



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/3**

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

Contratto prot.n. 16514 si/gce/fbe

Documento **MACROATTIVITÀ: LIVELLI DI FALDA  
I RAPPORTO DI VALUTAZIONE**

**PERIODO DI RIFERIMENTO: DA MAGGIO AD  
AGOSTO 2007**

Versione **1.0**

Emissione **15 Settembre 2007**

Redazione

Verifica

Verifica

Approvazione

Ing. Tommaso Baldarelli  
(POLITECNICO TORINO)

Ing. Rajandrea Sethi  
(POLITECNICO TORINO)

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta Ing. Pierpaolo Campostrini

## Indice

<b>PARTE PRIMA: MONITORAGGIO CANTIEREDI PUNTA SABBIONI.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<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.....	7
2.2.1 <i>Precipitazioni</i> .....	7
2.2.2 <i>Livello del mare</i> .....	9
2.2.3 <i>Pressione atmosferica - <math>h_b</math></i> .....	11
2.3 Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A) .....	13
2.3.1 <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - <math>h_{tl}</math></i> .....	13
2.3.2 <i>Effetti delle precipitazioni</i> .....	15
2.3.3 <i>Effetti delle oscillazioni mareali</i> .....	17
2.4 Piezometri profondi – secondo livello acquifero (Strato C) .....	19
2.4.1 <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - <math>h_{tl}</math></i> .....	19
2.4.2 <i>Effetti mareali</i> .....	21
2.4.3 <i>Effetti antropici</i> .....	24
<b>3. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE.....</b>	<b>26</b>
<b>4. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA .....</b>	<b>27</b>
4.1 Il calcolo della densità dell'acqua .....	27
4.1.1 <i>Profili verticali di densità</i> .....	27
<b>5. STUDIO PIEZOMETRICO .....</b>	<b>36</b>
5.1.1 <i>Piezometria superficiale</i> .....	38
5.1.2 <i>Piezometria profonda</i> .....	44
<b>6. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE.....</b>	<b>50</b>
<b>7. CONCLUSIONI.....</b>	<b>60</b>
<b>PARTE SECONDA: MONITORAGGIO CANTIERE DI CA' ROMAN .....</b>	<b>61</b>
<b>8. INTRODUZIONE .....</b>	<b>62</b>
<b>9. ANALISI DEI DATI .....</b>	<b>63</b>
9.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello .....	64
9.2 Descrizione delle forzanti naturali.....	64
9.2.1 <i>Precipitazioni</i> .....	64
9.2.2 <i>Livello del mare</i> .....	66
9.2.3 <i>Pressione atmosferica - <math>h_b</math></i> .....	68
9.3 Piezometro superficiale – primo livello acquifero (Strato A).....	70

CORILA

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

9.3.1	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - <math>h_{ti}</math> (Fase A)</i> .....	70
9.3.2	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - <math>h_{tl}</math></i> .....	70
9.3.3	<i>Effetti delle oscillazioni mareali</i> .....	73
9.4	<b>Piezometro profondo – secondo livello acquifero (Strato C)</b> .....	75
9.4.1	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - <math>h_{ti}</math> (Fase A)</i> .....	75
9.4.2	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - <math>h_{tl}</math></i> .....	75
9.4.3	<i>Effetti mareali</i> .....	78
10.	<b>CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE</b> .....	80
11.	<b>ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA</b> .....	81
11.1	Il calcolo della densità dell'acqua .....	81
11.1.1	<i>Profili verticali di densità</i> .....	81
12.	<b>VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE</b> .....	86
13.	<b>CONCLUSIONI</b> .....	90
	<b>ALLEGATI</b> .....	91

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

## 1. INTRODUZIONE

La prima parte di questo documento descrive l'analisi dei dati derivanti dal quadrimestrale di monitoraggio comprendente il periodo 1 maggio 2007 - 31 agosto 2007 relativi all'osservazione degli effetti delle attività del cantiere alla Bocca di Lido sui due livelli acquiferi, come previsto dal Disciplinare Tecnico (Studio B.6.72 B/3 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2007) 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 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 risultati delle analisi di densità elaborati a partire dai profili di conduttanza specifica lungo la verticale di ogni piezometro

## 2. ANALISI DEI DATI

In questo capitolo vengono analizzate le risposte del sistema dinamico, registrate dai trasduttori di livello disposti nelle 11 postazioni doppie di monitoraggio (Fig. 2.1), nel periodo compreso tra il 01/05/2007 e il 31/08/2007.

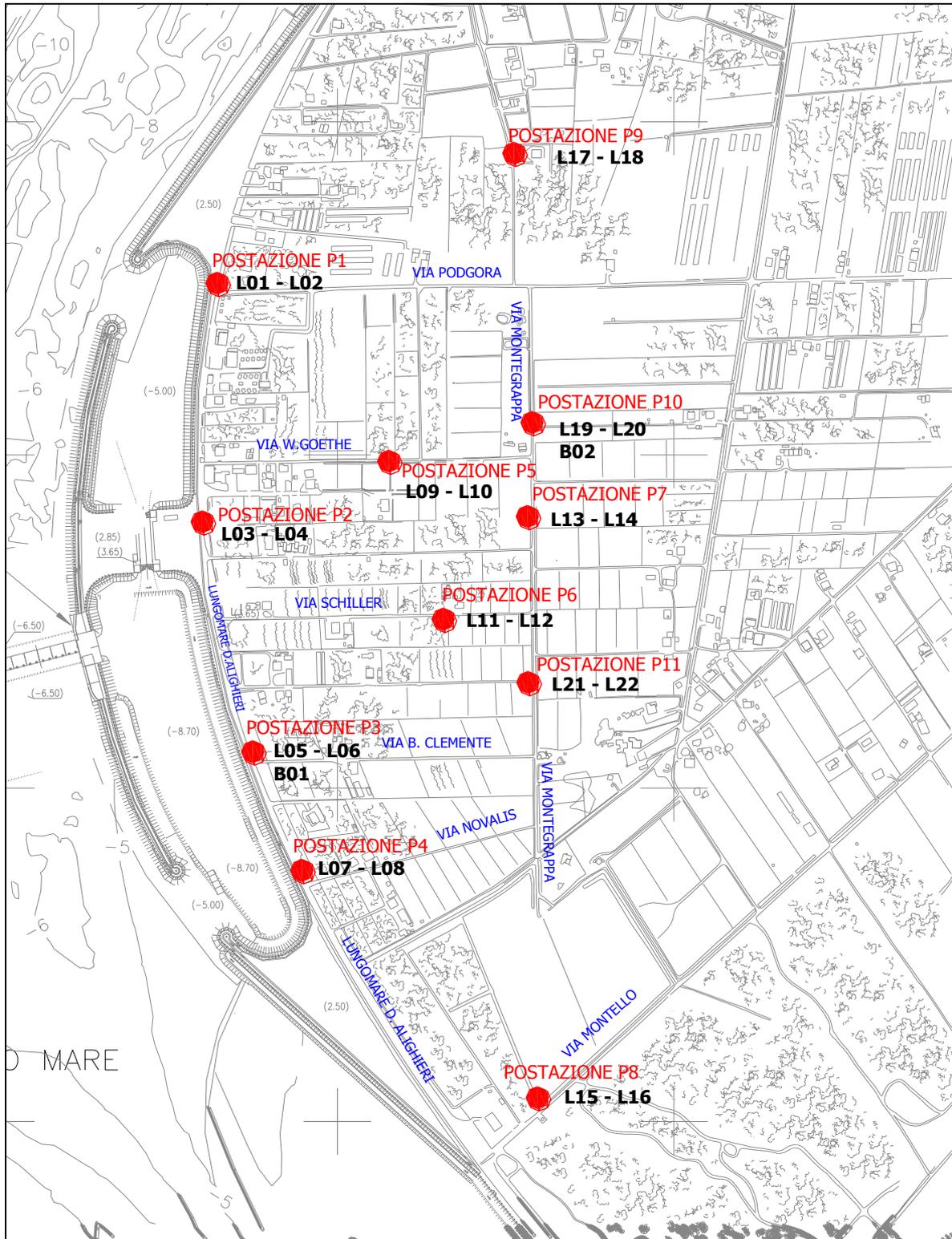


Fig. 2.1 - Ubicazione delle postazioni di monitoraggio, dei Levellogger e dei Barologger

## 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", 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 dalla stazione meteorologica "MET 3000R";
- **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". 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 verificatesi nel periodo di monitoraggio

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)	DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
02/05/07	3	7.8	02/07/07	2	9.8
04/05/07	11	44.6	03/08/07	9	5.2
28-29/05/07	14	30.2	10-11/08/07	29	15.2
01-02/06/07	27	7.2	21-22/08/07	16	9.4
07/06/07	3	5.2	23/08/07	7	5.2
11-12/06/07	5	5.6	30/08/07	2	7.6

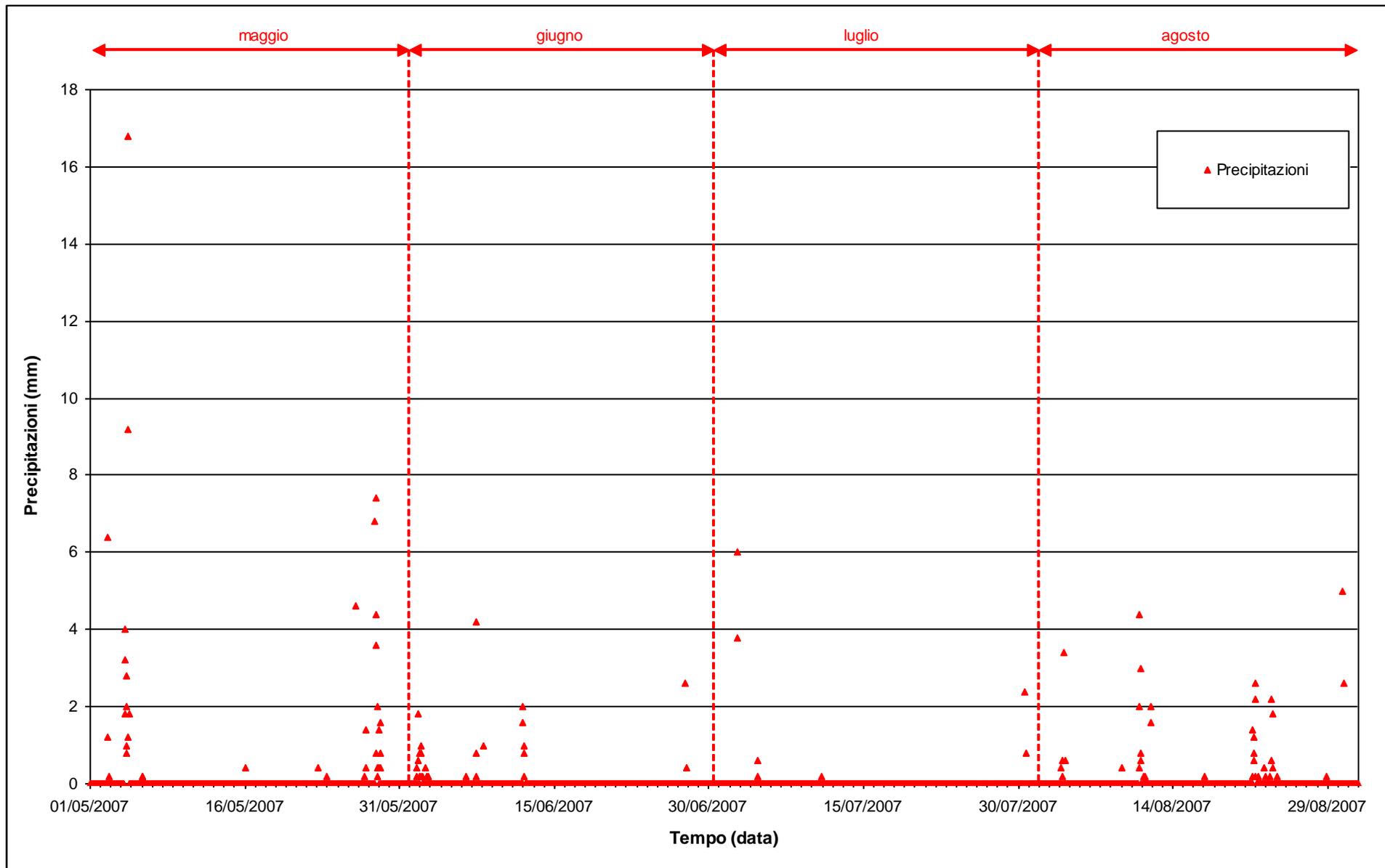


Fig. 2.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/05/2007 - 31/08/2007

### **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.

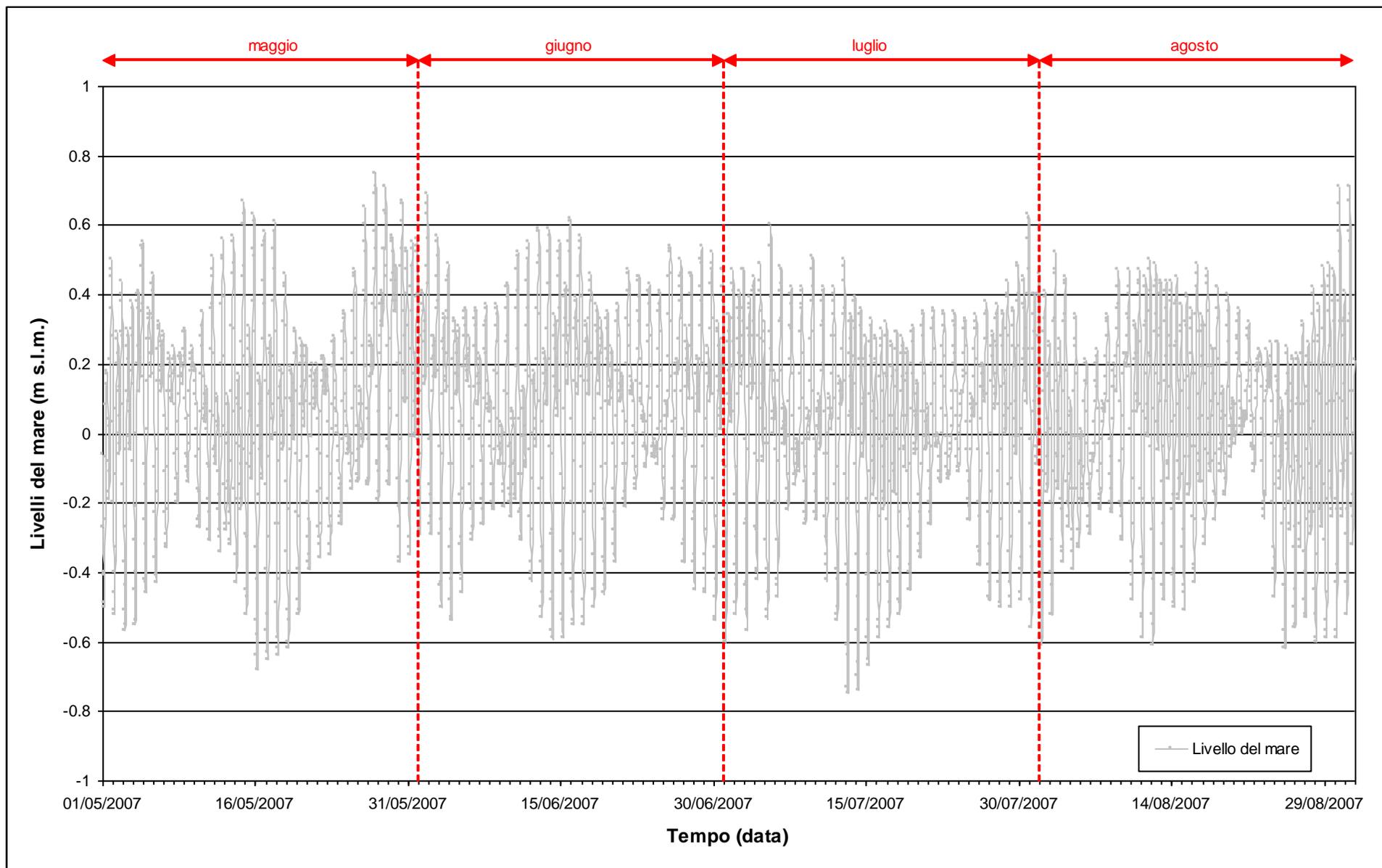


Fig. 2.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

**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 osservazione, dai quali si può notare che le registrazioni dei due strumenti sono in buon accordo tra loro. Analogamente a quanto descritto nel "Rapporto di Variabilità Attesa" (Studio B.6.72 B/1), per la compensazione dei dati di livello è stato utilizzato il tracciato del Barologger B02.

