



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/5**

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

Contratto prot.n. 21540 si/gce/fbe

Documento **MACROATTIVITÀ: LIVELLI DI FALDA**

**I RAPPORTO DI VALUTAZIONE**

**PERIODO DI RIFERIMENTO: DA MAGGIO AD  
AGOSTO 2009**

Versione **1.0**

Emissione **7 Ottobre 2009**

Redazione

Verifica

Verifica

Approvazione

Ing. Alessandro Casasso  
(POLITECNICO TORINO)

Ing. Rajandrea Sethi  
(POLITECNICO TORINO)

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta Ing. Pierpaolo Campostrini

## Indice

PARTE PRIMA: MONITORAGGIO CANTIERE DI PUNTA SABBIONI.....	4
<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
1.1 Manutenzione dei piezometri della rete di monitoraggio .....	5
<b>2. ANALISI DEI DATI.....</b>	<b>6</b>
2.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello .....	7
2.2 Descrizione delle forzanti naturali .....	8
2.2.1 <i>Precipitazioni</i> .....	8
2.2.2 <i>Livello del mare</i> .....	10
2.2.3 <i>Pressione atmosferica - <math>h_b</math></i> .....	12
2.3 Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A).....	14
2.3.1 <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - <math>h_{tl}</math></i> .....	14
2.3.2 <i>Effetti delle precipitazioni</i> .....	16
2.3.3 <i>Effetti delle oscillazioni mareali</i> .....	18
2.4 Piezometri profondi – secondo livello acquifero (Strato C).....	20
2.4.1 <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - <math>h_{tl}</math></i> .....	20
2.4.2 <i>Effetti mareali</i> .....	22
2.4.3 <i>Effetti barometrici</i> .....	24
2.4.4 <i>Effetti antropici</i> .....	26
<b>3. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE .....</b>	<b>28</b>
<b>4. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA.....</b>	<b>29</b>
4.1 Il calcolo della densità dell'acqua.....	29
4.1.1 <i>Profili verticali di densità</i> .....	29
<b>5. STUDIO PIEZOMETRICO.....</b>	<b>38</b>
5.1.1 <i>Piezometria superficiale</i> .....	40
5.1.2 <i>Piezometria profonda</i> .....	46
<b>6. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE .....</b>	<b>52</b>
<b>7. CONCLUSIONI.....</b>	<b>62</b>
PARTE SECONDA: MONITORAGGIO CANTIERE DI CA' ROMAN.....	63
<b>8. INTRODUZIONE.....</b>	<b>64</b>
<b>9. ANALISI DEI DATI.....</b>	<b>65</b>
9.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello.....	66
9.2 Descrizione delle forzanti naturali .....	66
9.2.1 <i>Precipitazioni</i> .....	66
9.2.2 <i>Livello del mare</i> .....	68

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

9.2.3	<i>Pressione atmosferica - hb</i> .....	70
9.3	Piezometro superficiale - primo livello acquifero (Strato A) .....	72
9.3.1	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl (Fase A)</i> .....	72
9.3.2	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl</i> .....	72
9.3.3	<i>Effetti mareali, delle precipitazioni e antropici</i> .....	75
9.4	Piezometro profondo - secondo livello acquifero (Strato C).....	77
9.4.1	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl (Fase A)</i> .....	77
9.4.2	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl</i> .....	77
9.4.3	<i>Effetti mareali e antropici</i> .....	80
10.	<b>CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE</b> .....	<b>82</b>
11.	<b>ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA</b> .....	<b>83</b>
11.1	Il calcolo della densità dell'acqua.....	83
11.1.1	<i>Profili verticali di densità</i> .....	83
12.	<b>VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE</b> .....	<b>88</b>
13.	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>93</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 maggio 2009 - 31 agosto 2009, 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/5 "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, P13, P14) 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.

### 1.1 Manutenzione dei piezometri della rete di monitoraggio

In data 04/05/2009 sono stati effettuati lavori di manutenzione sui piezometri della rete di monitoraggio:

- nei piezometri PP02, PS02, PS05, PP08, PS08 è stato sostituito lo scatolare in cemento armato del pozzetto, il chiusino metallico ed è stato ripristinato il cordolo di protezione in calcestruzzo attorno al telaio del chiusino;
- nei piezometri PS04, PP07, PS07, PS10 è stato ripristinato il cordolo di protezione in calcestruzzo attorno al telaio del chiusino.

## 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 01/05/2009 e il 31/08/2009.

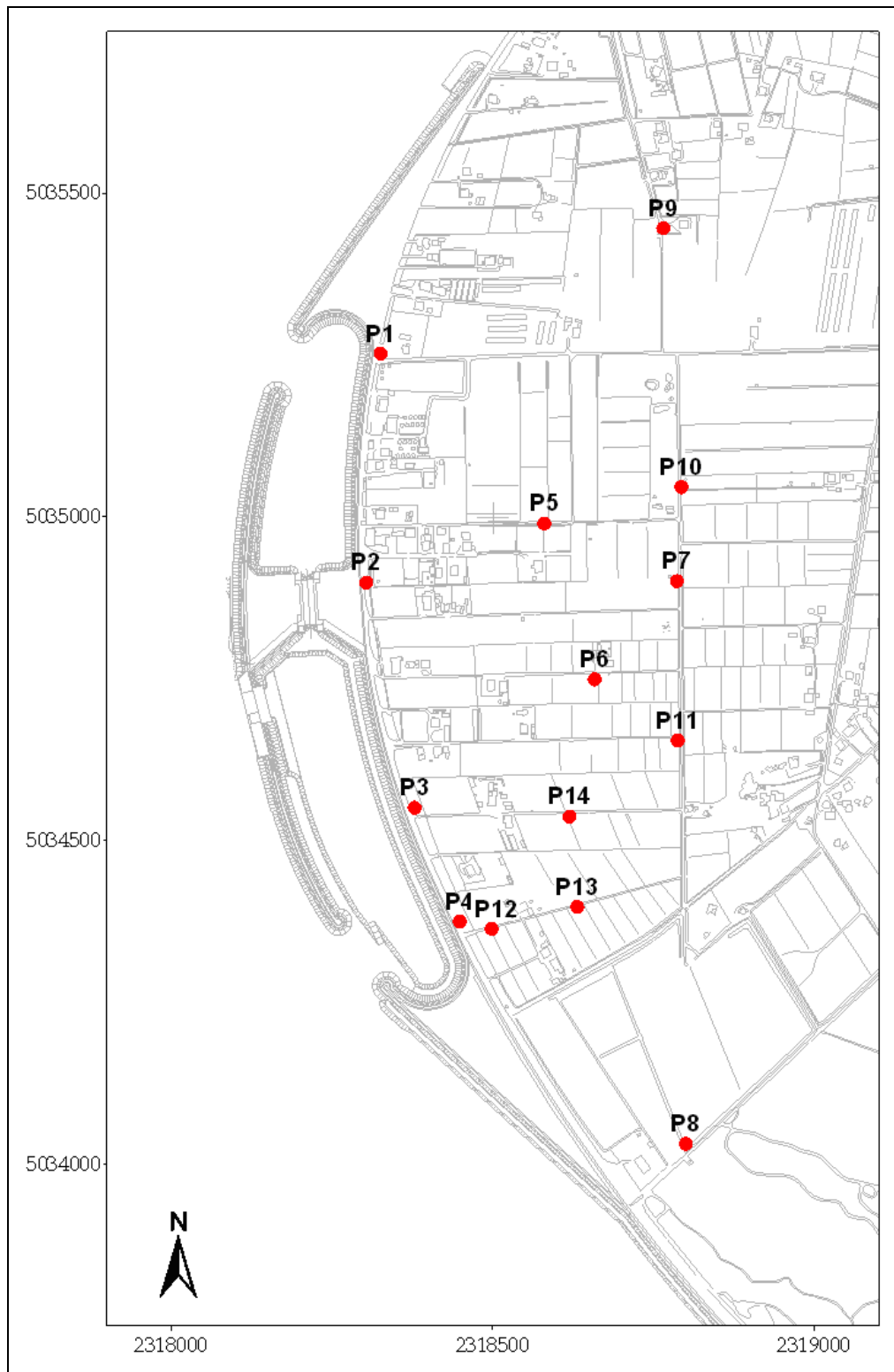


Fig. 2.1 - Ubicazione delle postazioni di monitoraggio.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE 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 22 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 stazioni meteorologiche “MET 3000R” di Punta Sabbioni (giugno, luglio, agosto 2009) e “ARPAV - Cavallino Treporti” (maggio 2009);
- **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” (ubicata presso il Circolo So.Ci.Ve., Lungomare Dante Alighieri), gestita dal settore “Matrice Aria e Agenti Chimici” e, per il mese di maggio 2009, dalla centralina “ARPAV - Cavallino Treporti”. 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)
04-05/05/09	48	9.4
31/05/09	24	6.2
05/06/09	2	7.2
20/06/09	11	29.8
27/06/09	12	47.2
07/07/09	1	7.4
14/08/09	2	12.0



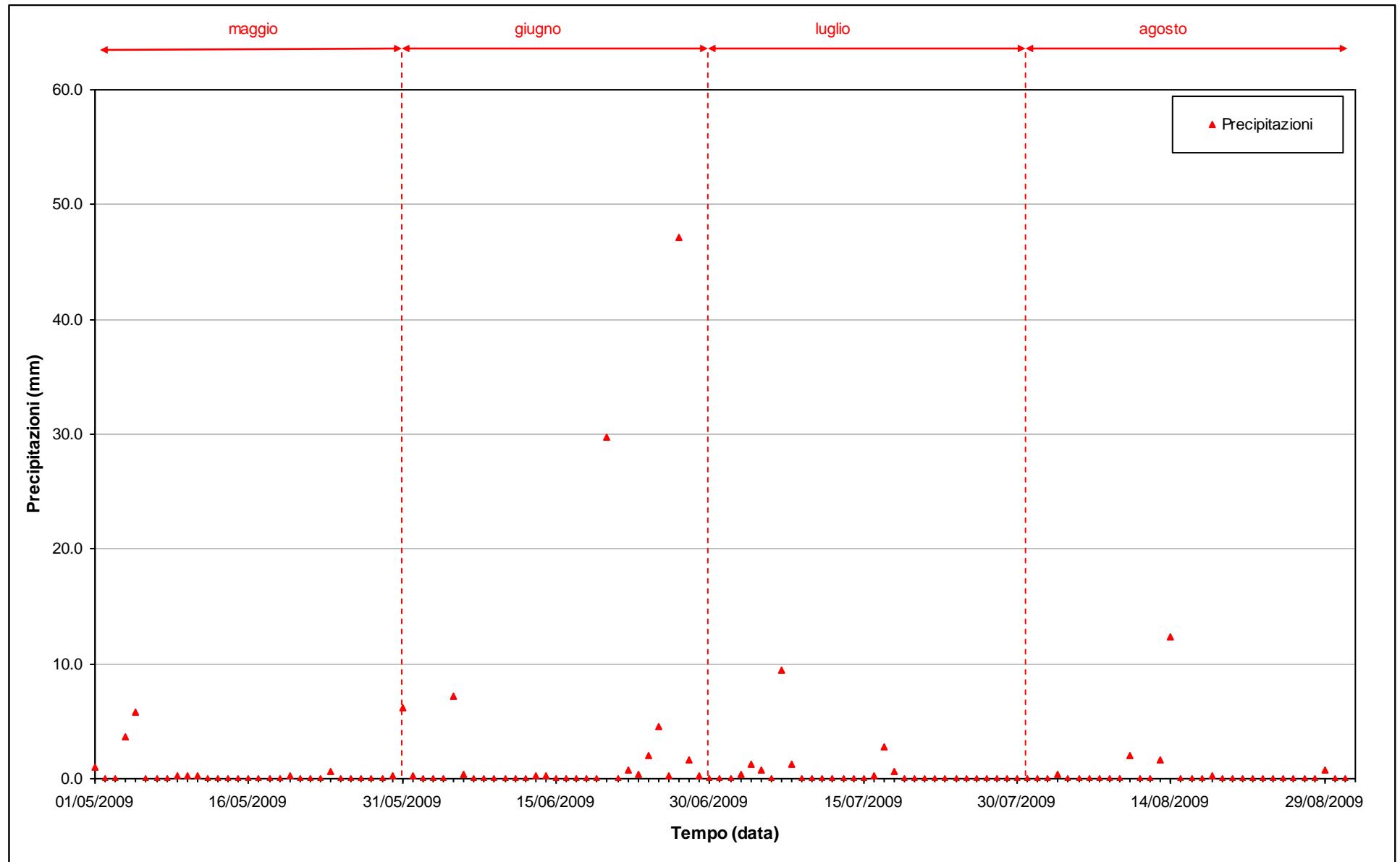


Fig. 2.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/08/2009.

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

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.

CORILA

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

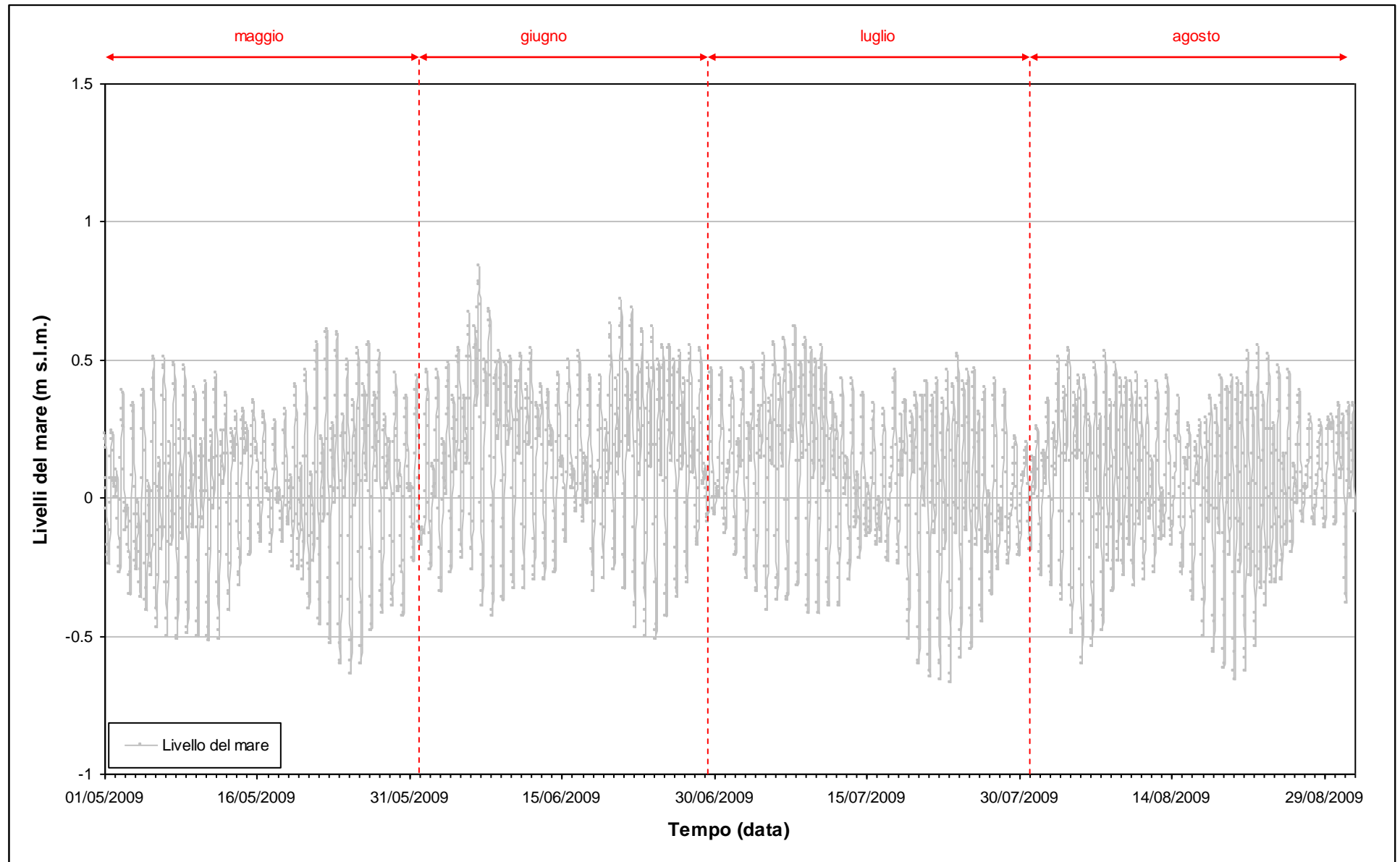


Fig. 2.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo "Diga Sud Lido". I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

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

**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 11 cm. Nell'elaborazione dei dati sono state utilizzate le misure acquisite dal Barologger B02, in quanto il Barologger B01 sovrastima il valore della pressione atmosferica.

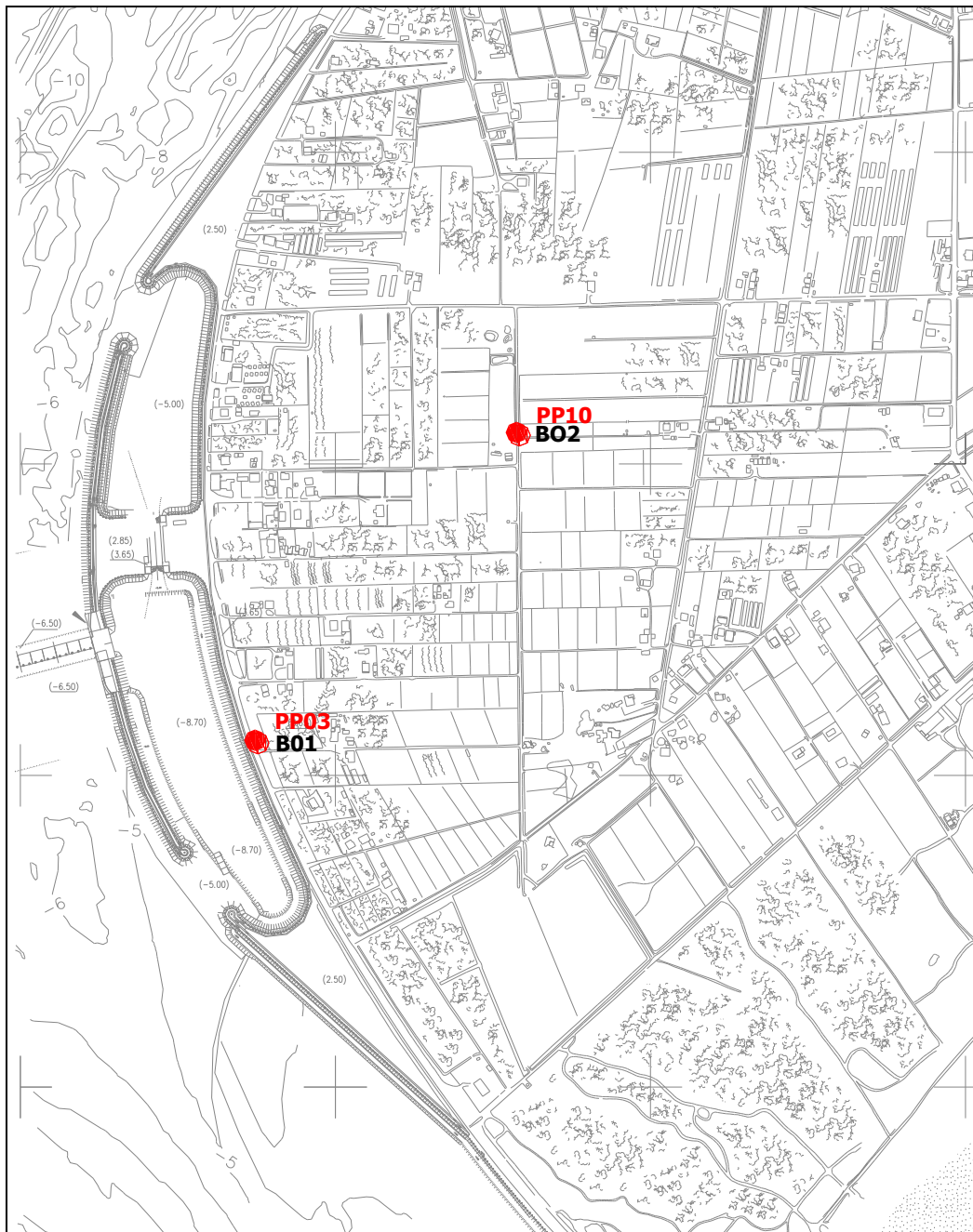
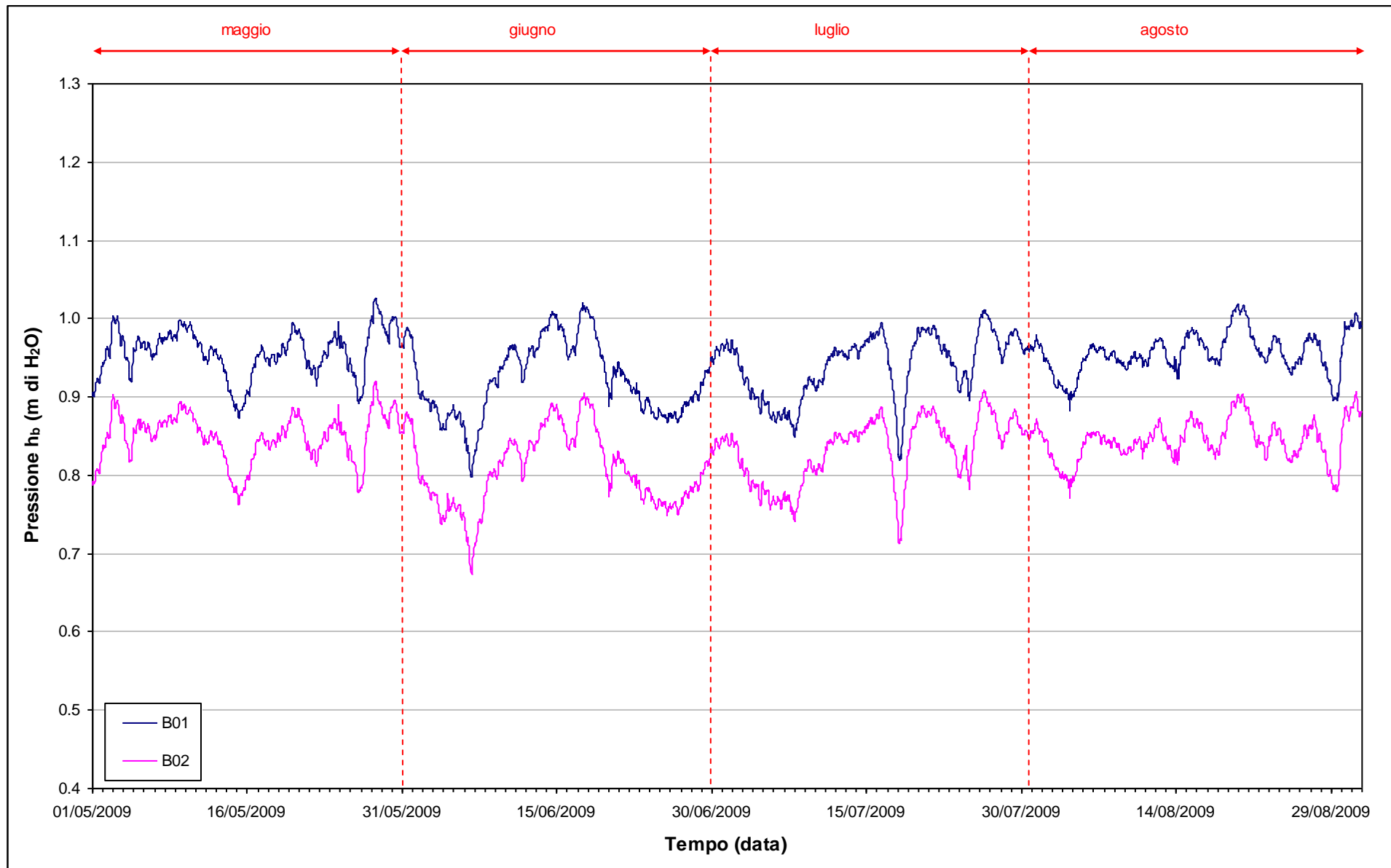


Fig. 2.4 - Ubicazione dei Barologger B01 e B02.

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

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

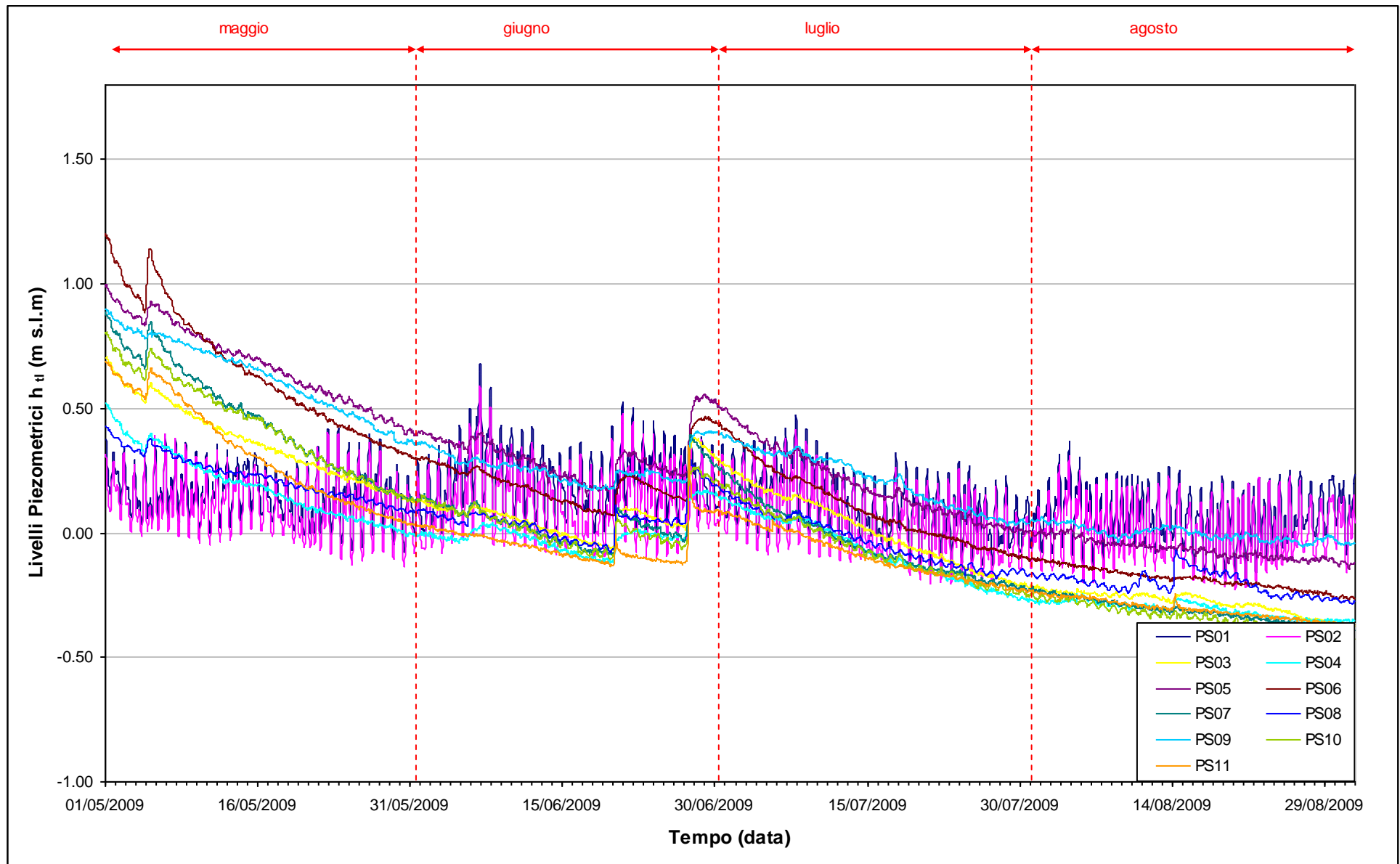
In questo capitolo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti degli 11 piezometri superficiali finestrati in corrispondenza del primo livello acquifero (Strato A), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

#### **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.

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, si registra una forte diminuzione dei livelli (compresa tra circa 70 e 150 cm) nel periodo 01/05/09 - 31/08/09, dovuta all'evapotraspirazione estiva;
- i piezometri PS03 e PS04, benché posti in prossimità della costa, mostrano una dinamica simile a quella dei piezometri interni, cioè maggiormente influenzata dai fenomeni meteorologici ed in misura minore dalle oscillazioni mareali; tale comportamento è imputabile alla presenza del diaframma impermeabile sul fianco del bacino lato mare. Nel periodo monitorato si osserva una diminuzione dei livelli di falda di circa 90 cm nel PS04 e circa 110 cm nel PS03.

Fig. 2.6 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi ai piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/08/2009.

### **2.3.2** *Effetti delle precipitazioni*

In Fig. 2.7 è visualizzato l'andamento dei livelli piezometrici in corrispondenza dei piezometri superficiali maggiormente sensibili alle precipitazioni (i piezometri interni e i due piezometri PS03 e PS04).

Nei mesi di monitoraggio le precipitazioni sono state poco frequenti e di modesta entità; nel periodo 01/05/09 - 31/08/09 si osservano diminuzioni di livello comprese tra circa 70 e 150 cm attribuibili alla forte evapotraspirazione estiva.



