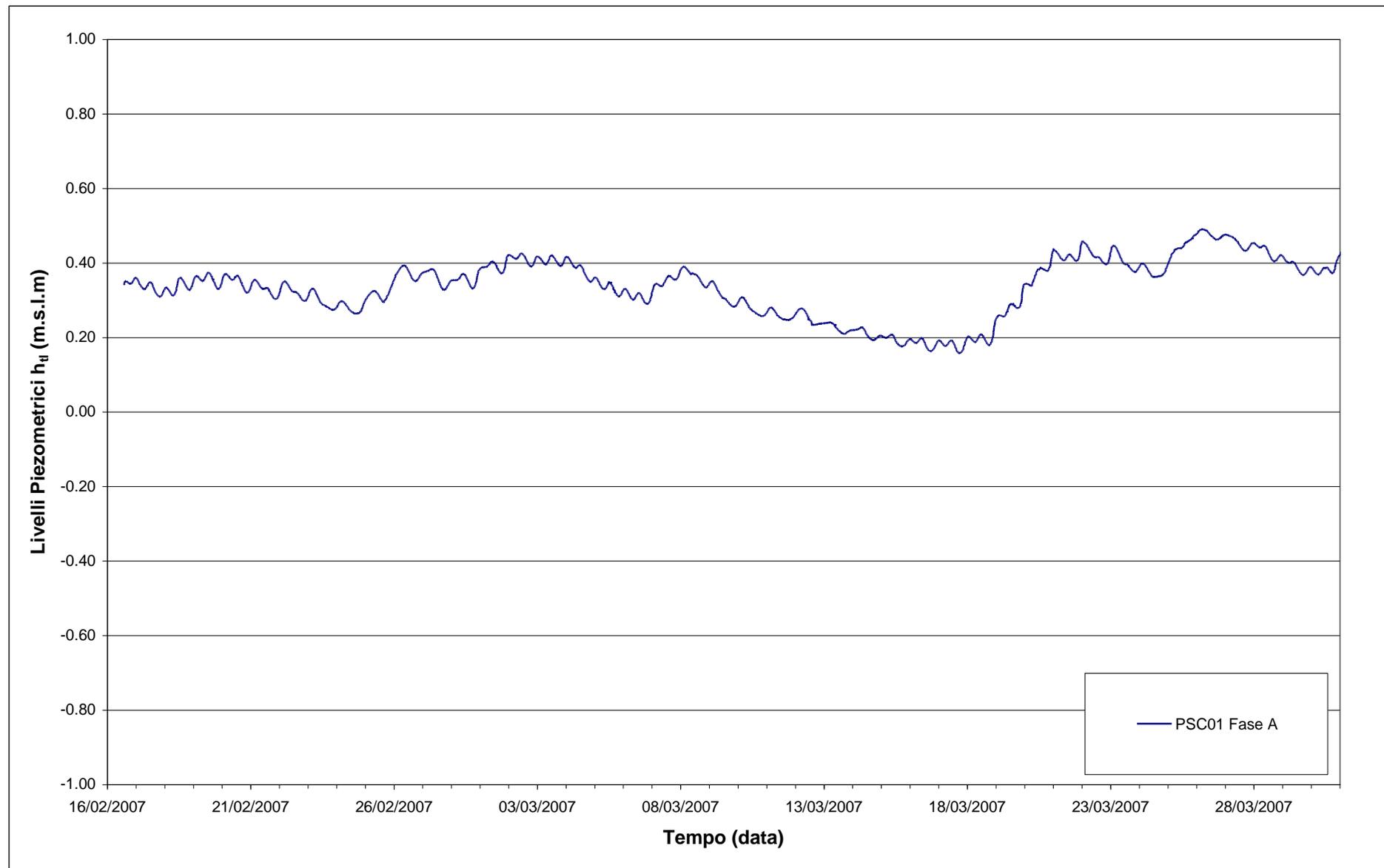
In Fig. 9.5 sono riportati i dati relativi ai livelli del piezometro PSC01 durante la Fase A (febbraio - marzo 2007).

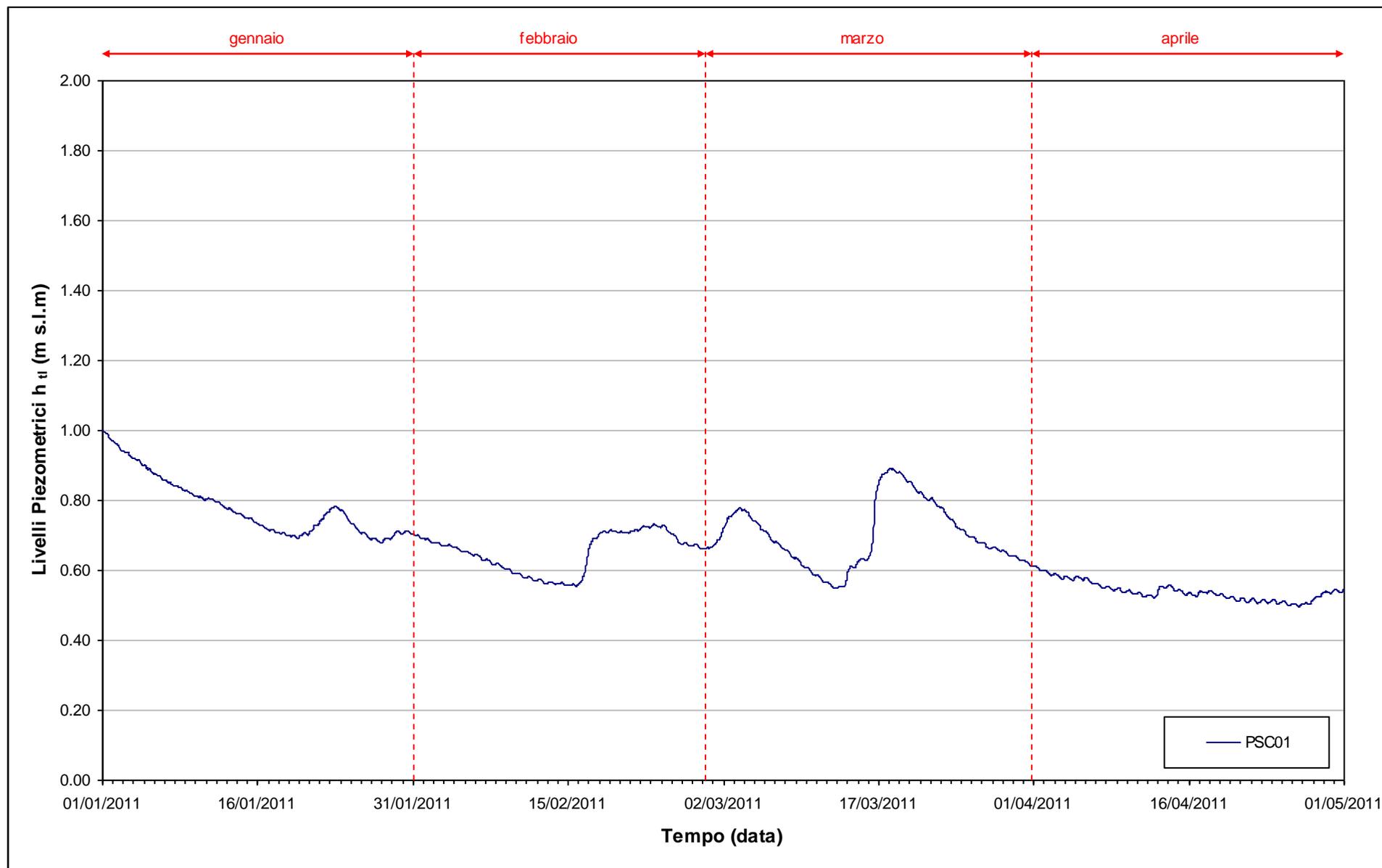
#### **9.3.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$**

I dati riportati in Fig. 9.6 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio 01/01/11 - 30/04/11.

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

Tra l'inizio e la fine del periodo di monitoraggio (01/01/11 - 30/04/11) si osserva una diminuzione di circa 45 cm del livello nel piezometro PSC01, dovuta all'evapotraspirazione.