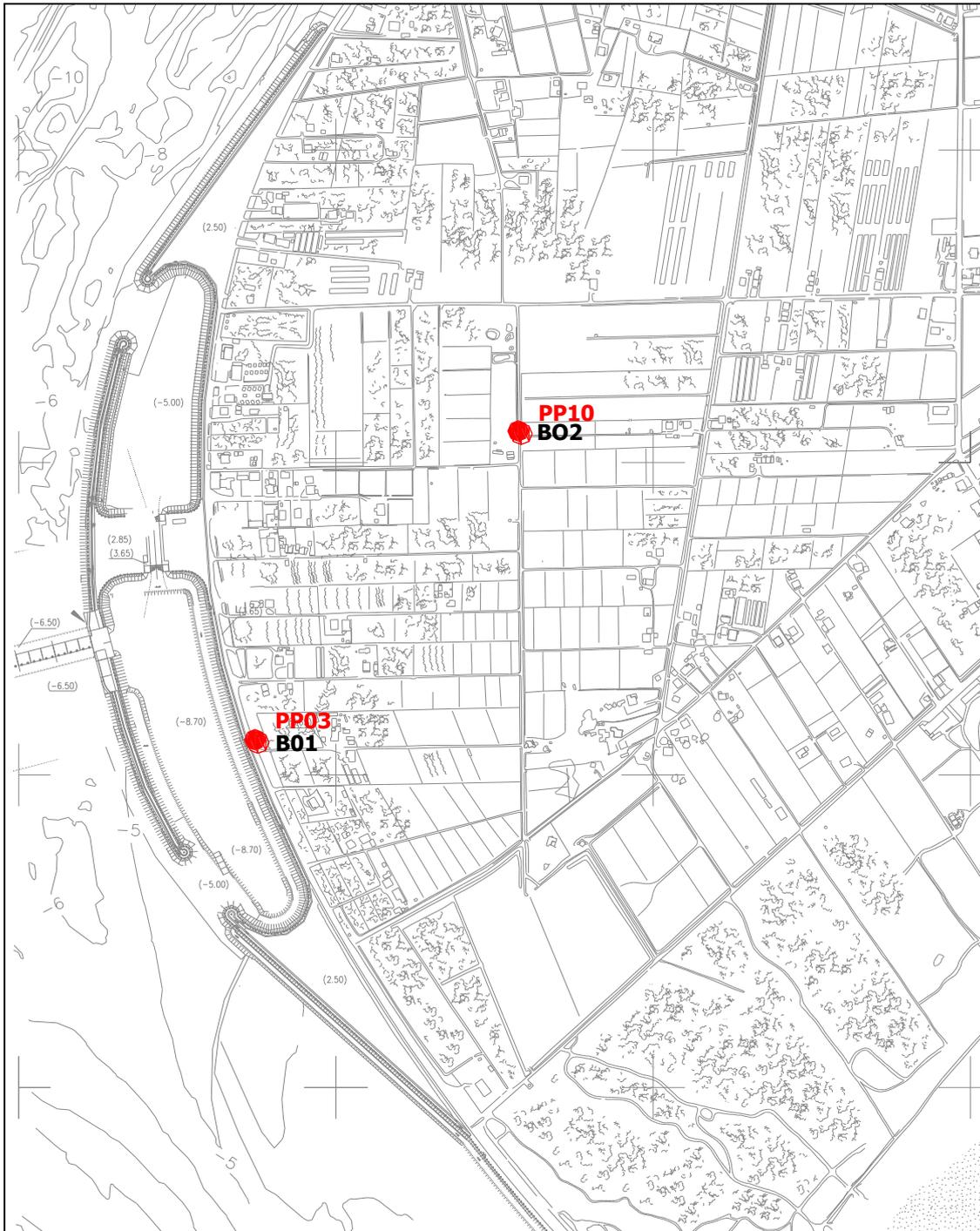
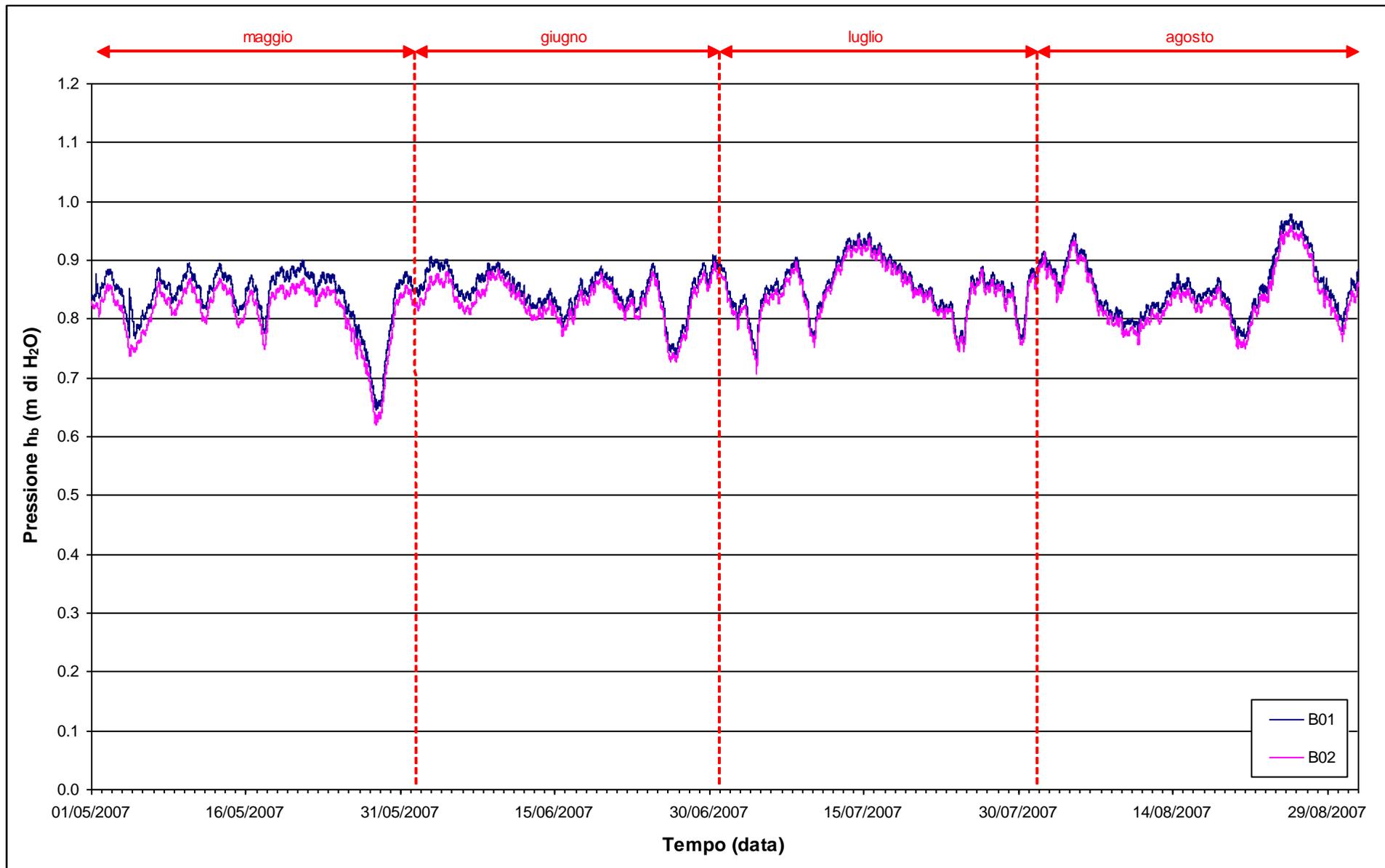


Fig. 2.4 - Ubicazione dei Barologger B01 e B02

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

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

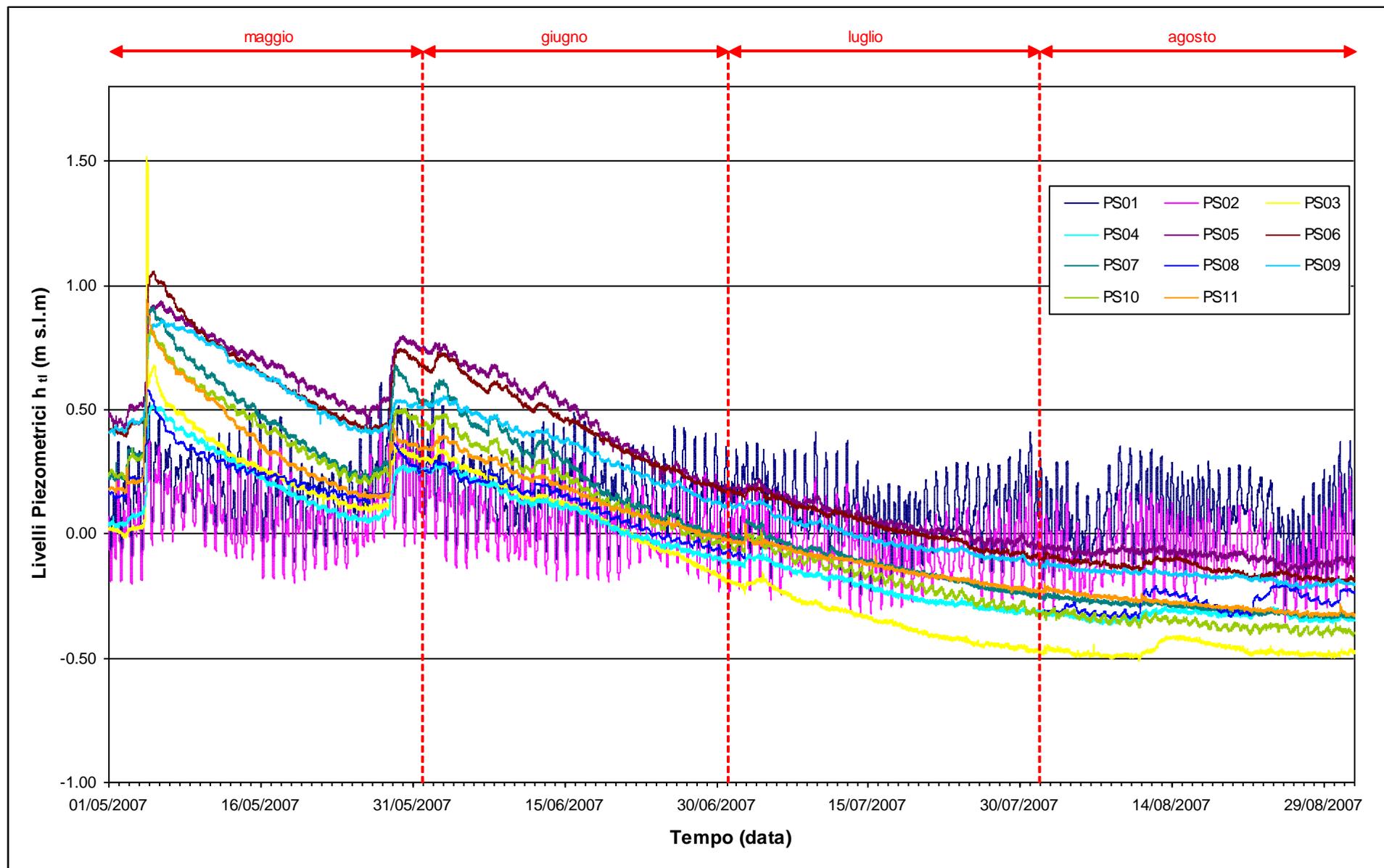
In questo capitolo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti degli 11 piezometri superficiali finestrati in corrispondenza del primo livello acquifero (Strato A), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

#### **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.

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;
- i piezometri PS05, PS06, PS07, PS08, PS09, PS10 e PS11, collocati nella porzione più interna della Area di Monitoraggio e quindi più distanti dal mare, presentano tracciati di misura caratterizzati da un andamento influenzato soprattutto dai fenomeni piovosi e di evapotraspirazione;
- 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 costruzione del diaframma impermeabile sul fianco del bacino lato mare.

Fig. 2.6 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi ai piezometri superficiali nei due mesi di monitoraggio marzo - aprile 2007

### **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 esterni PS03 e PS04). Dai tracciati di misura è possibile notare come, in occasione di eventi pluviometrici particolarmente intensi, in corrispondenza di alcuni piezometri superficiali, si verificano notevoli escursioni dal livello piezometrico (ad esempio, all'interno del PS06, durante l'evento piovoso del 04/05/07, si registra un innalzamento di livello superiore a 50 cm). I picchi che si ottengono a seguito degli eventi meteorici si smorzano con legge esponenziale e i livelli piezometrici diminuiscono progressivamente con il tempo trascorso dall'ultimo evento piovoso ed all'aumentare dei fenomeni di evapotraspirazione.

Nei primi tre mesi di monitoraggio la risposta all'evento meteorico appare simile per tutti i piezometri, mentre nel mese di agosto soltanto alcuni piezometri (in particolare il PS03, il PS04, il PS06 e il PS08) risultano sensibili a tale forzante, mentre i rimanenti non subiscono alcuna variazione di livello. Durante la Fase A si era riscontrato che il piezometro più sensibile alle precipitazioni risultava essere il PS06, mentre il meno sensibile era il PS08.

L'assenza di rilevanti fenomeni pluviometrici, unitamente alla crescente importanza dei fenomeni evapotraspirativi, ha determinato negli ultimi 3 mesi un notevole abbassamento dei livelli piezometrici. Tale abbassamento è particolarmente intenso nei piezometri PS03, PS04, PS10 e PS11, dove il livello piezometrico si stabilizza a valori sensibilmente inferiori a quelli del medio mare.

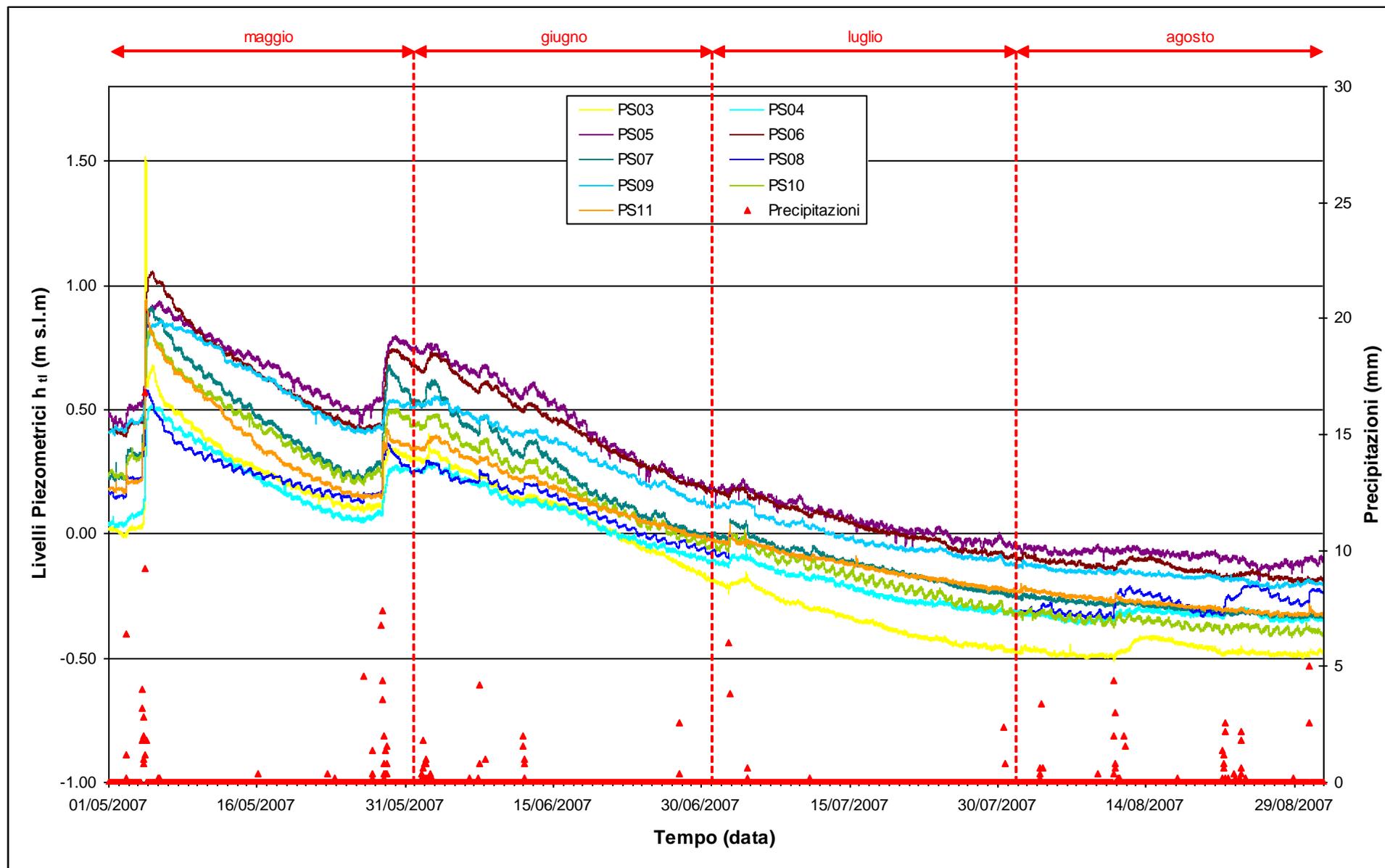


Fig. 2.7 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali maggiormente sensibili alle precipitazioni

### **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 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 (luna calante e crescente). Da un'analisi dei dati è possibile riscontrare uno sfasamento di circa due ore tra le oscillazioni mareali e quelle piezometriche.