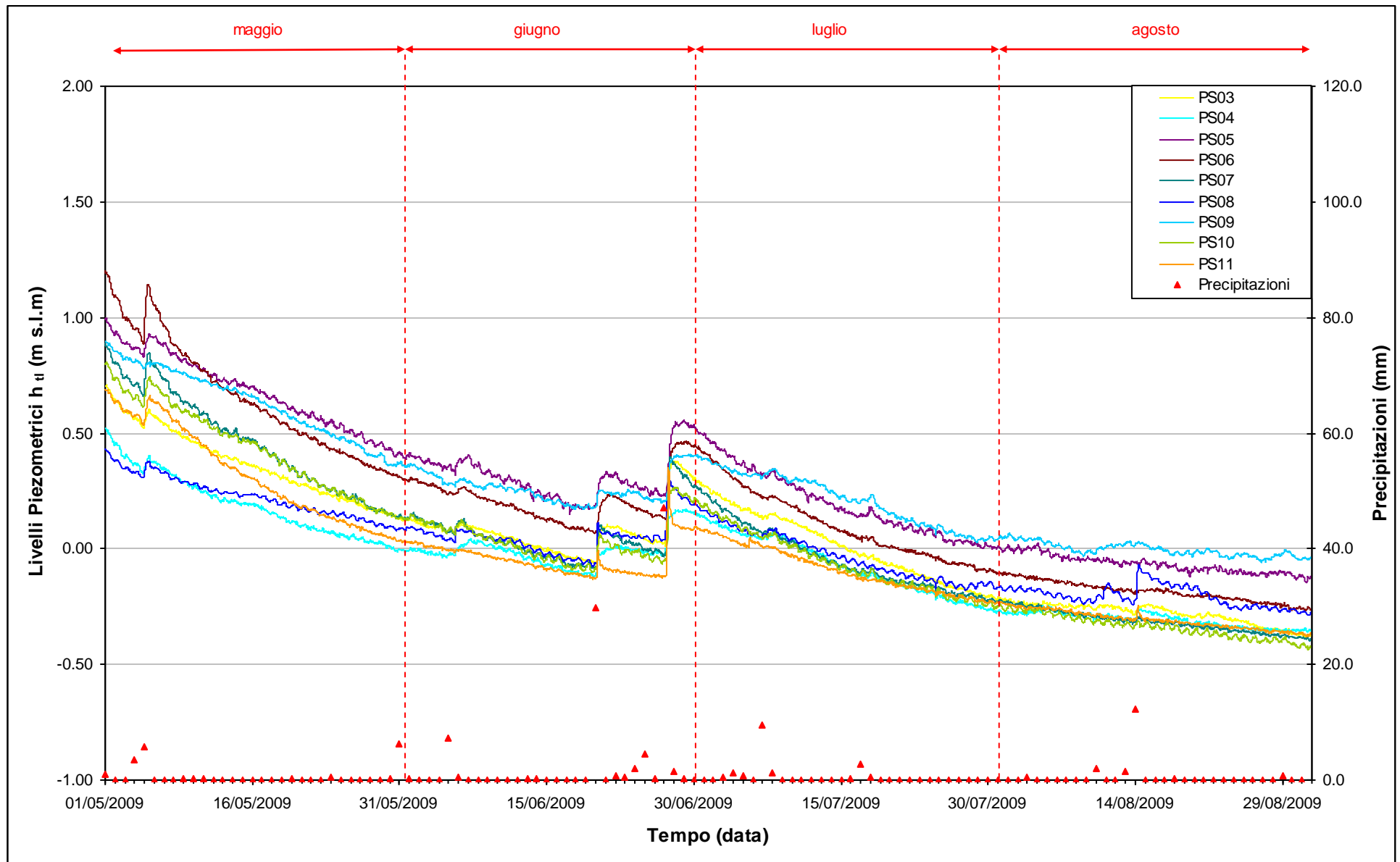


Fig. 2.7 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali maggiormente sensibili alle precipitazioni.

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

In Fig. 2.8 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.

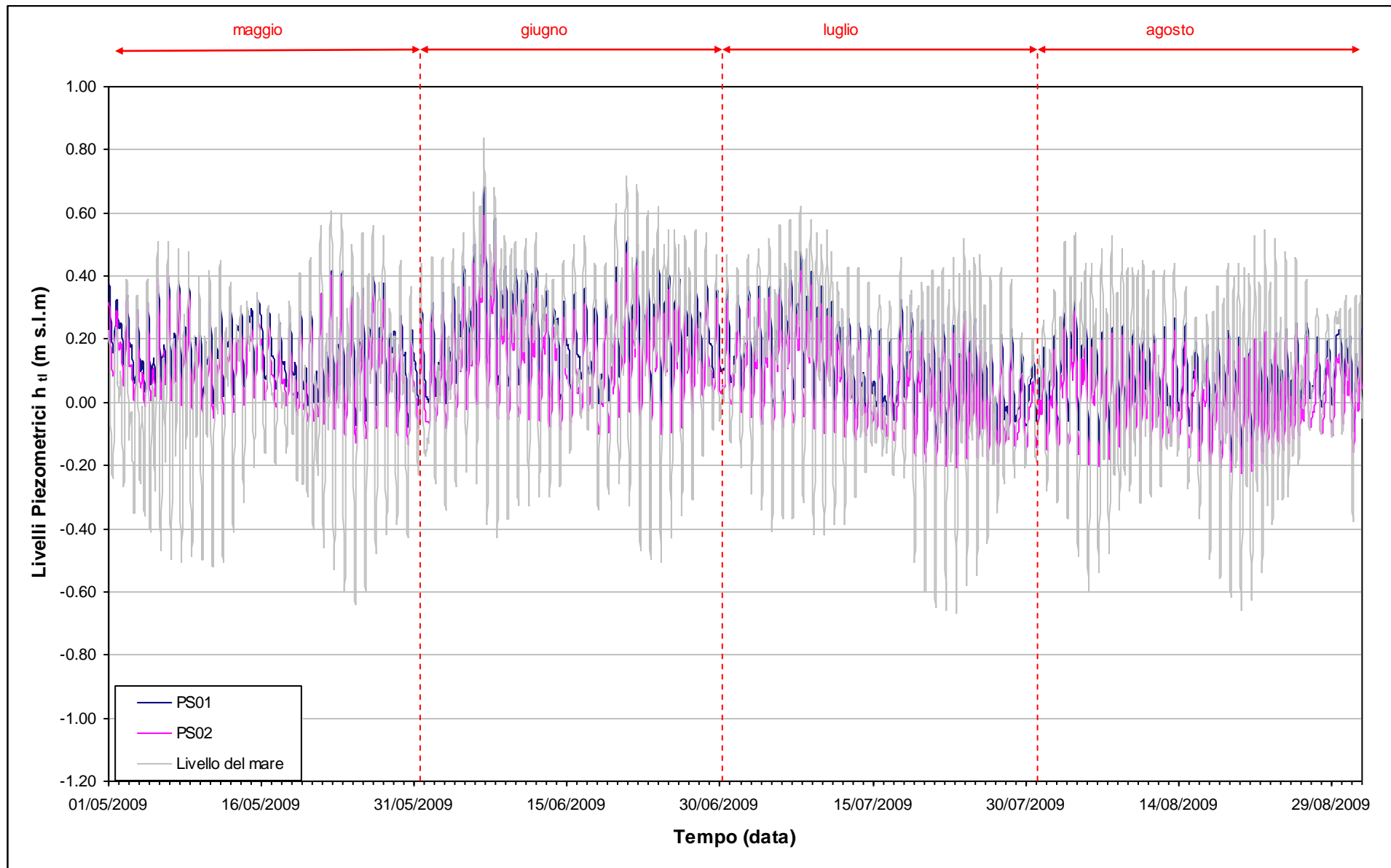


Fig. 2.8 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali PS01, PS02 e livelli del mare.

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

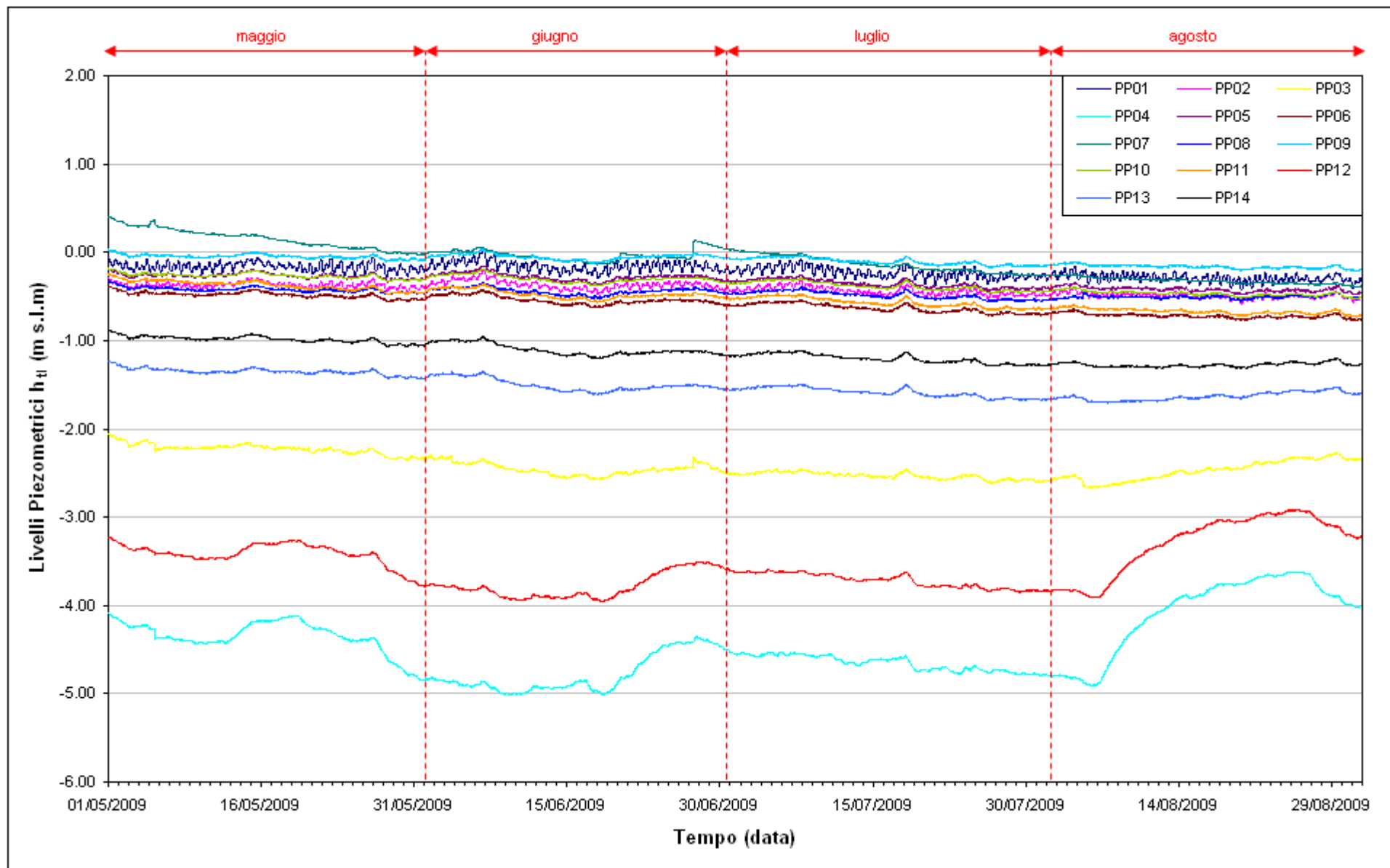
Di seguito verranno presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti nei 14 piezometri profondi finestrati in corrispondenza del secondo livello acquifero (Strato C), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

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

I dati riportati in Fig. 2.9 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio maggio-agosto 2009.

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). Sono, inoltre, riscontrabili alcune oscillazioni di livello attribuibili a variazioni nelle portate di emungimento. Tra l'inizio e la fine del periodo di monitoraggio (01/05/2009 - 31/08/2009) i livelli risultano diminuiti nei piezometri PP03 (circa 30 cm), PP13 e PP14 (circa 40 cm), mentre nel piezometro PP04 si osserva una leggera risalita (circa 10 cm) e nel piezometro PP12 il livello è invariato;
- Nei giorni 20/05/09 e 27/06/09 sono state osservate due variazioni anomale nei livelli misurati dal piezometro PP07. Nel corso dei prossimi sopralluoghi si indagherà sulle cause di queste anomalie ed eventualmente si provvederà alla sostituzione del trasduttore.

Fig. 2.9 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi ai piezometri profondi.

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

In Fig. 2.10 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.

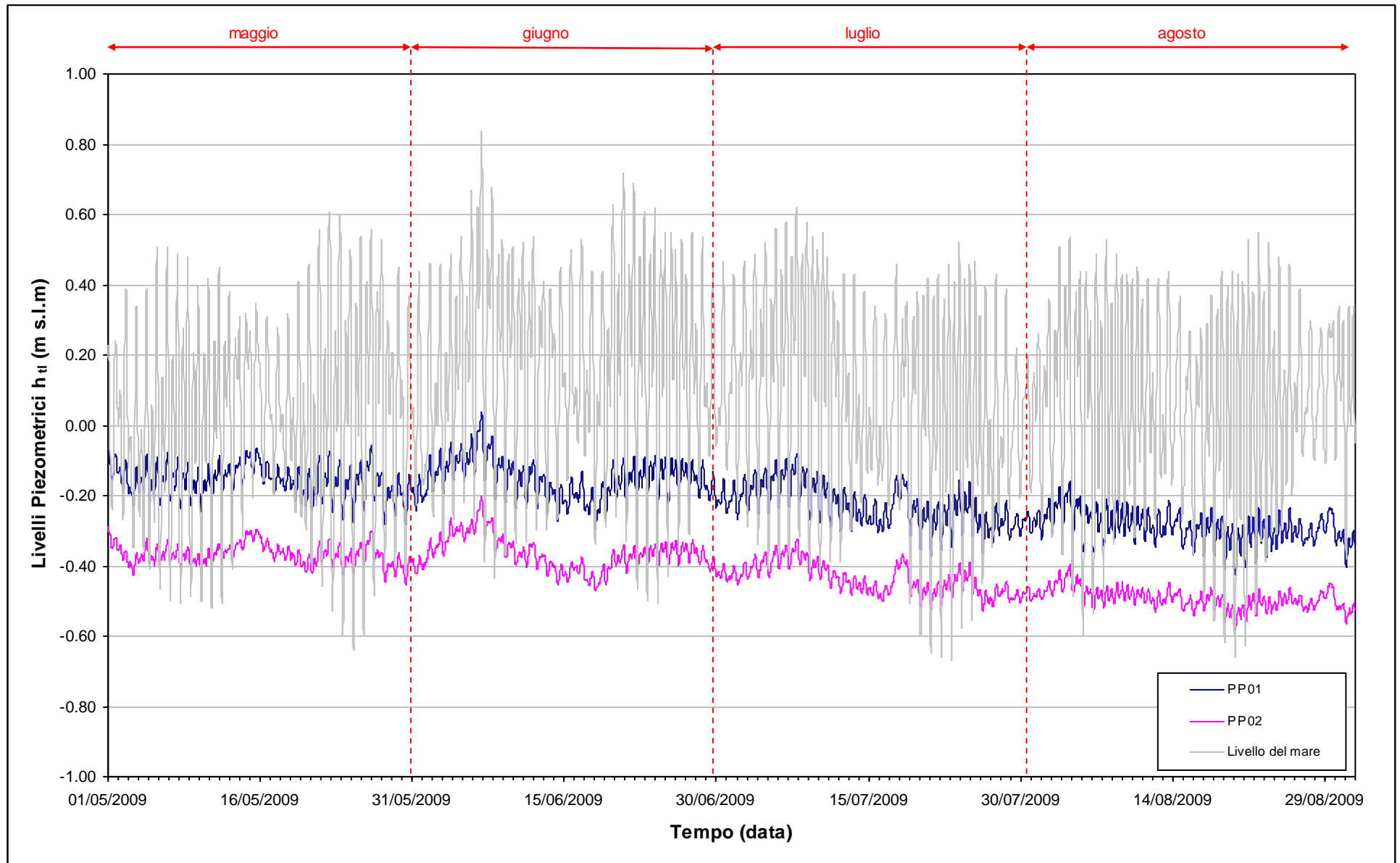


Fig. 2.10- Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP01, PP02 e livelli del mare.

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

In Fig. 2.11, 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.



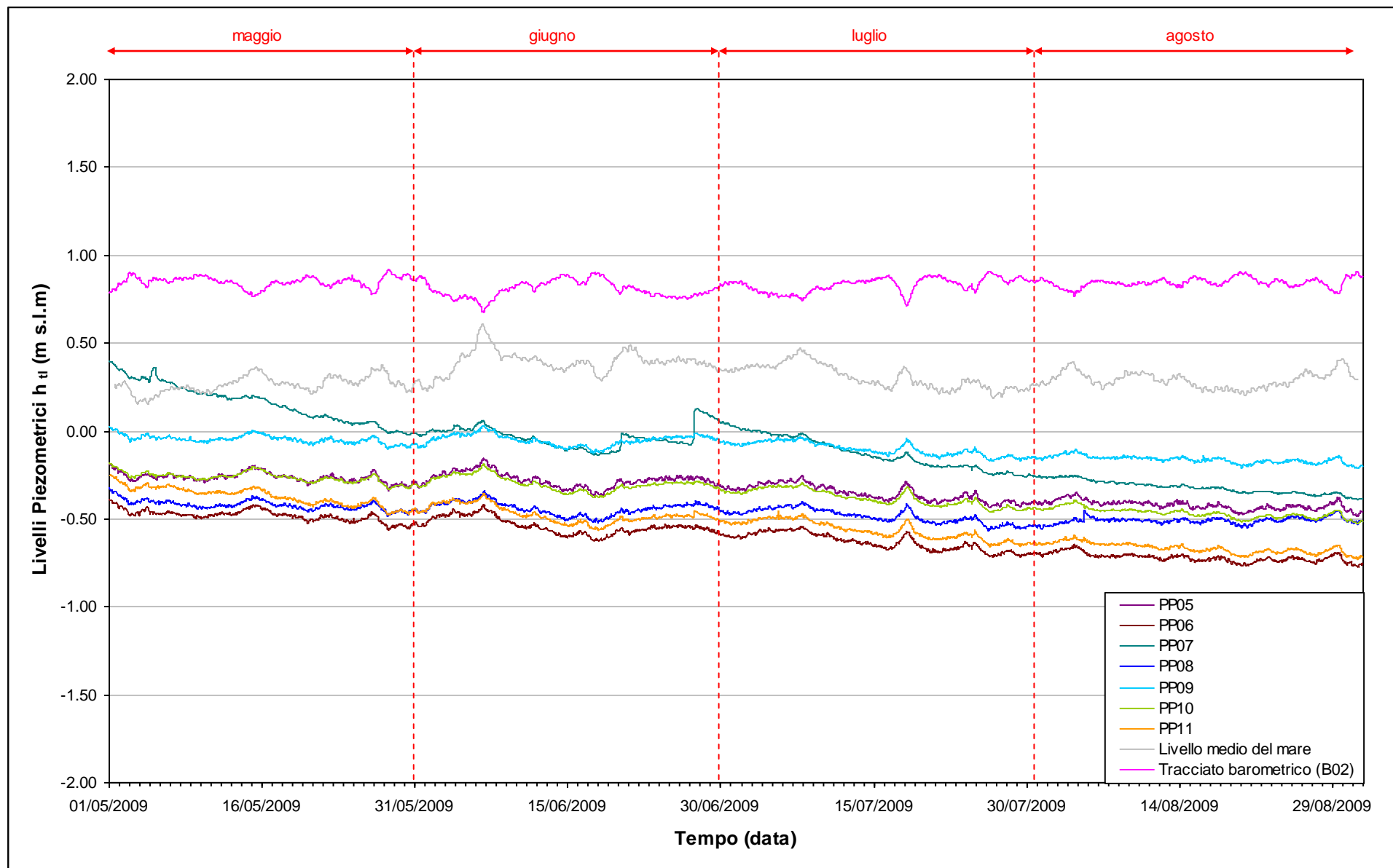


Fig. 2.11 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10, PP11, livelli medi del mare e tracciati barometrici.

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

In Fig. 2.12 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*).

Nel mese di novembre 2008 sono stati costruiti tre nuovi piezometri (PP12, PP13, PP14) che intercettano l'acquifero profondo, situati nella zona del cono di depressione di falda originato dal sistema di pompaggio del cantiere. La rilevazione dei livelli con trasduttori di pressione è iniziata nel mese di dicembre 2008.

Durante il quadrimestre di monitoraggio maggio - agosto 2009 si sono verificate alcune oscillazioni di livello attribuibili a variazioni delle portate di emungimento del sistema di dewatering della tura; nel periodo 01/05/09 - 31/08/09 si riscontra una diminuzione di livello di circa 30 cm nel piezometro PP03 e di circa 40 cm nei piezometri PP13 e PP14, mentre nel PP12 il livello è invariato e nel PP04 si osserva una modesta risalita (circa 10 cm).

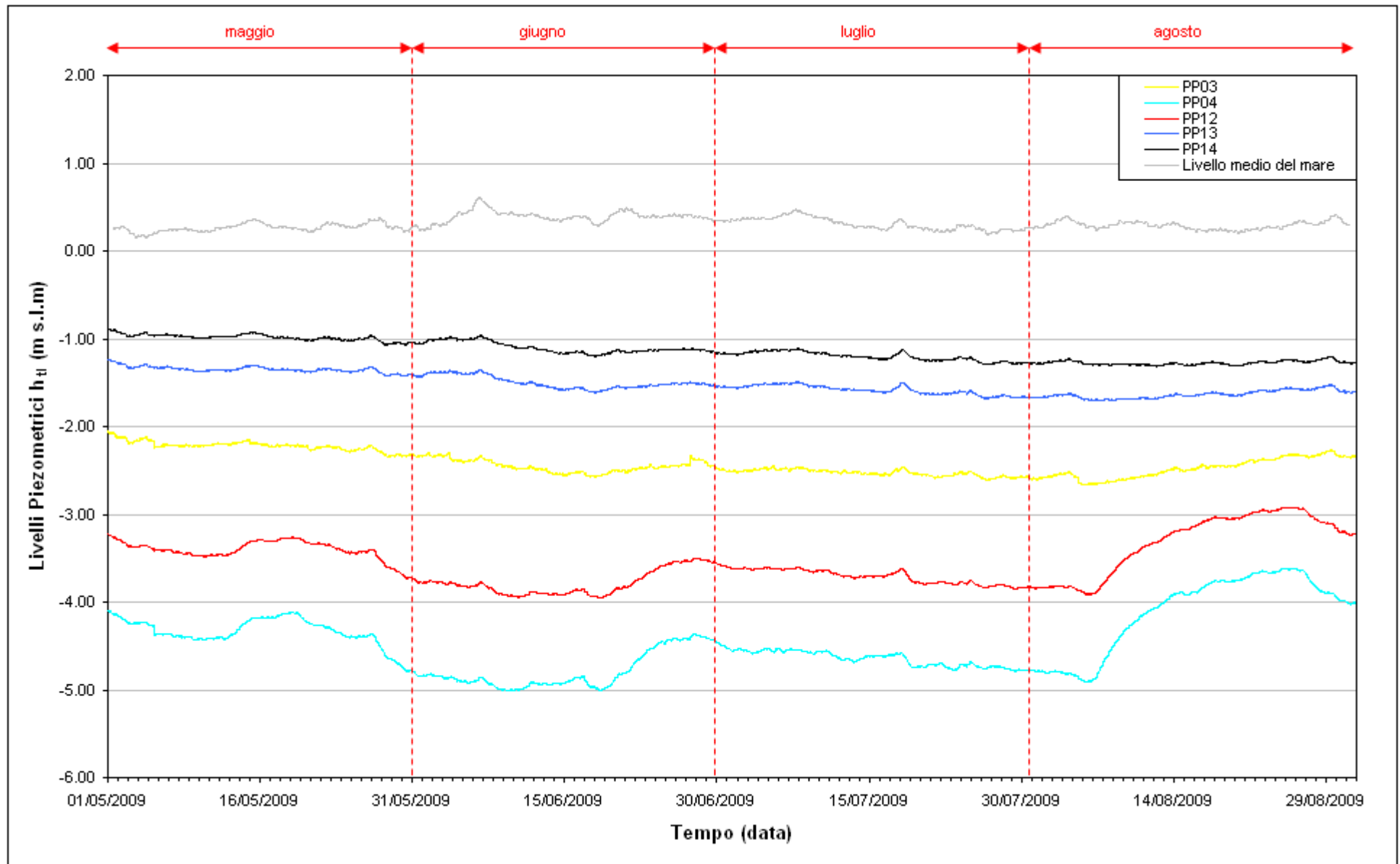


Fig. 2.12 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi influenzati dalle operazioni di pompaggio.

### **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.

Nei giorni 20/05/09 e 27/06/09 sono state osservate due variazioni anomale nei livelli misurati dal piezometro PP07. Nel corso dei prossimi sopralluoghi si indagherà sulle cause di queste anomalie ed eventualmente si provvederà alla sostituzione del trasduttore.

## 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.

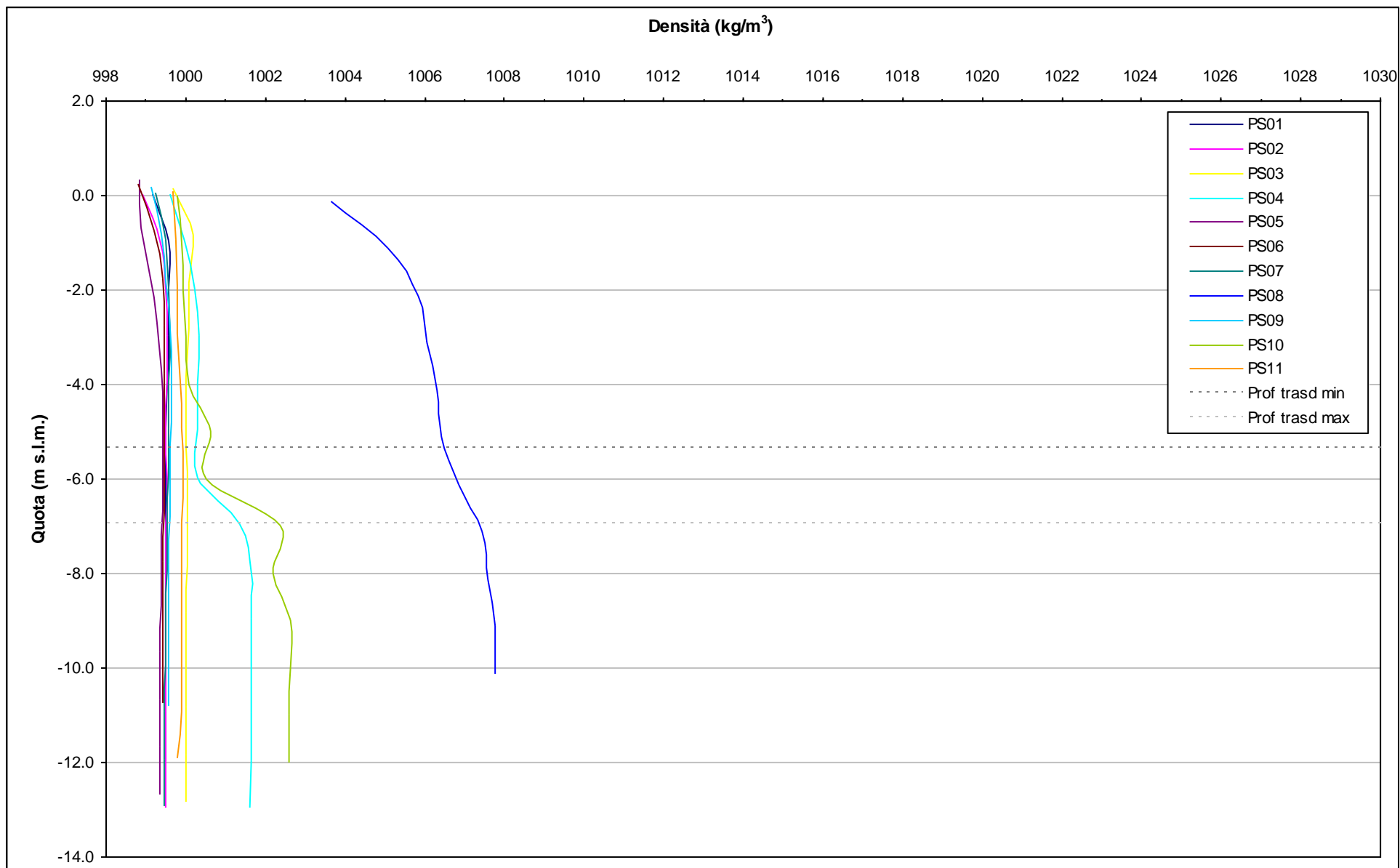


Fig. 4.1- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 3-4 giugno 2009.