Fig. 9.5 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale durante la Fase A.

Fig. 9.6- Livelli piezometrici (h<sub>u</sub>) relativi al piezometro superficiale nel quadrimestre di monitoraggio.

### 9.3.3 Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione

In Fig. 9.7 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 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 la percentuale di ore diurne, sul totale annuale (vedi Tab. 9.2);
- c è un coefficiente (posto pari a 0.45) che tiene conto della vegetazione, dell'umidità, della velocità del vento, ecc.

Tabella 9.1-Valori di evapotraspirazione media mensile stimati con la formula di Blaney - Criddle.

Mese	T media [°C]	gg	p [%]	c	ETP [mm/d]	Precipitazioni [mm]
Gennaio	3.9	31	9.2	0.45	1.3	14.0
Febbraio	5.5	28	10.4	0.45	1.7	53.2
Marzo	10.7	31	11.9	0.45	2.3	120.2
Aprile	19.1	30	13.6	0.45	3.3	8.2
<b>TOTALE</b>	12.6 °C (media)	122 gg	-	-	257.2 mm	195.6 mm

Il grafico 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.

In Fig. 9.8 è riportato il confronto dei livelli nel piezometro PSC01 nel periodo gennaio - aprile per gli anni dal 2007 al 2011. Rispetto agli anni precedenti, i livelli nel quadrimestre gennaio - aprile 2011 sono leggermente inferiori ai livelli misurati nel 2009 e 2010, mentre rispetto a quelli registrati nello stesso periodo del 2007 e 2008 (fase *ante operam*) si osserva un aumento del livello medio di falda pari a circa 30-35 cm, attribuibile all'effetto di isolamento dalla forzante mareale dato dal diaframma plastico lato terra.

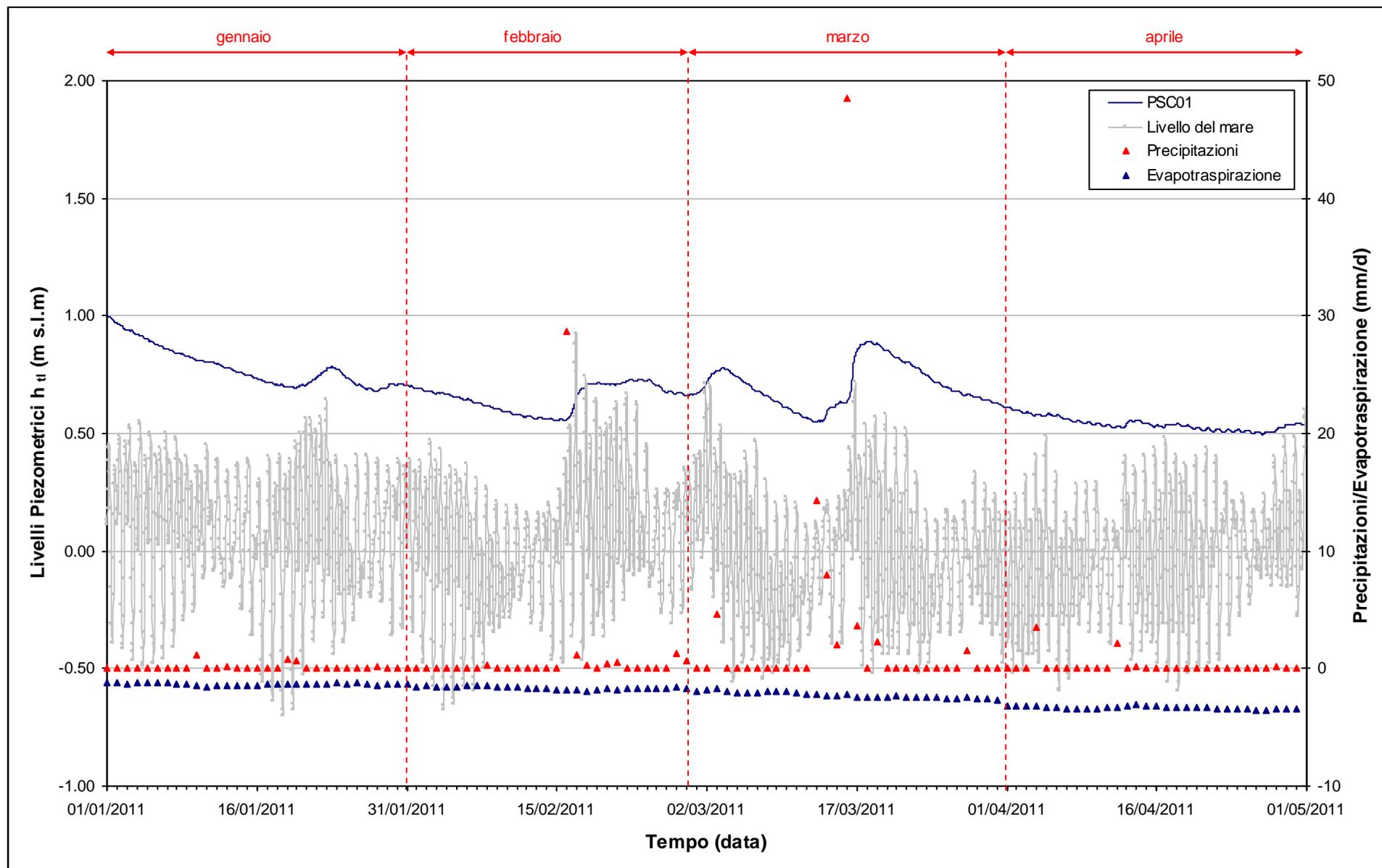


Fig. 9.7 - Livelli piezometrici del piezometro superficiale PSC01 e livelli del mare.