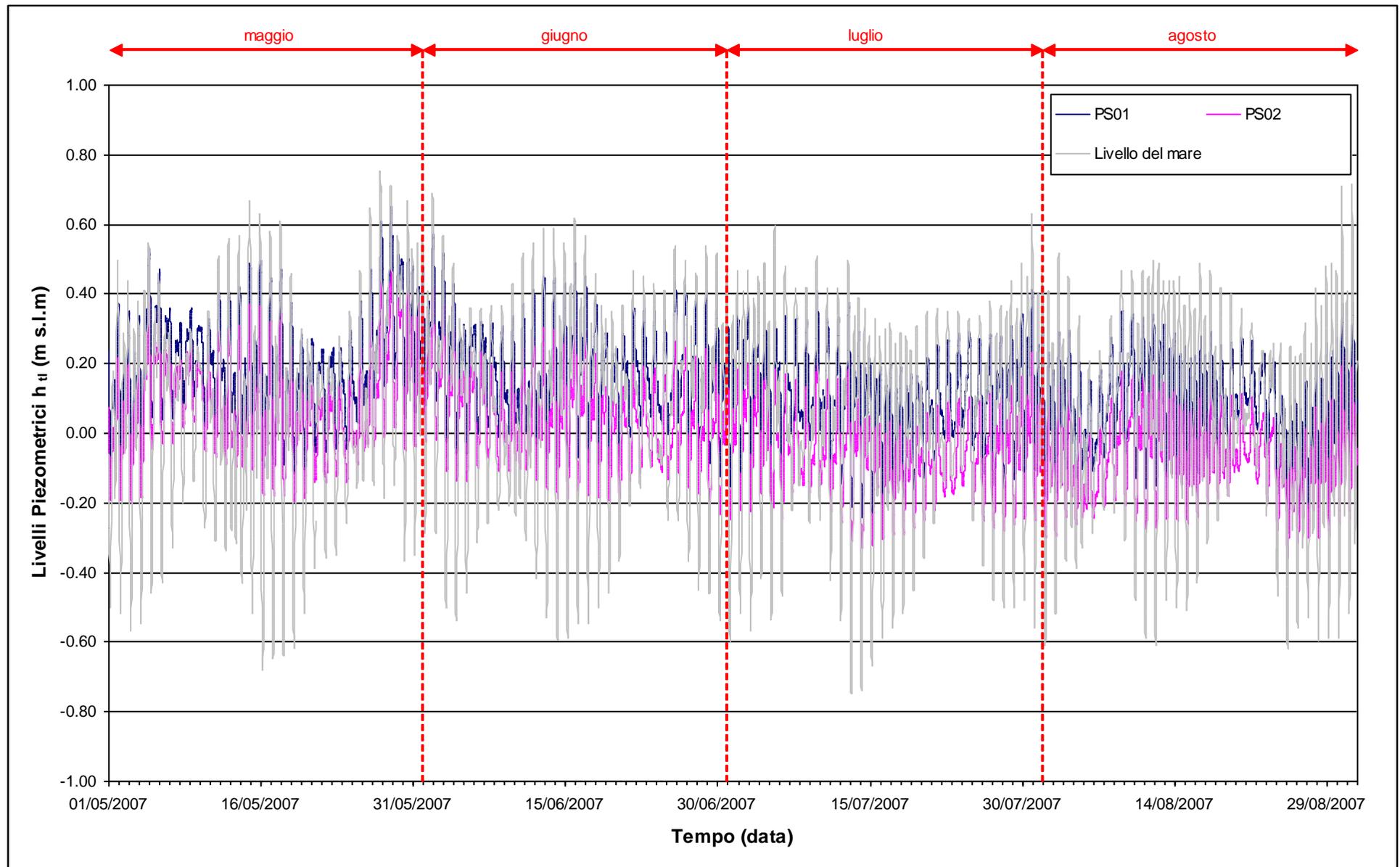


Fig. 2.8 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali PS01, PS02 e livelli del mare

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

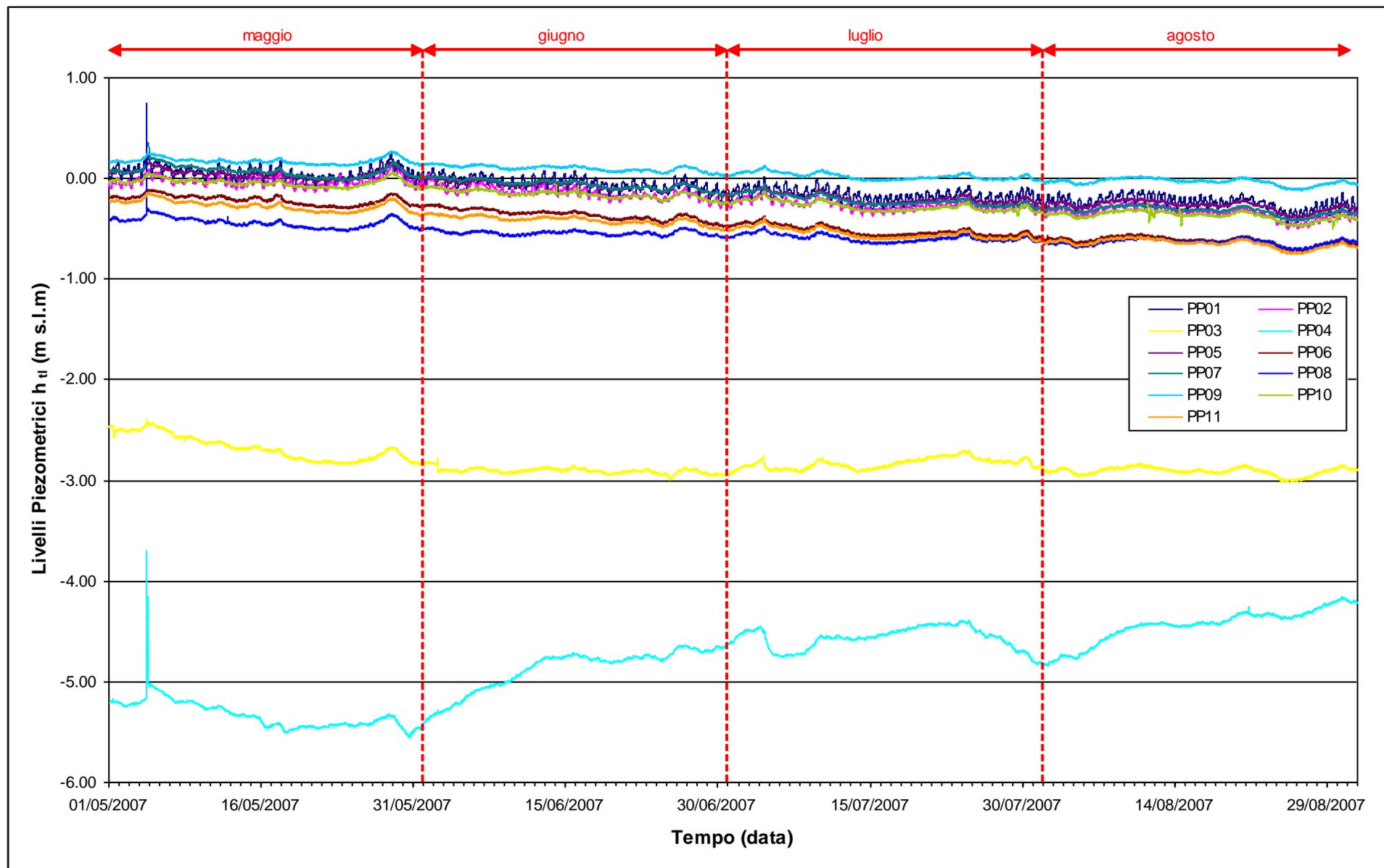
Di seguito verranno presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti negli 11 piezometri profondi finestrati in corrispondenza del secondo livello acquifero (Strato C), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

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

I dati riportati in Fig. 2.9 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio della Fase B.

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, ma in misura 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 che riproducono fedelmente i profili mareali mediati (oscillazioni mareali a bassa frequenza);
- i piezometri PP03 e PP04, posti in prossimità del Lungomare Dante Alighieri, risultano influenzati in maniera preponderante dalle attività di pompaggio interne al bacino lato mare; restano tuttavia visibili le variazioni dovute ai picchi delle oscillazioni mareali a bassa frequenza. Nel periodo compreso tra giugno e agosto i livelli del piezometro PP04 hanno subito innalzamento (di circa 1 m) assestandosi a circa -4 m s.l.m., mentre il tracciato piezometrico del PP03 si è mantenuto stabile a valori prossimi a -3 m s.l.m.

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 (luna calante e crescente). 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.

In Fig. 2.11 si nota l'influenza della forzante mareale nella sua componente a lungo periodo (>1 giorno) sul livello piezometrico dei rimanenti piezometri profondi (esclusi il PP03 e PP04). Come appare dai tracciati, la dinamica mareale media è riprodotta dai livelli di tutti i piezometri profondi.

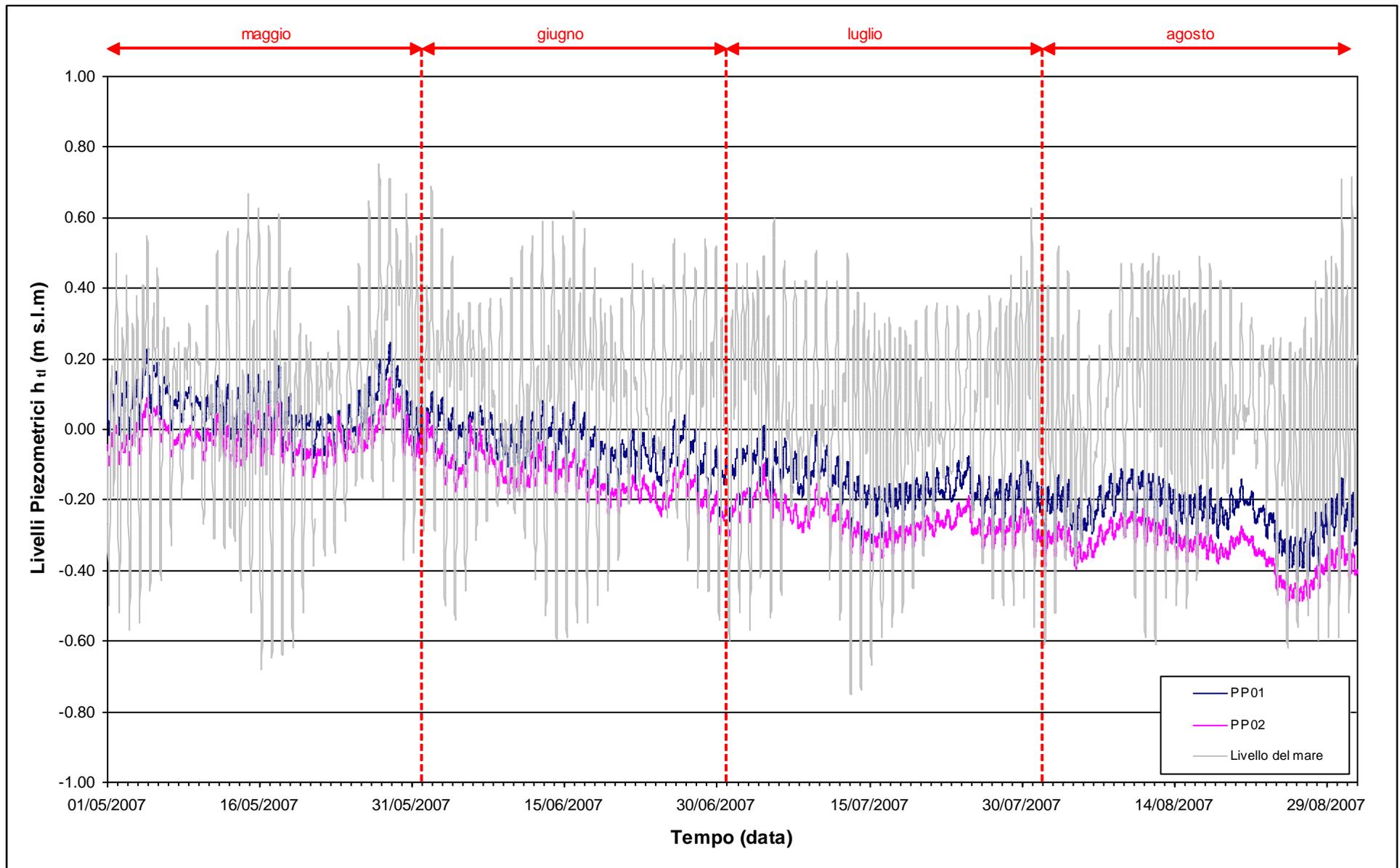


Fig. 2.10- Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP01, PP02 e livelli del mare

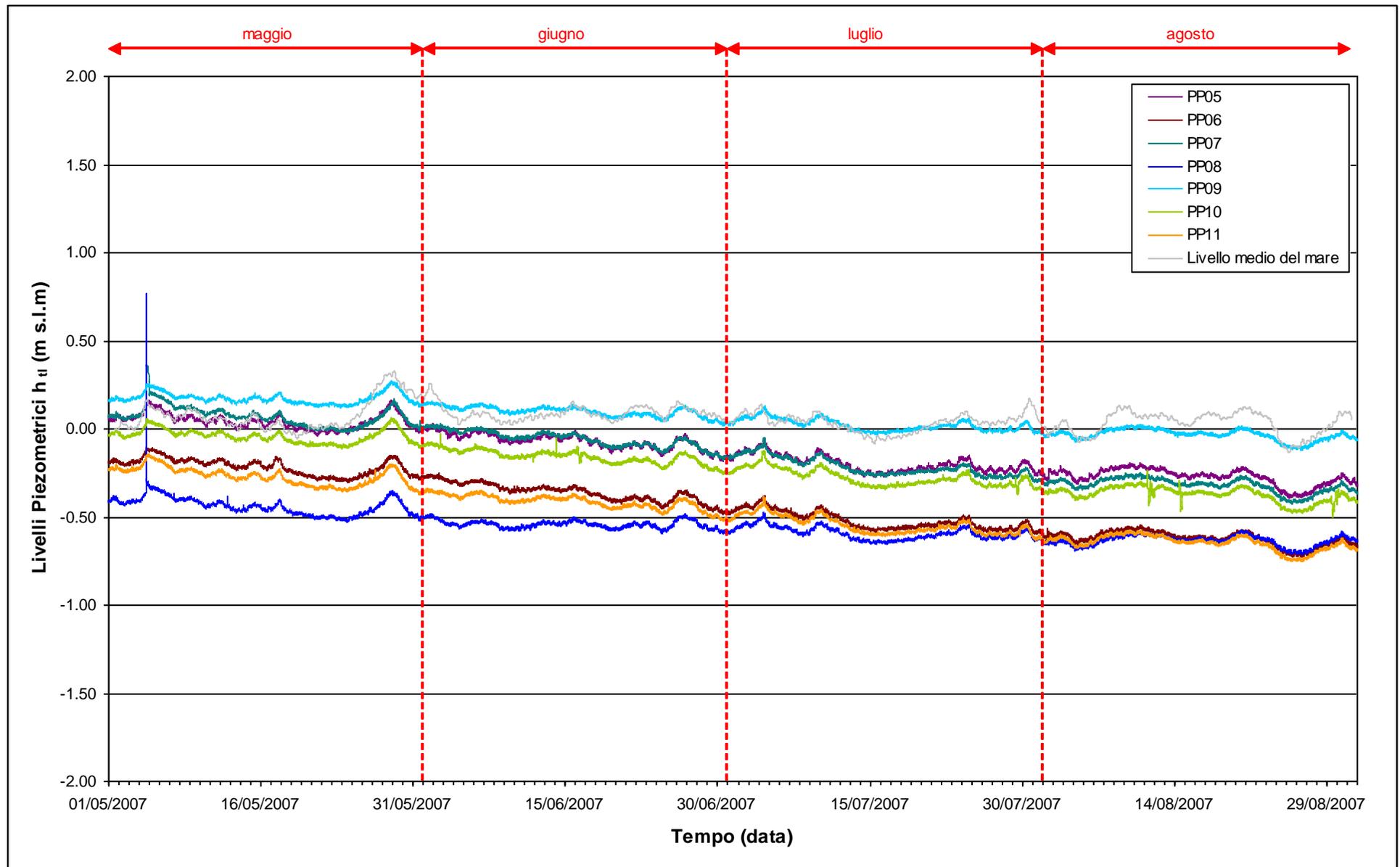


Fig. 2.11 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10, PP11 e livelli medi del mare

### **2.4.3** *Effetti antropici*

In Fig. 2.12 vengono visualizzati i tracciati relativi ai livelli assoluti dei piezometri profondi PP03 e PP04. In queste due postazioni è possibile riscontrare, a partire dall'inizio delle operazioni di pompaggio (gennaio 2007), un significativo abbassamento del livello piezometrico. Come appare evidente dai tracciati, durante i quattro mesi monitorati si può apprezzare un discreto recupero di livello in corrispondenza di PP04 (circa 1 m), mentre il PP03 non mostra significative variazioni.

Nonostante i livelli si mantengano sotto il livello medio del mare, essi risultano essere influenzati dalle componenti mareali a lungo periodo, riproducendo la dinamica mareale durante tutto il periodo monitorato.