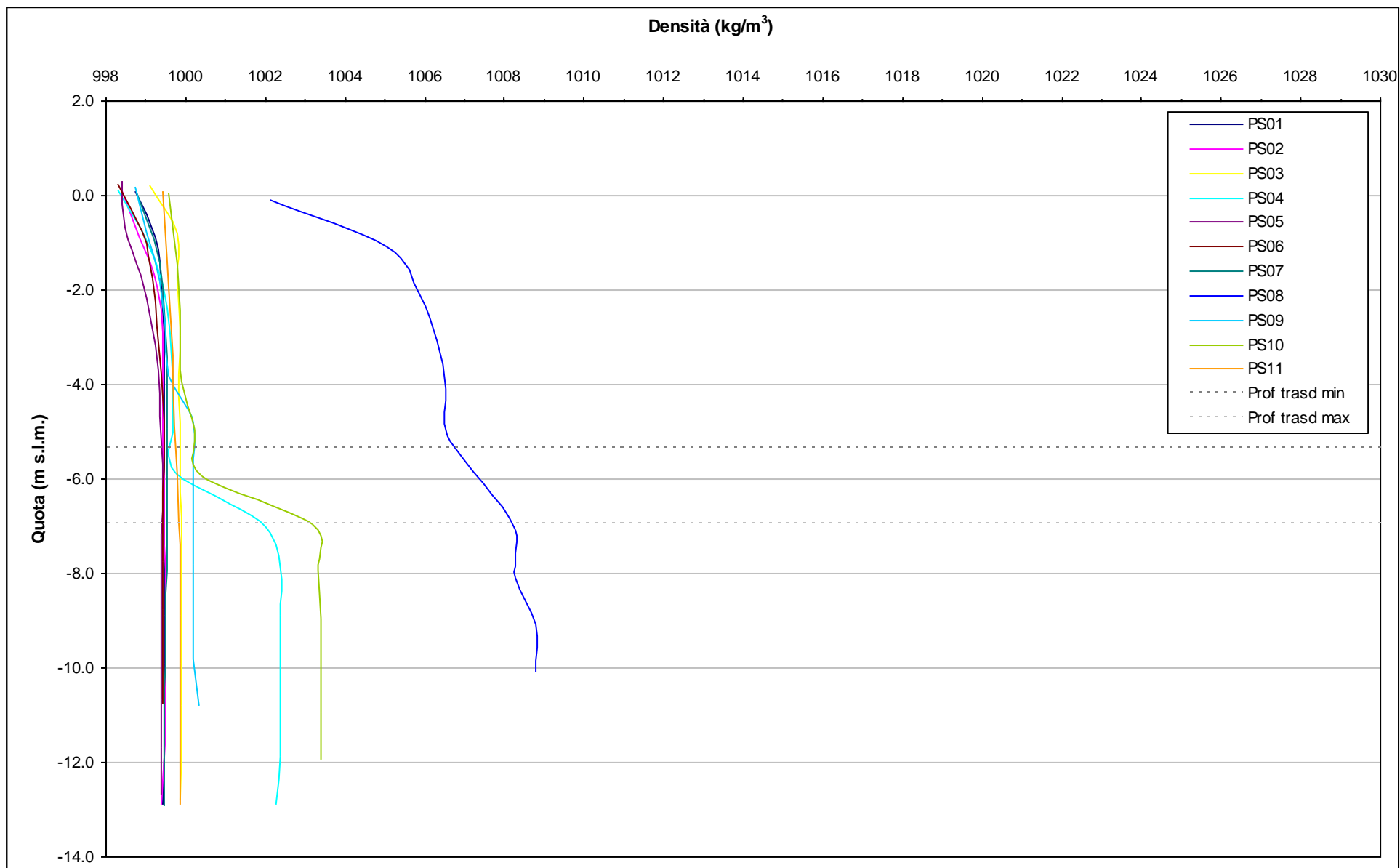


Fig. 4.2- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 5 luglio 2009.

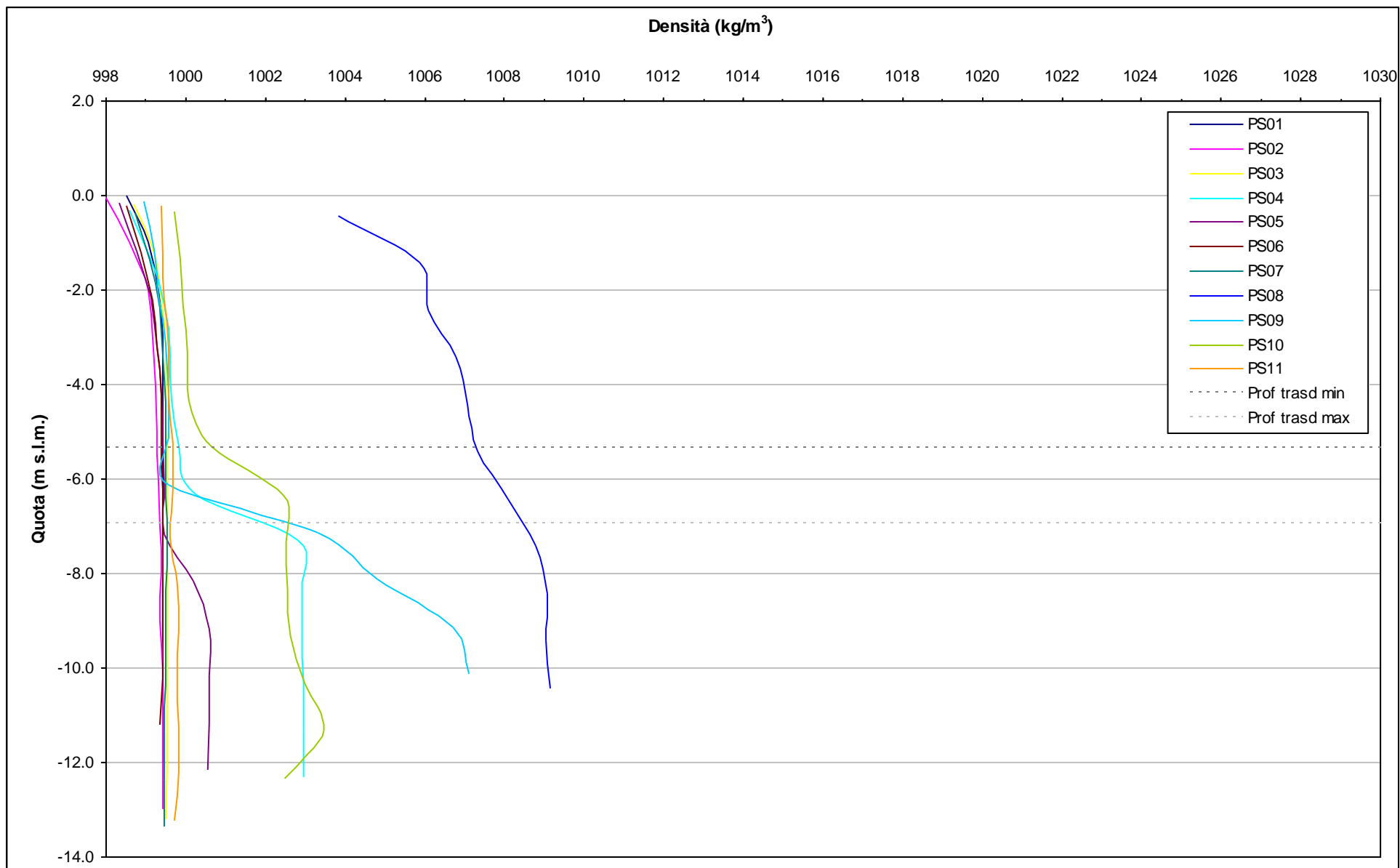


Fig. 4.3 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 4 agosto 2009.



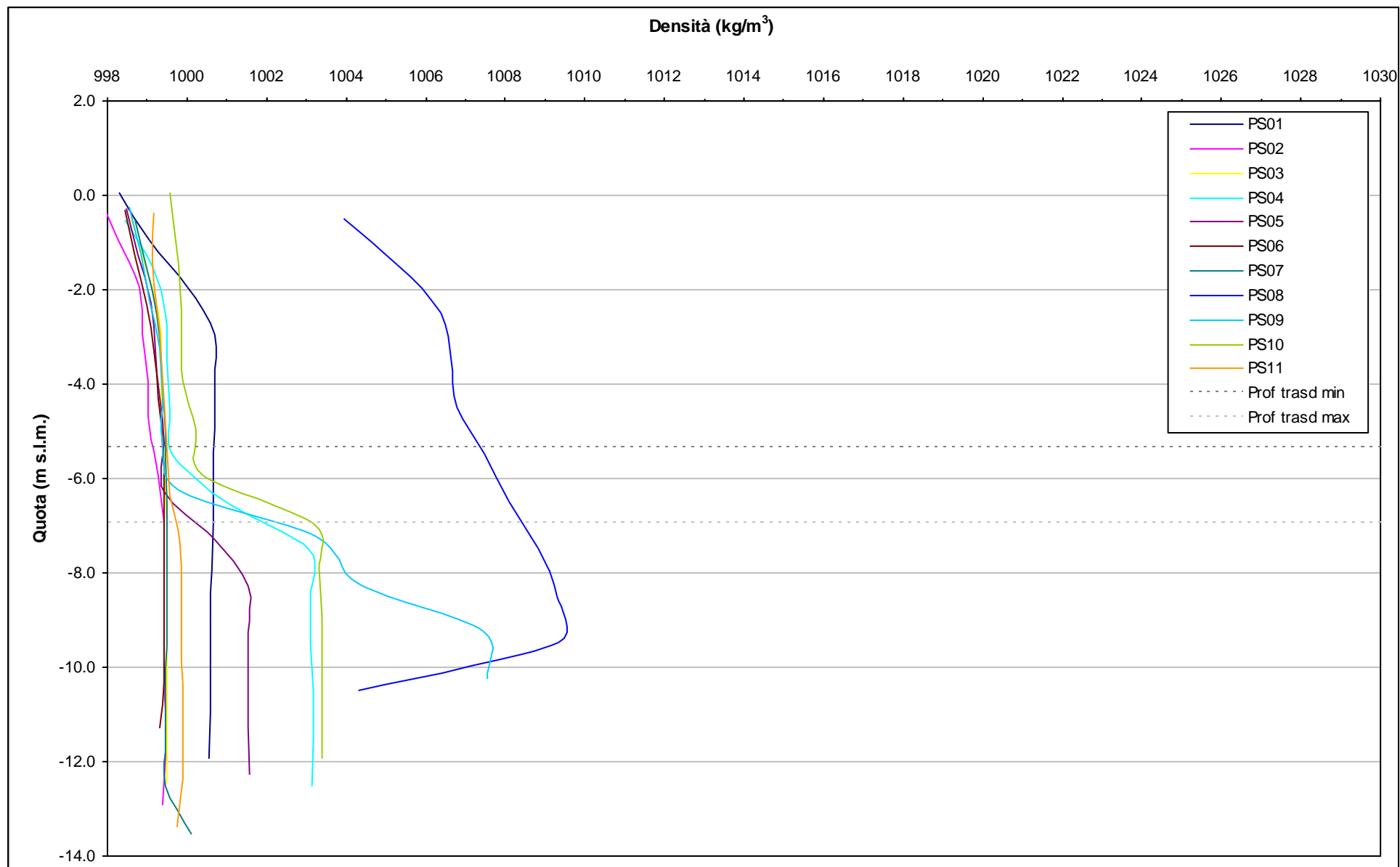


Fig. 4.4 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 9 settembre 2009.

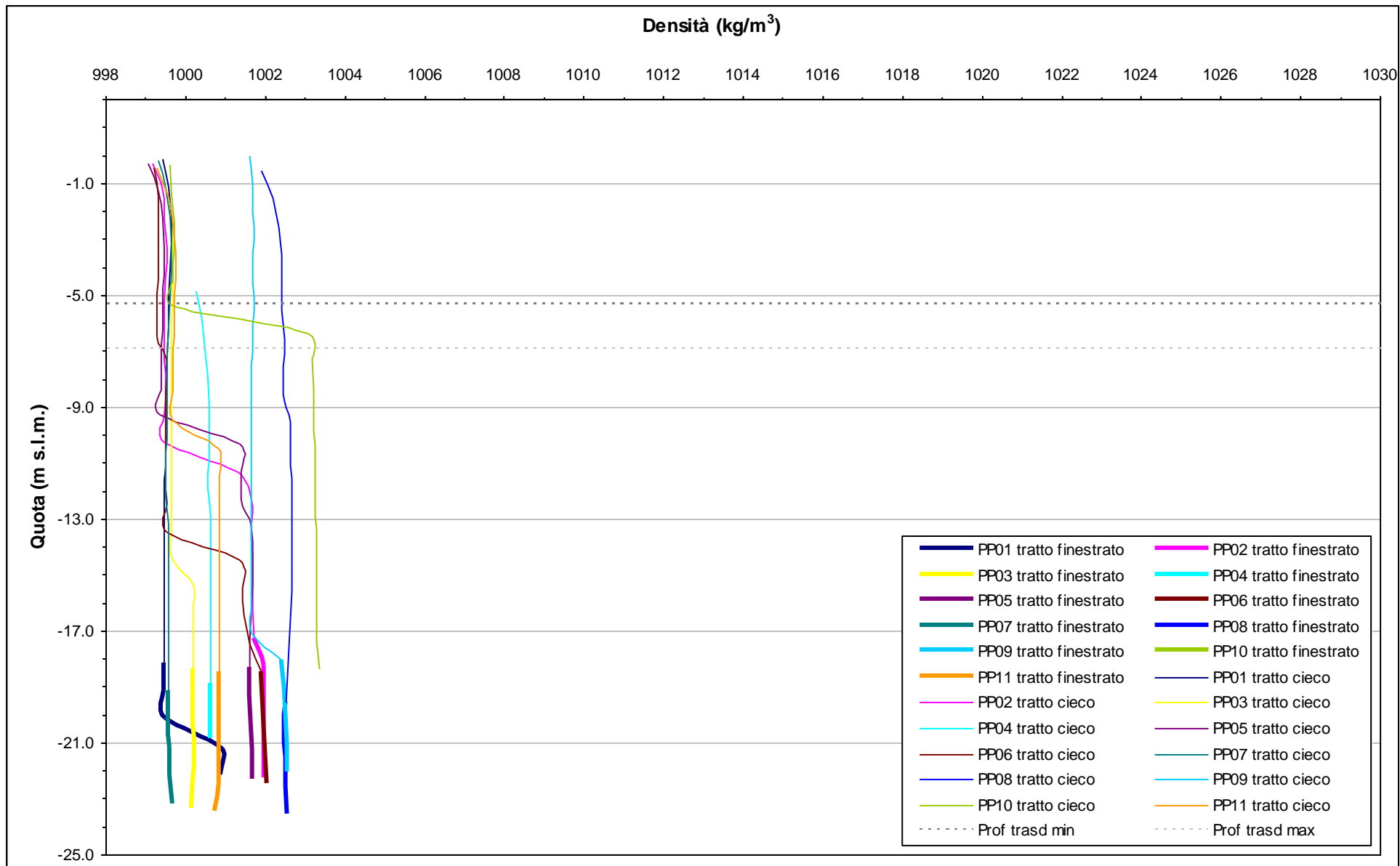


Fig. 4.5 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 3-4 giugno 2009.

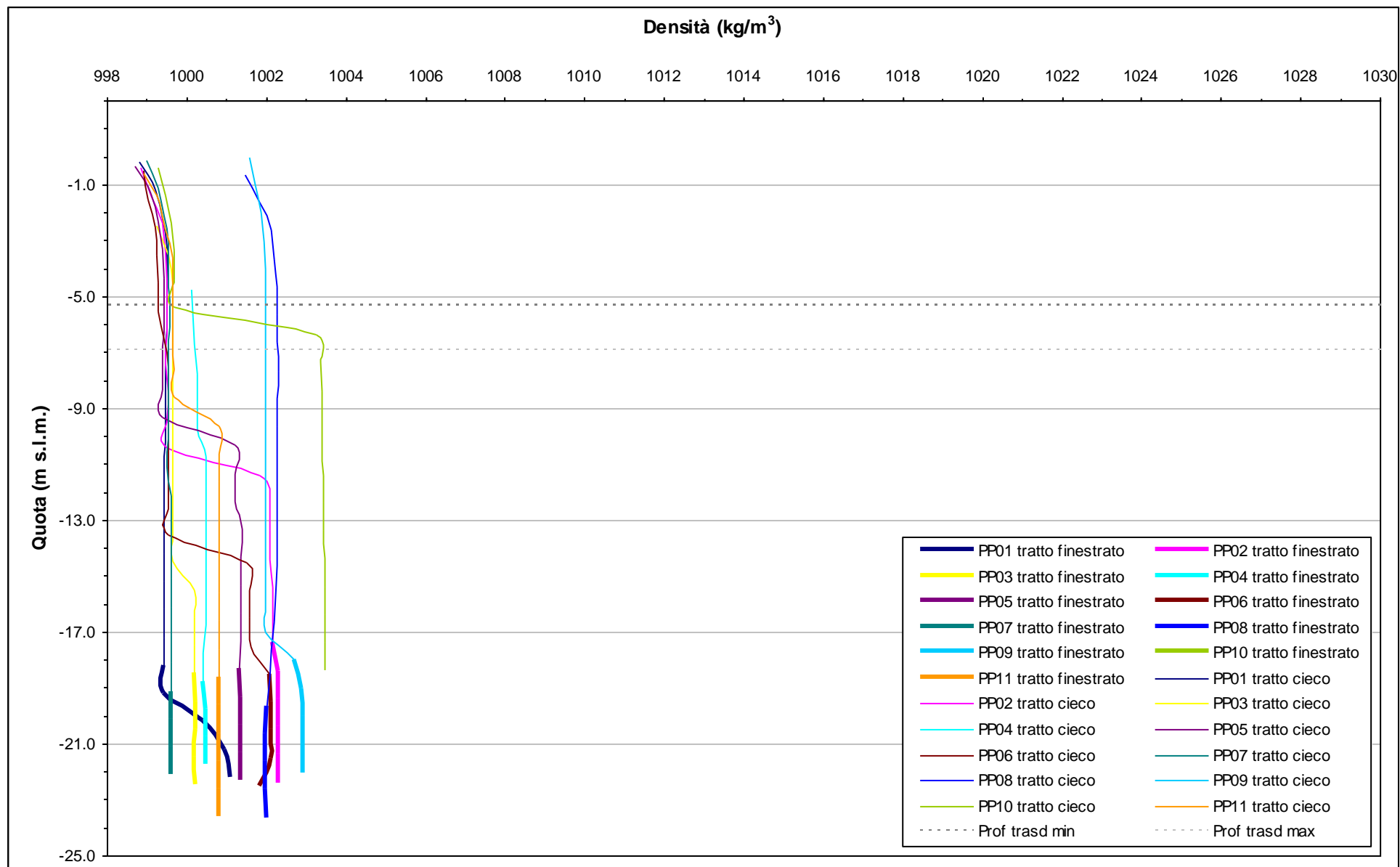


Fig. 4.6- Profili verticali di densità piezometri profondi - 5 luglio 2009.

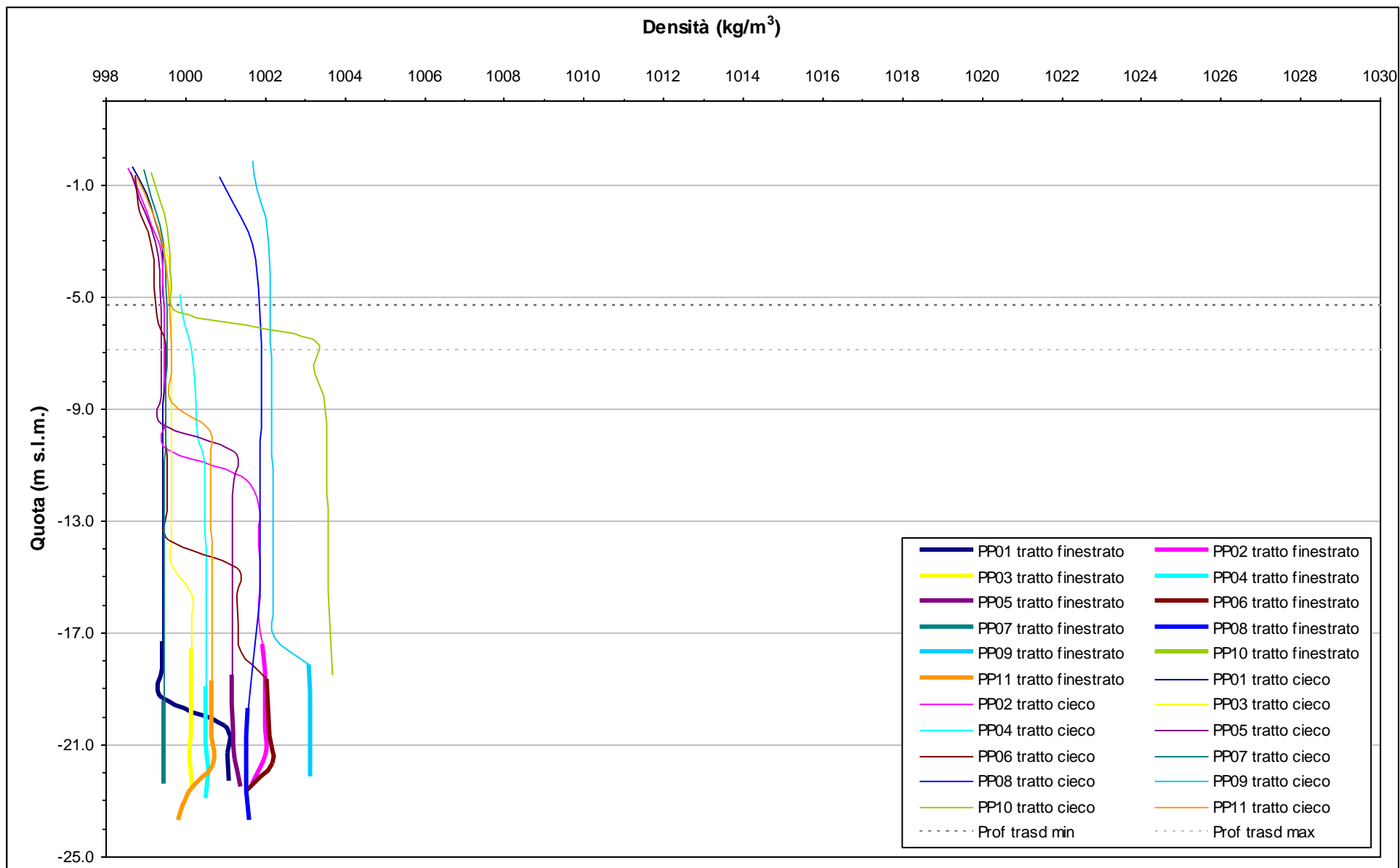


Fig. 4.7 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 4 agosto 2009.

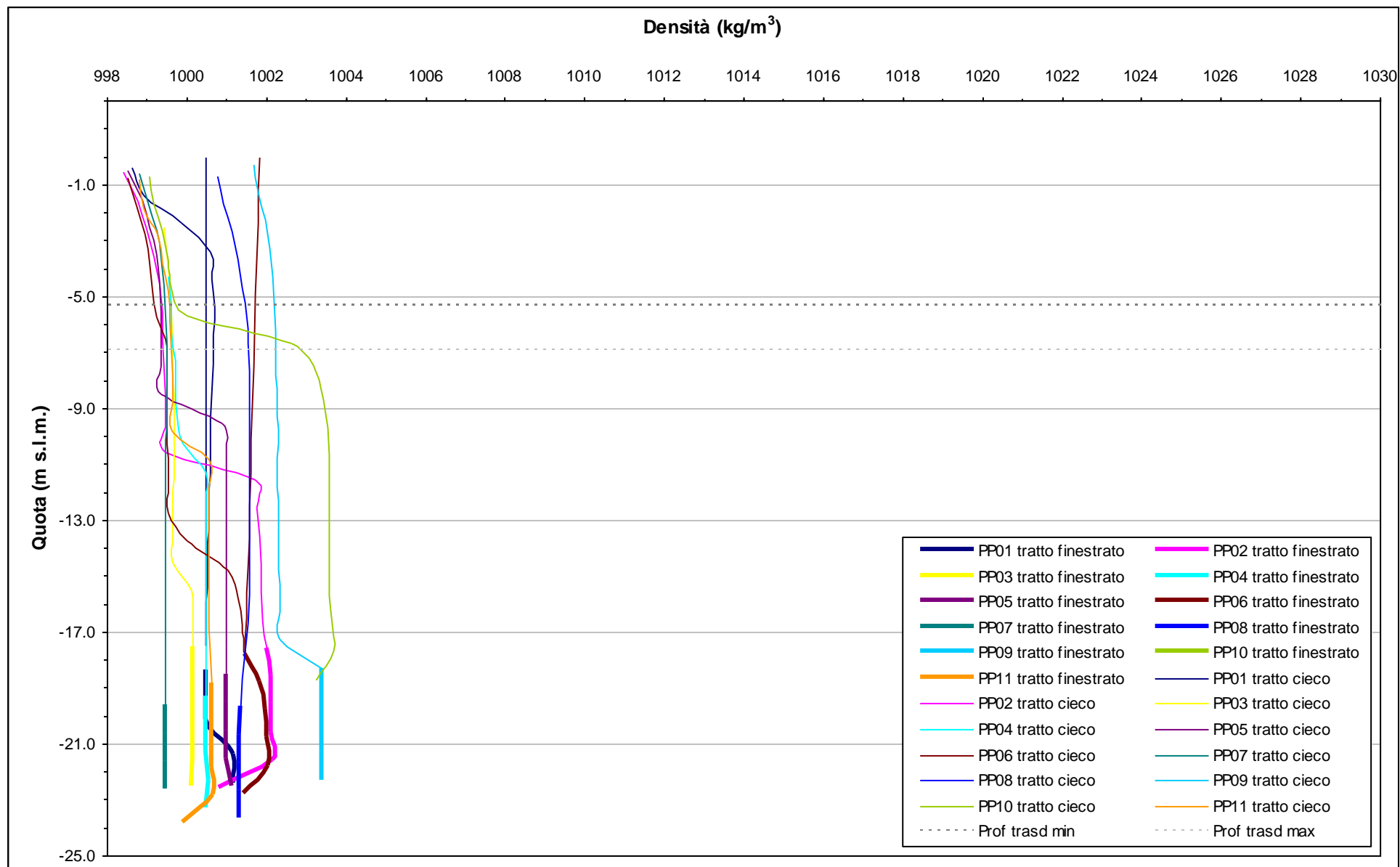


Fig. 4.8 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 9 settembre 2009.

## 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
Maggio	13 maggio 2009 - h. 12:00
Giugno	14 giugno 2009 - h. 14:00
Luglio	16 luglio 2009 - h. 14:00
Agosto	18 agosto 2009 - h. 20:00

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

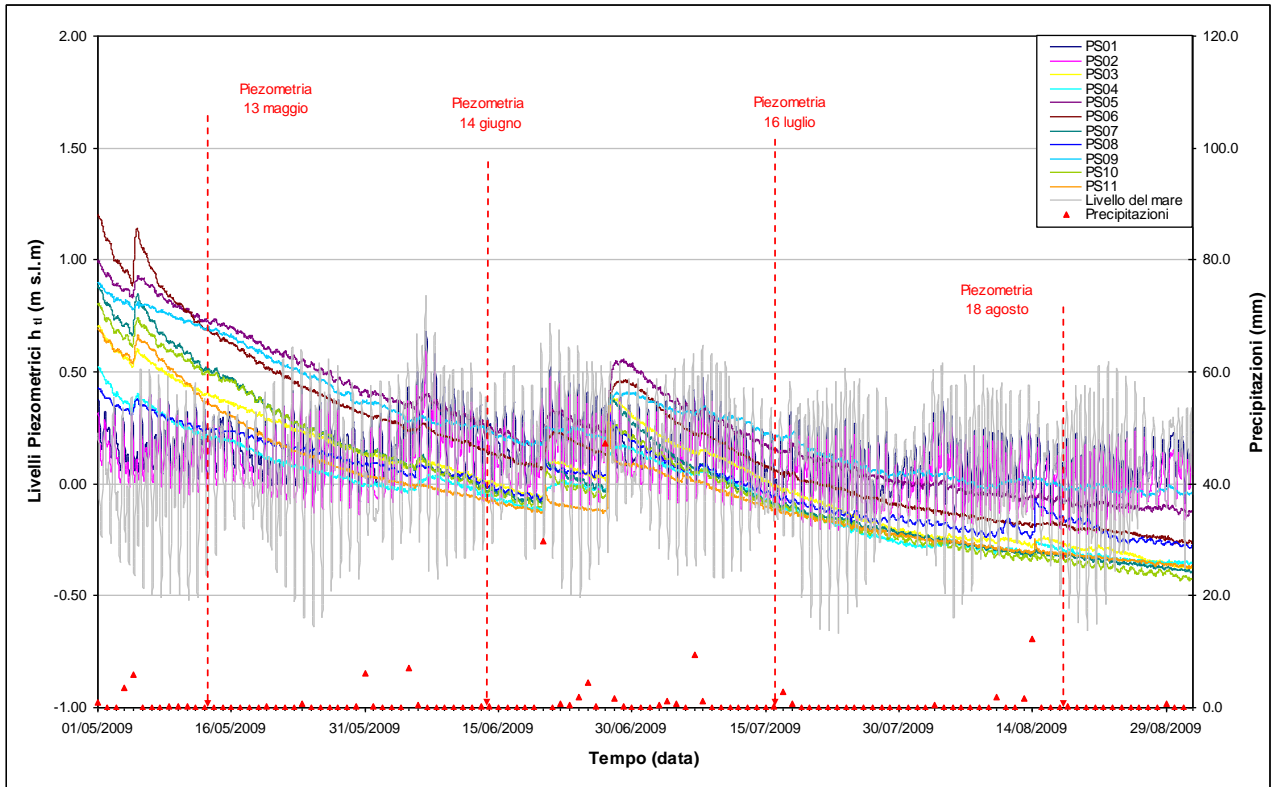


Fig. 5.1 - Elaborazione delle piezometrie superficiali.