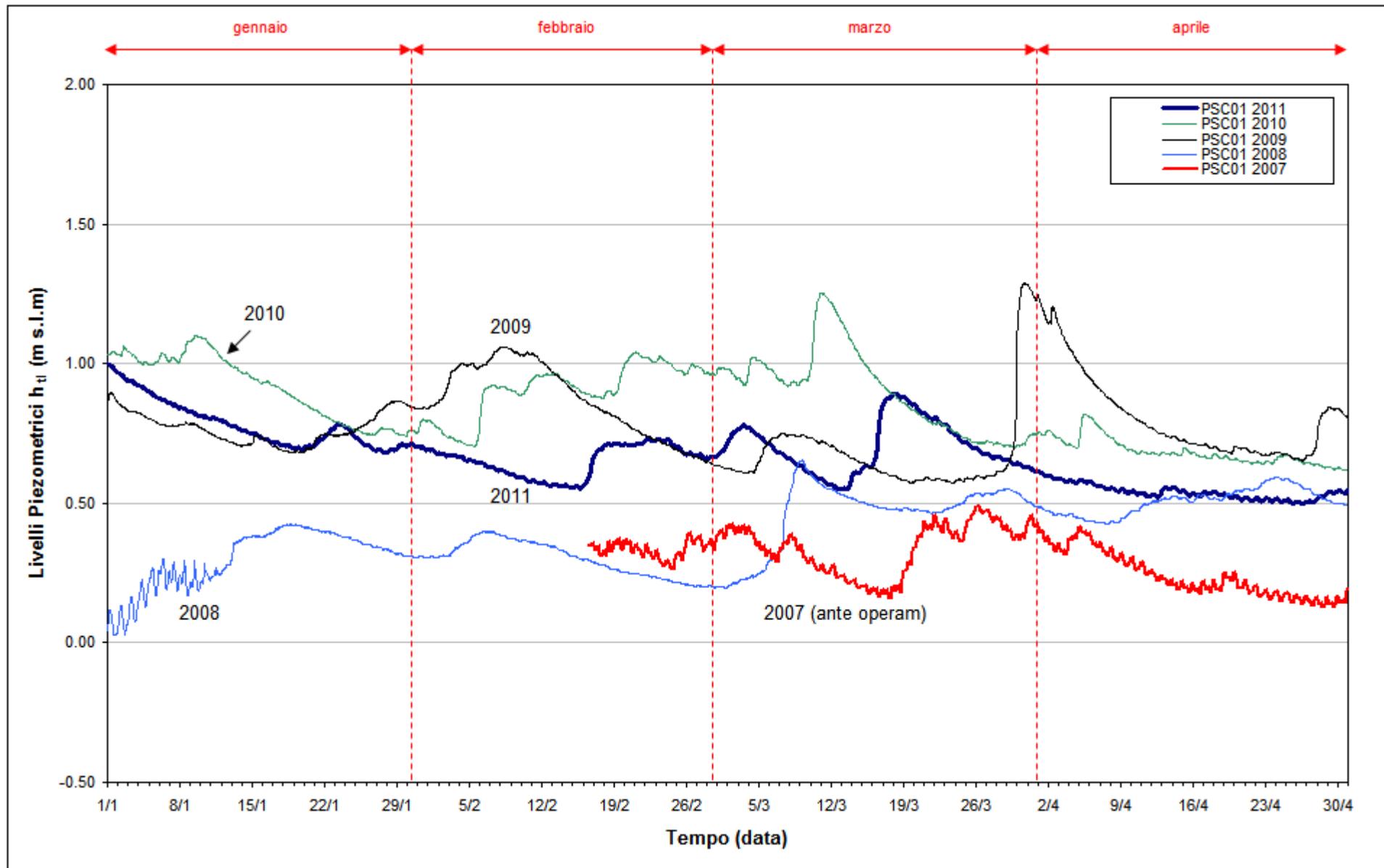


Fig. 9.8 - Confronto tra i livelli piezometrici ( $h_u$ ) nel piezometro PSC01 nel periodo settembre - dicembre degli anni 2007÷2011.

#### **9.4 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.

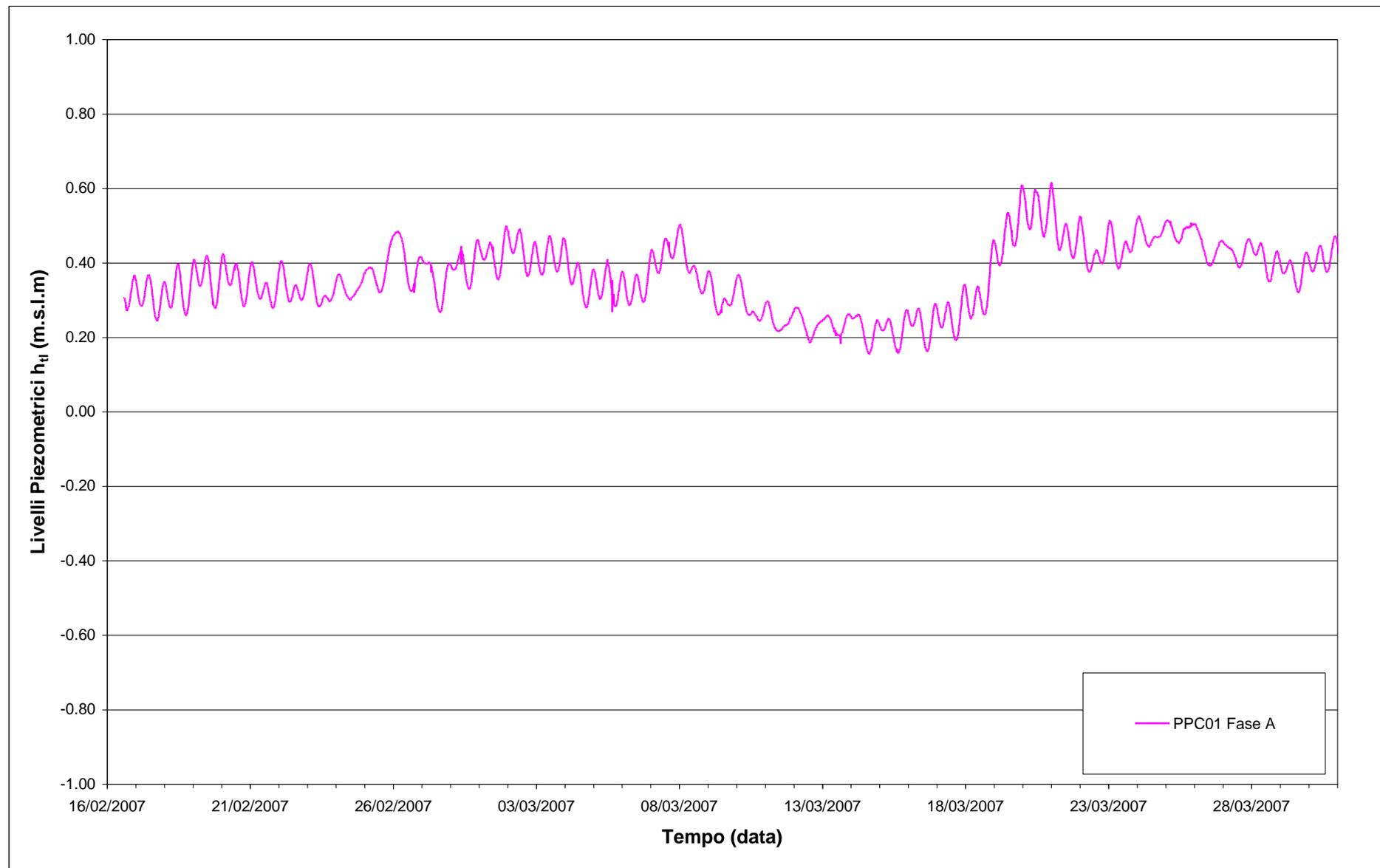
##### **9.4.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_H$ (Fase A)**

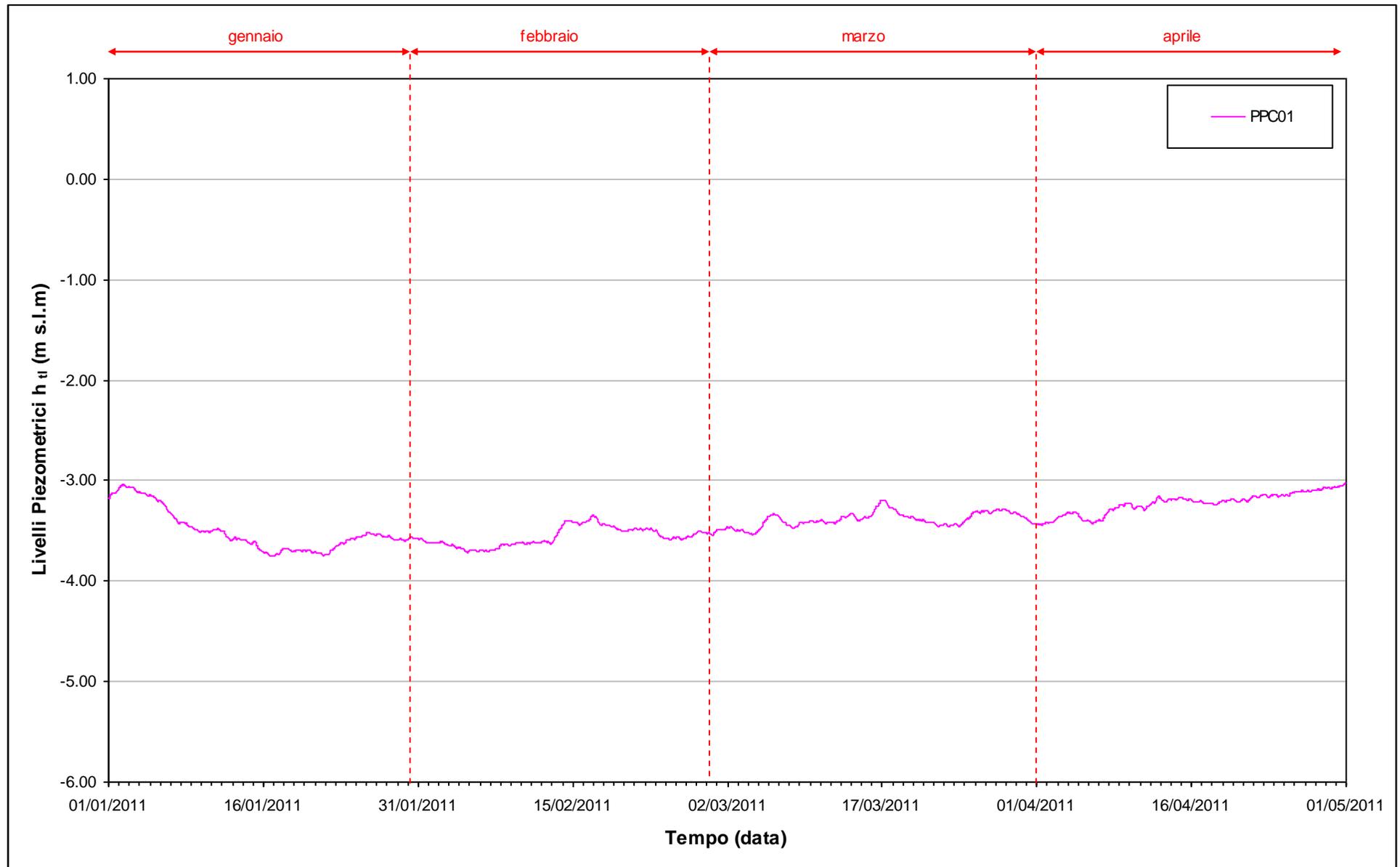
I dati riportati in Fig. 9.9 si riferiscono ai livelli piezometrici assoluti misurati in corrispondenza del piezometro profondo PPC01 nel periodo febbraio - marzo 2007 (Fase A).