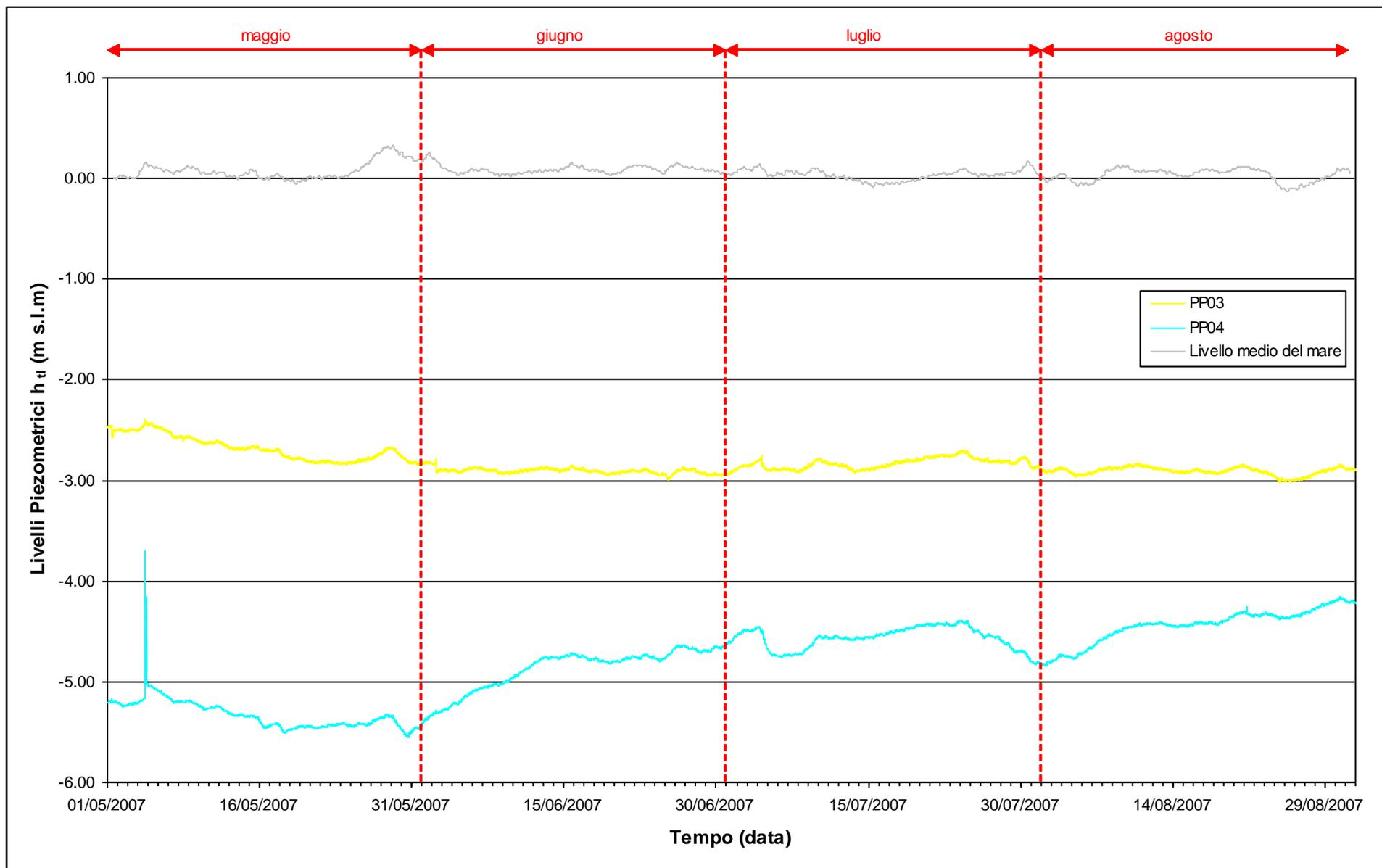


Fig. 2.12 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi influenzati dalle operazioni di pompaggio

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

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

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

L'utilizzo della nuova strumentazione di scaricamento dei dati (Leveloader Gold) ha determinato la perdita dei dati registrati nel PS08 durante il mese di luglio a causa di un conflitto software.

## 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, novembre 2006 - febbraio 2007, 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.