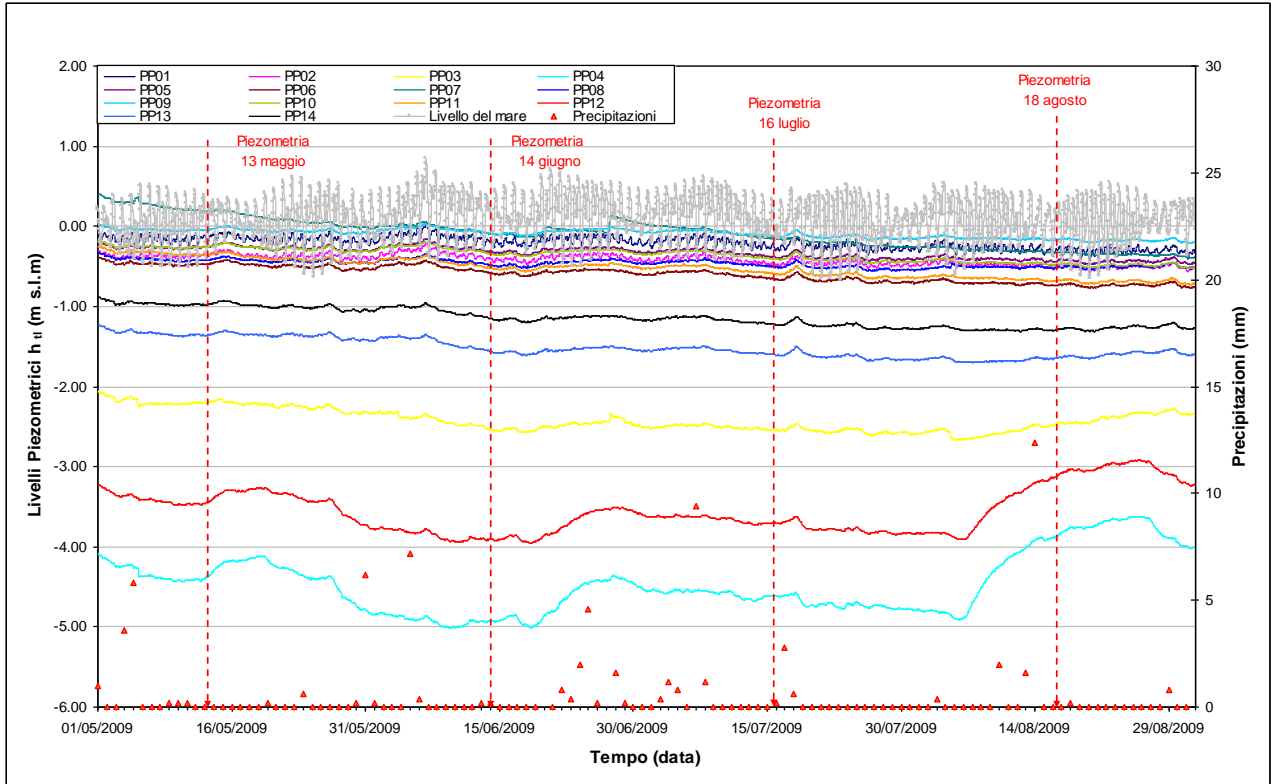


Fig. 5.2- Elaborazione delle piezometrie profonde.

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE 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  $h_{\text{el}}$  relativi al Primo livello acquifero: Fase A e quattro date di riferimento.

Piezometro	X	Y	$z_t$ (m s.l.m.)	Fase A	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto
				$h_{\text{el}}$ (m s.l.m.)	$h_{\text{el}}$ (m s.l.m.)	$h_{\text{el}}$ (m s.l.m.)	$h_{\text{el}}$ (m s.l.m.)	$h_{\text{el}}$ (m s.l.m.)
PS01	2318325.88	5035253.68	1.790	0.271	0.139	0.180	0.081	0.144
PS02	2318303.30	5034900.48	1.687	nd	0.102	0.139	0.033	0.120
PS03	2318377.62	5034552.61	1.459	0.331	0.397	0.003	-0.013	-0.292
PS04	2318449.34	5034373.27	1.344	0.147	0.207	-0.066	-0.095	-0.311
PS05	2318582.01	5034989.80	1.816	0.799	0.720	0.227	0.149	-0.094
PS06	2318658.27	5034750.84	1.664	0.843	0.683	0.125	0.054	-0.206
PS07	2318785.95	5034898.62	1.403	0.654	0.511	-0.037	-0.094	-0.329
PS08	2318799.69	5034032.43	0.623	0.345	0.243	-0.025	-0.061	-0.171
PS09	2318764.67	5035448.00	2.248	0.638	0.701	0.211	0.210	-0.028
PS10	2318792.99	5035043.94	2.003	0.634	0.497	-0.046	-0.106	-0.360
PS11	2318787.28	5034652.23	1.086	0.673	0.360	-0.078	-0.124	-0.319

Rispetto alla ricostruzione piezometrica relativa alla Fase A (novembre 2005), si osserva una diminuzione dei livelli idrici nella falda freatica superficiale, dovuta all'intensa evapotraspirazione avvenuta nei mesi estivi.

A partire dal mese di giugno 2009 si osserva un'inversione del flusso che è ora diretto dal mare alla terraferma ed è influenzato dalla presenza della barriera impermeabile della tura sul lato sud del cantiere.



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

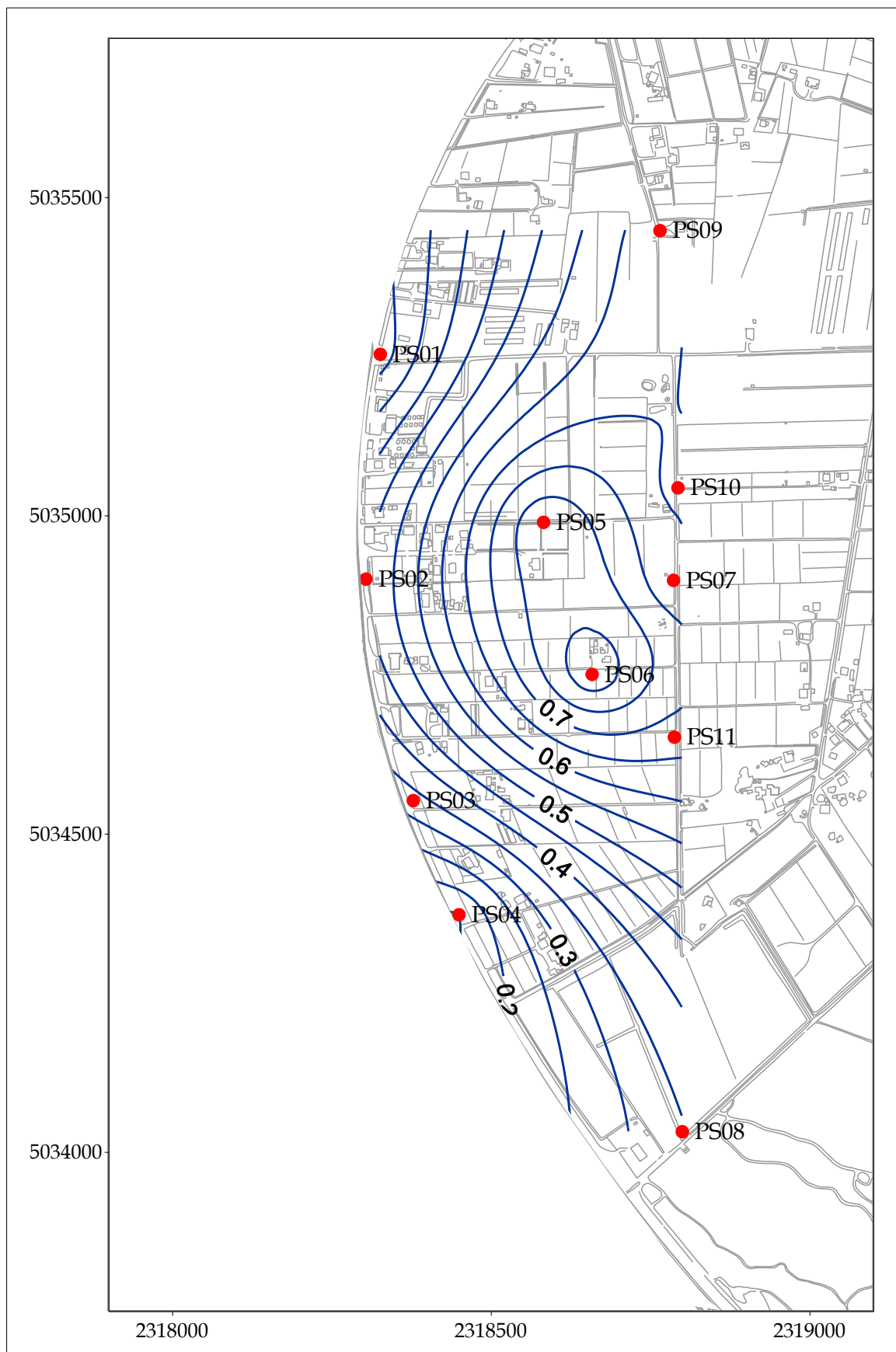


Fig. 5.3 - Piezometri superficiale Fase A - novembre 2005 (h<sub>il</sub> - m s.l.m.).

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

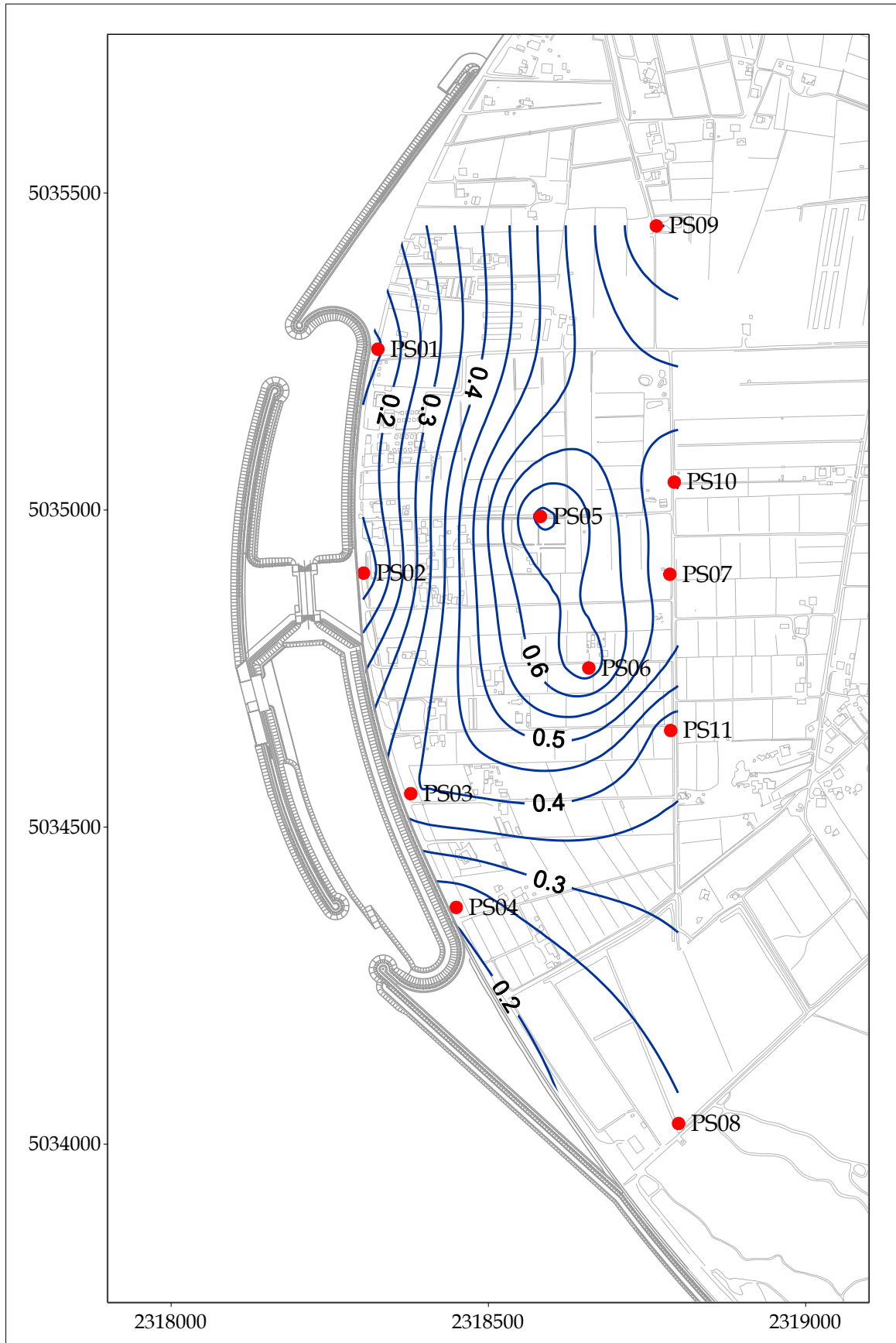


Fig. 5.4 - Piezometria superficiale - maggio 2009 ( $h_{II}$  - m s.l.m.).

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

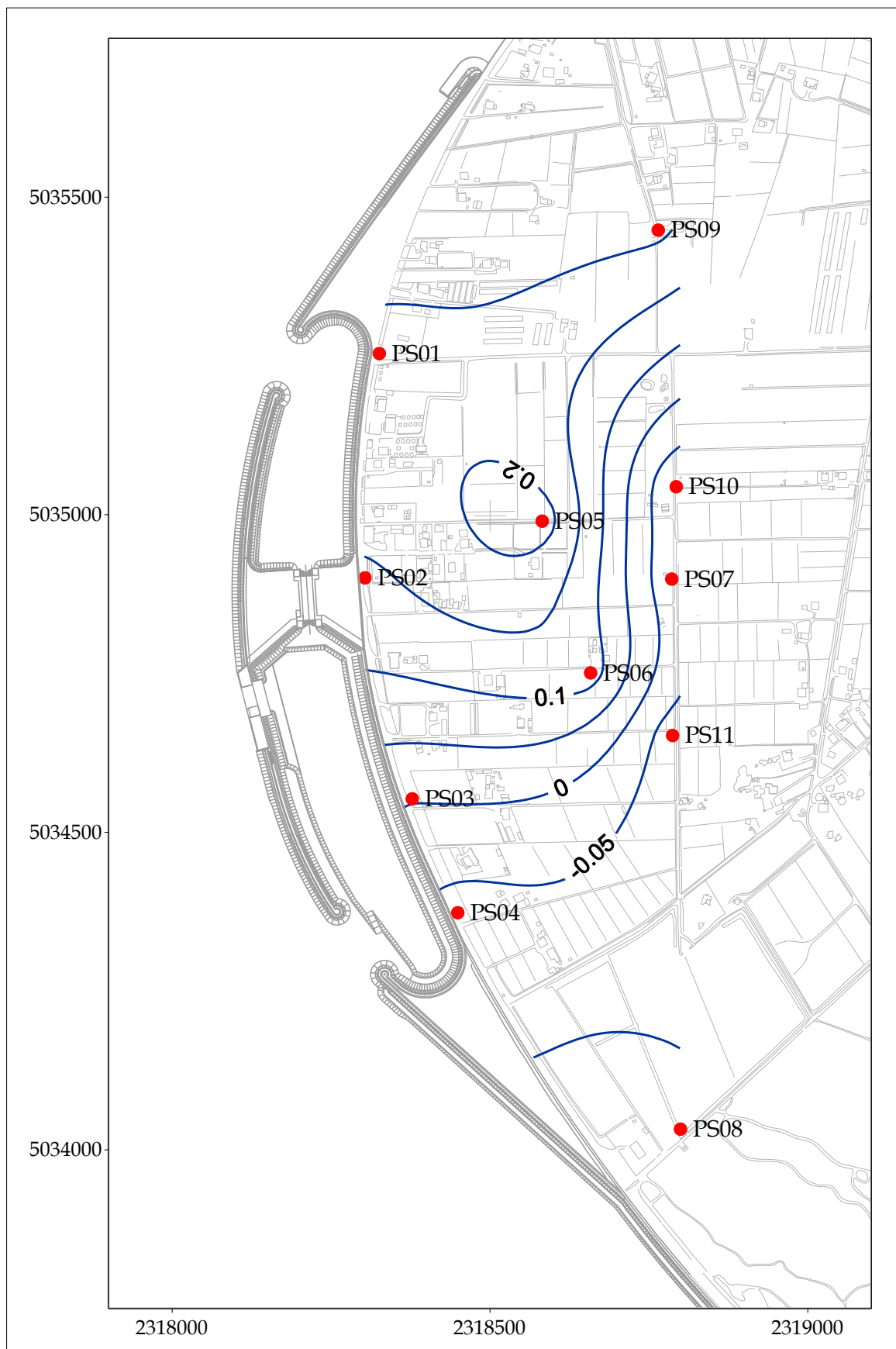


Fig. 5.5- Piezometria superficiale - giugno 2009 (h<sub>ti</sub> - m s.l.m.).

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

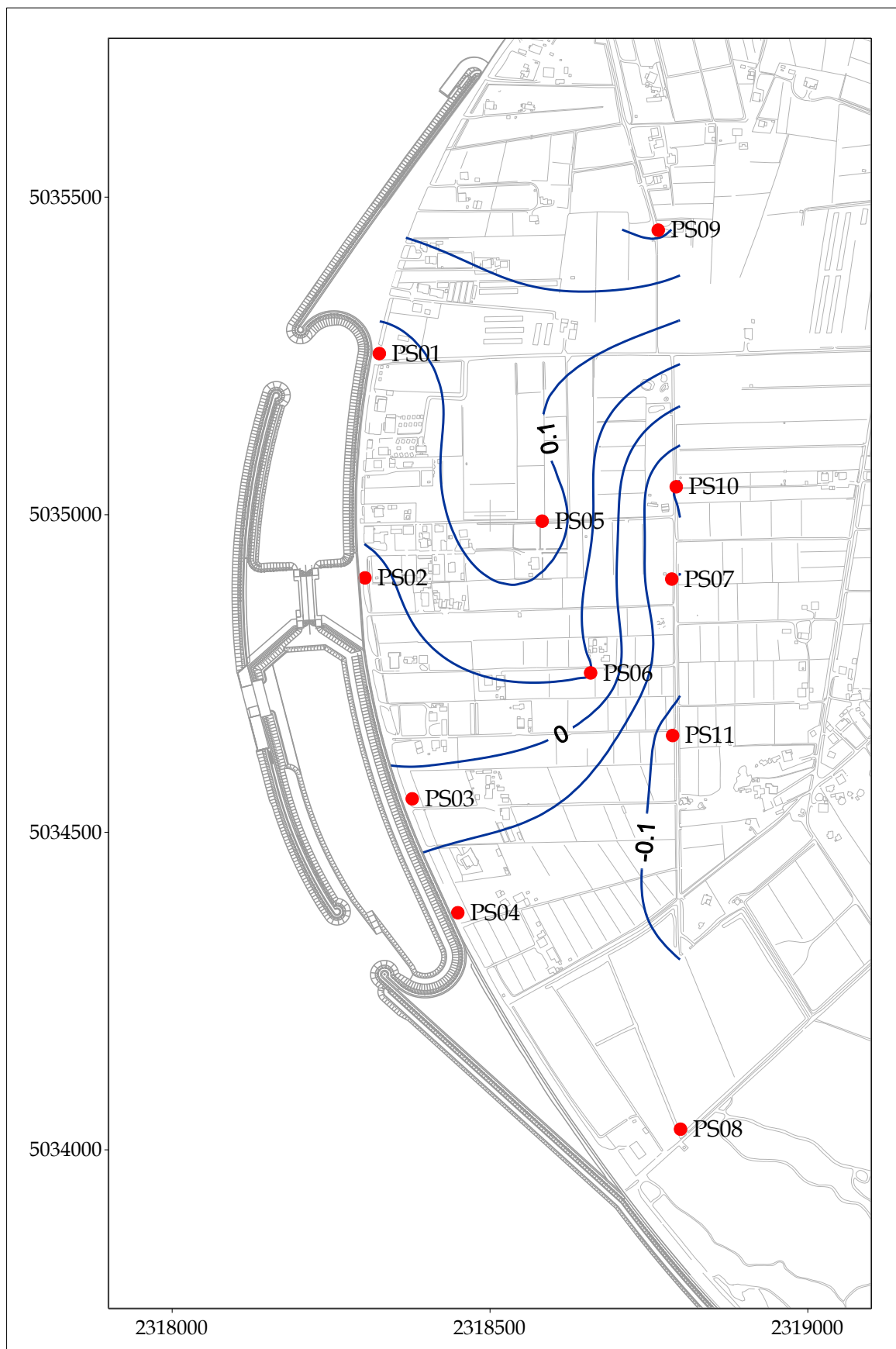


Fig. 5.6 - Piezometria superficiale - luglio 2009 ( $h_d$  - m s.l.m.).

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

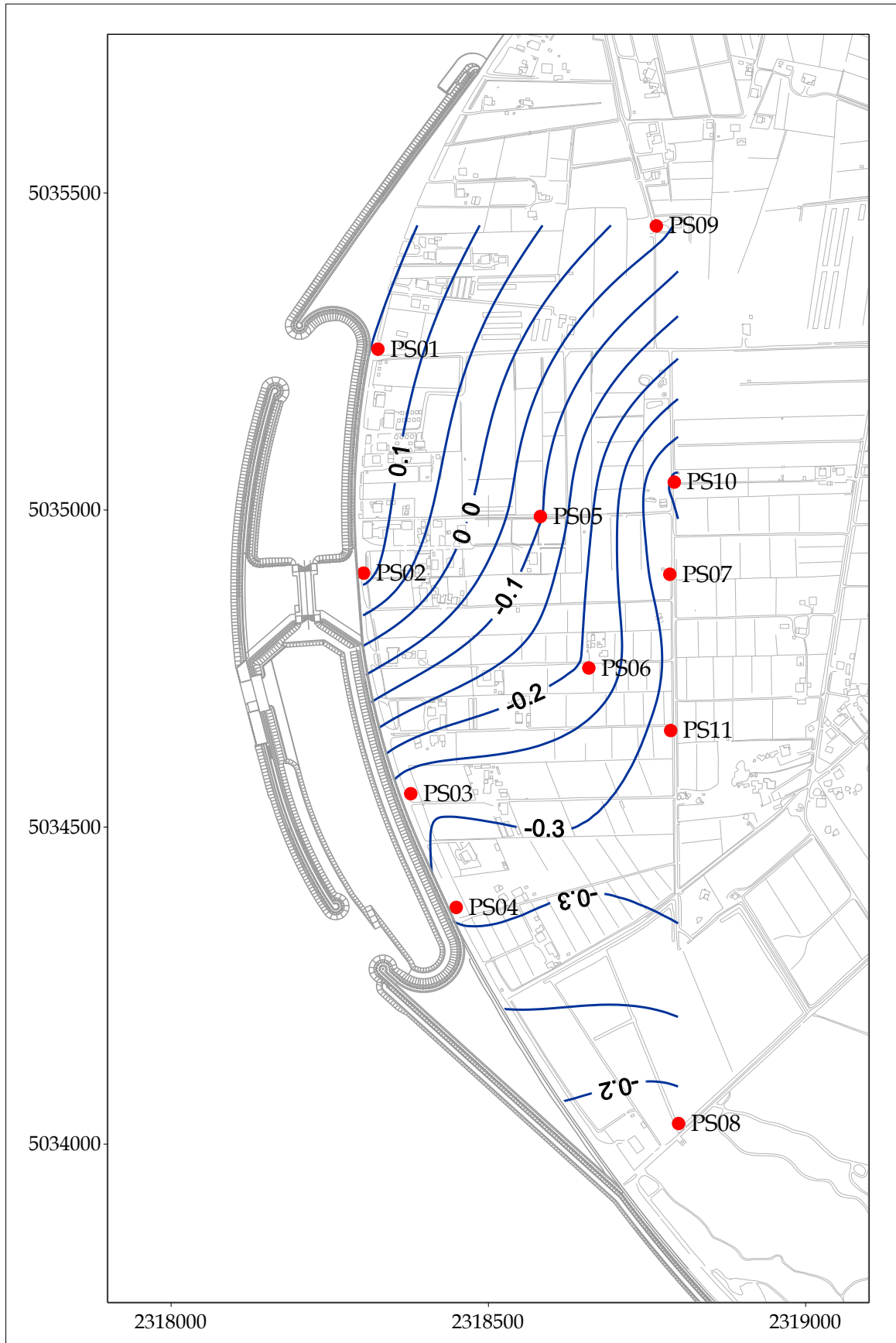


Fig. 5.7 - Piezometria superficiale - agosto 2009 ( $h_{tl}$  - m s.l.m.).

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  $h_{\text{fl}}$  relativi al secondo livello acquifero: Fase A e quattro date di riferimento.

Piezometro	X	Y	$z_t$ (m s.l.m.)	Fase A	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto
				$h_{\text{fl}}$ (m s.l.m.)	$h_{\text{fl}}$ (m s.l.m.)	$h_{\text{fl}}$ (m s.l.m.)	$h_{\text{fl}}$ (m s.l.m.)	$h_{\text{fl}}$ (m s.l.m.)
PP01	2318325	5035252	1.801	0.337	-0.135	-0.192	-0.241	-0.261
PP02	2318303	5034898	1.681	0.298	-0.354	-0.42	-0.467	-0.489
PP03	2318378	5034550	1.431	0.353	-2.186	-2.544	-2.536	-2.444
PP04	2318449	5034375	1.416	0.394	-4.332	-4.905	-4.583	-3.736
PP05	2318580	5034990	1.718	0.469	-0.257	-0.343	-0.387	-0.436
PP06	2318658	5034749	1.636	0.375	-0.473	-0.597	-0.667	-0.727
PP07	2318786	5034901	1.318	0.401	0.188	-0.103	-0.165	-0.335
PP08	2318800	5034031	0.747	0.26	-0.417	-0.494	-0.508	-0.509
PP09	2318765	5035446	2.255	0.339	-0.034	-0.103	-0.123	-0.168
PP10	2318793	5035046	2.086	0.302	-0.251	-0.358	-0.411	-0.479
PP11	2318787	5034654	1.149	0.288	-0.356	-0.534	-0.593	-0.687
PP12	2318498	5034363	1.071	nd	-3.434	-3.924	-3.705	-3.034
PP13	2318631	5034397	1.169	nd	-1.355	-1.581	-1.61	-1.623
PP14	2318619	5034537	1.502	nd	-0.968	-1.167	-1.229	-1.278

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 e 5.5 m circa; negli altri piezometri i livelli risultano inferiori rispetto a quelli registrati nella Fase A, con differenze comprese tra 0.2 e 1.1 m circa.