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

I dati riportati in Fig. 9.10 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio gennaio - aprile 2011.

Come risulta dal tracciato di Fig. 9.9, durante il periodo di monitoraggio si è verificata una lieve risalita del carico idraulico (circa 15 cm) che può essere attribuita ad una diminuzione delle portate di emungimento nella tura.

Fig. 9.9- Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo durante la Fase A.

Fig. 9.10 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo.

**9.4.3** *Effetti mareali e antropici*

In Fig. 9.11 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 palancolati perimetrali della tura, avvenuta nel mese di gennaio 2008, anche nell'acquifero profondo sono scomparse le oscillazioni di livello indotte dalle maree.

In Fig. 9.12 è riportato il confronto tra i quadrimestri gennaio - aprile, a partire dal 2007. Rispetto al 2007 (situazione ante operam), il carico idraulico nel secondo livello acquifero è diminuito di circa 4 m a causa dell'emungimento nella tura. Si osserva tuttavia un aumento del livello medio rispetto al 2009 e 2010, rispettivamente di circa 125 cm e circa 150 cm: tale variazione è attribuibile ad una diminuzione delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering.

CORILA

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

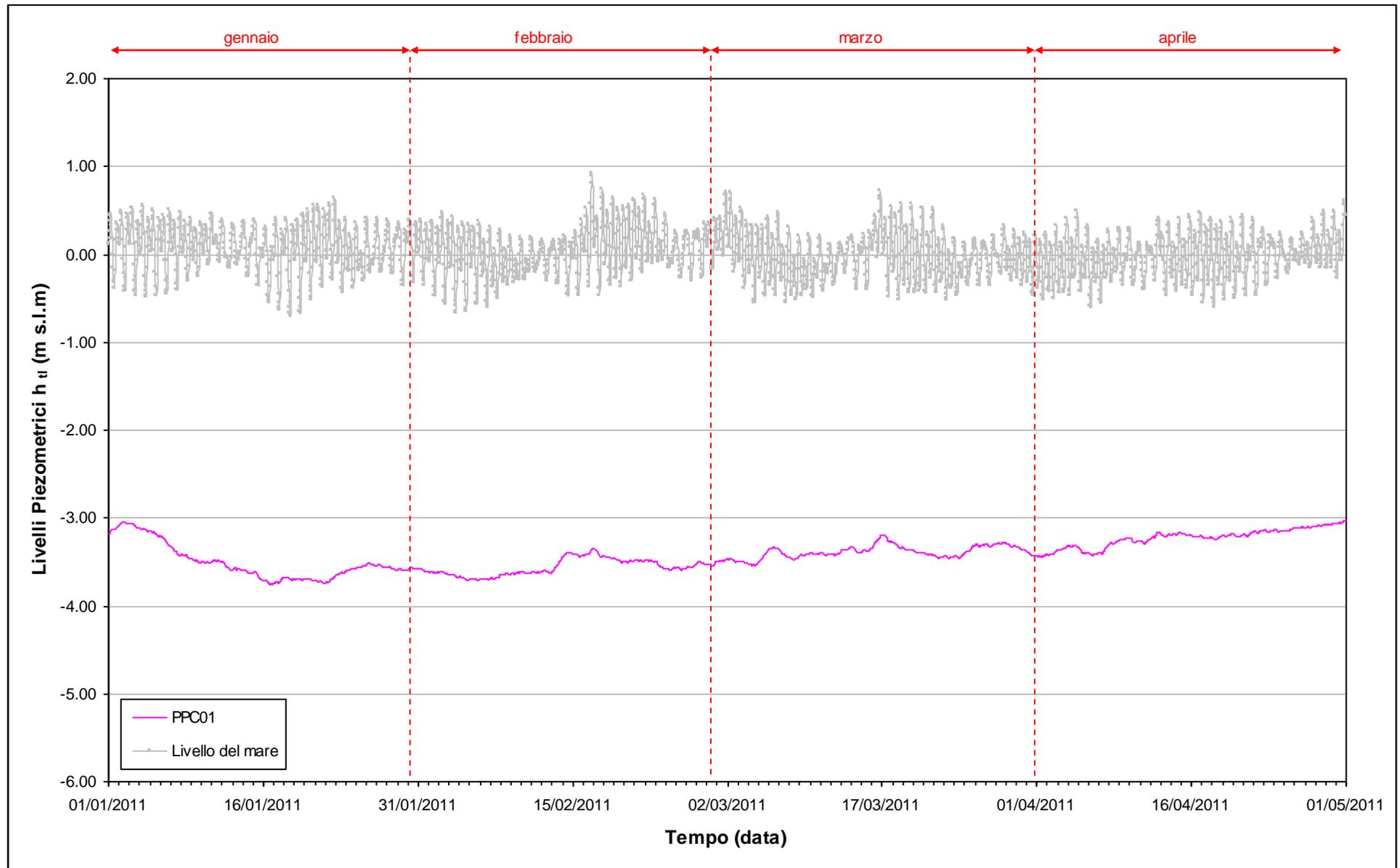
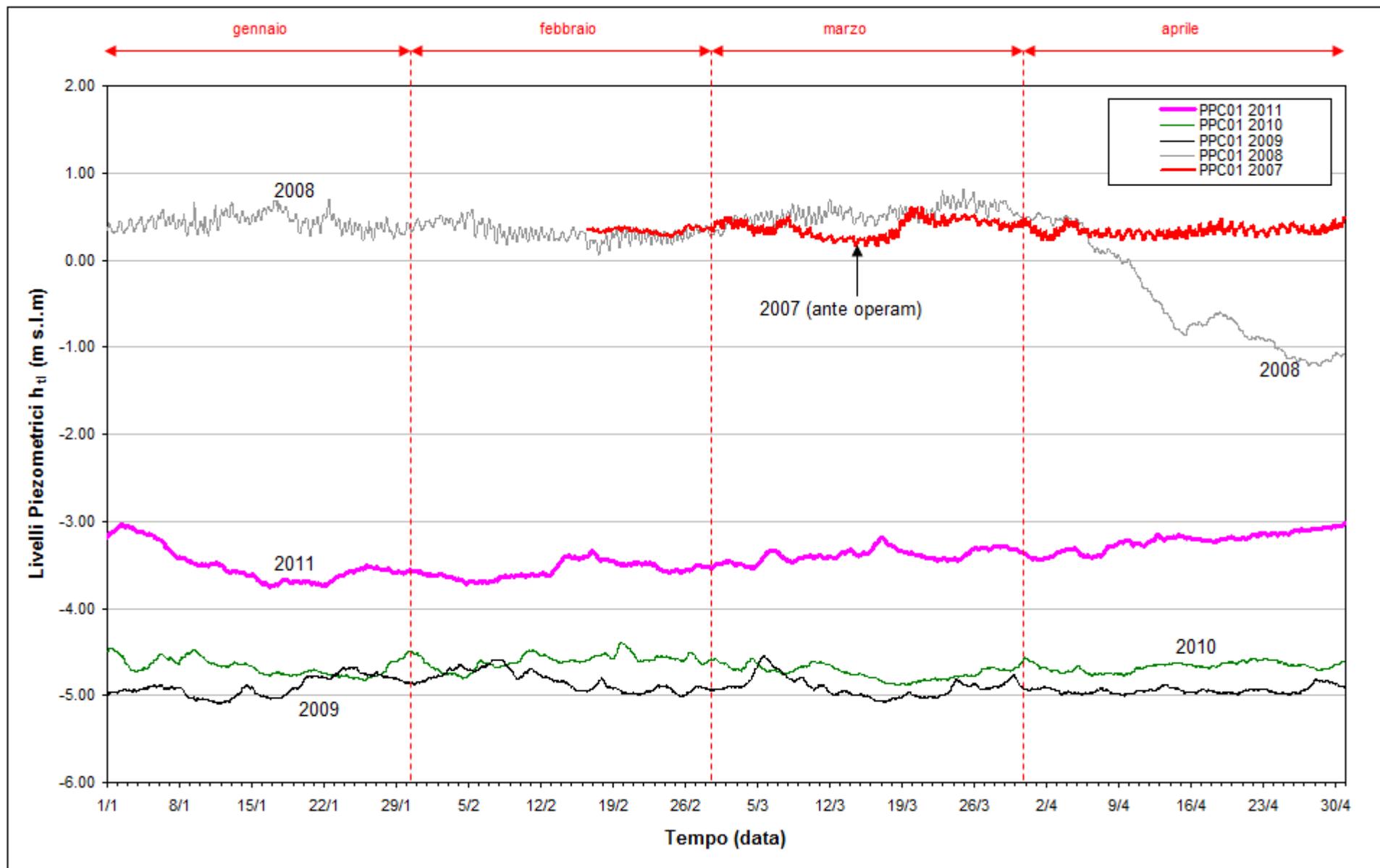