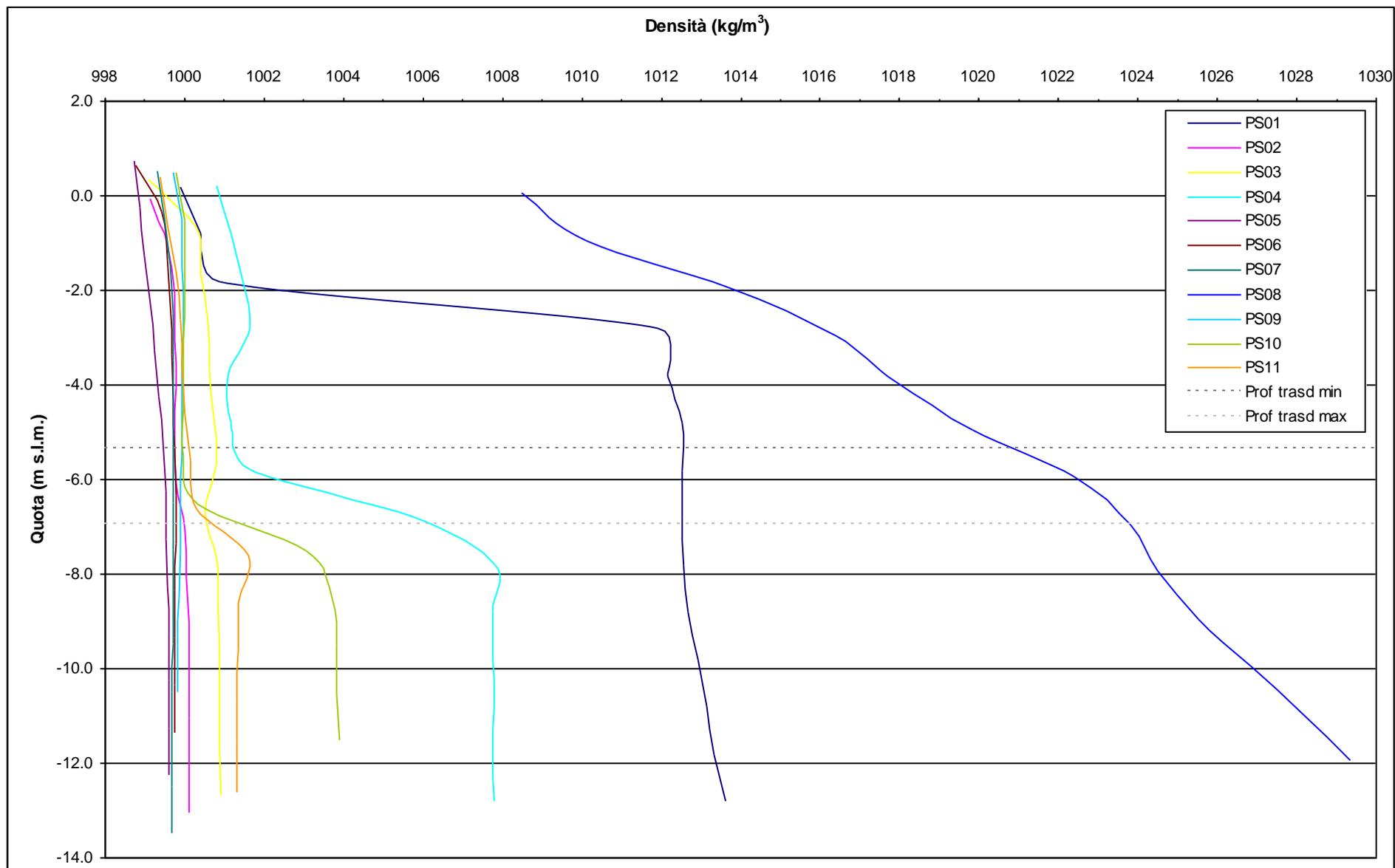


Fig. 4.1- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 2 giugno 2007

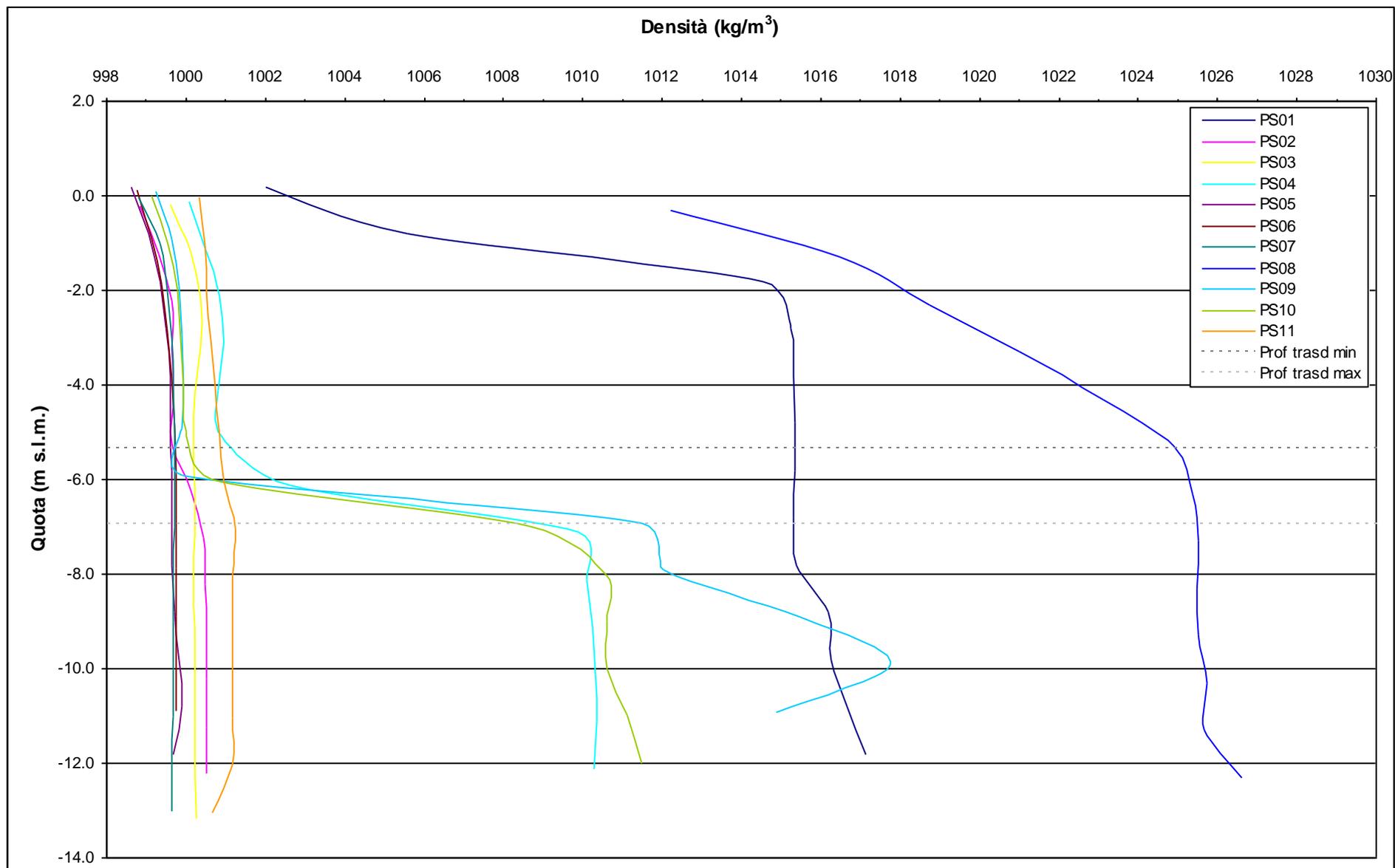


Fig. 4.2- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 4 luglio 2007

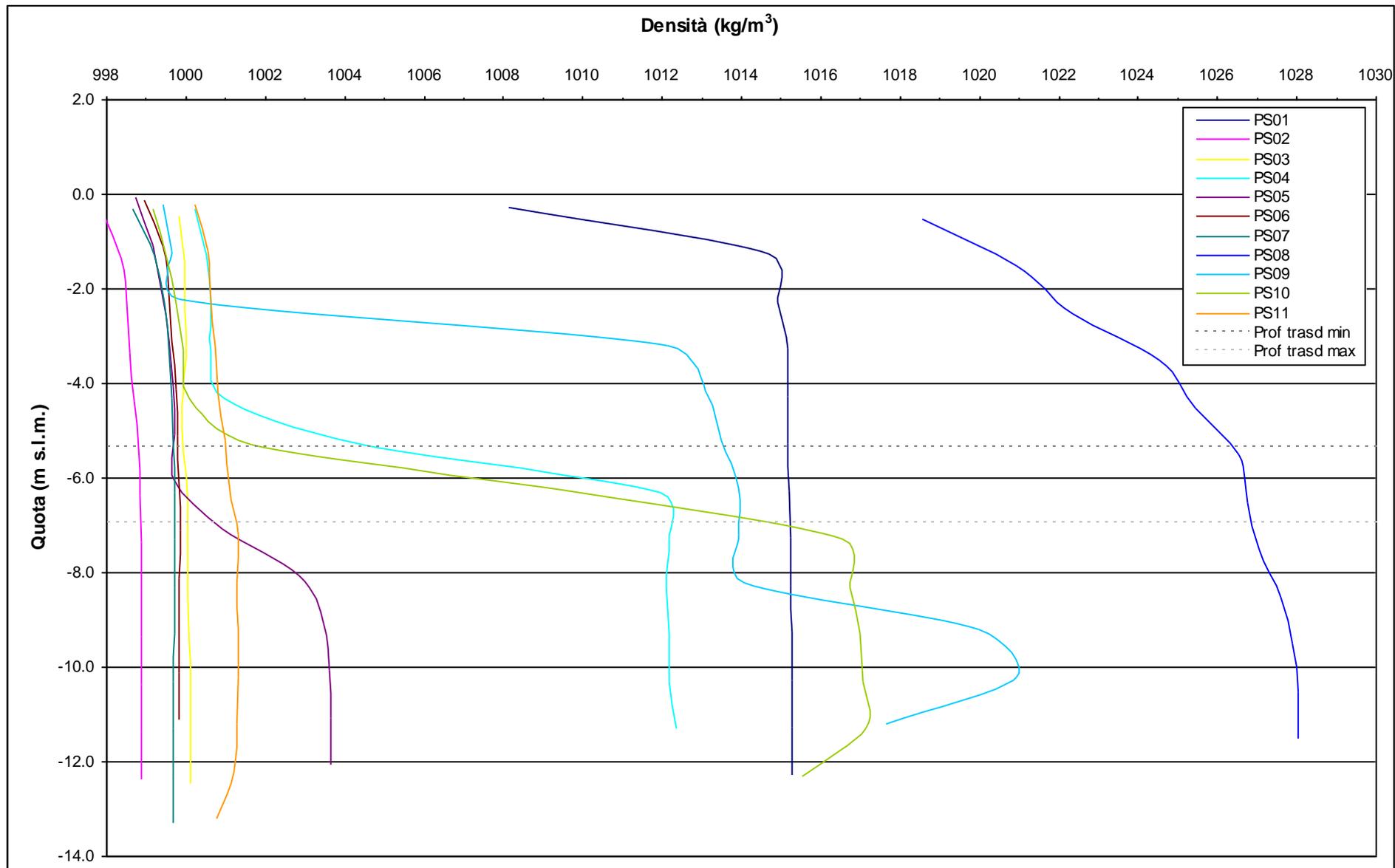


Fig. 4.3 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 1 agosto 2007

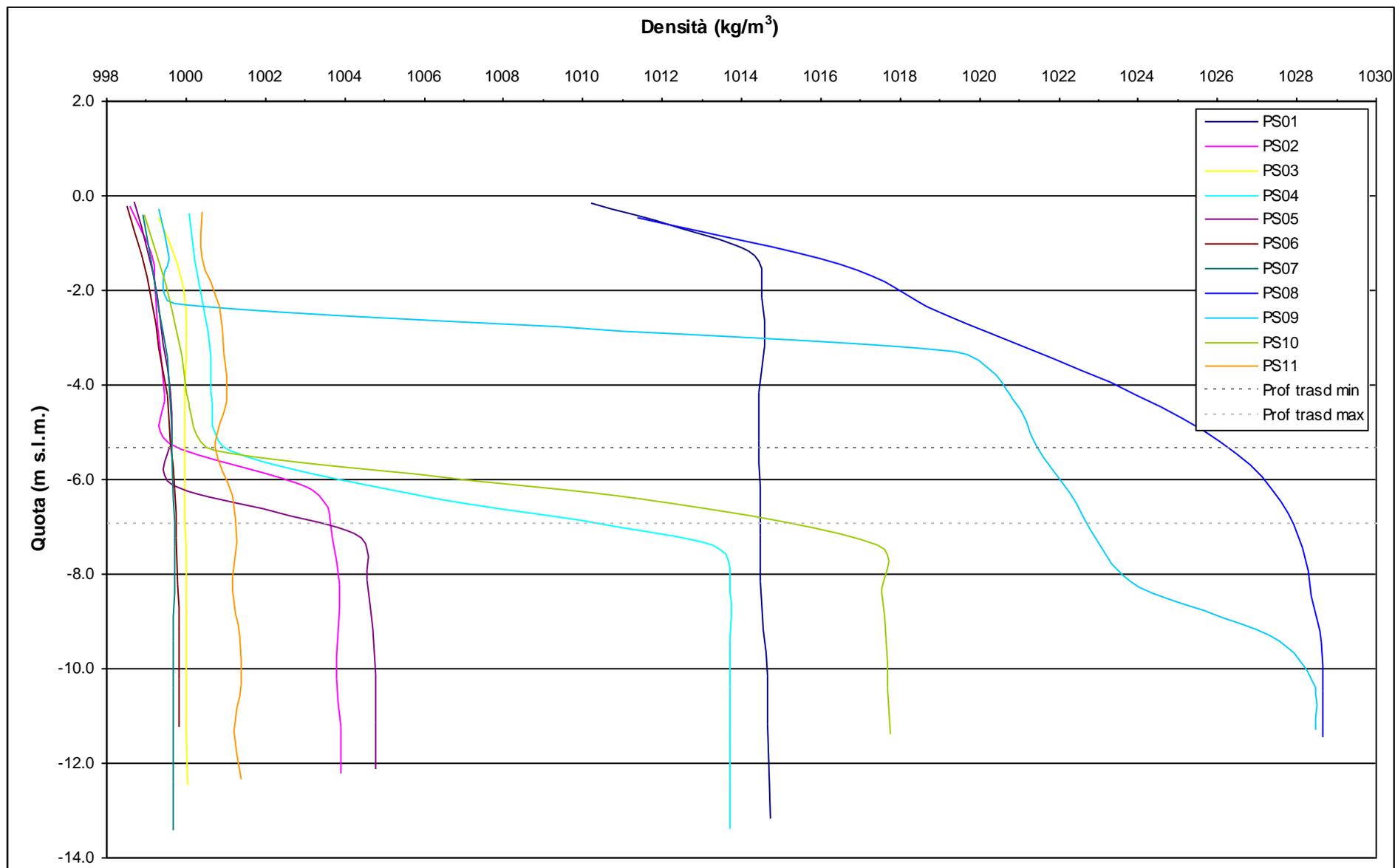


Fig. 4.4 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 1 settembre 2007

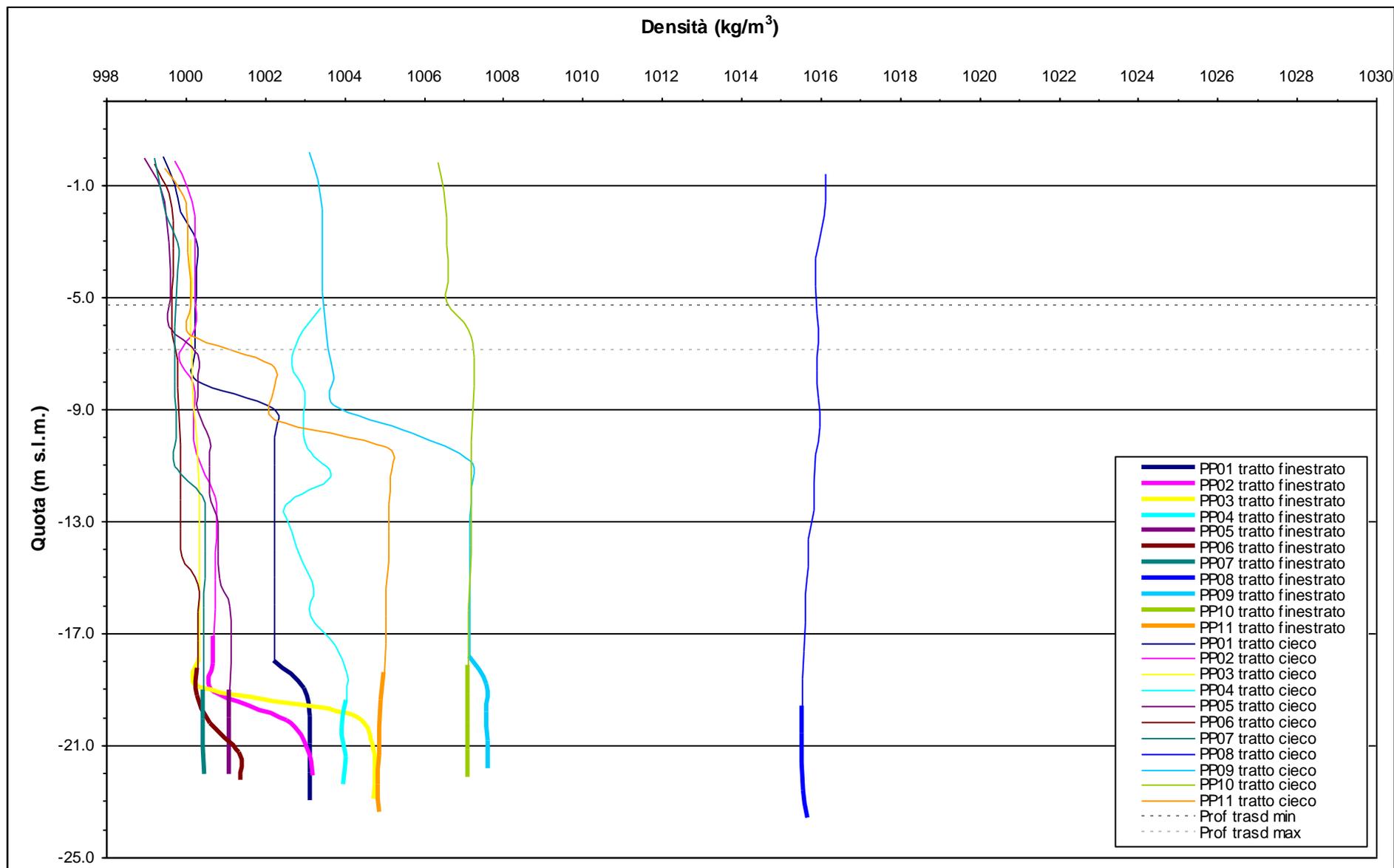


Fig. 4.5 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 2 giugno 2007

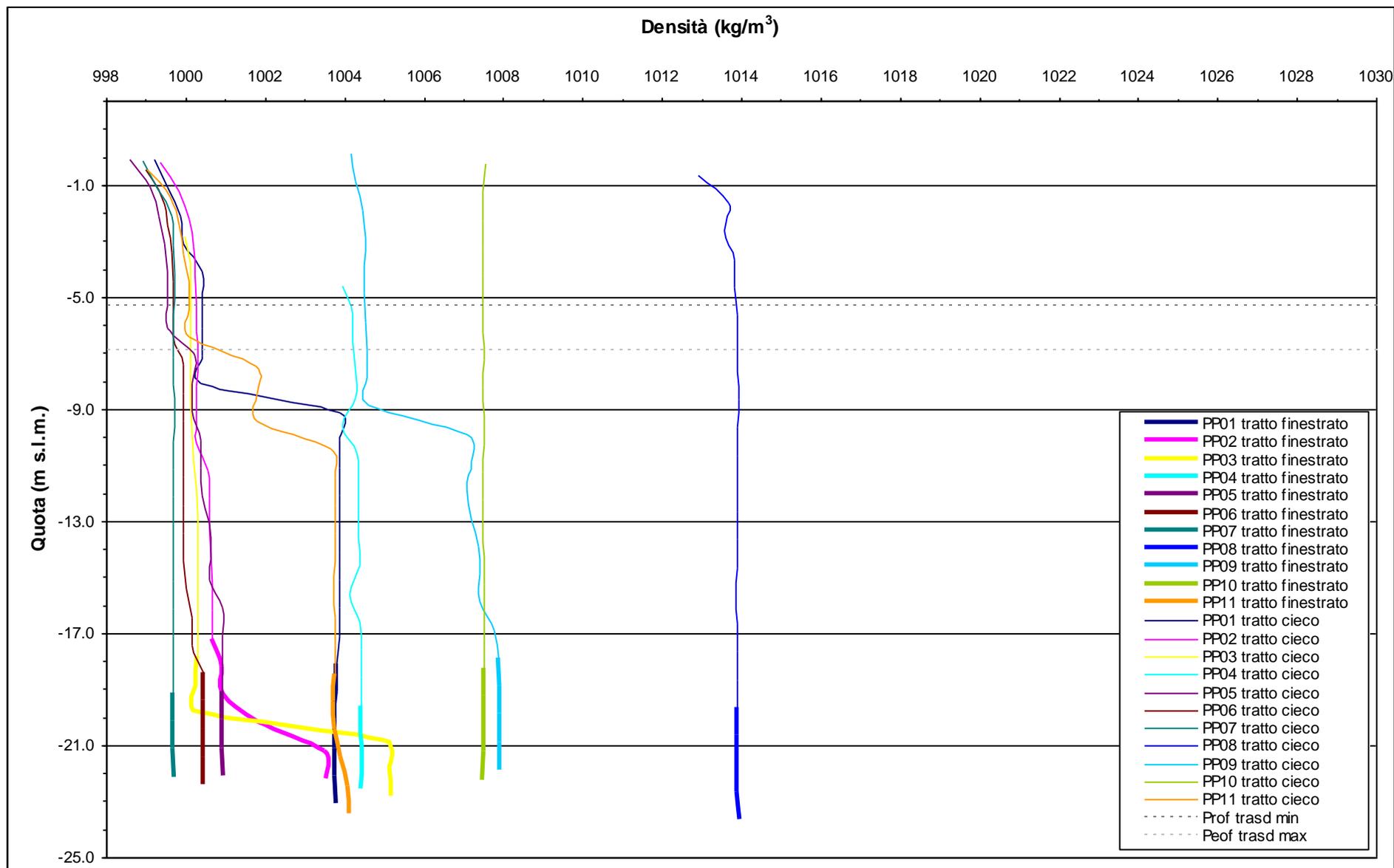


Fig. 4.6- Profili verticali di densità piezometri profondi - 4 luglio 2007

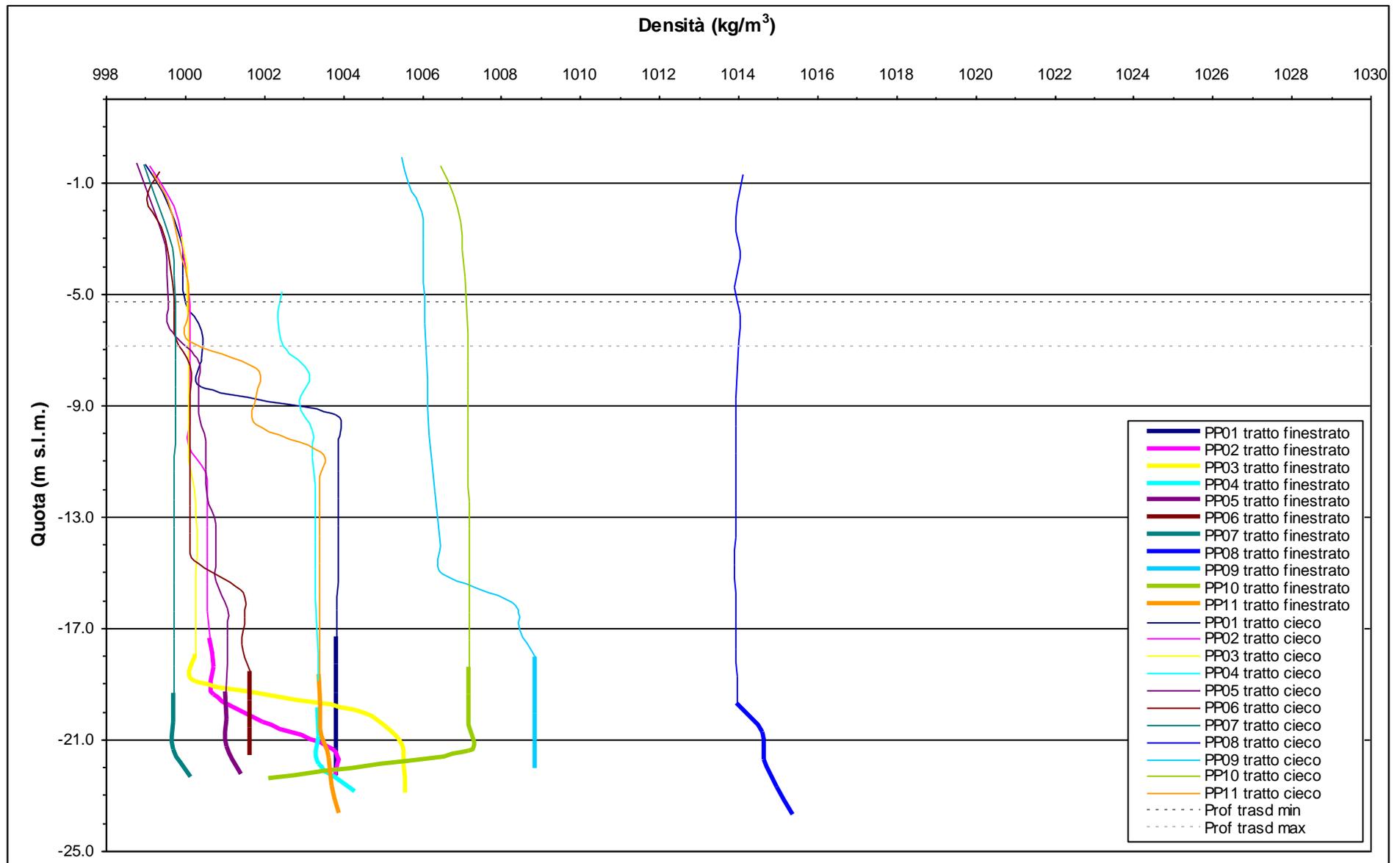


Fig. 4.7 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 1 agosto 2007

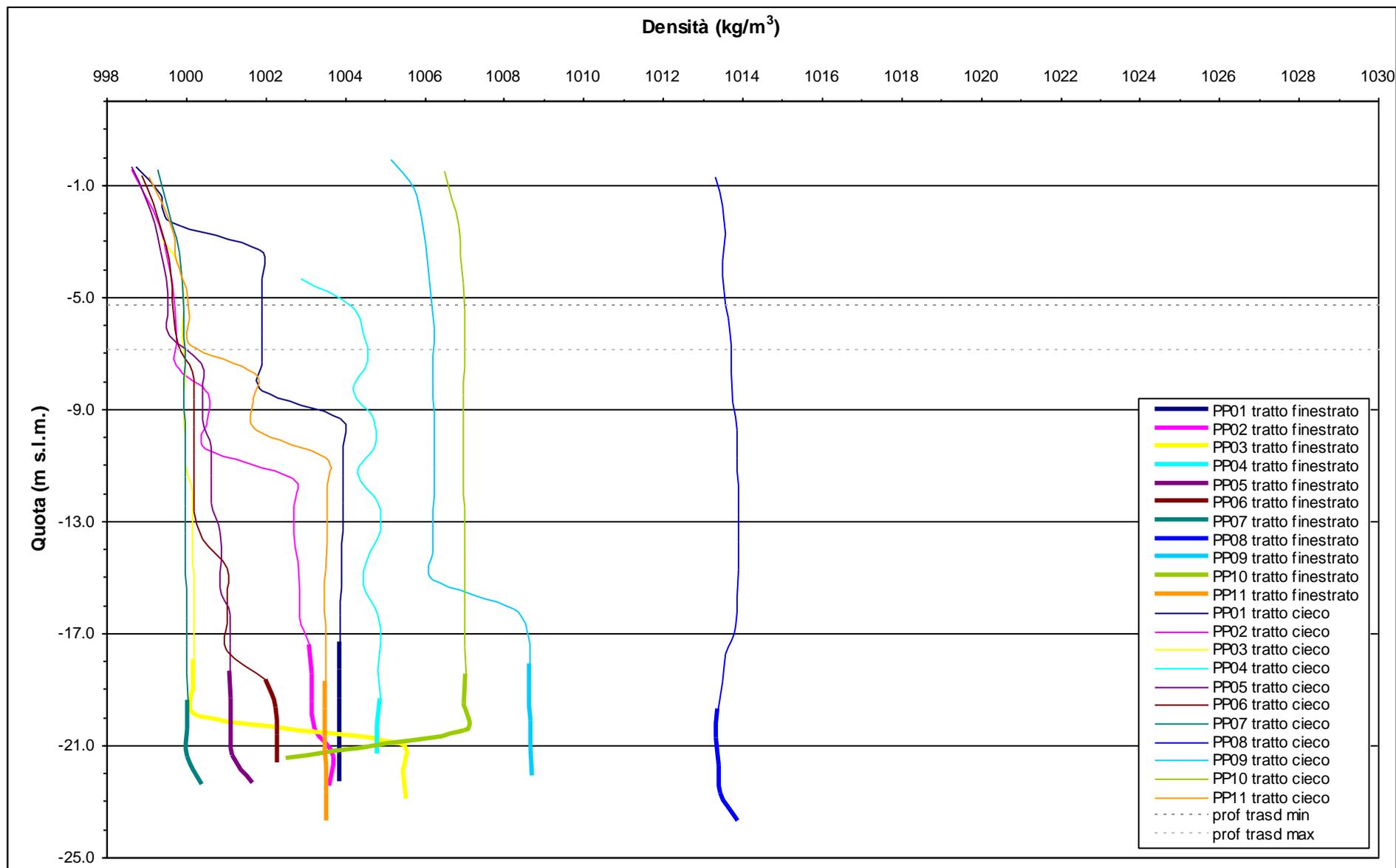


Fig. 4.8 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 1 settembre 2007

## 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

Mese	Data e ora
Fase A	12 novembre 2005 - h. 14:00
Maggio	09 maggio 2007 - h. 05:00
Giugno	16 giugno 2007 - h. 08:00
Luglio	20 luglio 2007 - h- 19:00
Agosto	20 agosto 2007 - h. 07:00