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

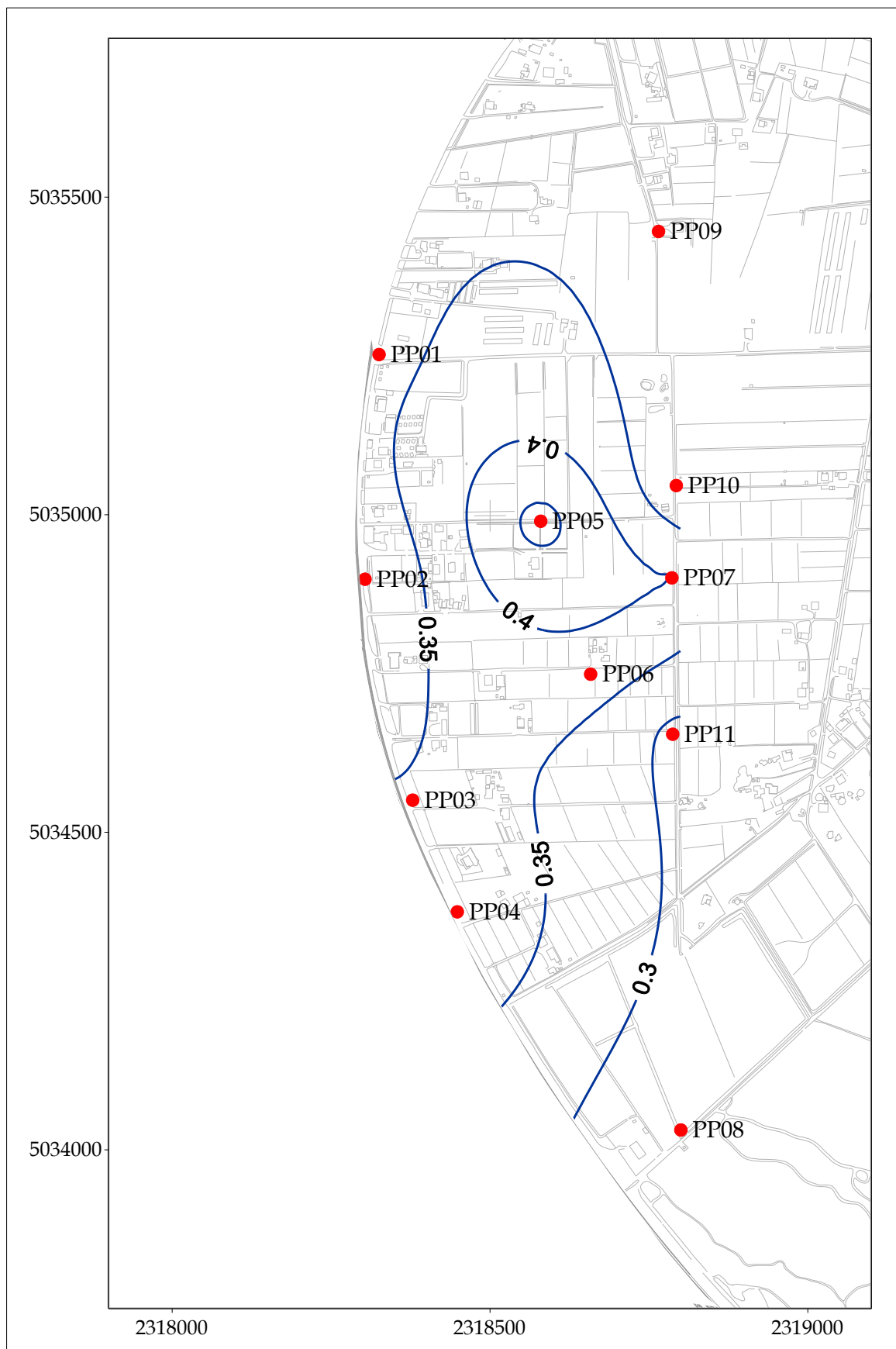


Fig. 5.8- Piezometria profonda Fase A - novembre 2005 ( $h_{tl}$  - m s.l.m.).

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

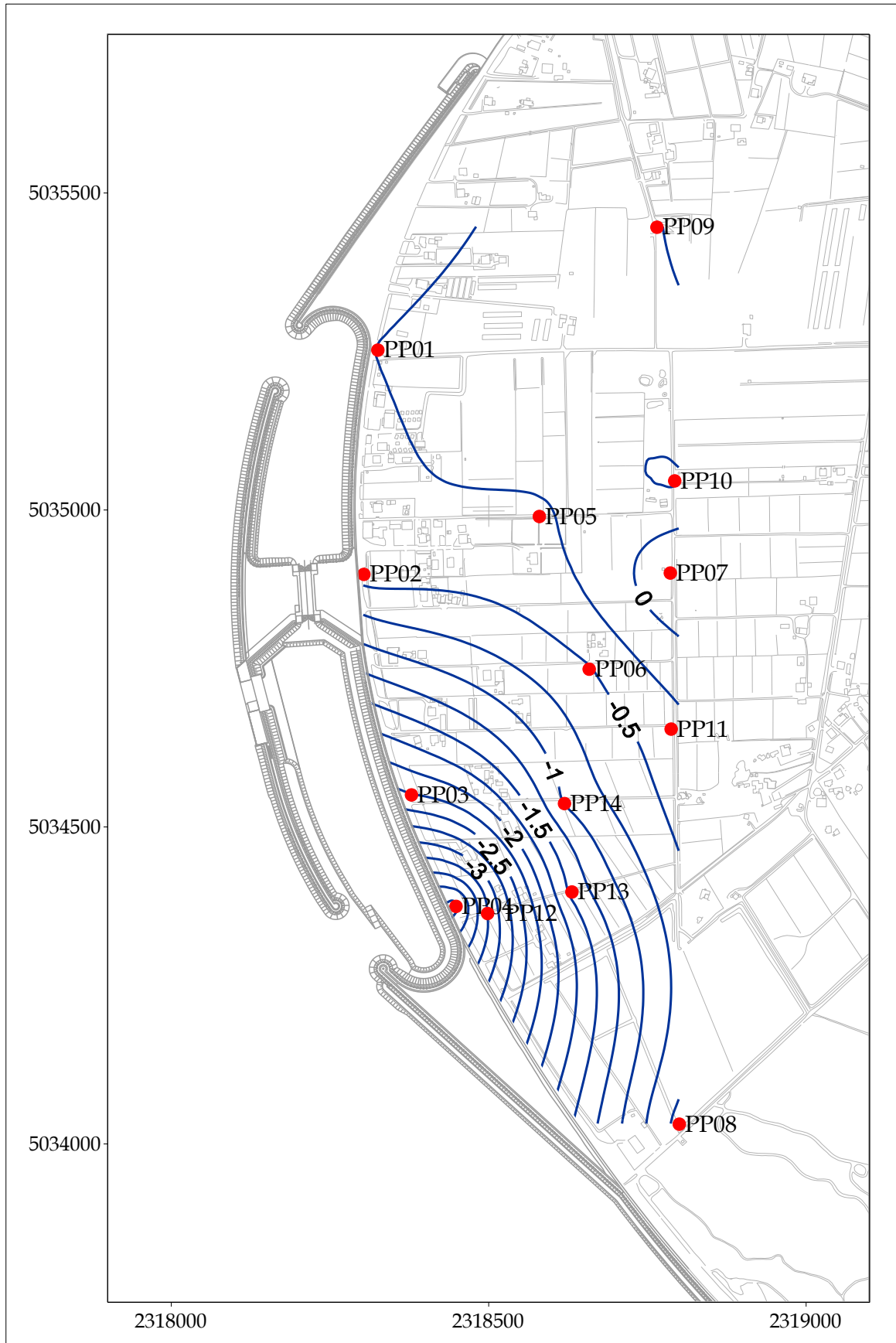


Fig. 5.9 - Piezometria profonda - maggio 2009 ( $h_{il}$  - m s.l.m.).



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

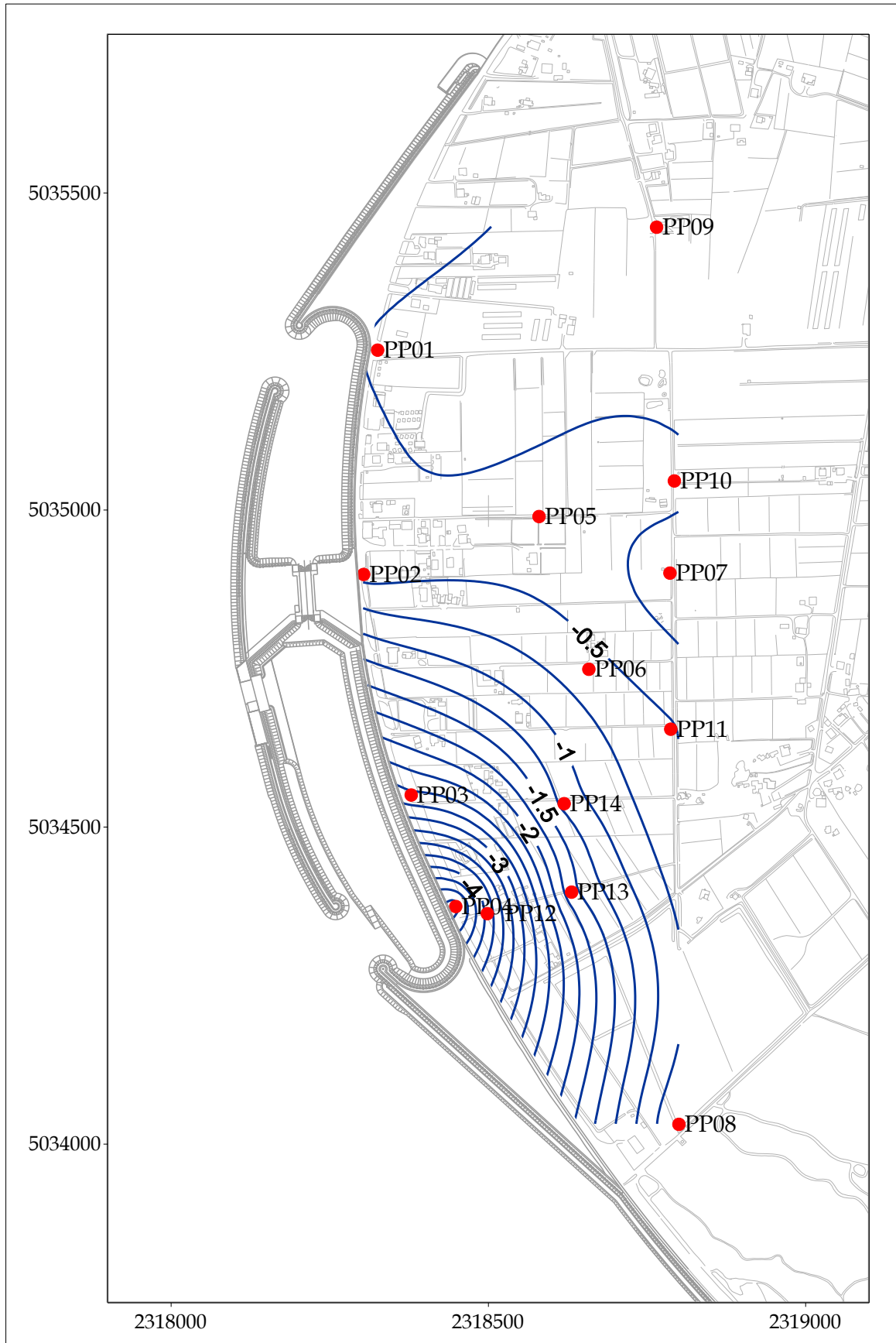


Fig. 5.10 - Piezometria profonda - giugno 2009 ( $h_{tl}$  - m s.l.m.).

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

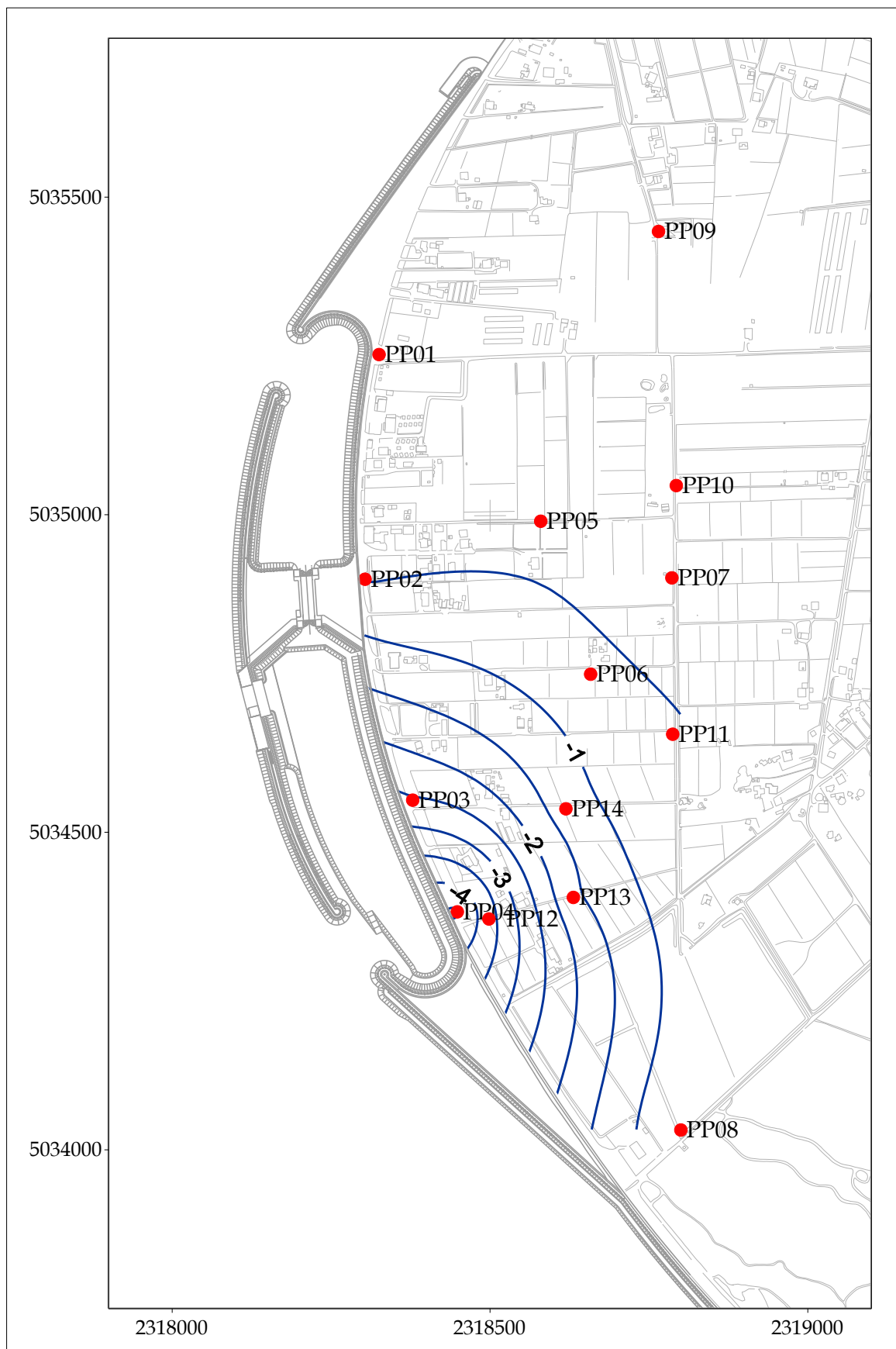


Fig. 5.11 - Piezometria profonda - luglio 2009 ( $h_{pi}$  - m s.l.m.).

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

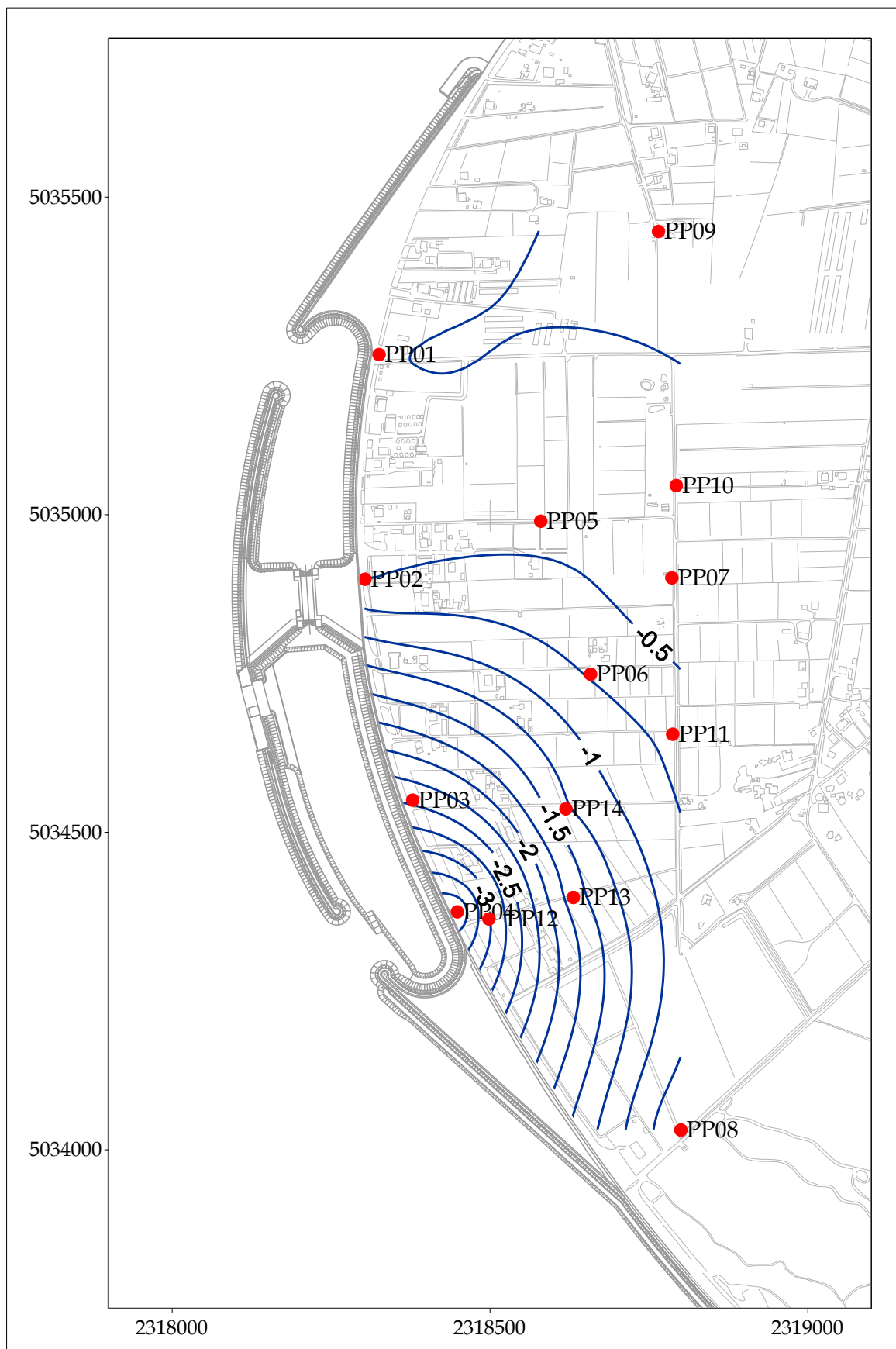


Fig. 5.12 - Piezometria profonda - agosto 2009 (h<sub>d</sub> - m s.l.m.).

## 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 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	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

Nel corso del quadrimestre di monitoraggio maggio - agosto 2009 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 profondi e superficiali;
- 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 e PP14 durante l'intero periodo monitorato; in occasione di alcuni massimi mareali sono stati registrati superamenti nei piezometri profondi PP02, PP05, PP06, PP08, PP09, PP10, PP11; sporadici superamenti della soglia di BLI sono stati riscontrati anche nel piezometro PP07;
- la soglia di Basso Livello Medio non è stata rispettata nei piezometri profondi PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14 durante tutto il periodo monitorato; sono stati inoltre registrati alcuni superamenti nel piezometro PP06 in occasione dei massimi mareali più intensi.

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.

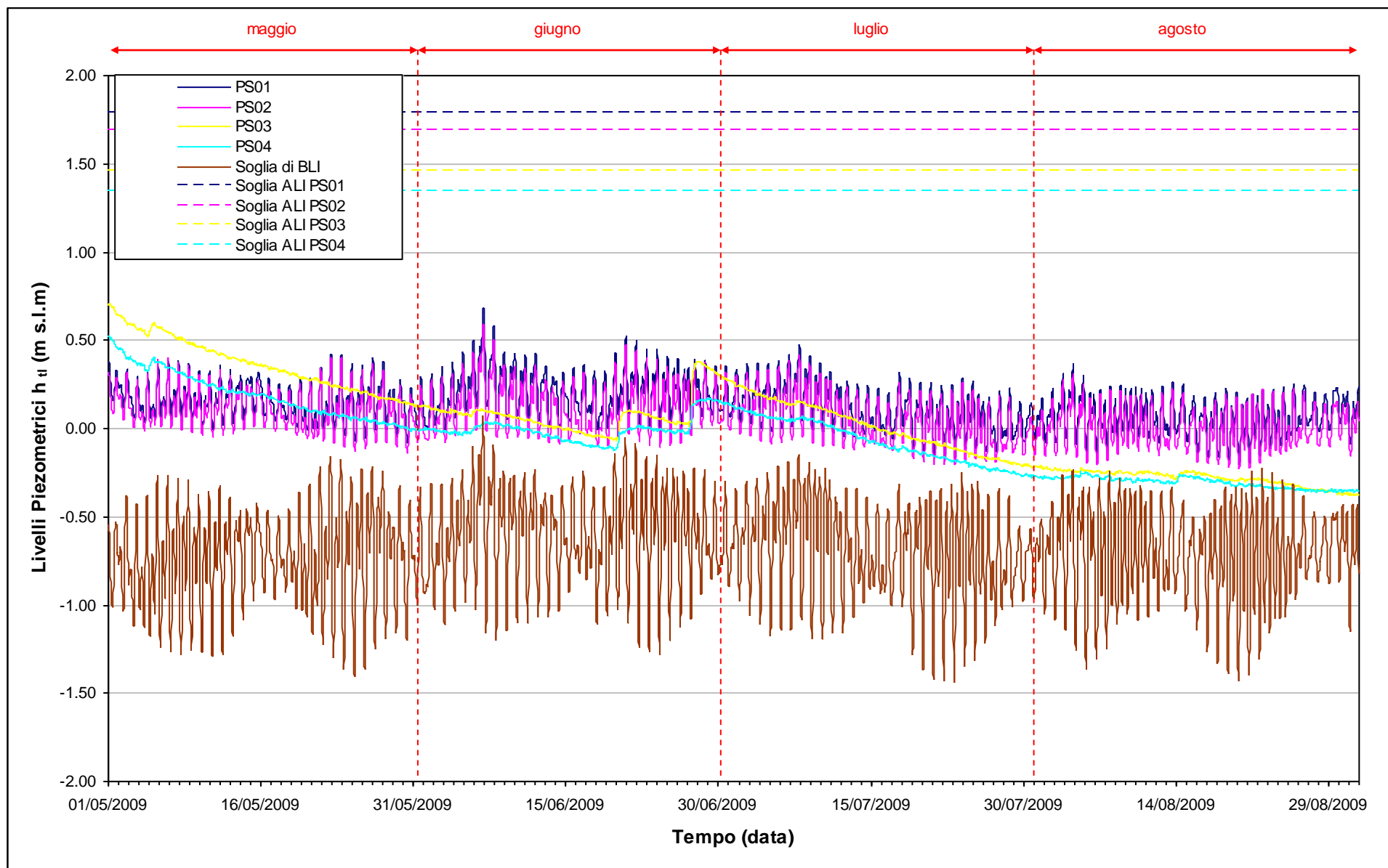


Fig. 6.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS01, PS02, PS03, PS04.

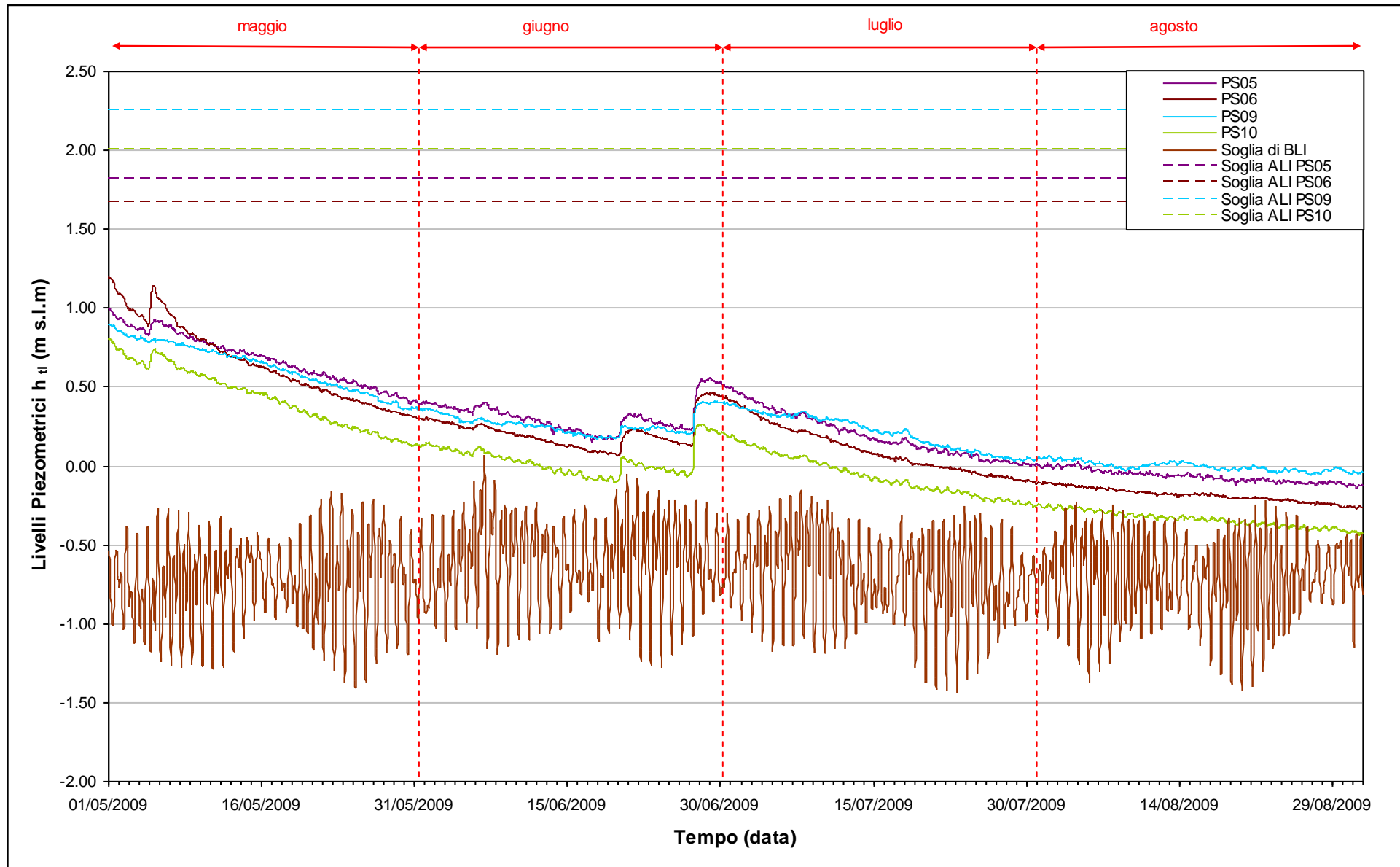


Fig.6.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS05, PS06, PS09, PS10.

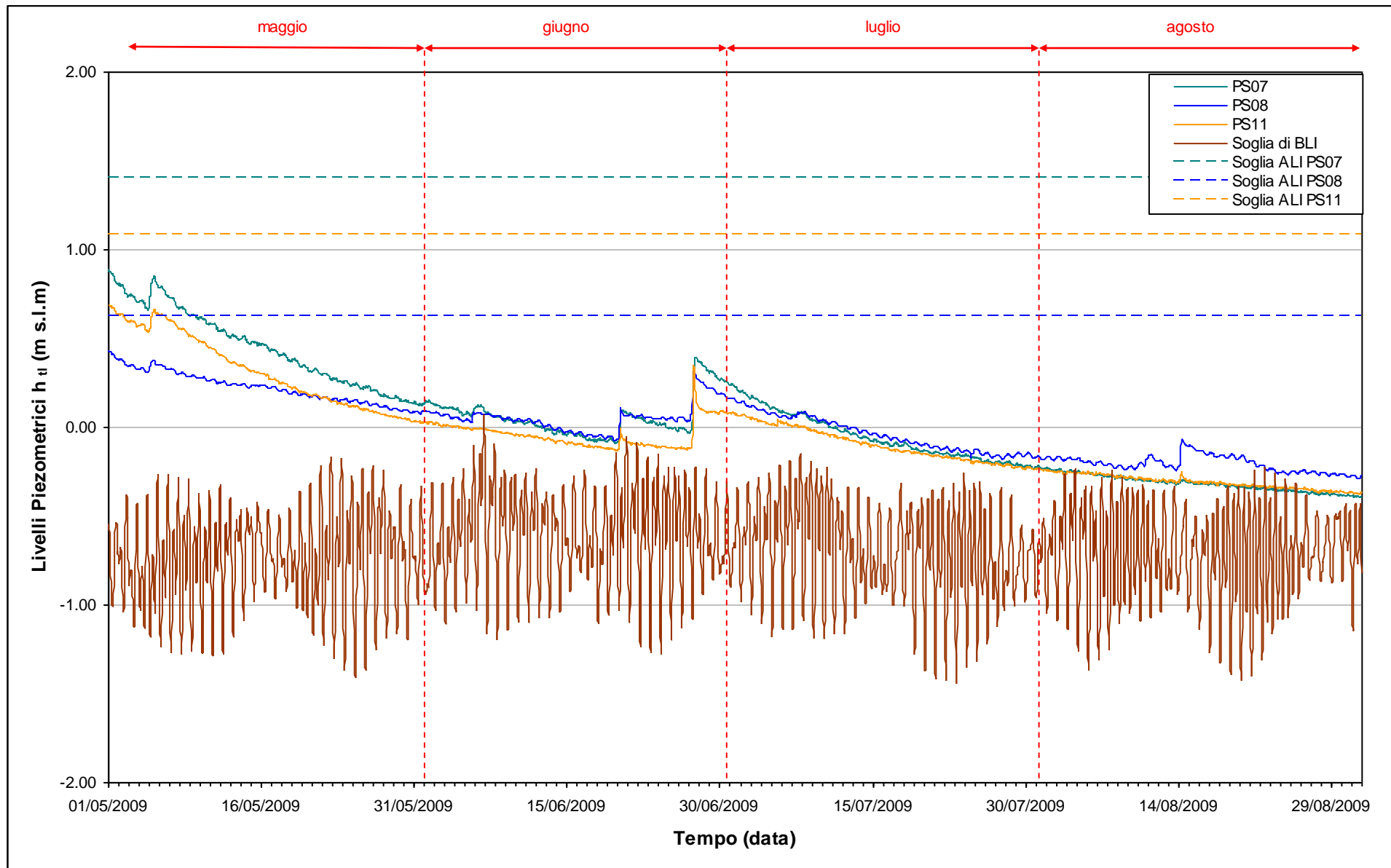


Fig.6.3 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS07, PS08, PS11.