Fig. 9.11 - Livelli piezometrici del piezometro profondo PPC01 e livelli del mare.

Fig. 9.12 - Confronto tra i livelli piezometrici ( $h_u$ ) nel piezometro PPC01 nel periodo gennaio - aprile degli anni 2007-2011.

## **10. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE**

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

Dalle verifiche effettuate durante l'elaborazione dei dati, a meno di saltuarie valutazioni puntuali errate, tutti i trasduttori risultano funzionare correttamente.

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

### 11.1 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:

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

#### 11.1.1 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. 11.1÷11.4) 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.

Nel quadrimestre monitorato (gennaio - aprile 2011) si osserva un lieve aumento della densità dell'acqua sia nel piezometro superficiale PSC01 che nel piezometro profondo PPC01.

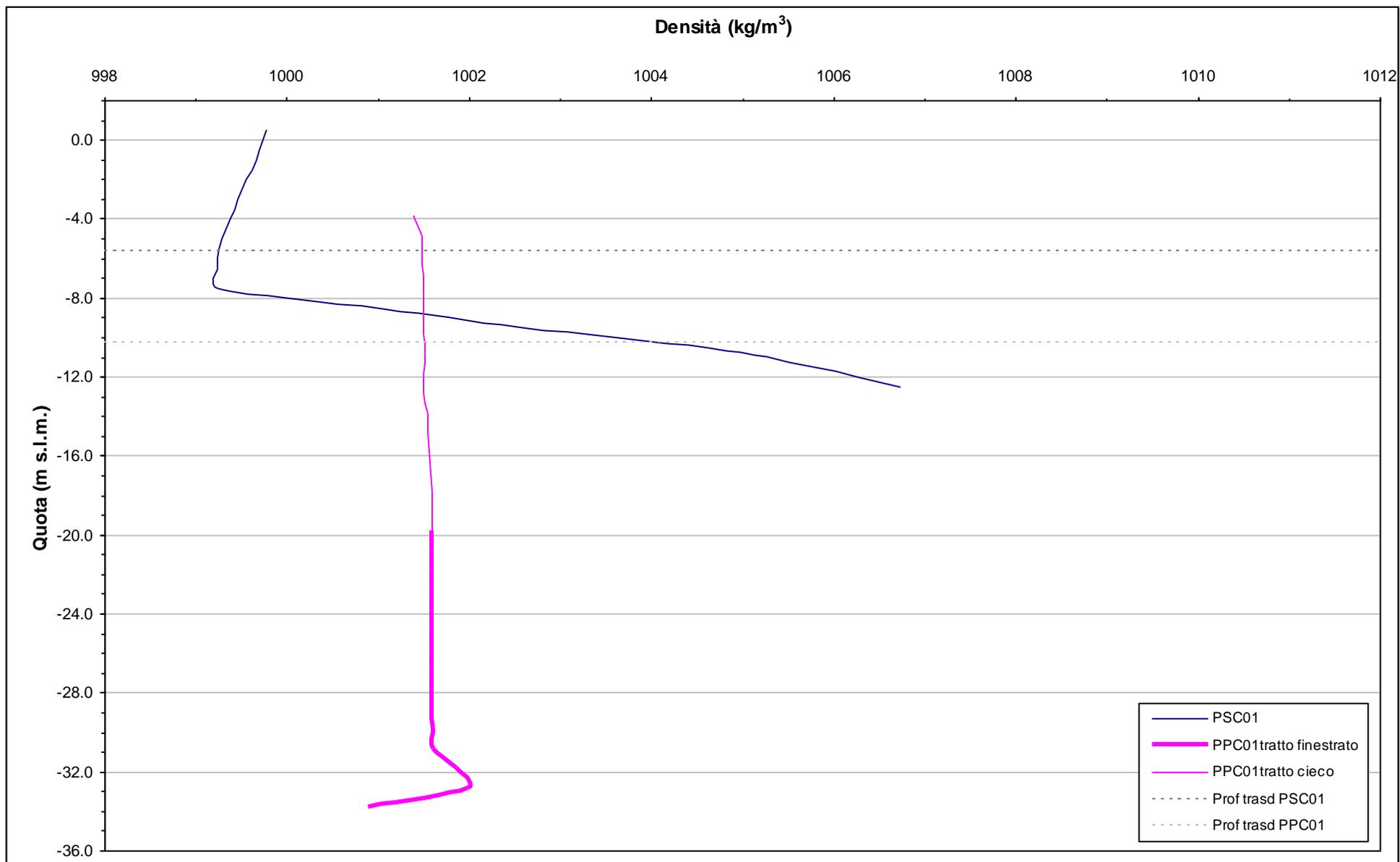


Fig. 11.1 Profili verticali di densità - 4 febbraio 2011.