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

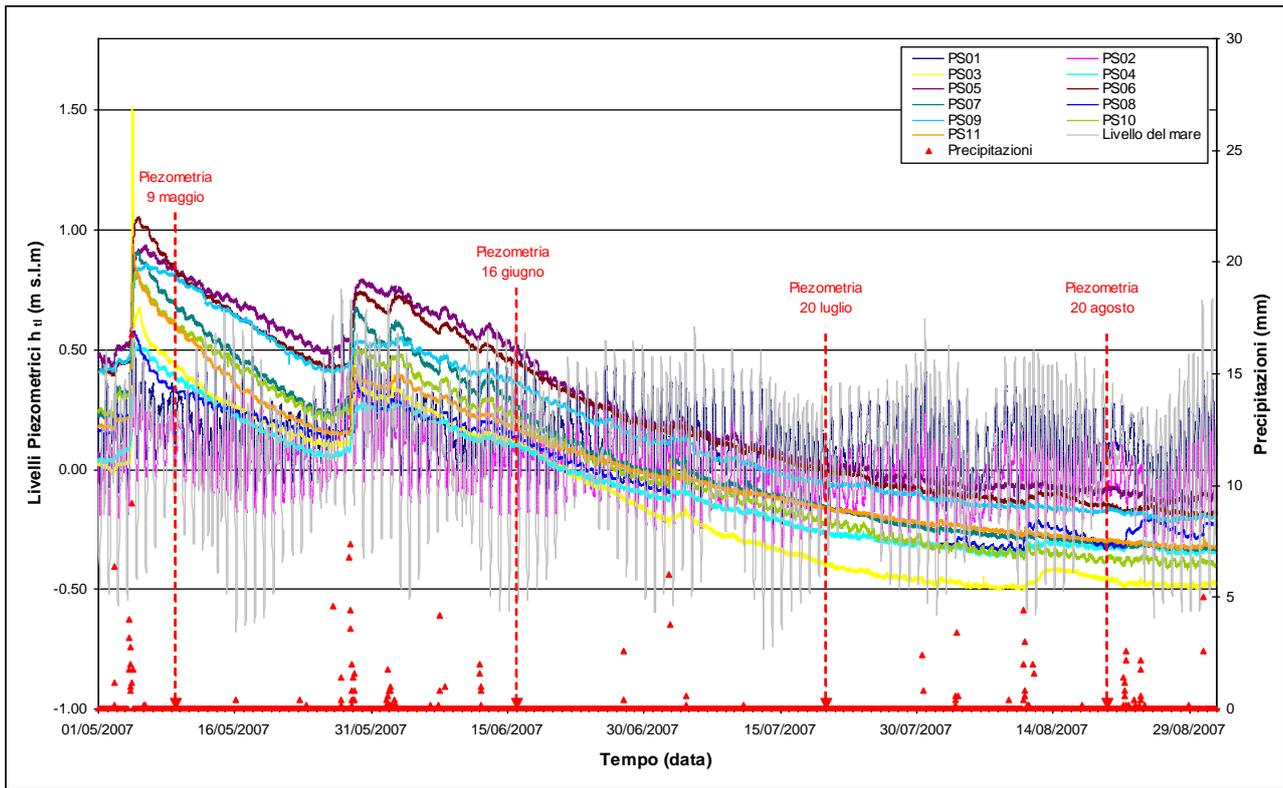


Fig. 5.1 – Elaborazione delle piezometrie superficiali

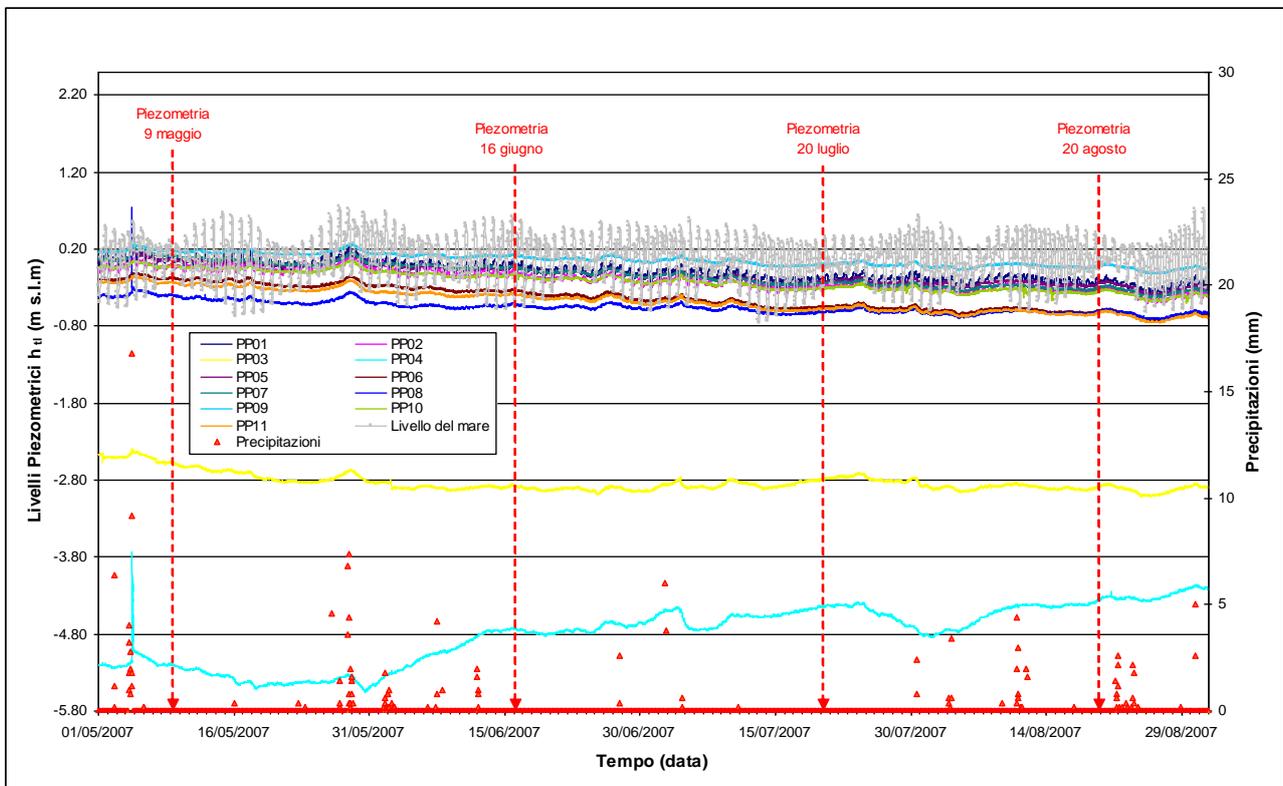


Fig. 5.2- Elaborazione delle piezometrie profonde

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 , 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab. 5.2- Livelli piezometrici  $h_{\text{H}}$  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
				$h_{\text{H}}$ (m s.l.m.)				
PS01	2318325.88	5035253.68	1.778	0.271	0.26	-0.01	0.11	0.05
PS02	2318303.30	5034900.48	1.713	n.d.	0.15	-0.12	-0.06	-0.11
PS03	2318377.62	5034552.61	1.545	0.331	0.45	0.11	-0.41	-0.46
PS04	2318449.34	5034373.27	1.453	0.147	0.40	0.11	-0.28	-0.32
PS05	2318582.01	5034989.80	1.816	0.799	0.84	0.49	0.00	-0.09
PS06	2318658.27	5034750.84	1.688	0.843	0.85	0.45	-0.01	-0.16
PS07	2318785.95	5034898.62	1.403	0.654	0.70	0.27	-0.16	-0.31
PS08	2318799.69	5034032.43	0.663	0.345	0.34	0.14	n.d.	-0.31
PS09	2318764.67	5035448.00	2.259	0.638	0.81	0.36	-0.07	-0.17
PS10	2318792.99	5035043.94	2.023	0.634	0.62	0.21	-0.23	-0.37
PS11	2318787.28	5034652.23	1.169	0.673	0.61	0.17	-0.17	-0.30

La ricostruzione piezometrica del mese di maggio risulta compatibile con quanto osservato durante la Fase A, distinguendosi da essa esclusivamente per i valori del PS04 che, a causa dello sbarramento imposto dalla barriera idraulica mostra carichi idraulici superiori. La superficie piezometri relativa al mese di giugno, invece, pur mantenendo una configurazione di flusso simile a quanto misurato in Fase A, mostra valori di livello piezometrico notevolmente inferiori. Nei mesi di luglio e agosto si delinea invece un regime di flusso non compatibile con quanto osservato in Fase A e neppure con quanto riscontrato nell'estate 2006: il livello piezometrico si attesta su valori negativi (inferiori alla quota di riferimento altimetrico) instaurando un flusso idrico diretto in alcune zone dal mare verso la terraferma. È inoltre presente una anomalia nei pressi dei piezometri superficiali PS03 e PS04, dove i tracciati delle linee equipotenziali si infittiscono e raggiungono valori prossimi a -0.5 m s.l.m.

I generali abbassamenti dell'acquifero superficiale sono da attribuire all'azione sinergica di forzanti naturali quali evapotraspirazione e scarsità di precipitazione. Nonostante ciò, l'anomalia evidente nelle ricostruzioni dei mesi di luglio e agosto potrebbe indicare un'influenza delle operazioni di pompaggio anche sull'acquifero superficiale. Per verificare tale ipotesi sarà necessario attendere la risposta dell'acquifero alle ricariche pluviometriche autunnali nonché alla diminuzione dei fenomeni di evapotraspirazione.

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

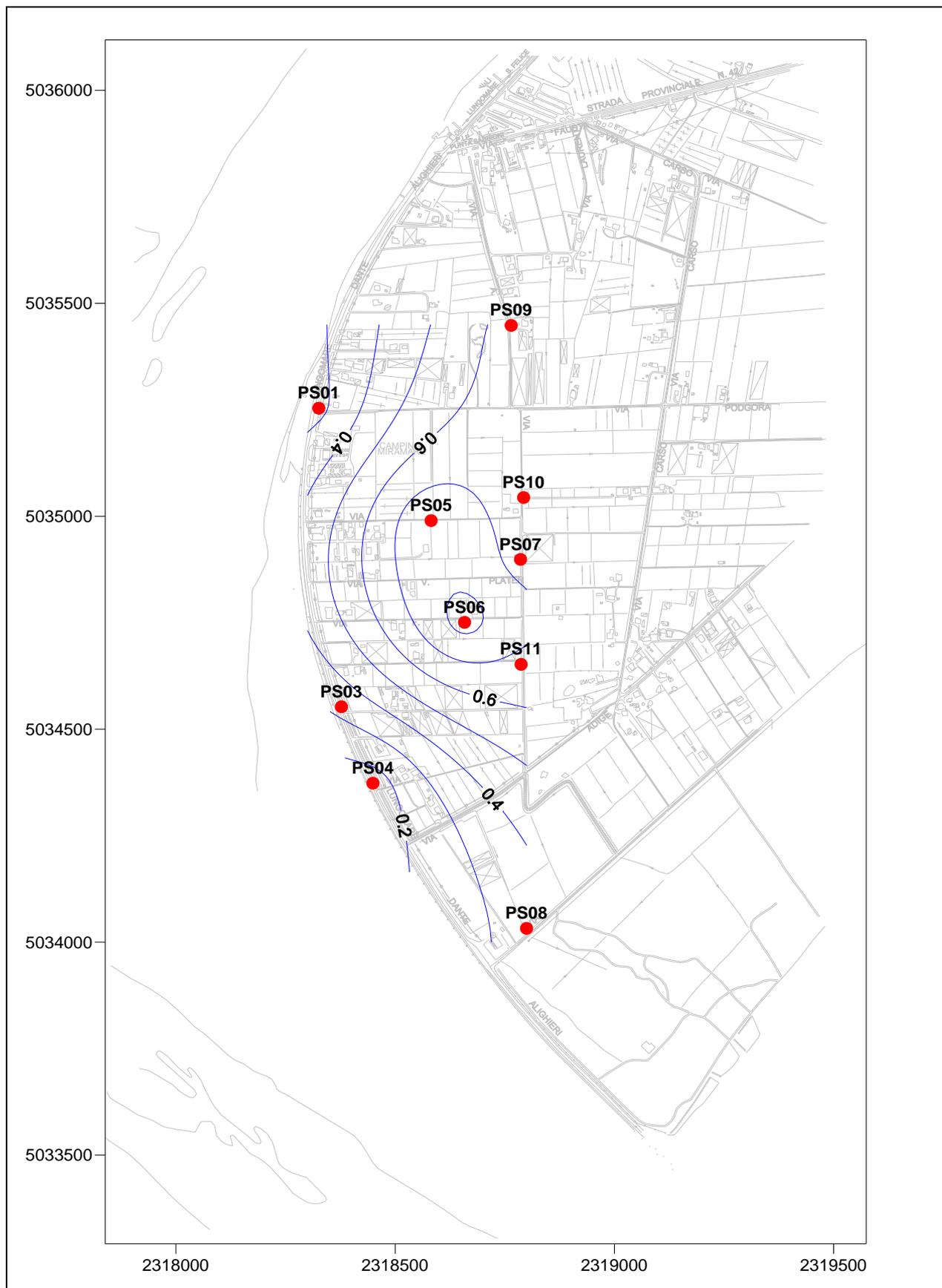


Fig. 5.3 - Piezometri superficiale Fase A ( $h_{tl}$  - m s.l.m.), novembre 2005

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

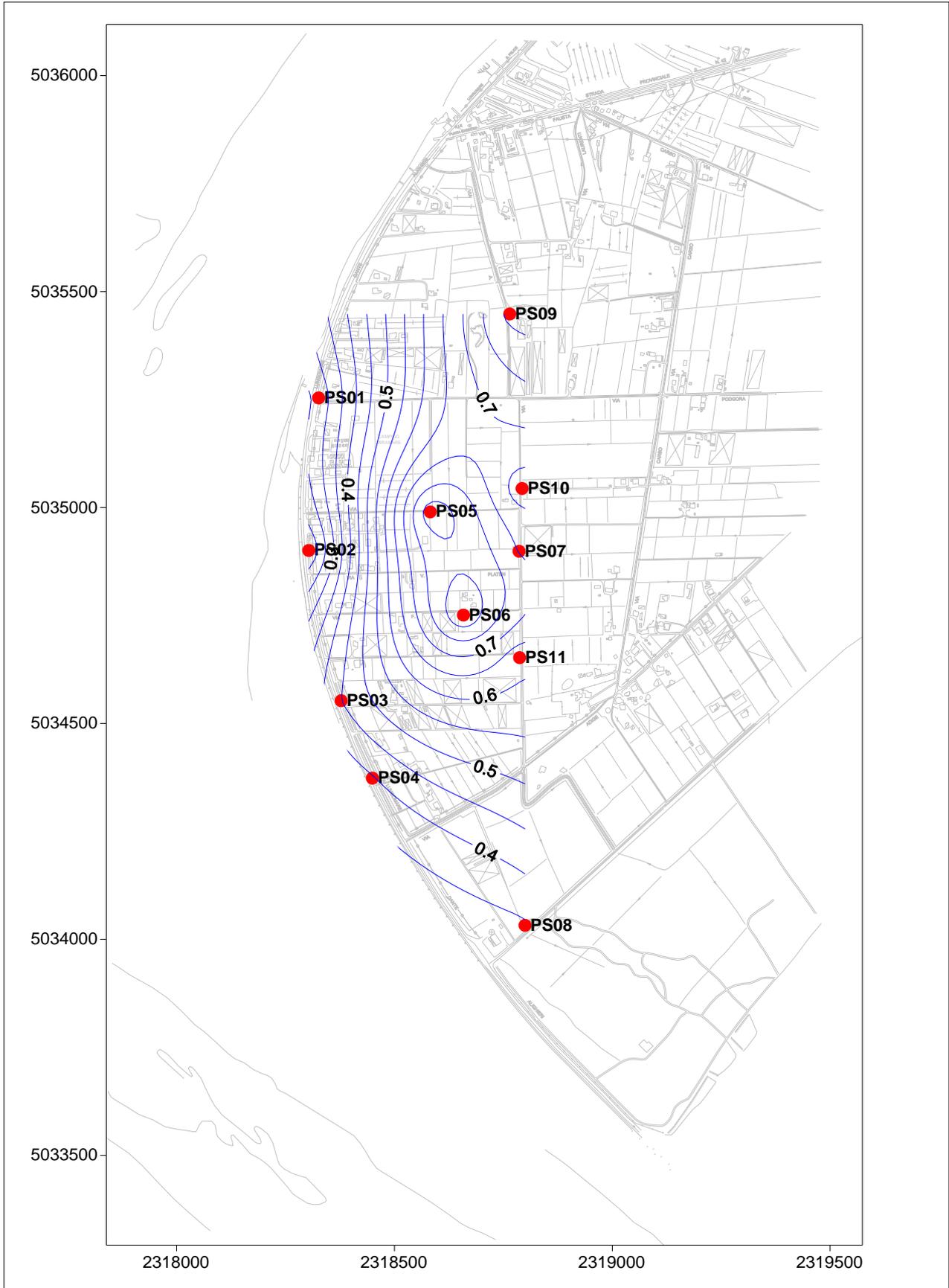


Fig. 5.4 - Piezometria superficiale, maggio 2007 ( $h_{tl}$  - m s.l.m.)