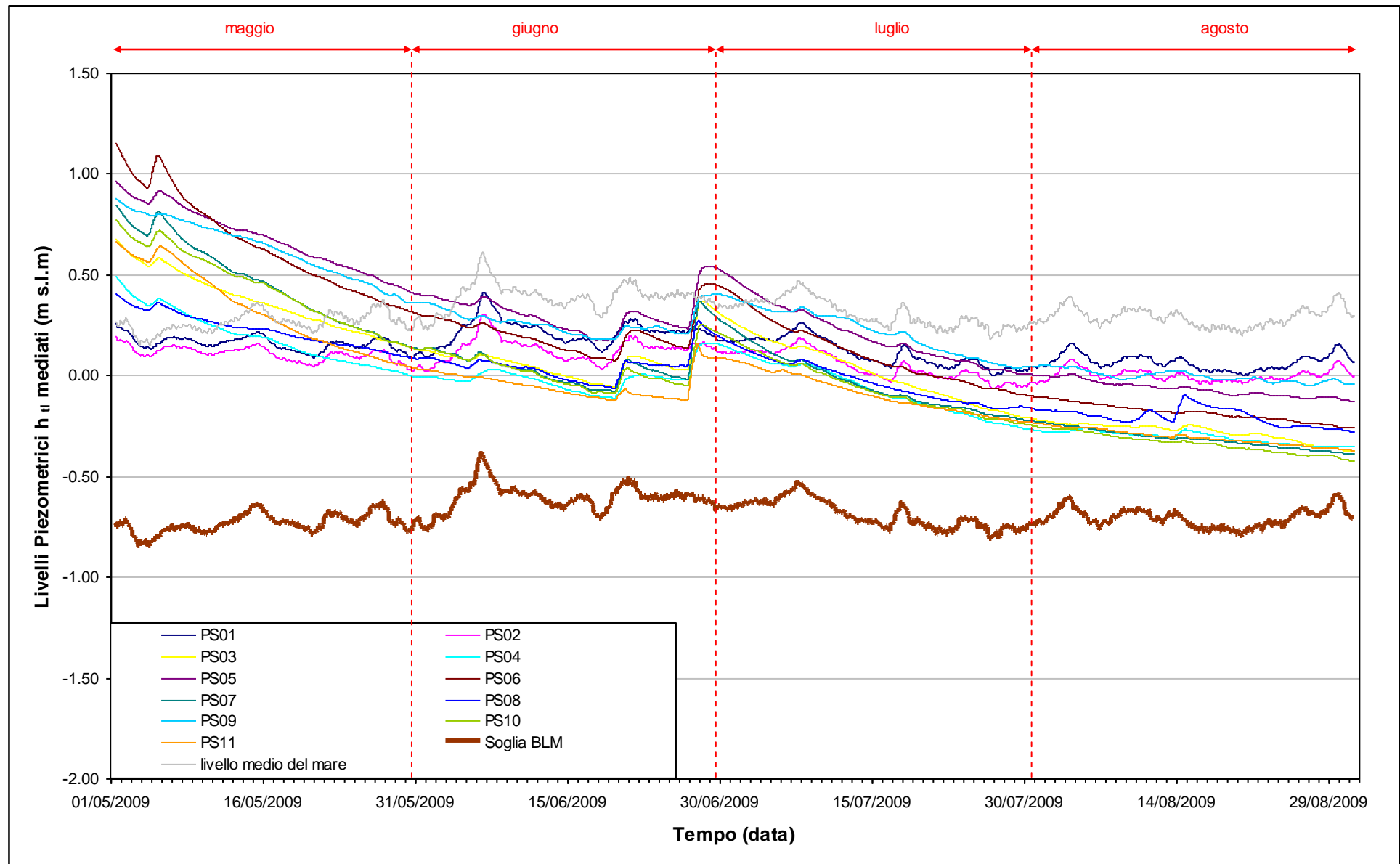


Fig. 6.4 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri superficiali e soglia di Basso Livello Medio.

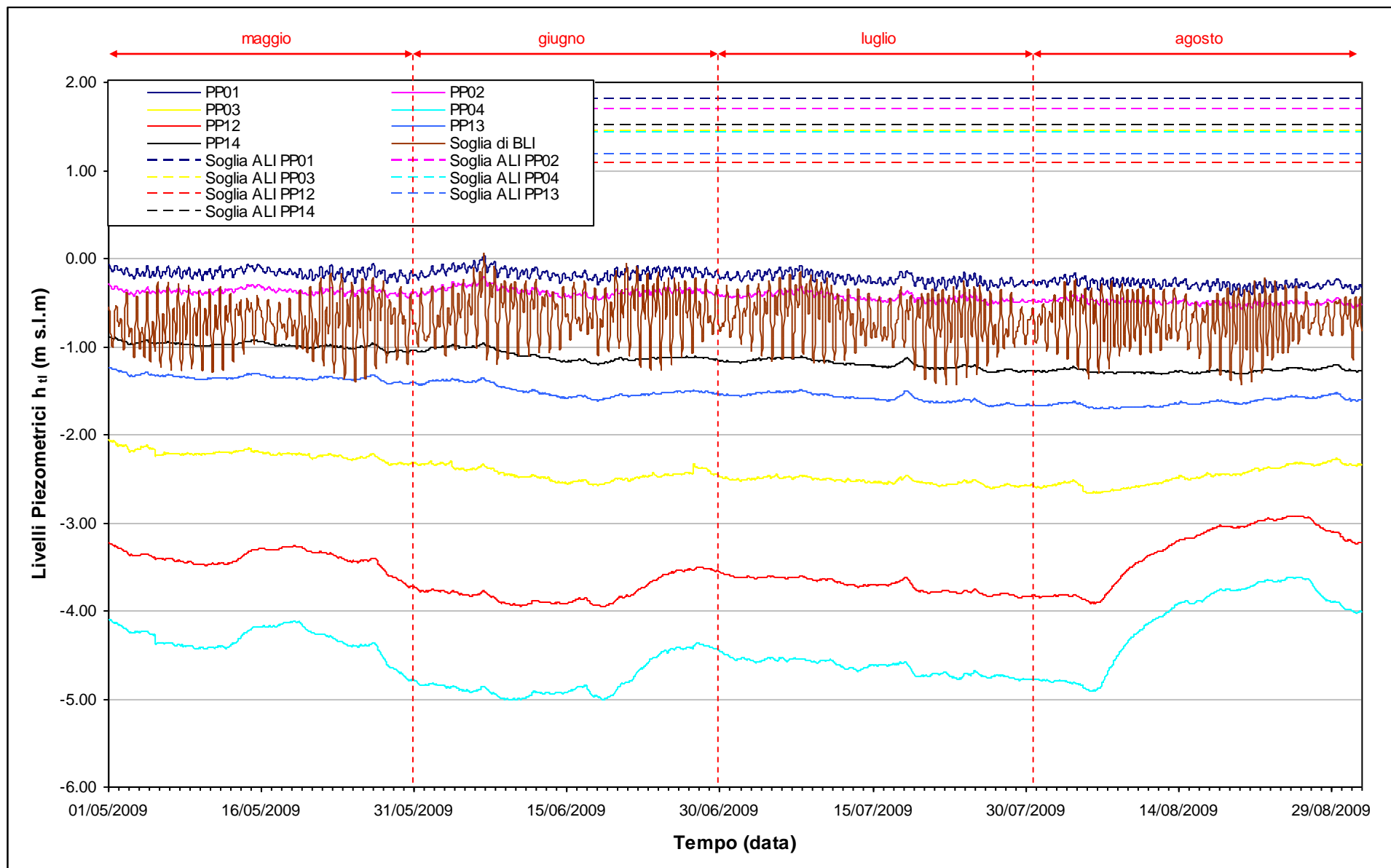


Fig. 6.5 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP04, PP12, PP13, PP14.

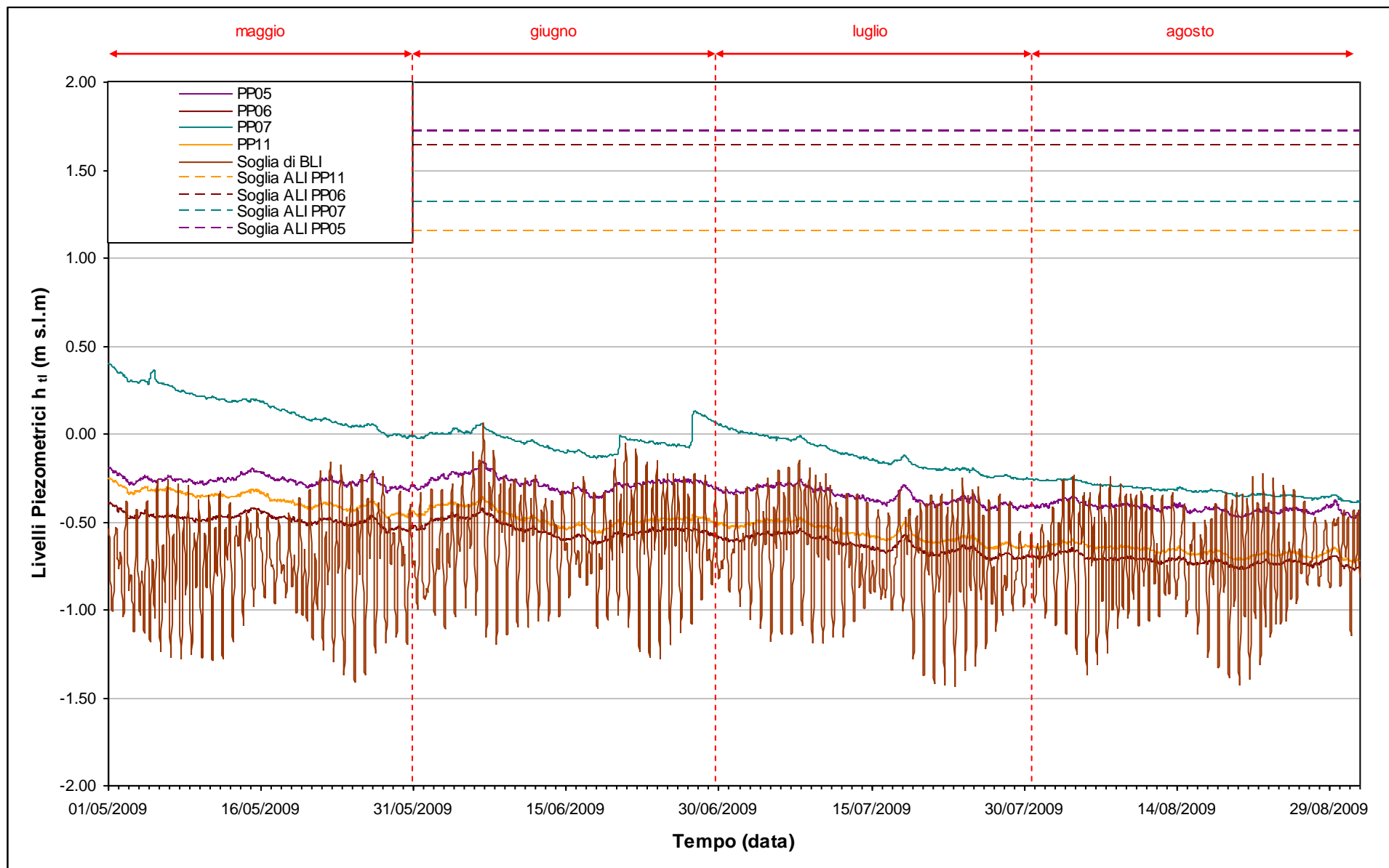


Fig. 6.6 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP11.

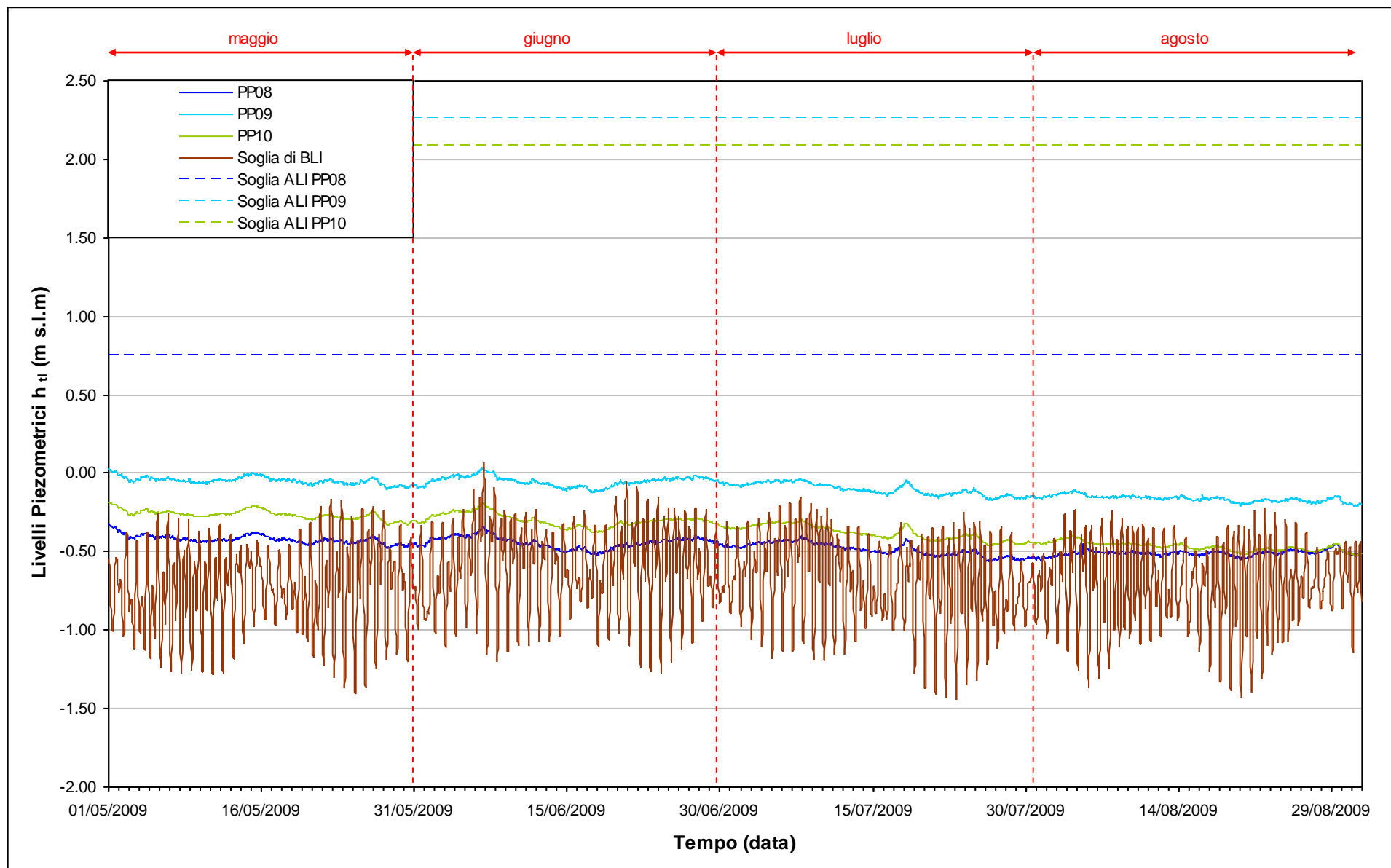


Fig. 6.7 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP08, PP09, PP10.

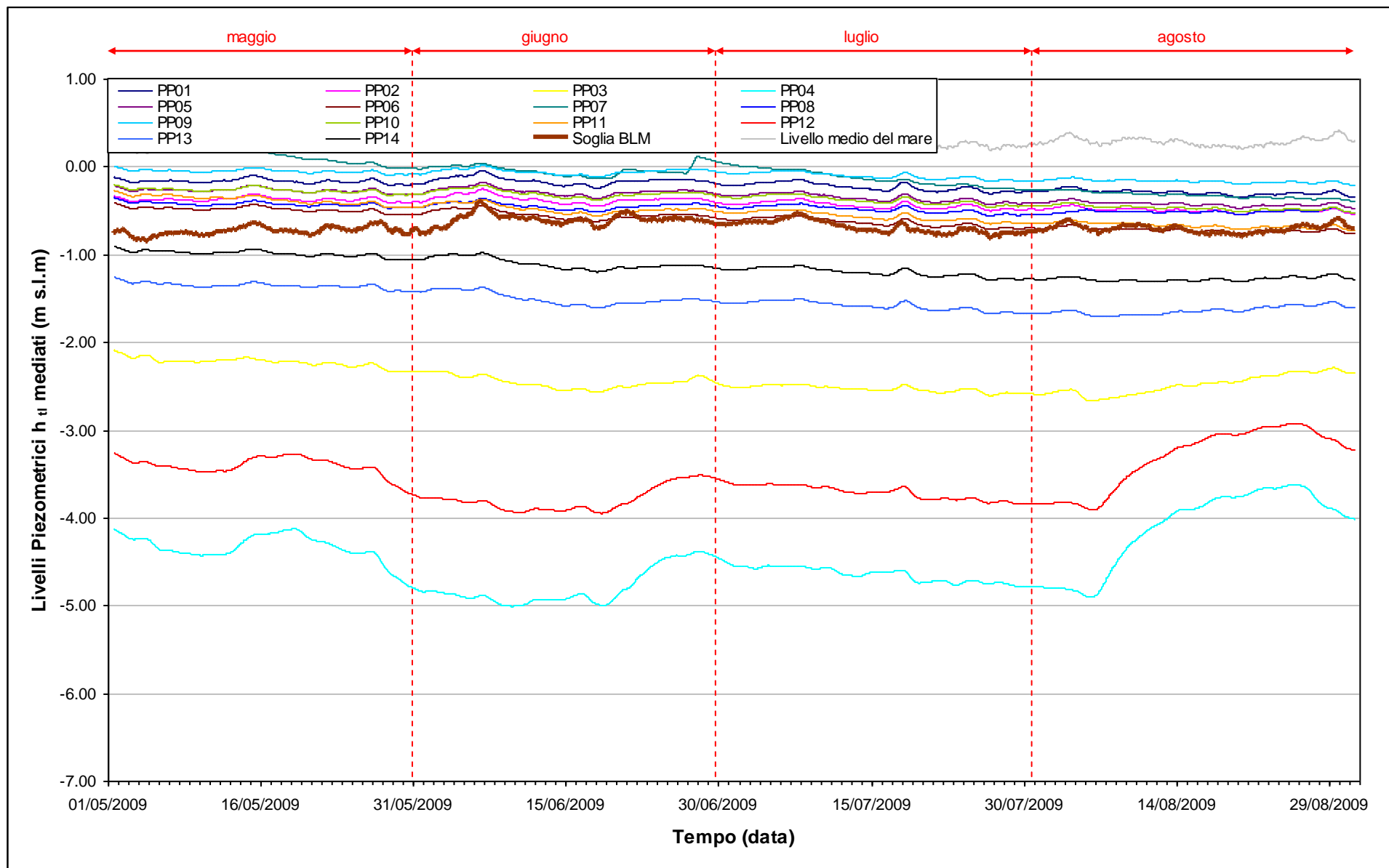


Fig. 6.8 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri profondi e soglia di Basso Livello Medio.

## 7. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/05/2009 e il 31/08/2009, 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 osserva una marcata discesa dei livelli idrici, compresa tra 70 e 150 cm dovuta all'evapotraspirazione estiva. Dalle elaborazioni piezometriche i livelli risultano inferiori rispetto a quelli registrati durante il monitoraggio di Fase A.

La configurazione piezometrica in corrispondenza del secondo livello acquifero non risulta essere compatibile con quanto registrato durante la Fase A, risentendo delle operazioni di pompaggio della tura lato mare. Nel periodo monitorato (01/05/09 - 31/08/09) si osserva una diminuzione dei carichi idraulici nei piezometri profondi, con differenze comprese tra 20 e 80 cm circa, ad eccezione dei piezometri PP04 (dove si osserva una crescita di circa 10 cm) e PP12 (dove il livello è invariato).

**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 maggio 2009 - 31 agosto 2009 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/5 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2009).

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.



## 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 01/05/2009 e il 31/08/2009.

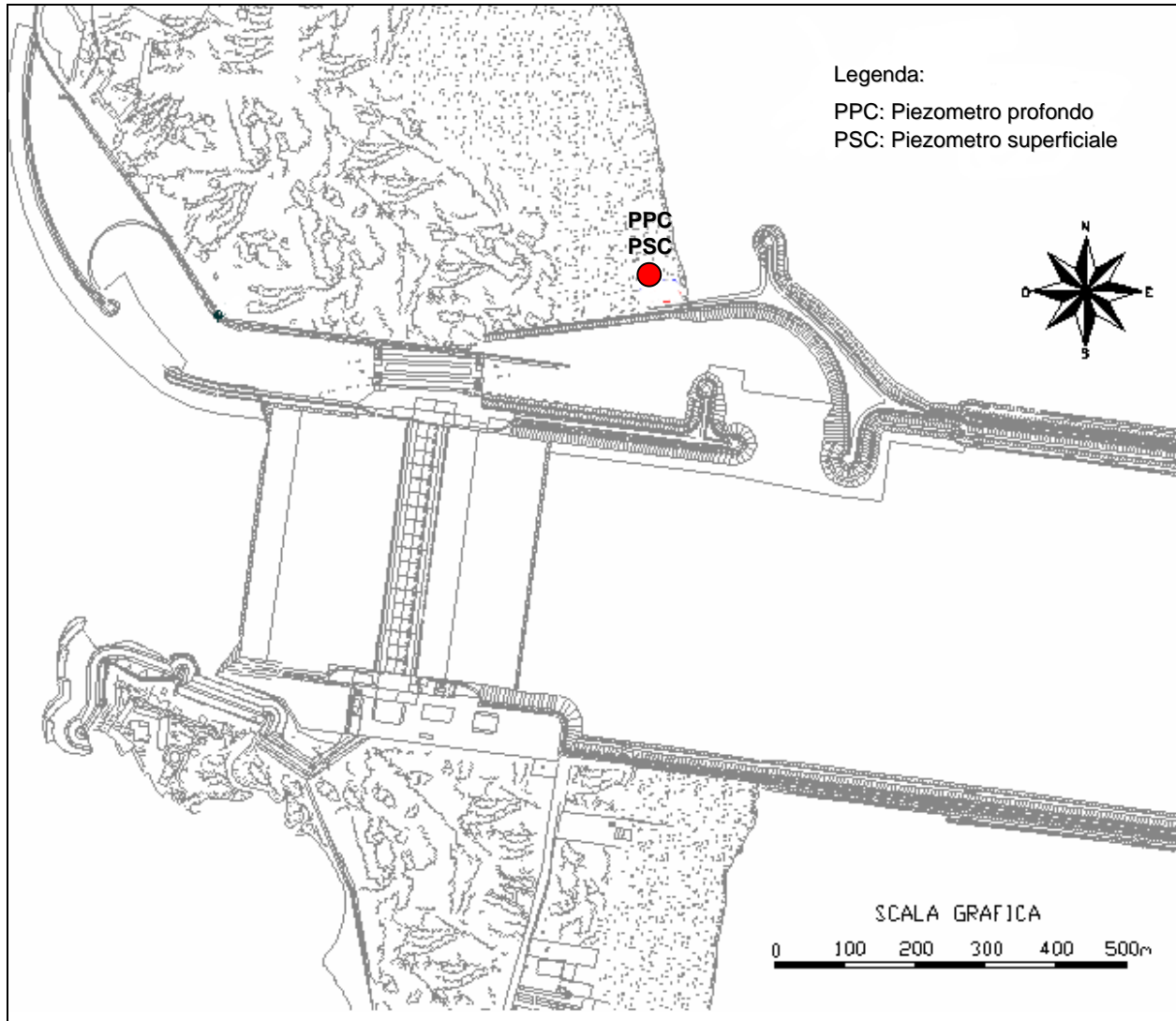


Fig. 9.1 - Ubicazione dei piezometri.

Tab. 9.1- Coordinate planoaltimetriche dei piezometri di monitoraggio.

<b>NOME</b>	<b>H geoid</b>	<b>N GB Fuso Est</b>	<b>E GB Fuso Est</b>
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  $h_{il}$ , 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).

## 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 MAV-CVN "Ceppe";
- **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 dalla stazione meteorologica MAV-CVN "Ceppe" di Malamocco. 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 verificatesi nel periodo di monitoraggio.

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
02-05/05/09	70	18.3
31/05/09	2	9.2
04-05/06/09	4	14.7
07/06/09	2	5.2
20/06/09	9	25.2
27/06/09	11	28
08/07/09	3	14.2
29-30/08/09	18	12.9

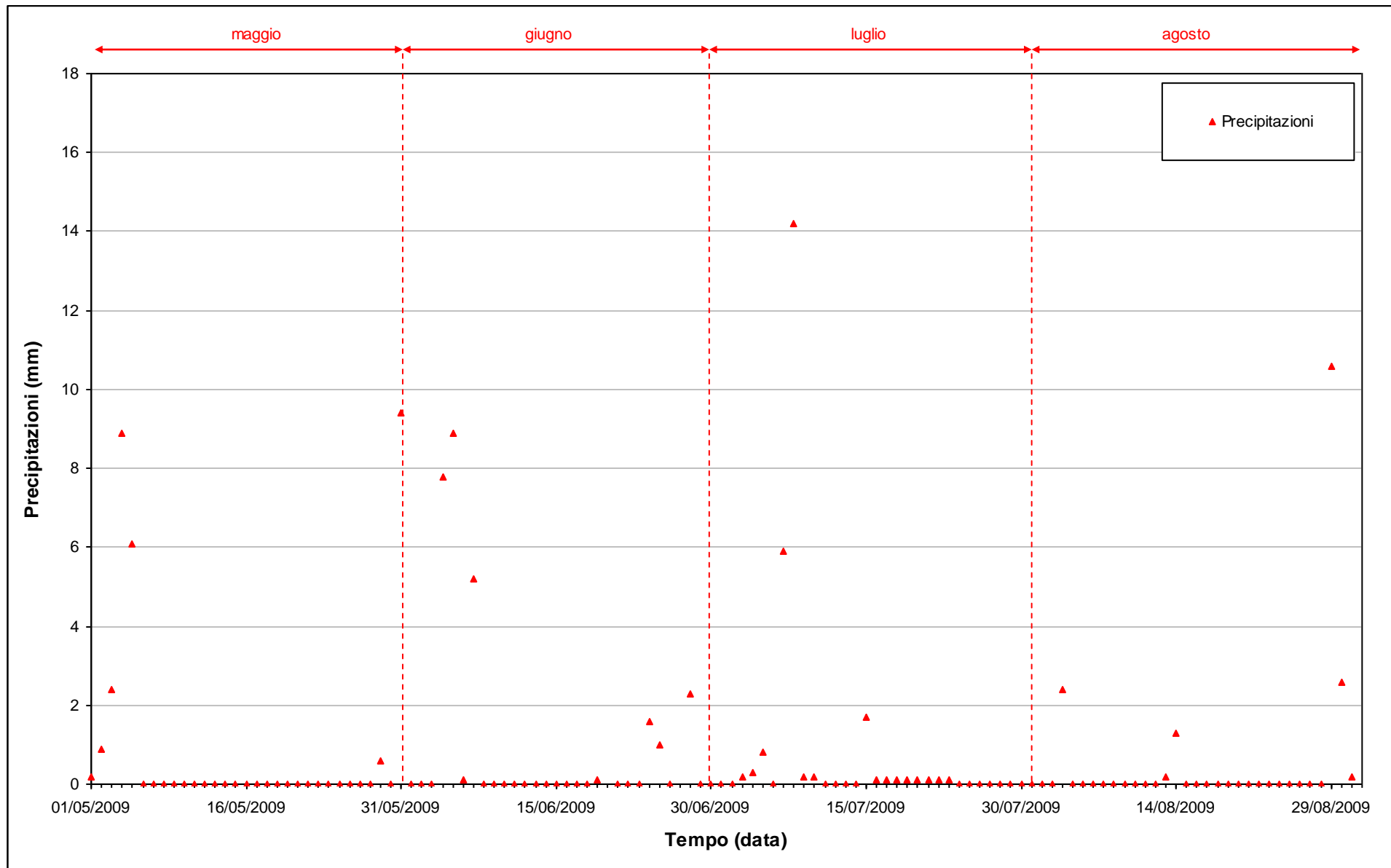


Fig. 9.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio.

### 9.2.2 Livello del mare

In Fig. 9.3 è tracciato l'andamento del livello del mare registrato dal mareografo "Diga Sud Chioggia" 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.