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

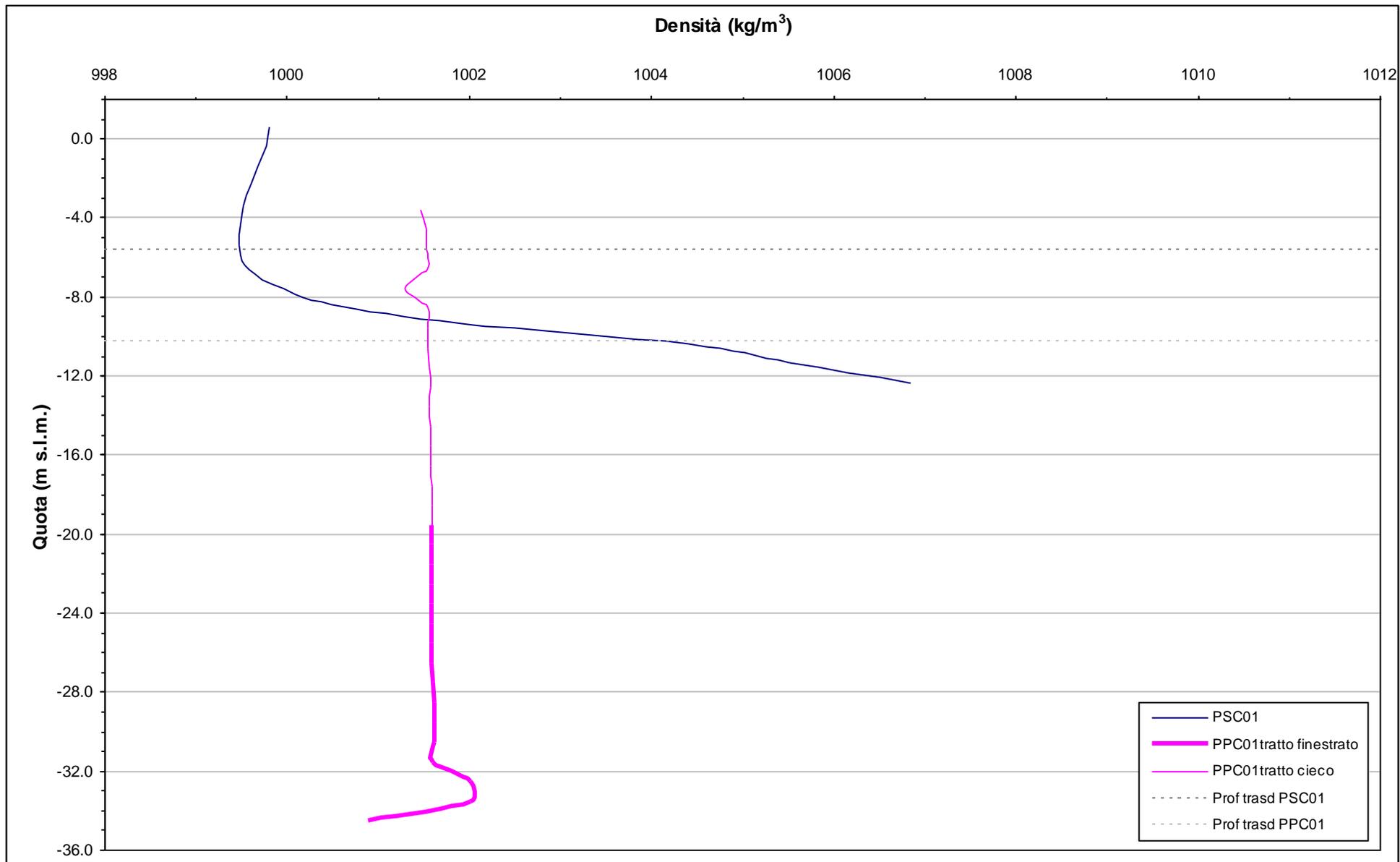


Fig. 11.2.- Profili verticali di densità - 4 marzo 2011.

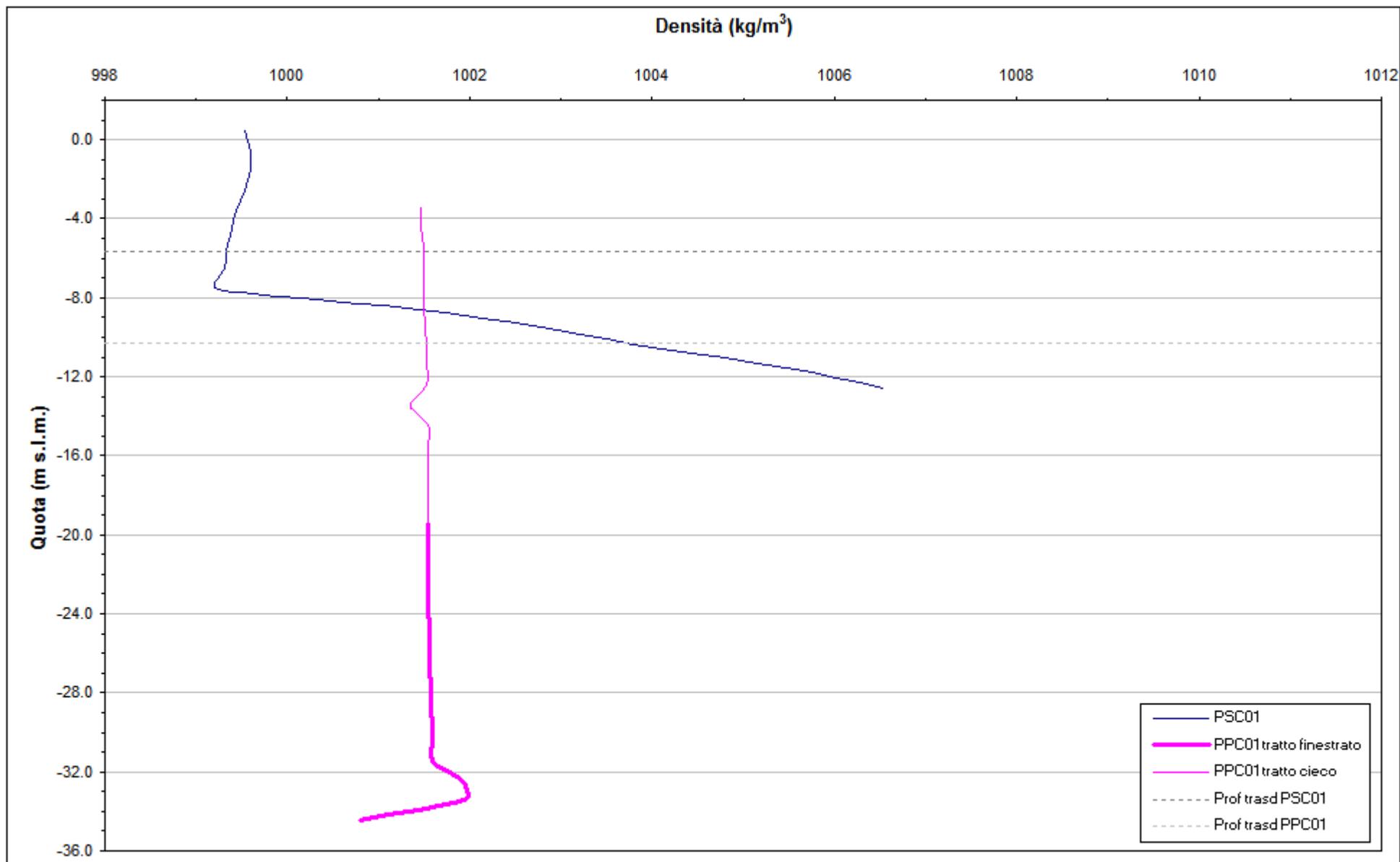


Fig. 11.3.- Profili verticali di densità - 5 aprile 2011.