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

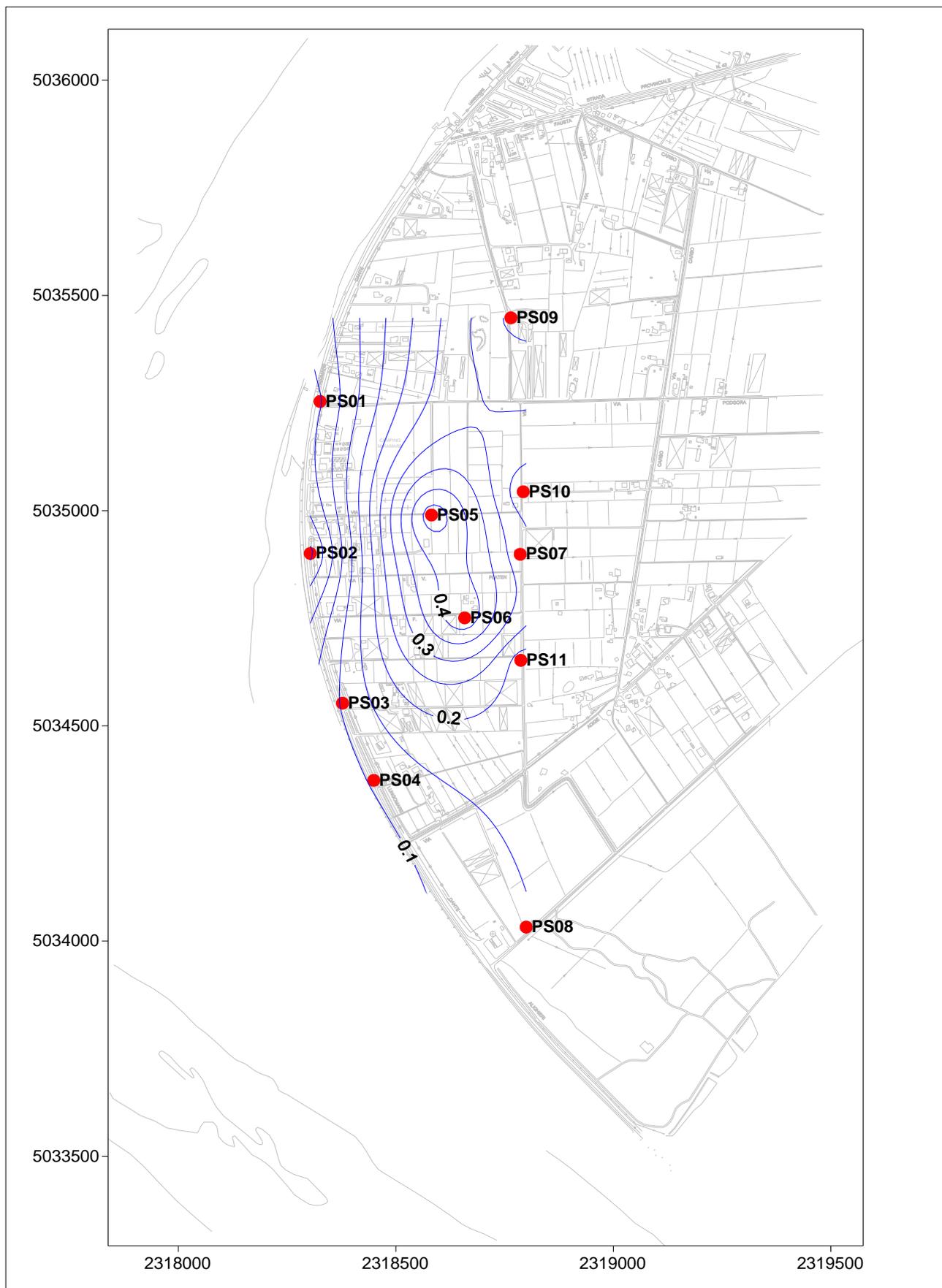


Fig. 5.5- Piezometria superficiale, giugno 2007 ( $h_{tl}$  - m s.l.m.)

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

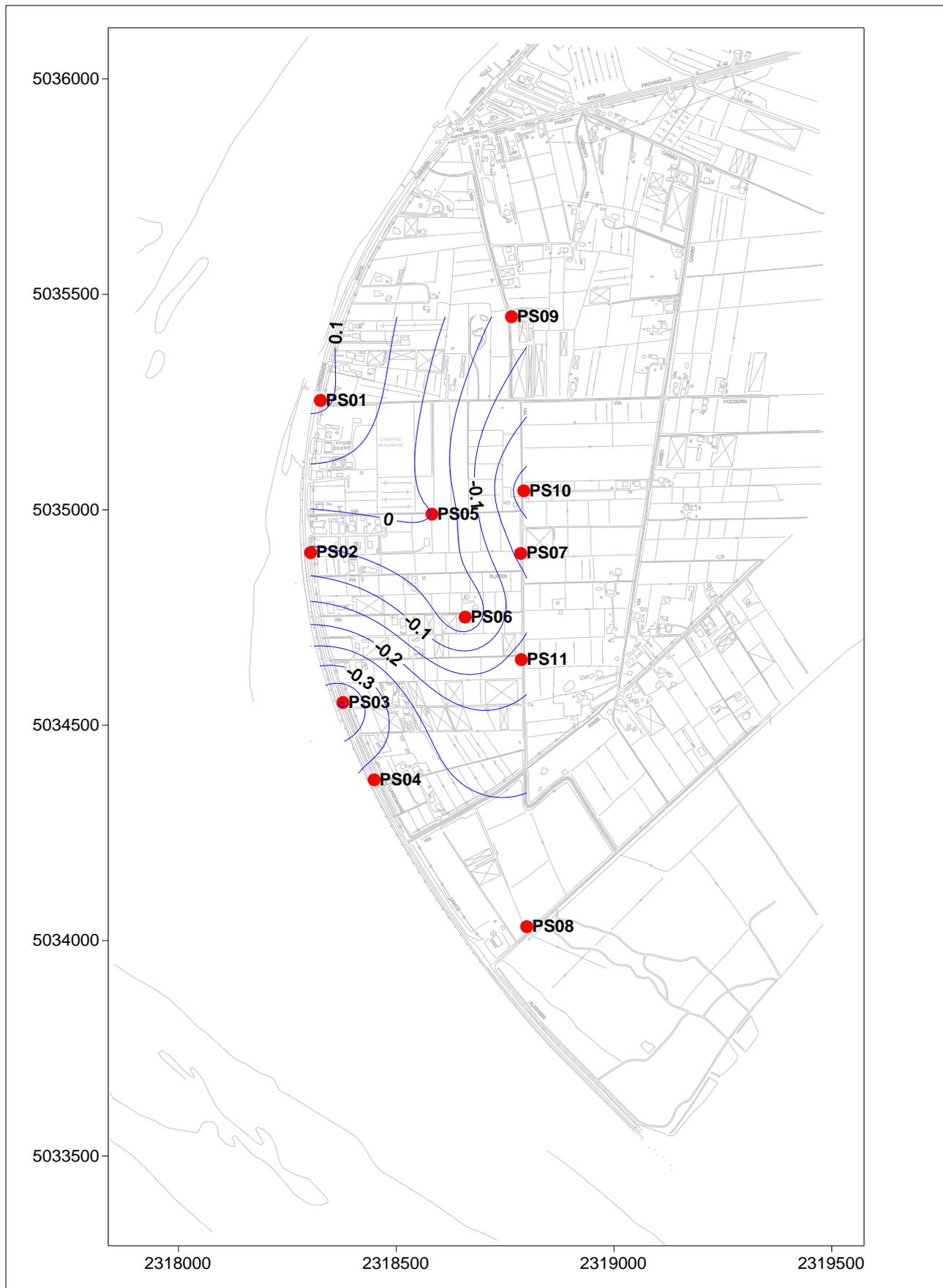


Fig. 5.6 - Piezometria superficiale, luglio 2007 ( $h_{fl}$  - m s.l.m.)

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

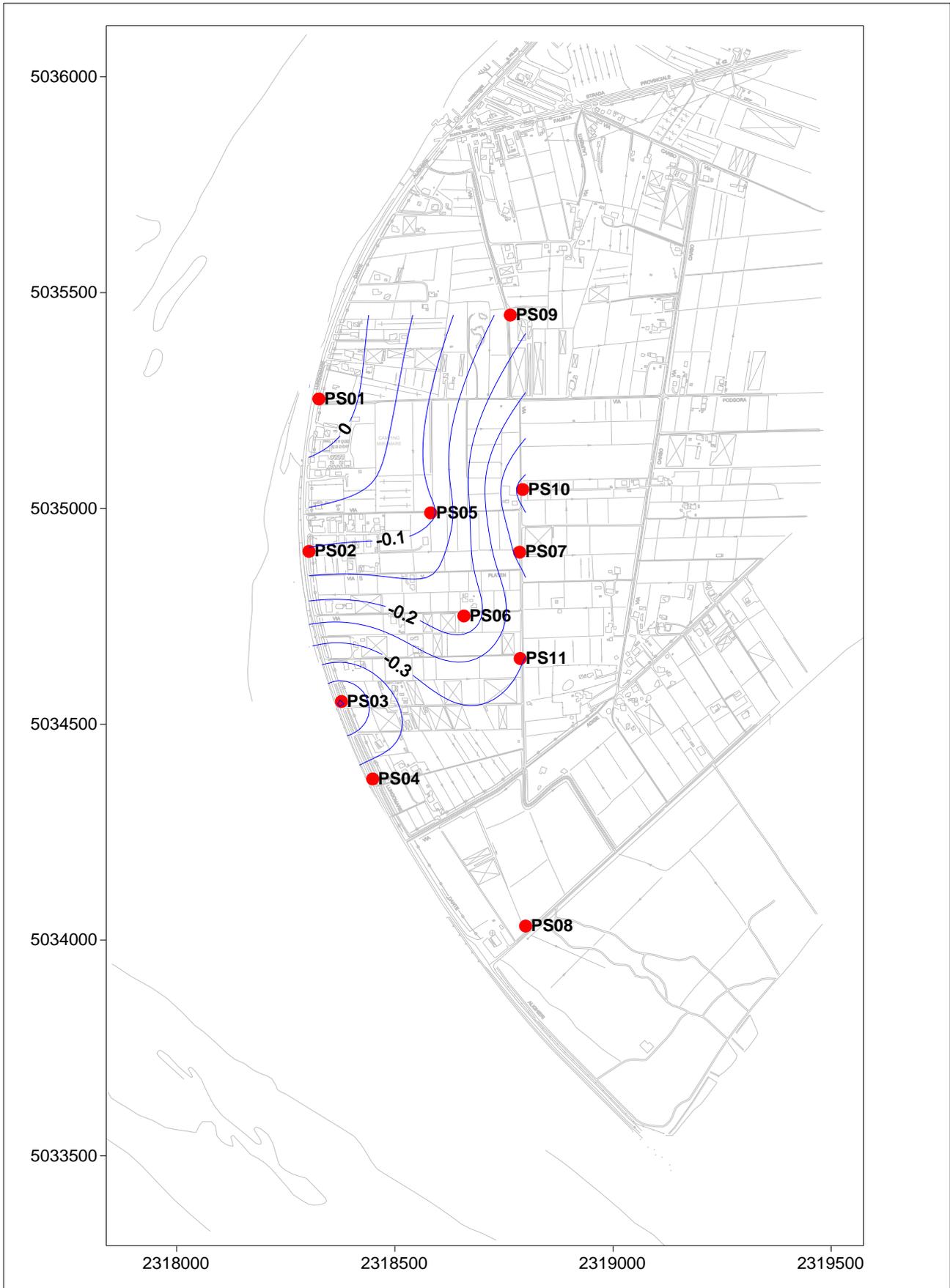


Fig. 5.7 - Piezometria superficiale, agosto 2007 ( $h_{el}$  - m s.l.m.)

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. 5.4 sono riportati i livelli piezometrici riferiti a tre istanti temporali, uno per ognuno dei mesi monitorati ed uno appartenente alla Fase A. Nelle Figg. 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab.5. 1 – 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.)				
PP01	2318325.44	5035252.10	1.781	0.337	0.07	-0.08	-0.18	-0.21
PP02	2318303.40	5034898.36	1.706	0.298	-0.02	-0.15	-0.27	-0.32
PP03	2318378.37	5034550.49	1.492	0.353	-2.57	-2.89	-2.76	-2.86
PP04	2318448.54	5034374.67	1.515	0.394	-5.19	-4.74	-4.42	-4.33
PP05	2318579.81	5034989.68	1.730	0.469	0.07	-0.05	-0.22	-0.24
PP06	2318658.29	5034748.80	1.652	0.375	-0.17	-0.34	-0.54	-0.60
PP07	2318786.12	5034900.50	1.323	0.401	0.12	-0.03	-0.23	-0.29
PP08	2318800.26	5034031.14	0.675	0.260	-0.40	-0.52	-0.61	-0.59
PP09	2318765.07	5035445.93	2.274	0.339	0.19	0.11	0.01	-0.01
PP10	2318793.08	5035045.83	2.098	0.302	-0.01	-0.20	-0.29	-0.33
PP11	2318787.40	5034654.31	1.087	0.288	-0.23	-0.39	-0.57	-0.62

Come illustrato nei precedenti Rapporti di Valutazione, la configurazione della piezometria profonda risulta essere diversa da quanto registrato durante la fase A, essendo legata alle operazioni di pompaggio della tura lato mare.

Nelle quattro ricostruzioni proposte si può notare un'attenuazione degli abbassamenti riscontrati nel vertice del cono di drenaggio, mentre i confini dello stesso risultano essersi ampliati.

Nel mese di agosto tutti i valori piezometrici dell'area di riferimento assumono valori negativi.