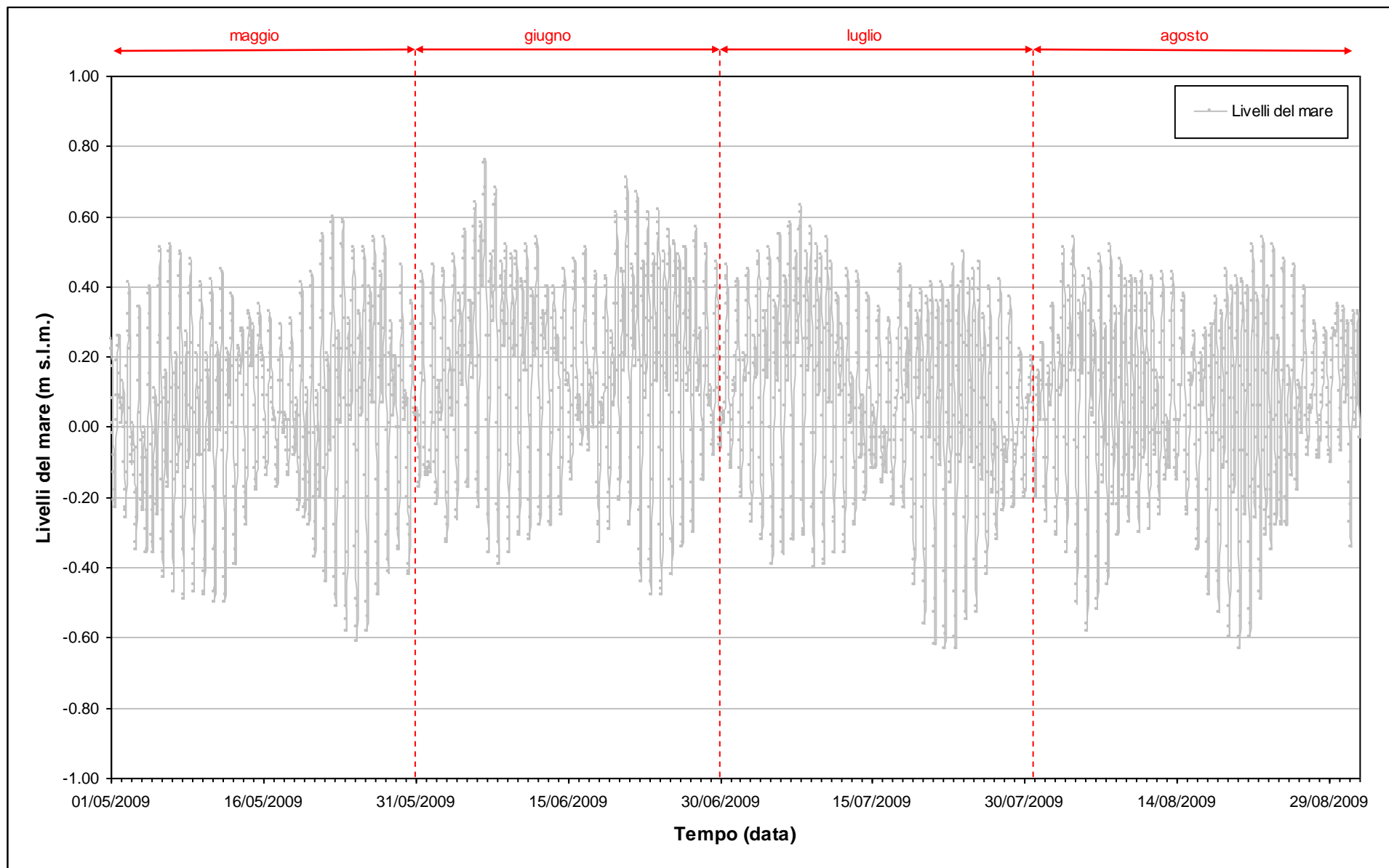
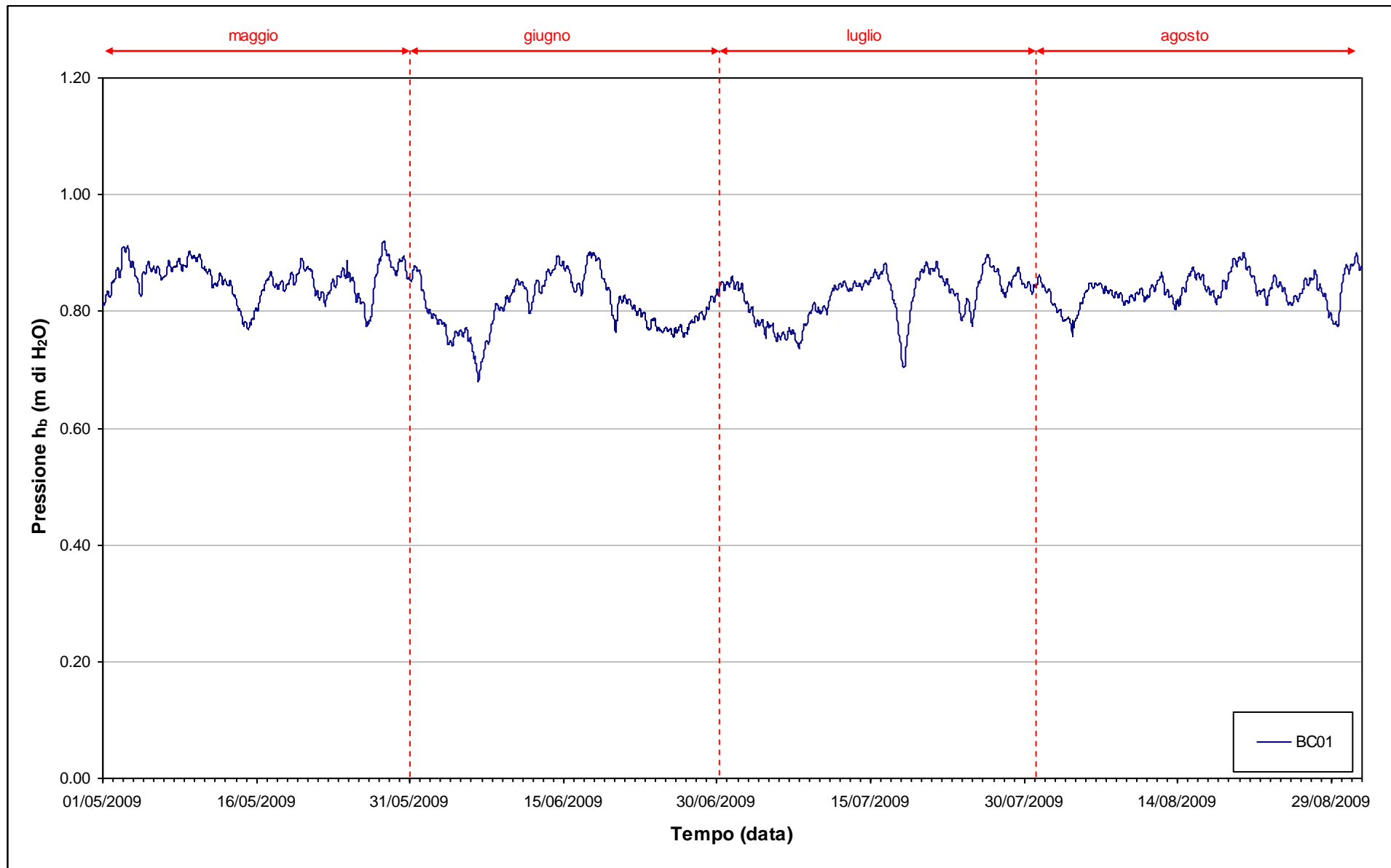


Fig. 9.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia. I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

**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) - $h_{\text{fl}}$ (Fase A)**

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

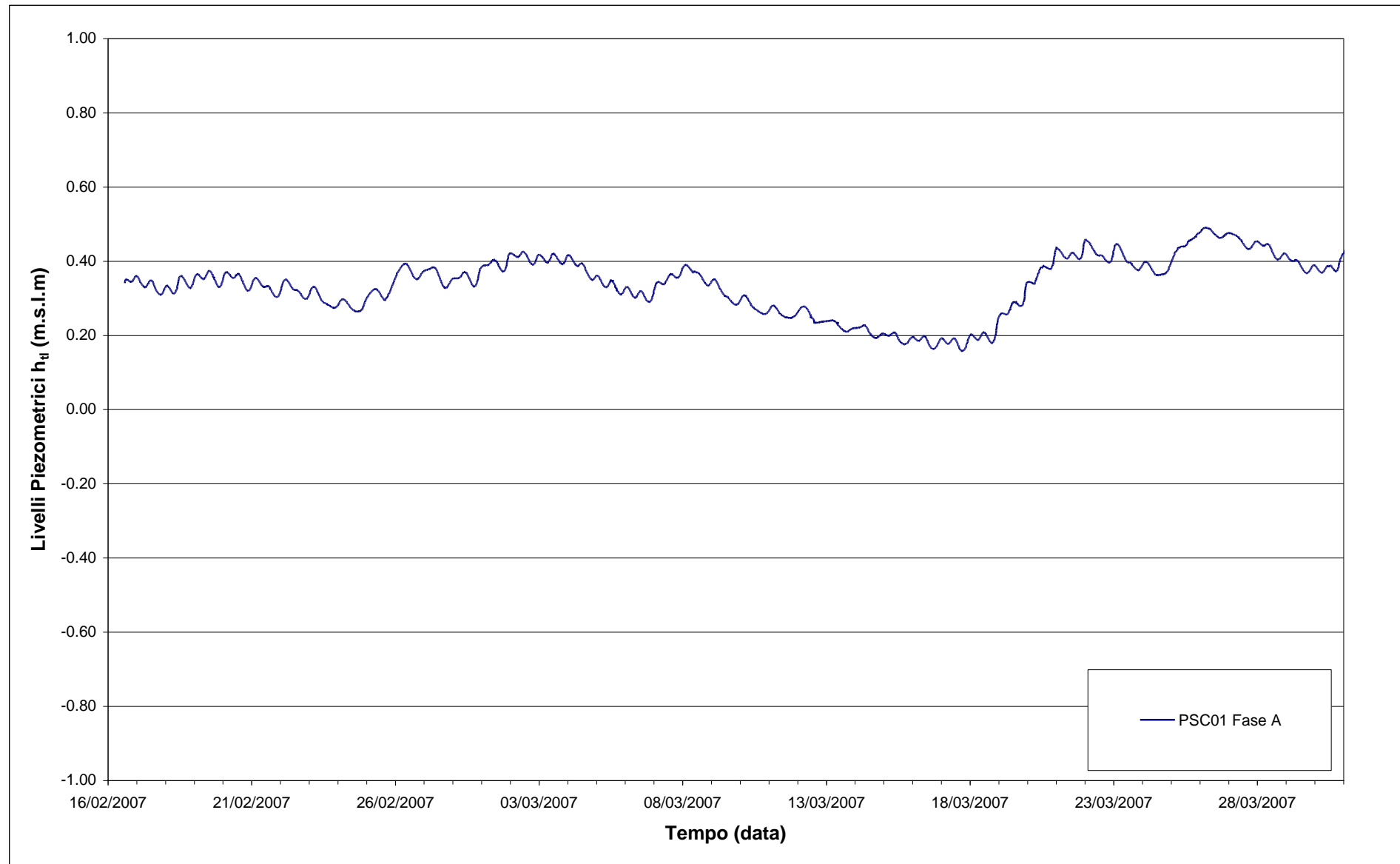
#### **9.3.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{\text{tl}}$**

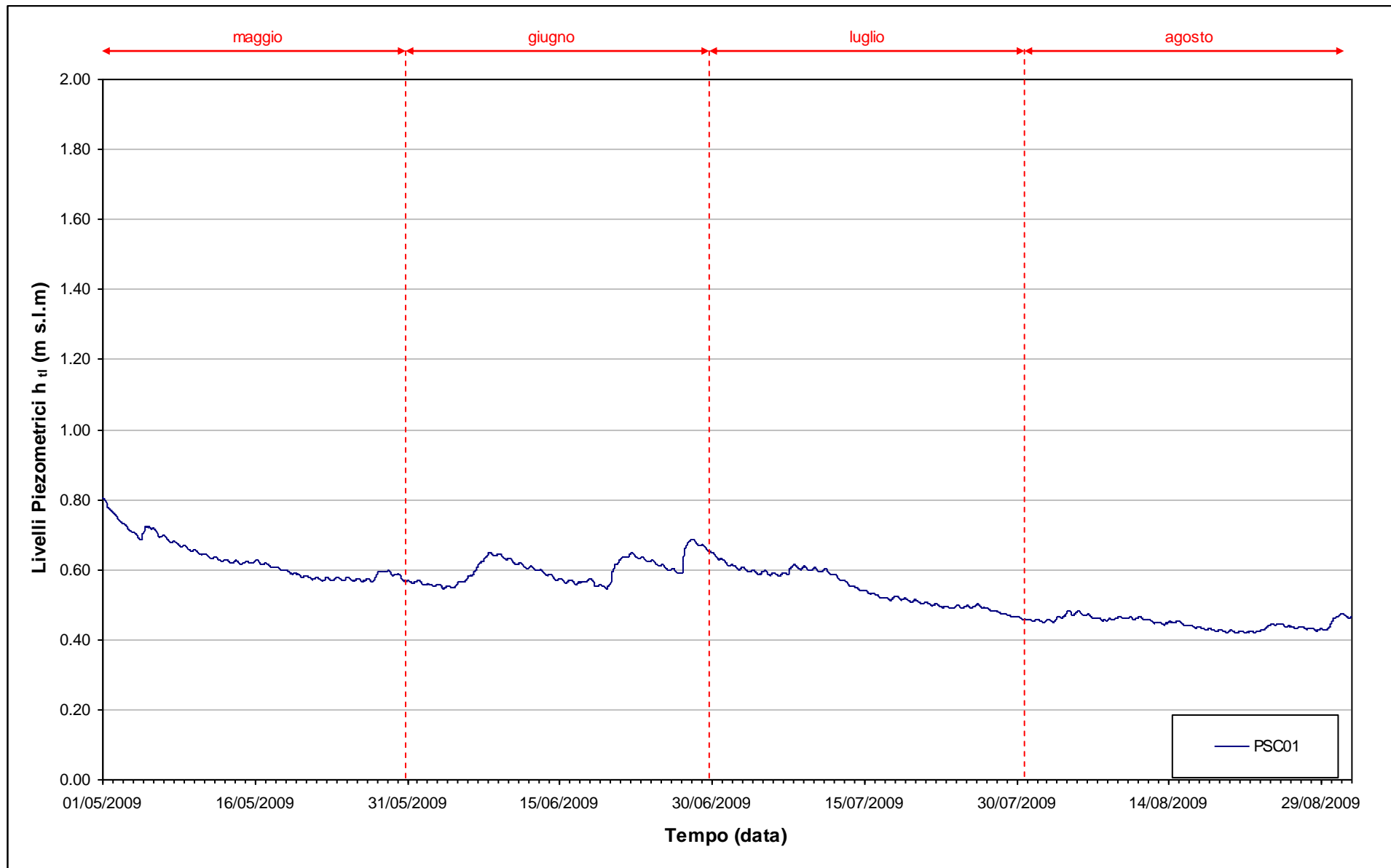
I dati riportati in Fig. 9.6 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio (01/05/09 - 31/08/09).

Confrontando il tracciato del periodo maggio - agosto 2009 con quelli relativi alla situazione *ante operam* si evidenzia un netto cambiamento nella dinamica piezometrica: 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 (01/05/09 - 31/08/09) si osserva una diminuzione di circa 35 cm del livello misurato nel piezometro PSC01.



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

Fig. 9.6- Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale nel quadrimestre di monitoraggio.

**9.3.3** *Effetti mareali, delle precipitazioni e antropici*

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 Lido e con le precipitazioni registrate dalla centralina MAV-CVN "Ceppe".

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.

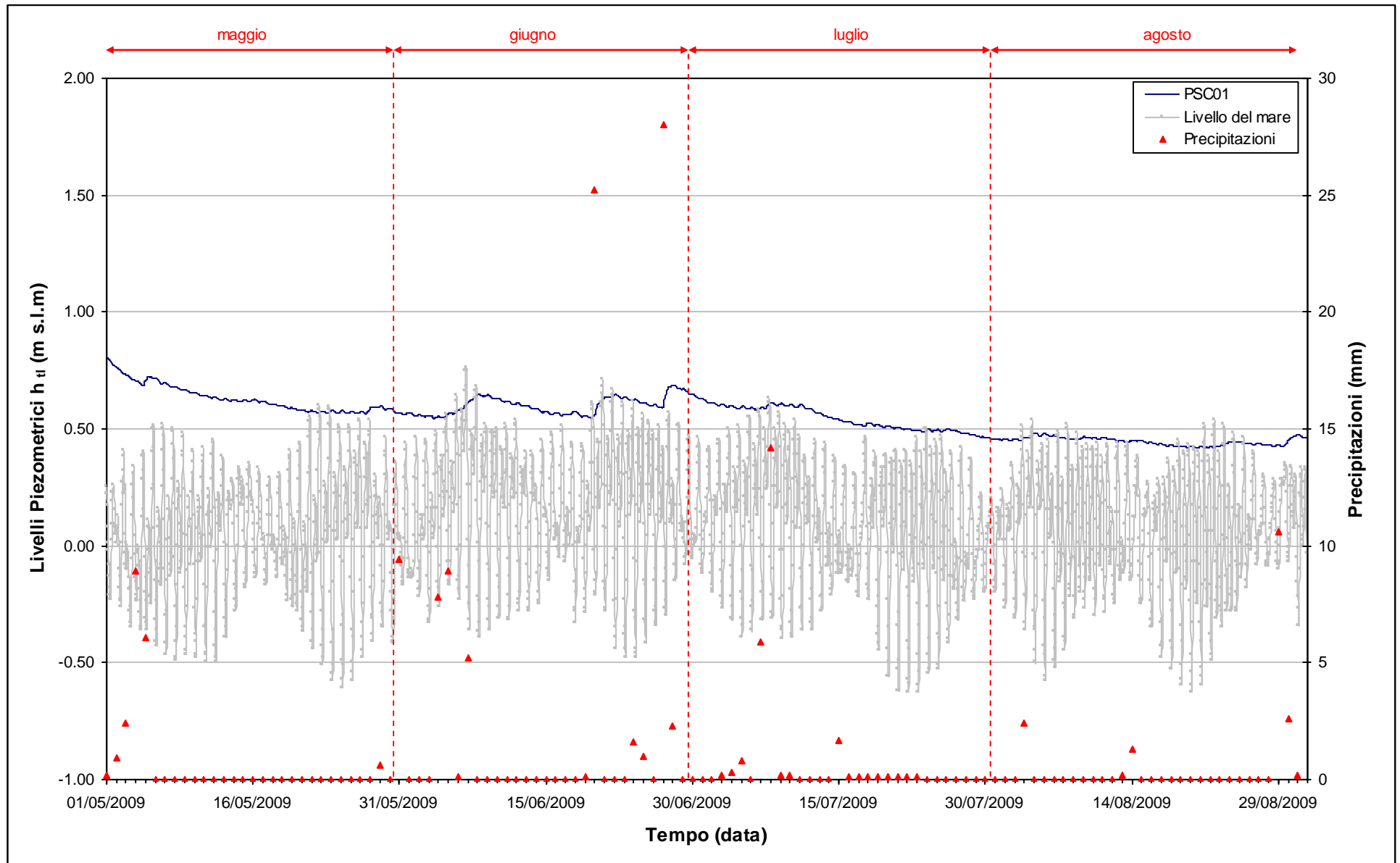


Fig. 9.7 - Livelli piezometrici del piezometro superficiale PSC01 e livelli del mare.

#### **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.

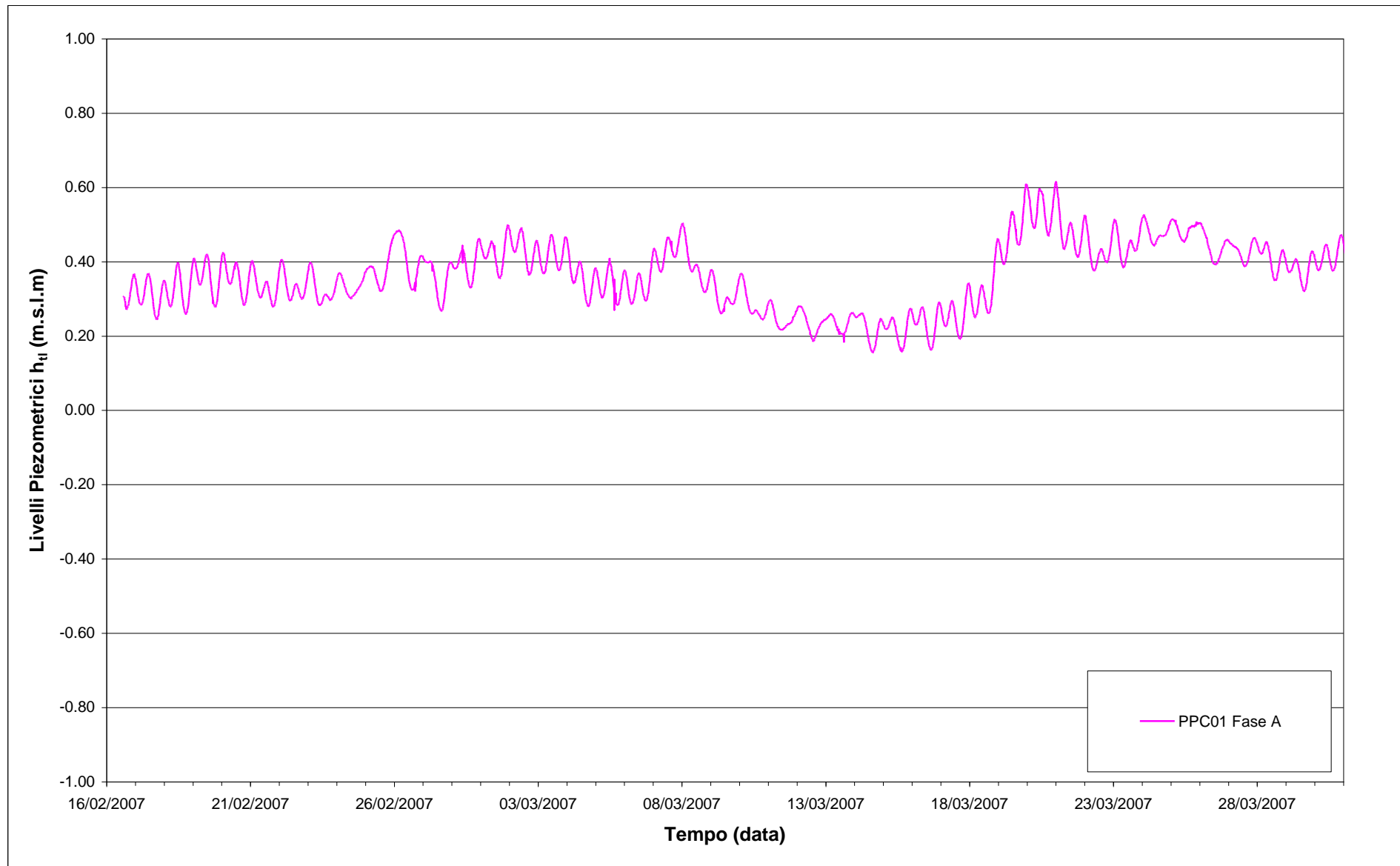
##### **9.4.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_H$ (Fase A)**

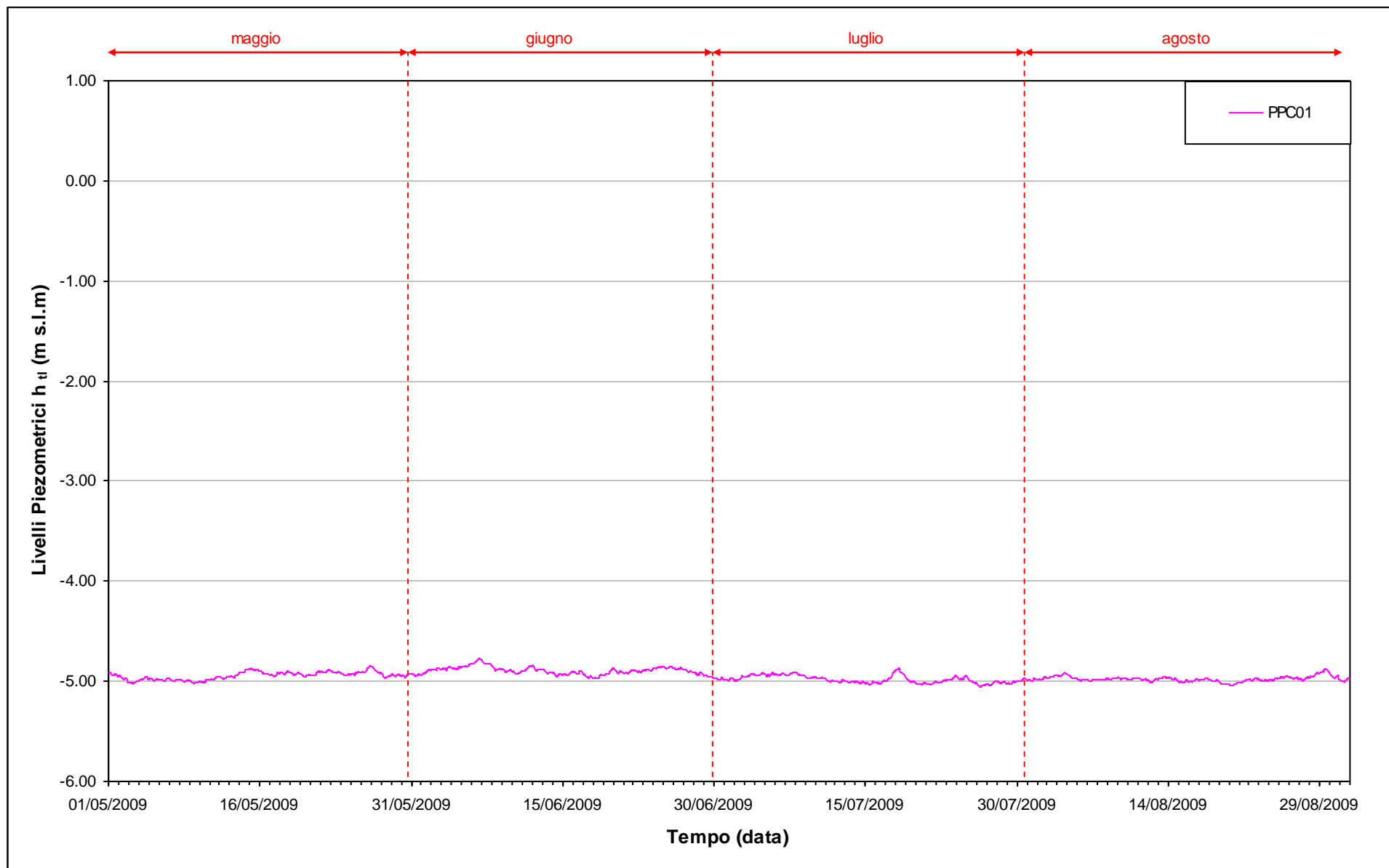
I dati riportati in Fig. 9.8 si riferiscono ai livelli piezometrici assoluti misurati in corrispondenza del piezometro profondo PPC01 nel periodo febbraio - marzo 2007 (Fase A).

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

I dati riportati in Fig. 9.9 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio maggio - agosto 2009.

Come risulta dal tracciato di Fig. 9.9, durante il periodo di monitoraggio non si sono registrate variazioni apprezzabili del livello di falda nell'acquifero profondo.

Fig. 9.8- Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo durante la Fase A.

Fig. 9.9 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo.

**9.4.3** *Effetti mareali e antropici*

In Fig. 9.10 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.