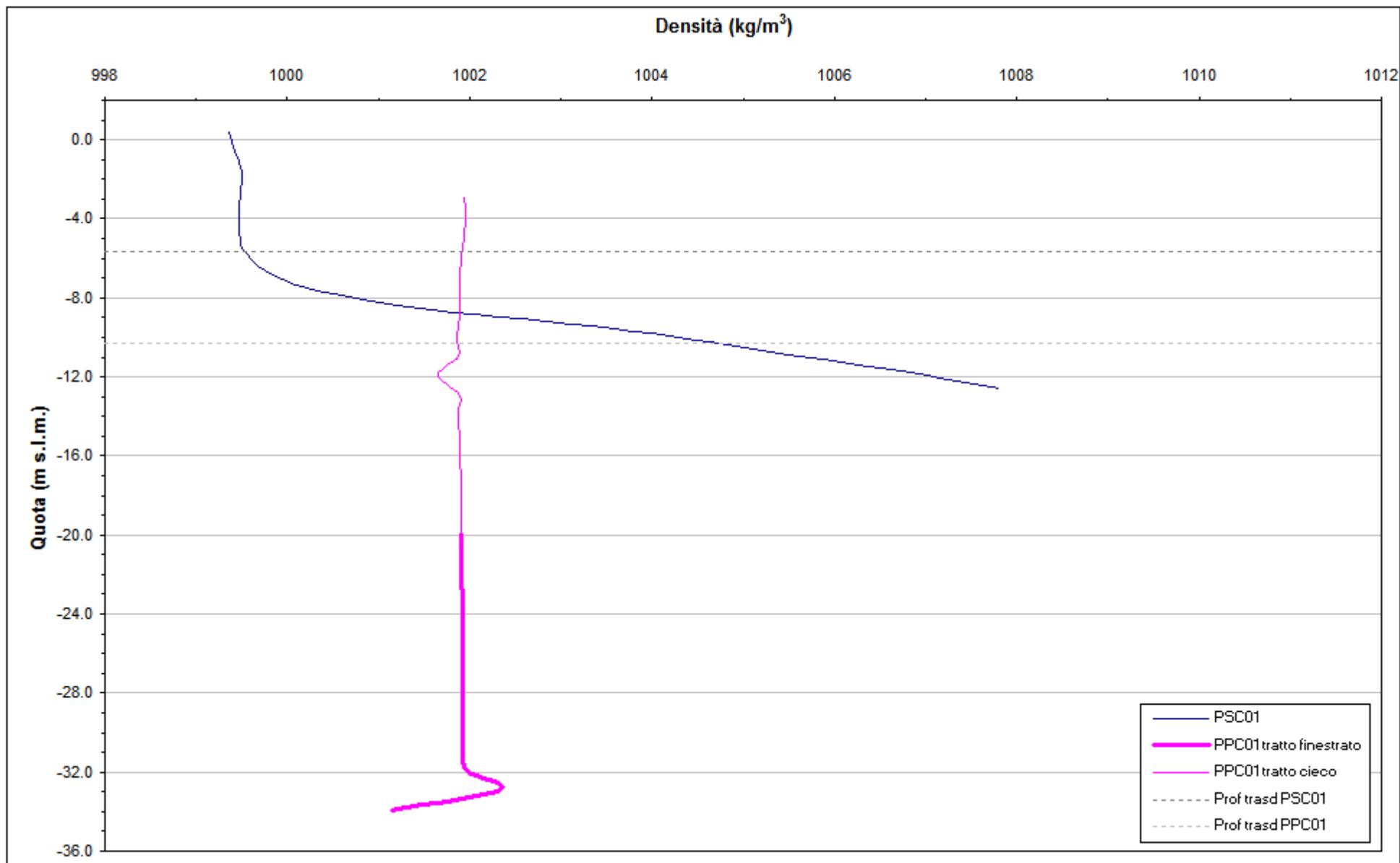


Fig. 11.4.- Profili verticali di densità - 4 maggio 2011.

## 12. 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. 12.1):

- 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:  $h_{il} < h_M - 1$  (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:  $\bar{h}_{il,24} < \bar{h}_{M,24} - 1$  (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:  $h_{il} > z_t$  (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:  $\bar{h}_{il,24} > z_t$  (m s.l.m.).

Tab. 12.1- Identificazione preliminare delle soglie ed azioni correttive.

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

Sigla	ALI			ALM		
Evento	Alto livello istantaneo			Alto livello medio (24 h)		
Espressione	$h_{il} > z_t$			$\bar{h}_{il,24} > z_t$		
Causa	Naturale	Antropica		Naturale	Antropica	
		Varia	Cantiere		Varia	Cantiere
Azione	Valutare affidabilità dati Barologger	Avviso Valutare affidabilità dati Barologger	Avviso Valutare affidabilità dati Barologger	Spostamento Barologger	Spostamento Barologger	Spostamento Barologger Interventi da valutare

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

Durante l'intero periodo di monitoraggio (gennaio - aprile 2011) è stato verificato il rispetto delle soglie di livello (Figg. 12.1÷12.3):

- la soglia di Alto Livello Istantaneo è stato rispettata nei piezometri PSC01 e PPC01;
- le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate nel piezometro superficiale PSC01;
- le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono state superate nel piezometro profondo PPC01.

### **12.1 Misure di mitigazione**

La dinamica piezometrica in corrispondenza del livello acquifero profondo ha raggiunto una condizione di stabilità. Nonostante ciò si osserva, in corrispondenza di tale livello acquifero, un andamento del carico idraulico fortemente dissimile da quello registrato in fase A.

Per contenere ulteriormente l'abbassamento si suggerisce, come misura di mitigazione, la riduzione delle portate di pompaggio dei pozzi lato terra eventualmente ancora attivi.

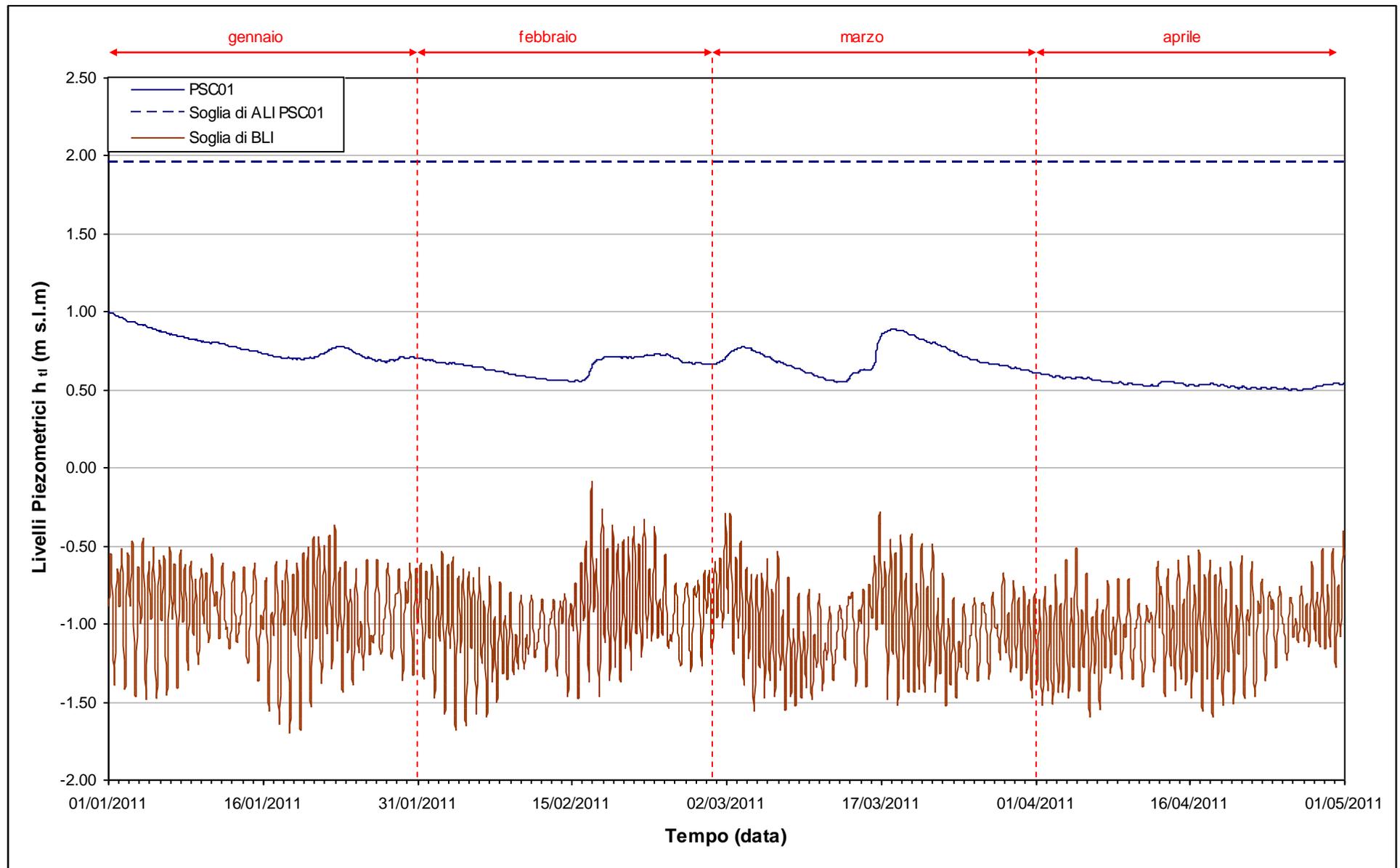


Fig. 12.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro superficiale PSC01.