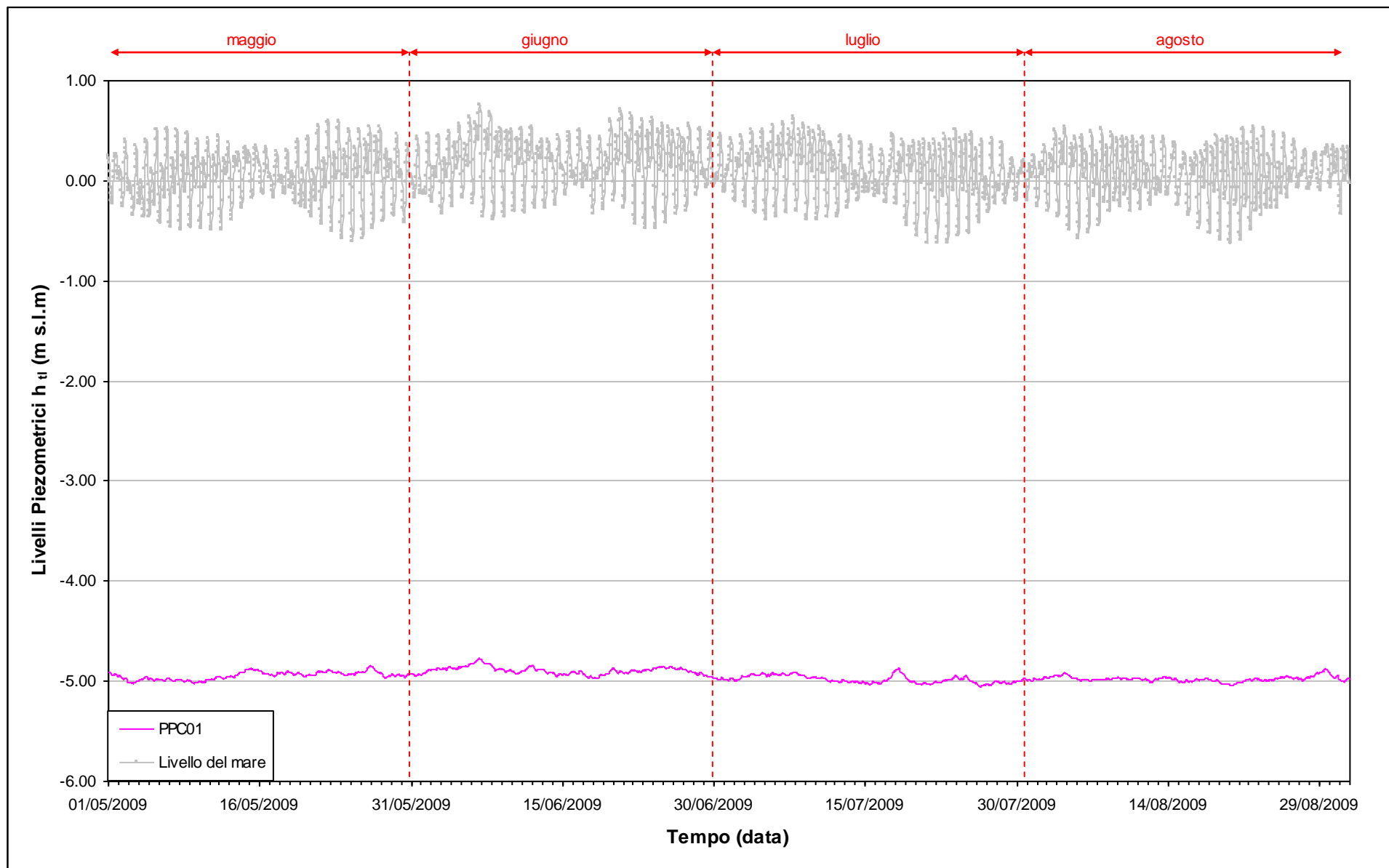


Fig. 9.10 - Livelli piezometrici del piezometro profondo PPC01 e livelli del mare.

## **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 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:

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

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

#### 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 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.

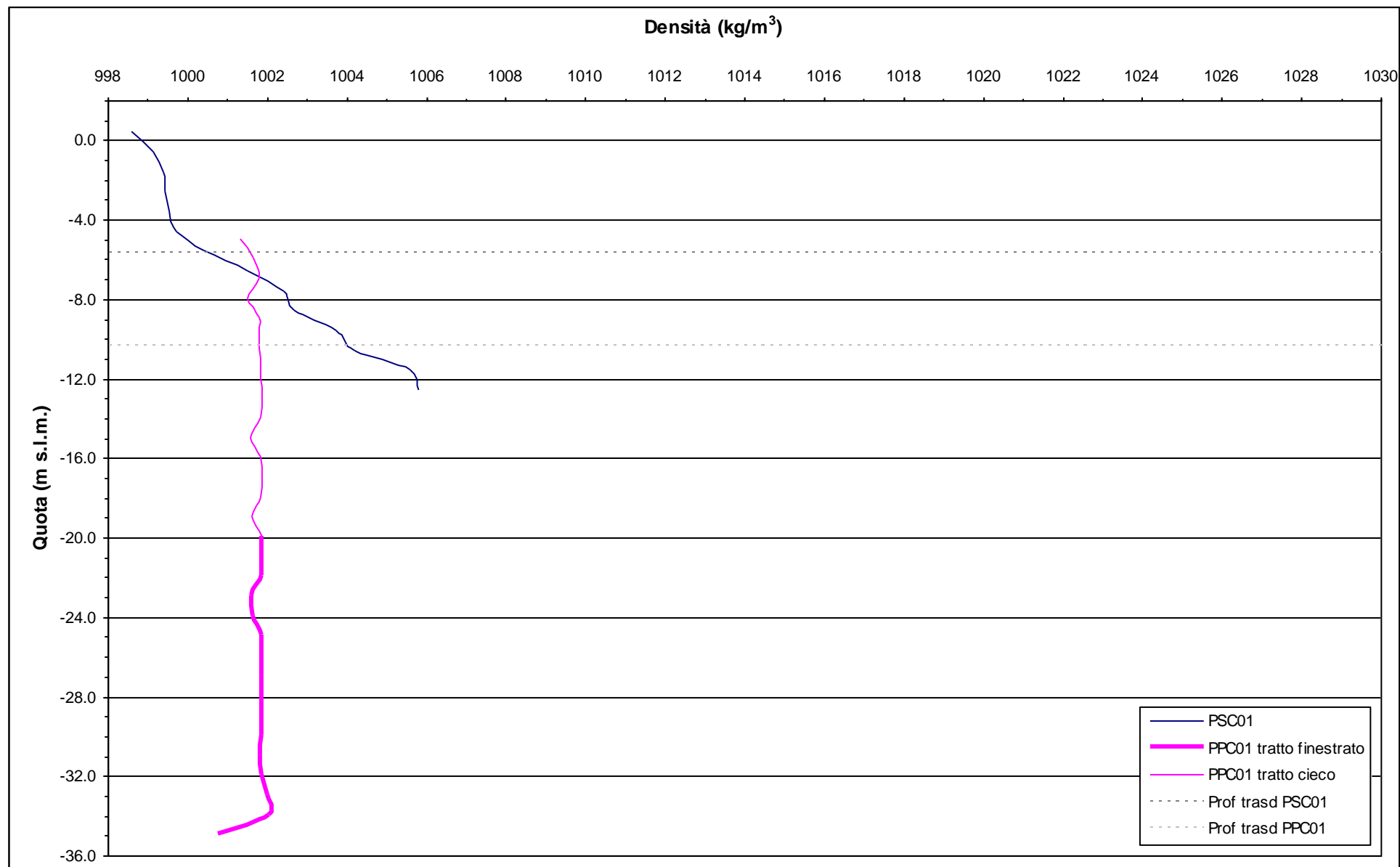


Fig. 11.1 Profili verticali di densità - 3 giugno 2009.

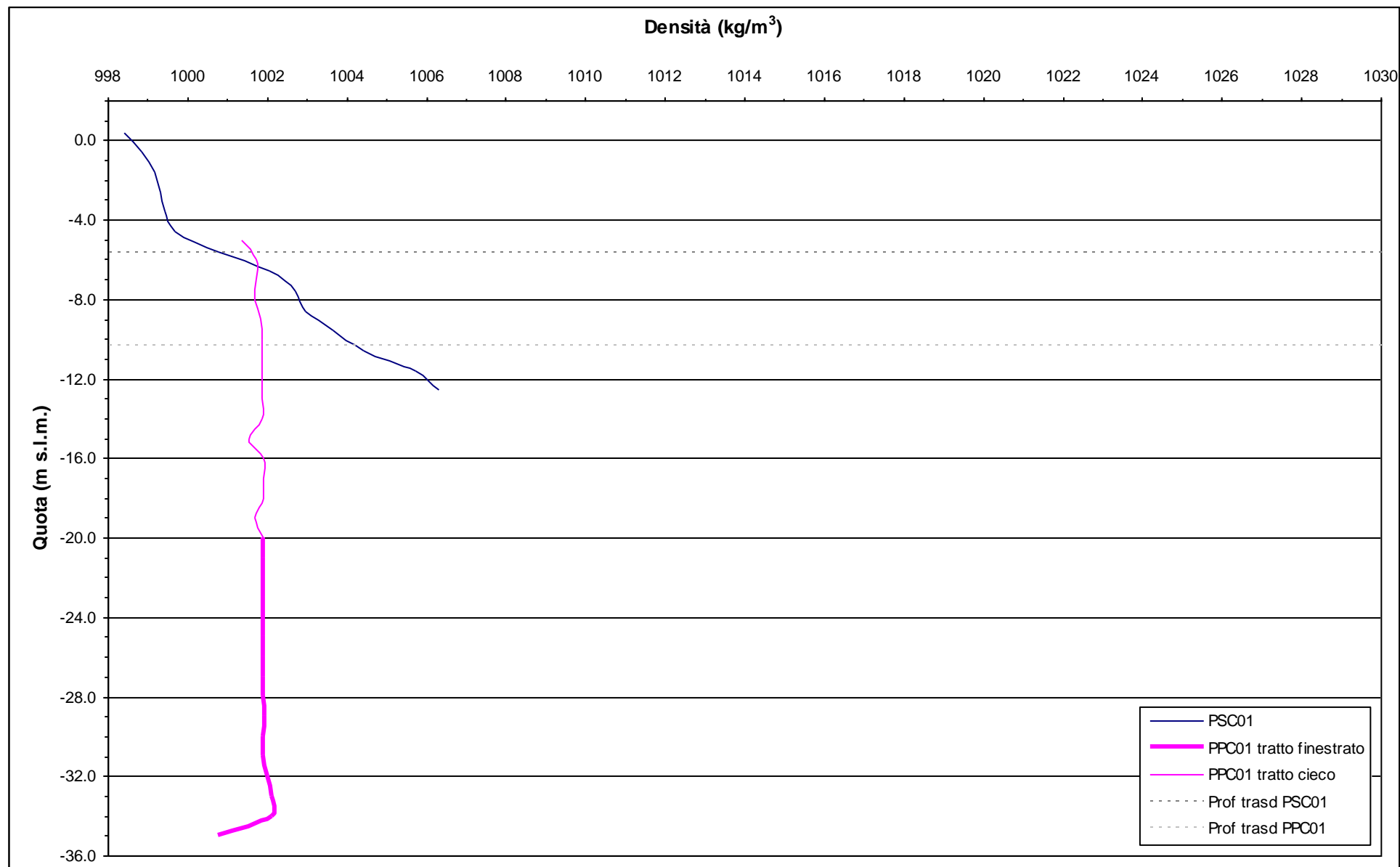
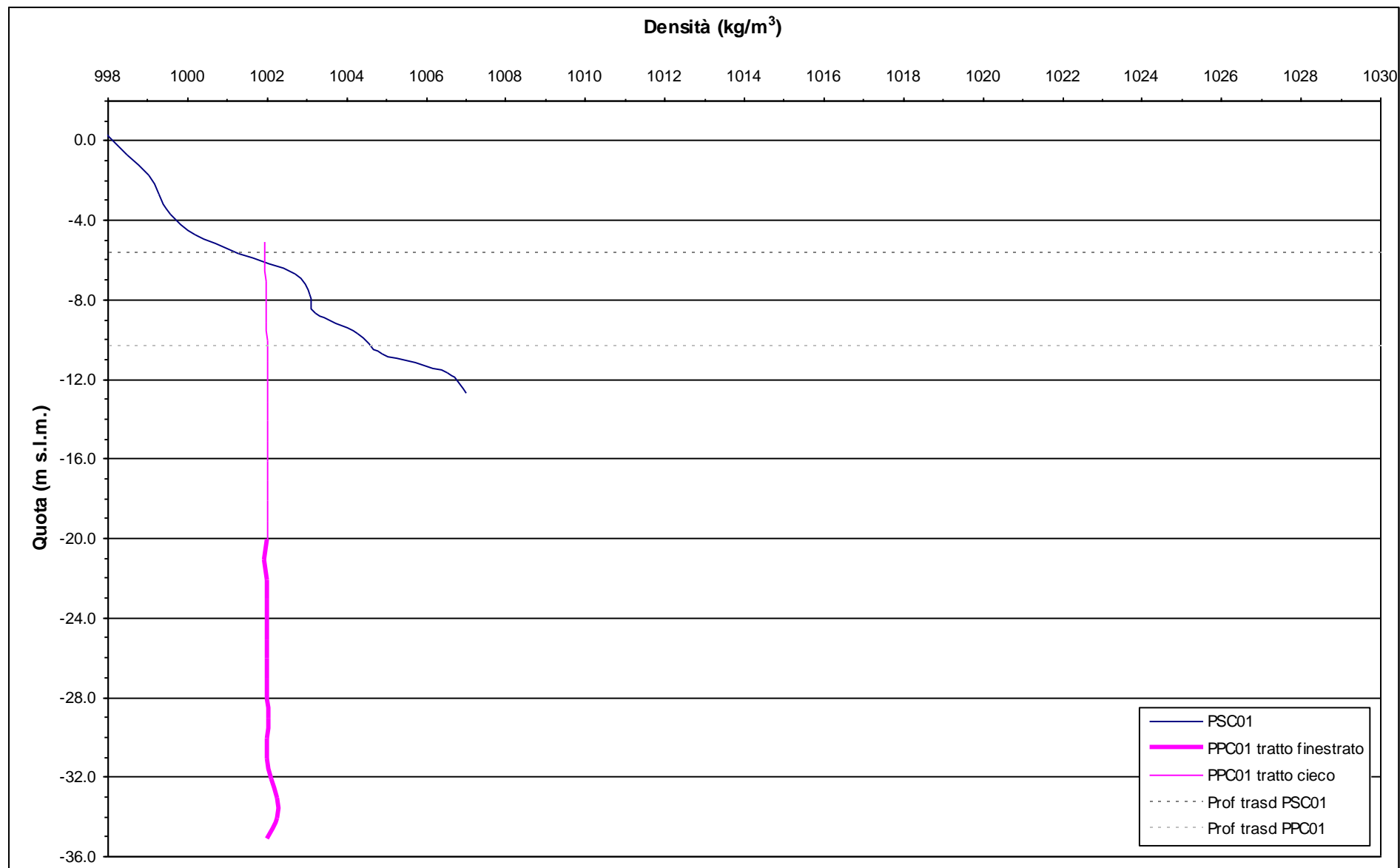
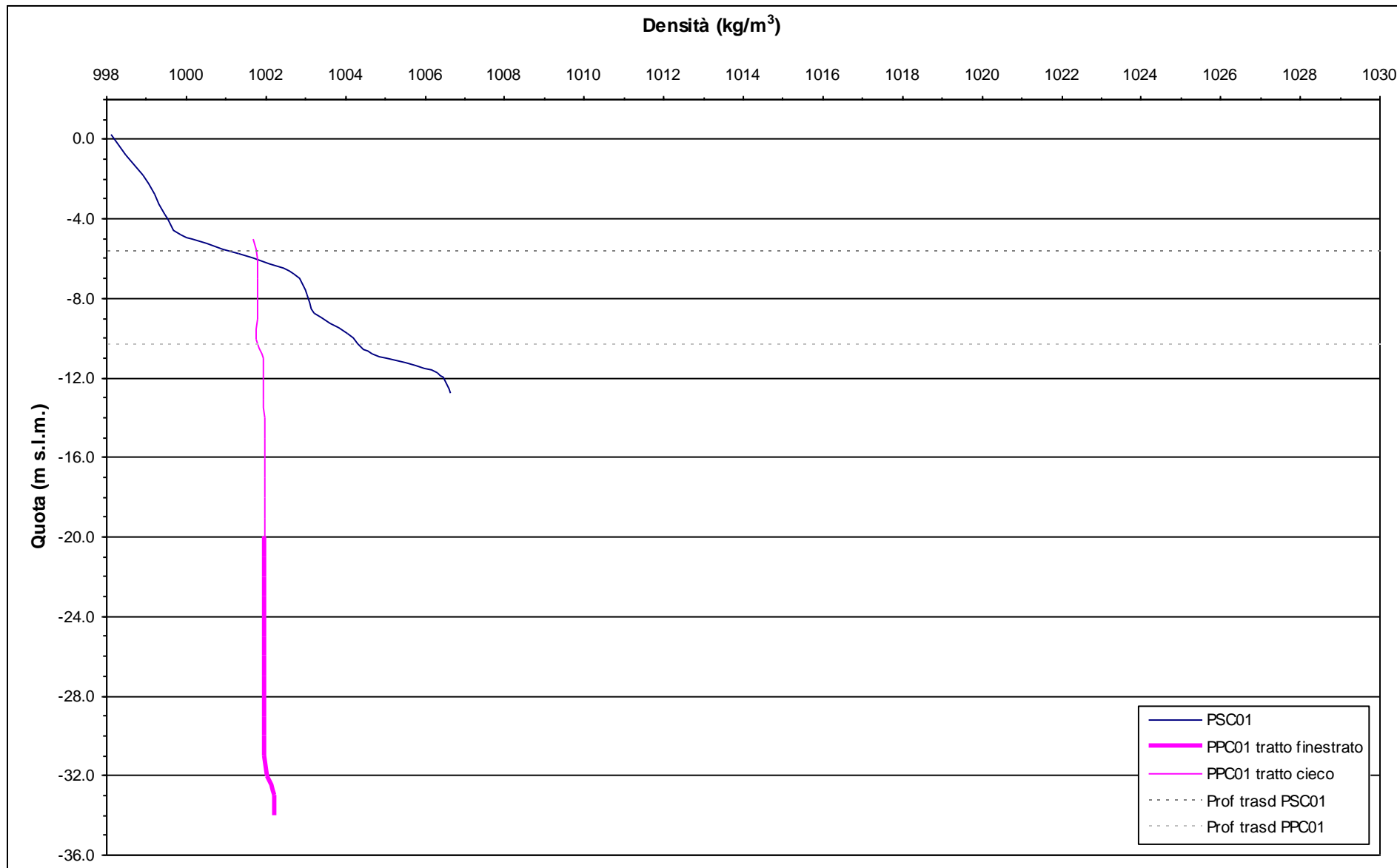


Fig. 11.2.- Profili verticali di densità - 5 luglio 2009.



Fig

. 11.3.- Profili verticali di densità - 4 agosto 2009.



Fig

. 11.4.- Profili verticali di densità - 9 settembre 2009.

## 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:  $h_{ul} < h_M - 1$  (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. 12.1- 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	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 (maggio - agosto 2009):

- la soglia di Alto Livello Istantaneo è stata 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.

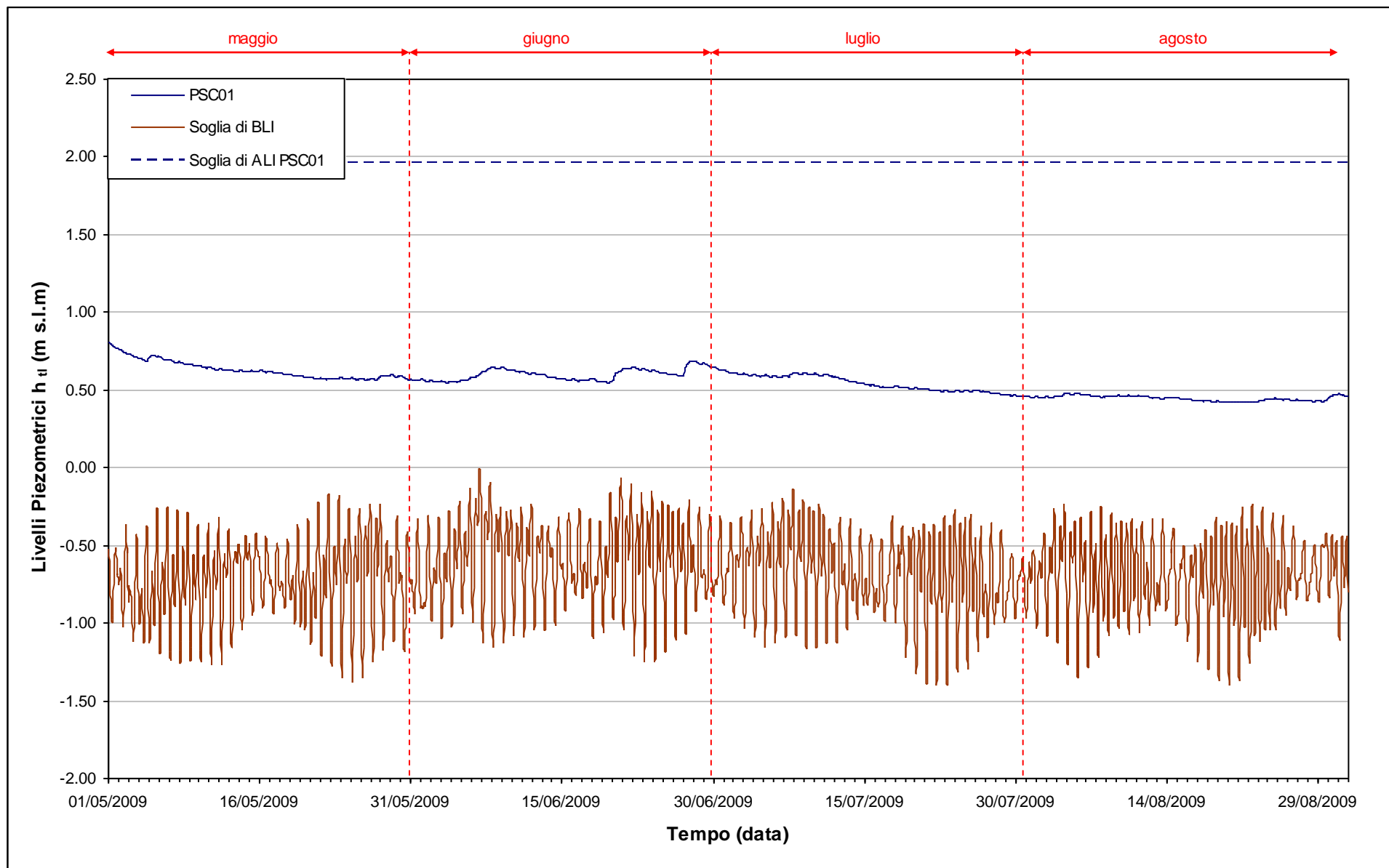


Fig. 12.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro superficiale PSC01.

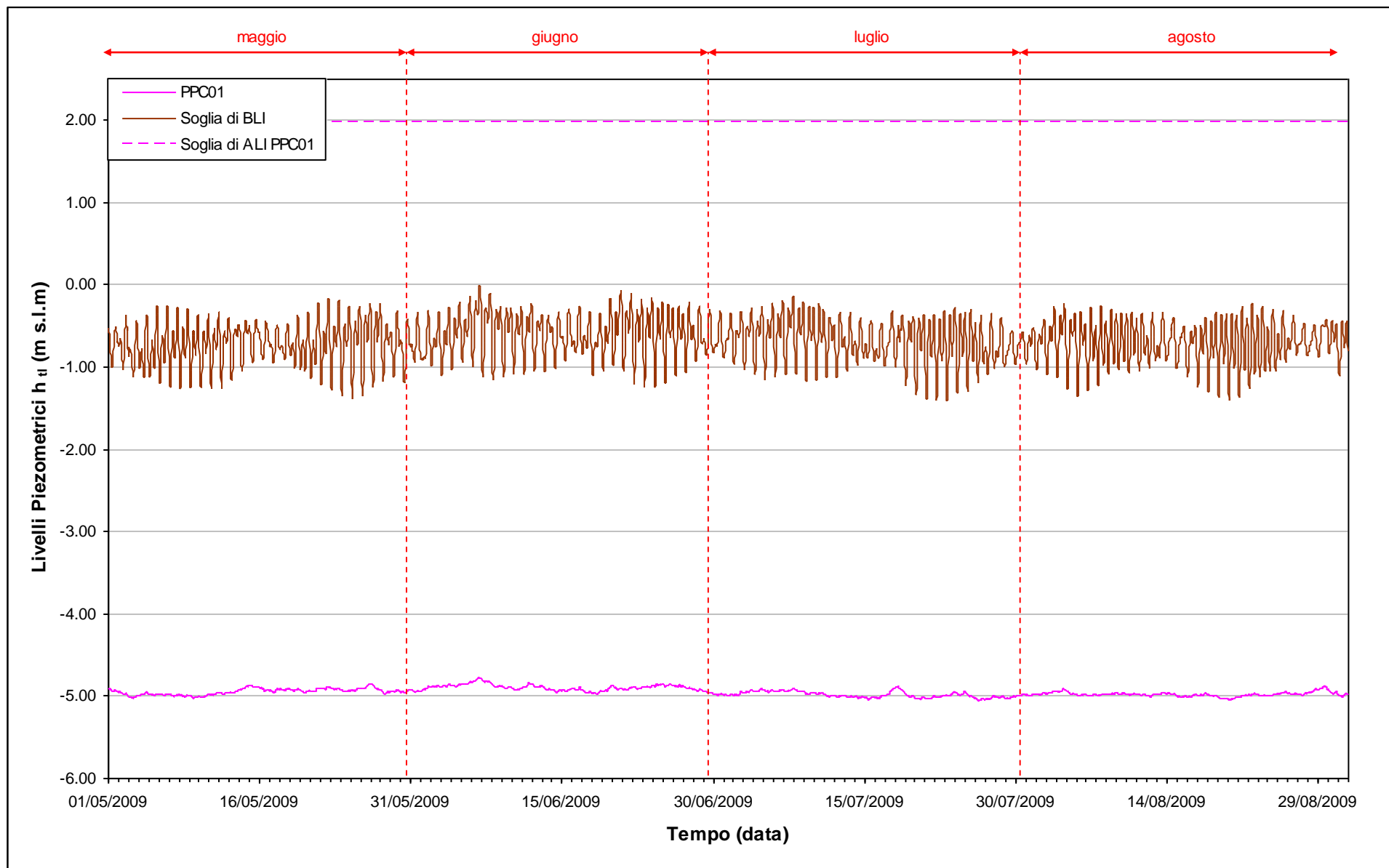


Fig. 12.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro profondo PPC01.

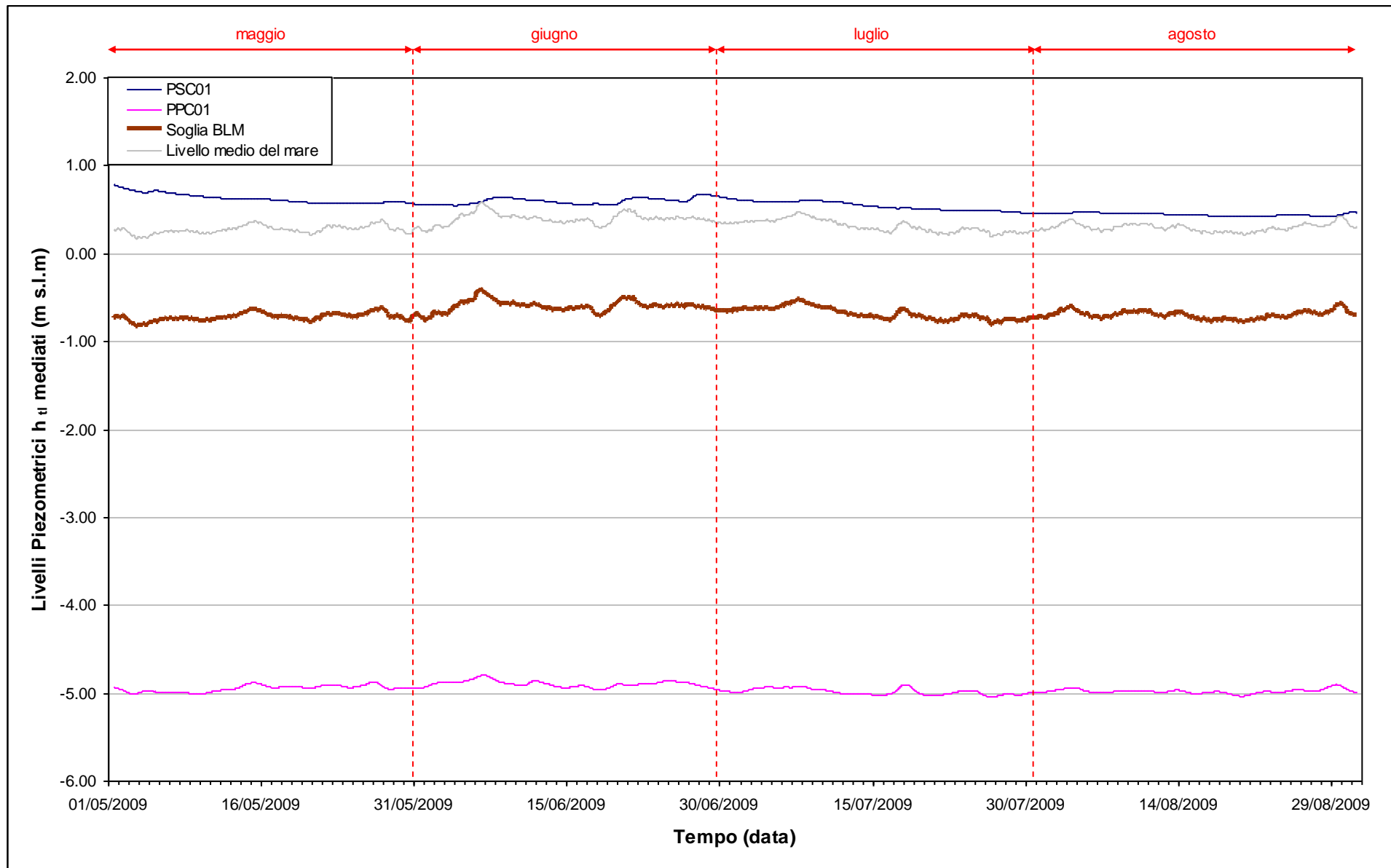


Fig. 12.3 - Soglia di Basso Livello Medio per i piezometri PSC01 e PPC01.

### **13. CONCLUSIONI**

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/05/2009 e il 31/08/2009, 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 (01/05/09 - 31/08/09) non si osservano variazioni apprezzabili dei livelli di falda nel piezometro profondo PPC01, mentre nel piezometro superficiale PSC01 il livello è sceso di circa 35 cm.