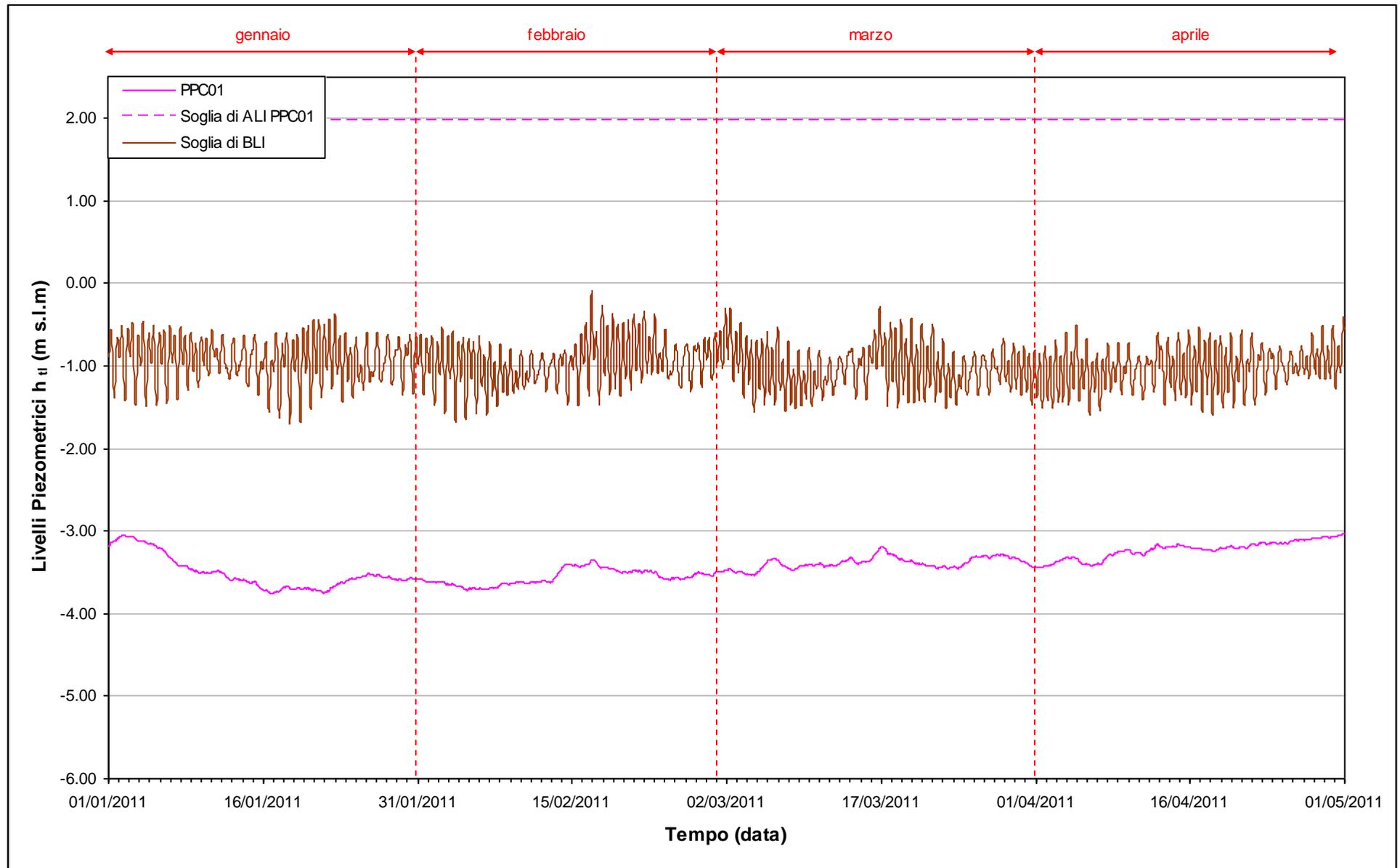


Fig. 12.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro profondo PPC01.

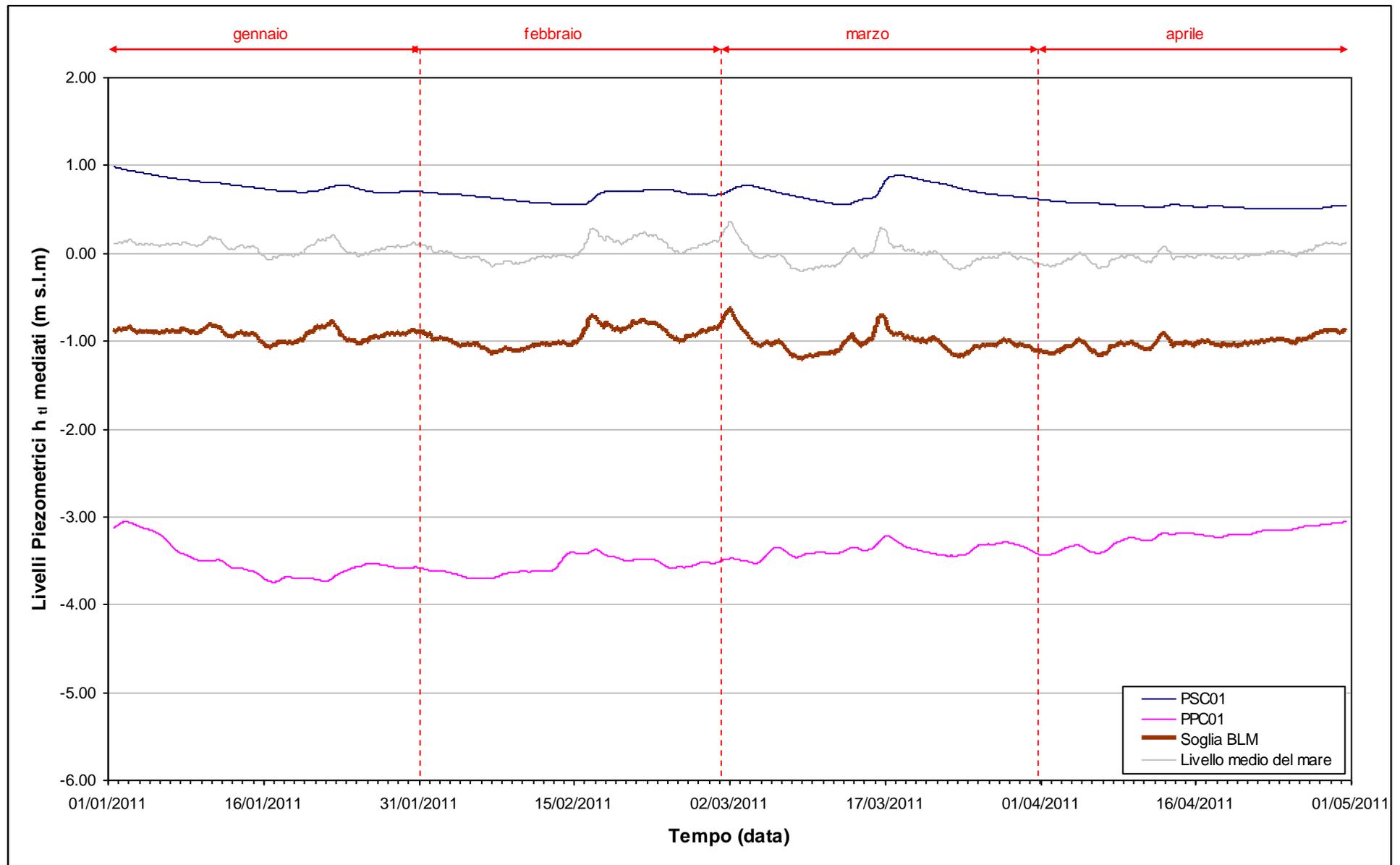


Fig. 12.3 - Soglia di Basso Livello Medio per i piezometri PSC01 e PPC01.

### **13. CONCLUSIONI**

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/01/2011 e il 30/04/2011, 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 monitorato (01/01/11 - 30/04/11) si osserva una diminuzione di livello di circa 45 cm nel piezometro superficiale PSC01, dovuto all'evapotraspirazione, mentre nel piezometro profondo PPC01 si è verificata una lieve risalita del carico idraulico (circa 15 cm) probabilmente attribuibile ad una diminuzione delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering della tura.