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

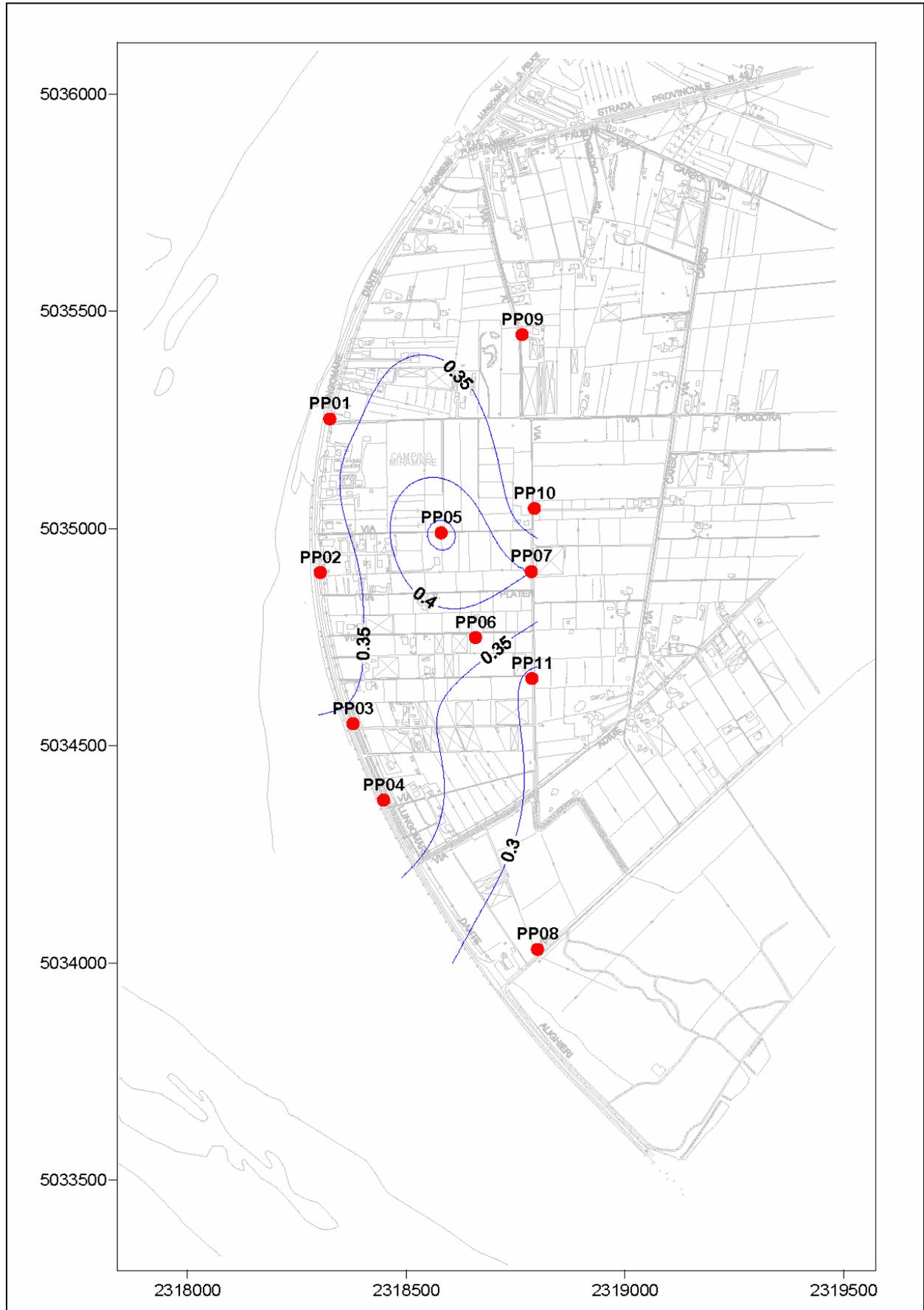


Fig. 5.8- Piezometria profonda Fase A ( $h_d$  - m s.l.m.), novembre 2005



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

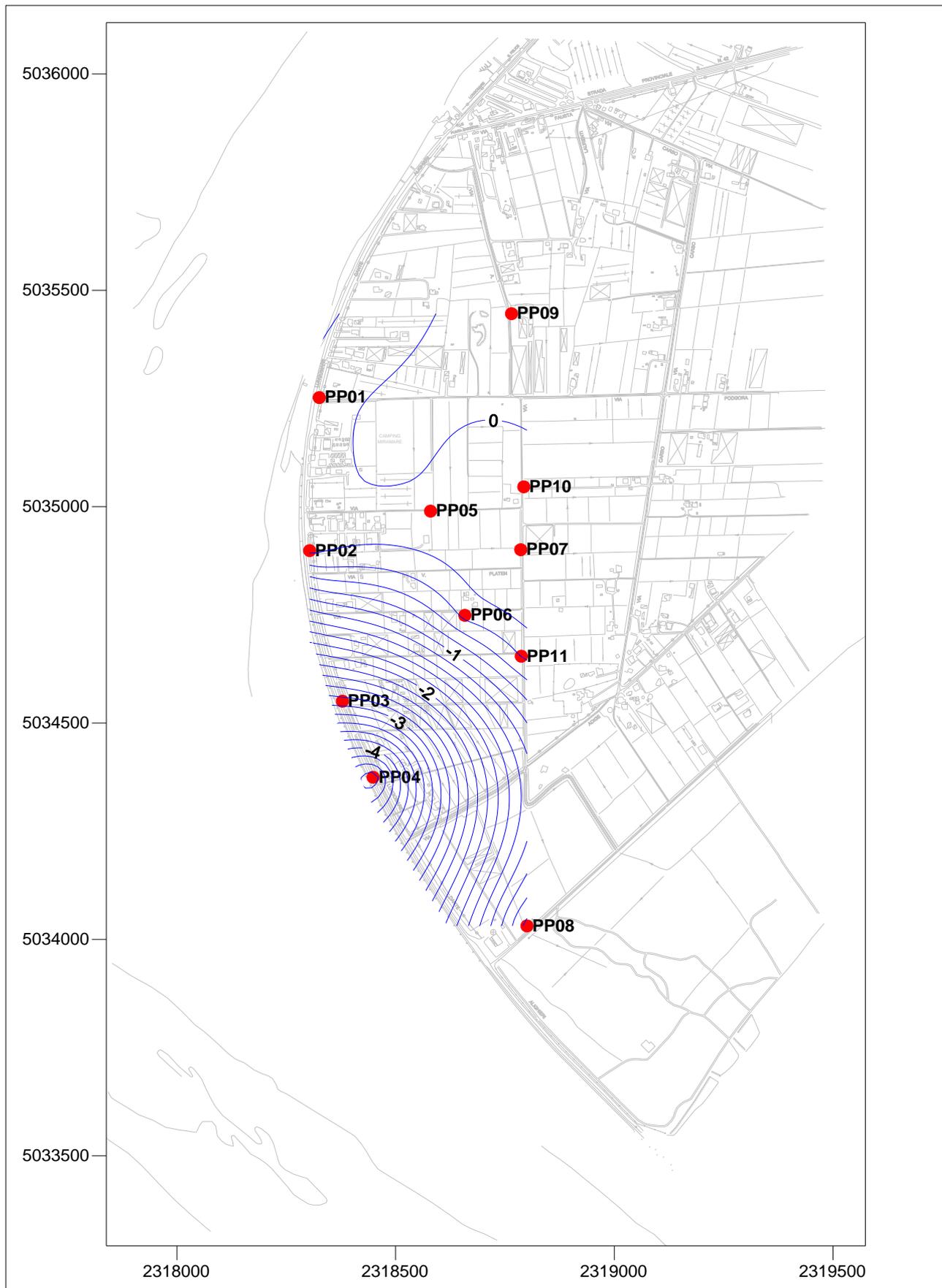


Fig. 5.10 - Piezometria profonda, giugno 2007 ( $h_{PI}$  - m s.l.m.)

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

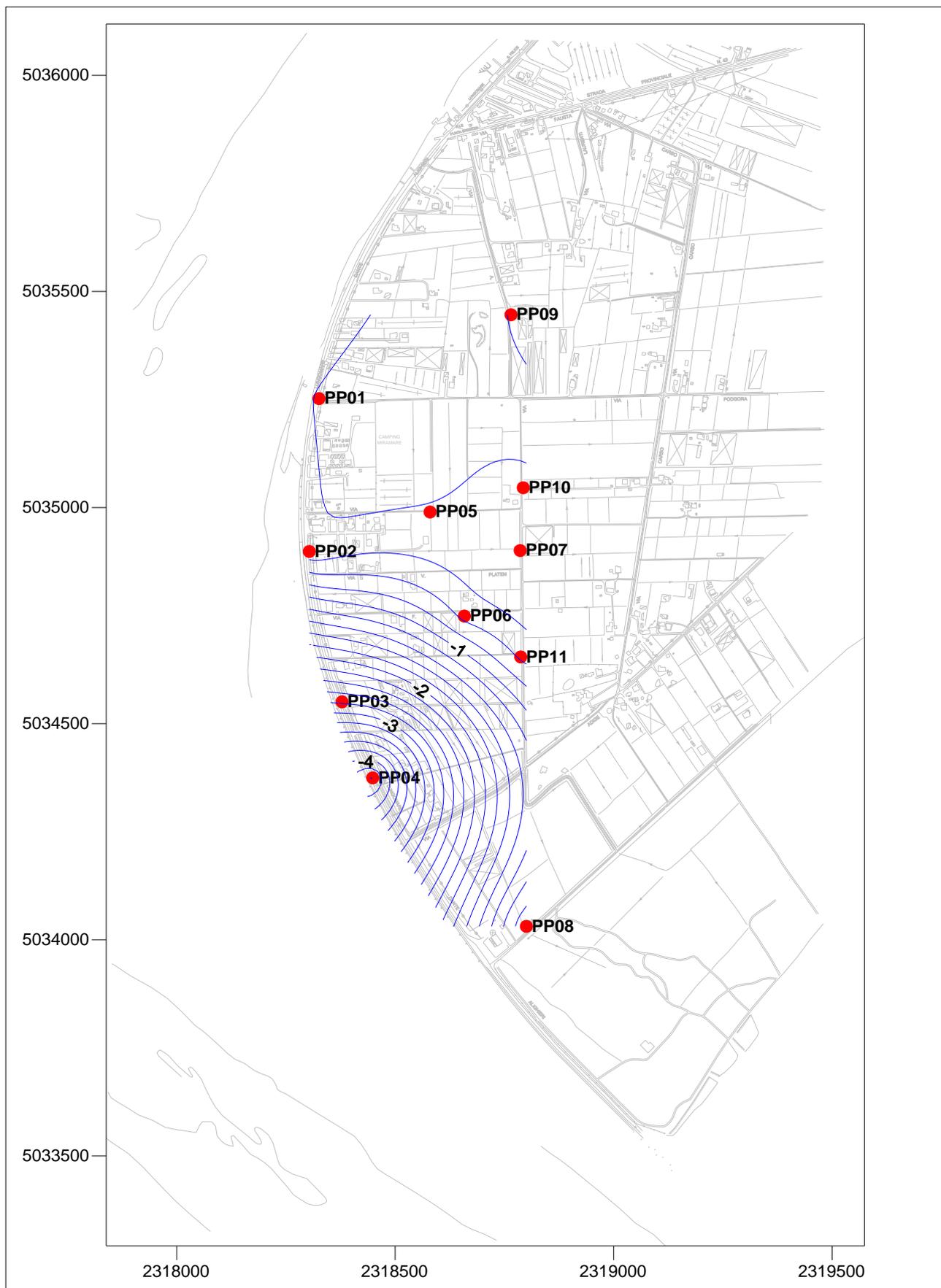


Fig. 5.11 - Piezometria profonda, luglio 2007 ( $h_{ti}$  - m s.l.m.)

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

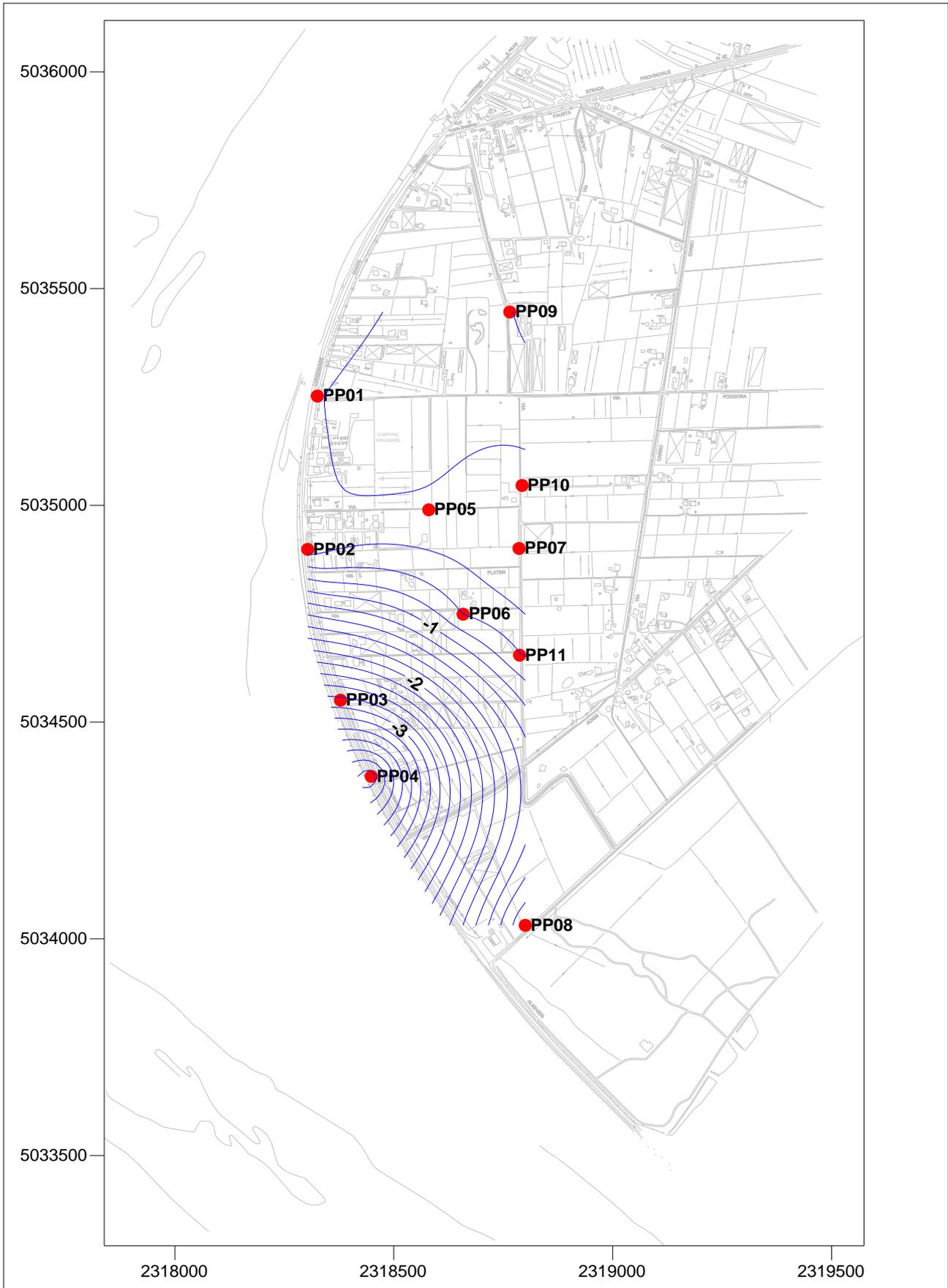


Fig. 5.12 - Piezometria profonda, agosto 2007 ( $h_{fl}$  - m s.l.m.)

## 6. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE

Le soglie identificate nel “Rapporto di Variabilità Attesa” (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:  $h_{it} < h_M - 1$  (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:  $\bar{h}_{it,24} < \bar{h}_{M,24} - 1$  (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:  $h_{it} > z_t$  (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:  $\bar{h}_{it,24} > z_t$  (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	$h_{it} < h_M - 1$			$\bar{h}_{it,24} < \bar{h}_{M,24} - 1$		
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	$h_{it} > z_t$			$\bar{h}_{it,24} > z_t$		
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 è stato verificato il rispetto delle soglie indicate in Tab. 6.1. Nel seguito sono indicati i superamenti:

- La soglia di Alto Livello Istantaneo è stata rispettata per tutti i piezometri superficiali e profondi ad eccezione del PP08 durante l'evento meteorico del 04/05/07, nel quale si è verificata un'infiltrazione di acqua all'interno del pozzetto.
- La soglia di Basso Livello Istantaneo non è stata rispettata nei piezometri profondi PP04 e PP03 durante tutto il periodo monitorato; in occasione dei massimi mareali si registrano superamenti anche nei piezometri superficiali PS03, PS04, PS07, PS10, PS11 e nei piezometri profondi PP02, PP05, PP06, PP07, PP08, PP10 e PP11
- La soglia di Basso Livello Medio non è stata rispettata nei piezometri profondi PP04 e PP03 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.

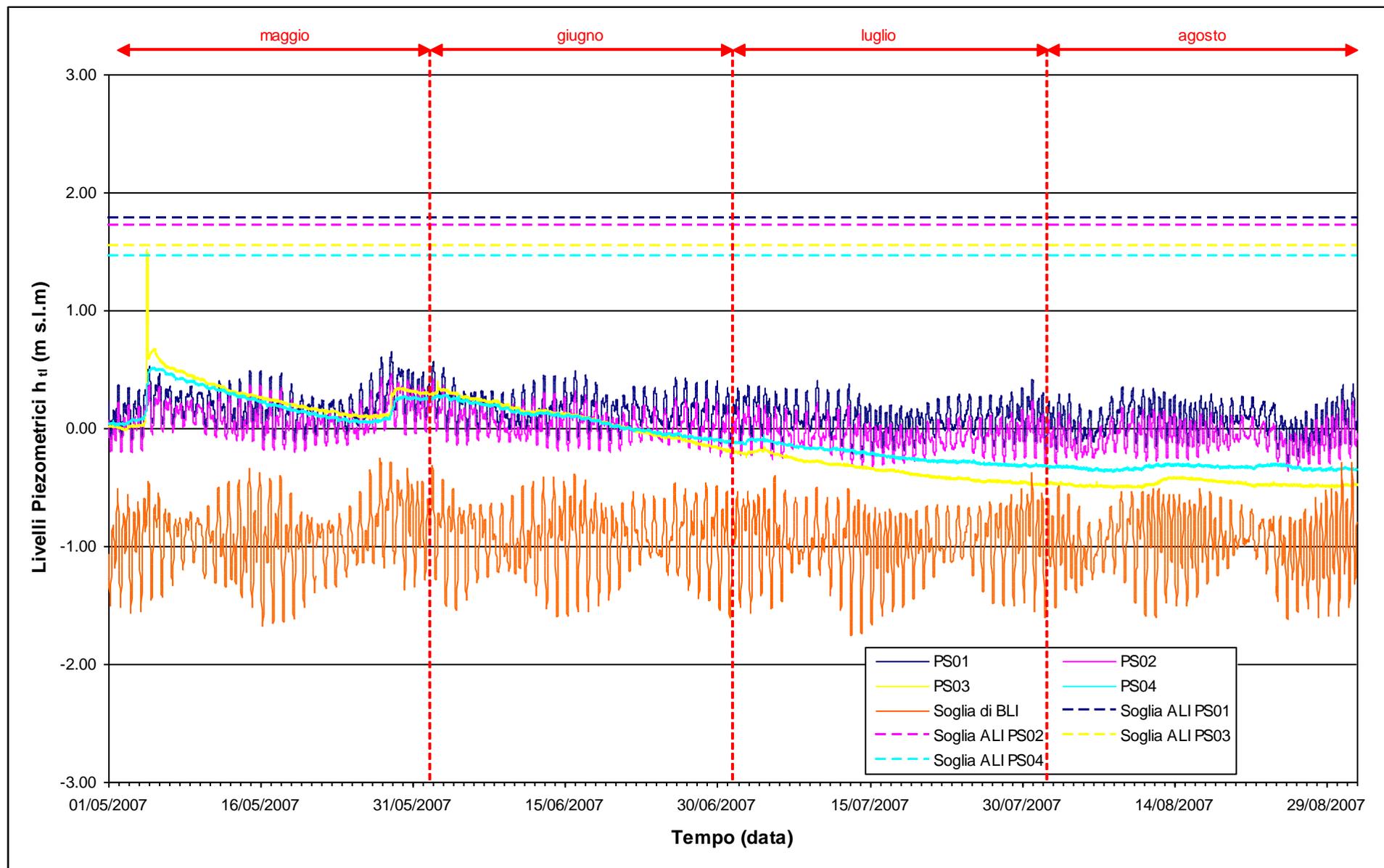


Fig. 6.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS01, PS02, PS03, PS04

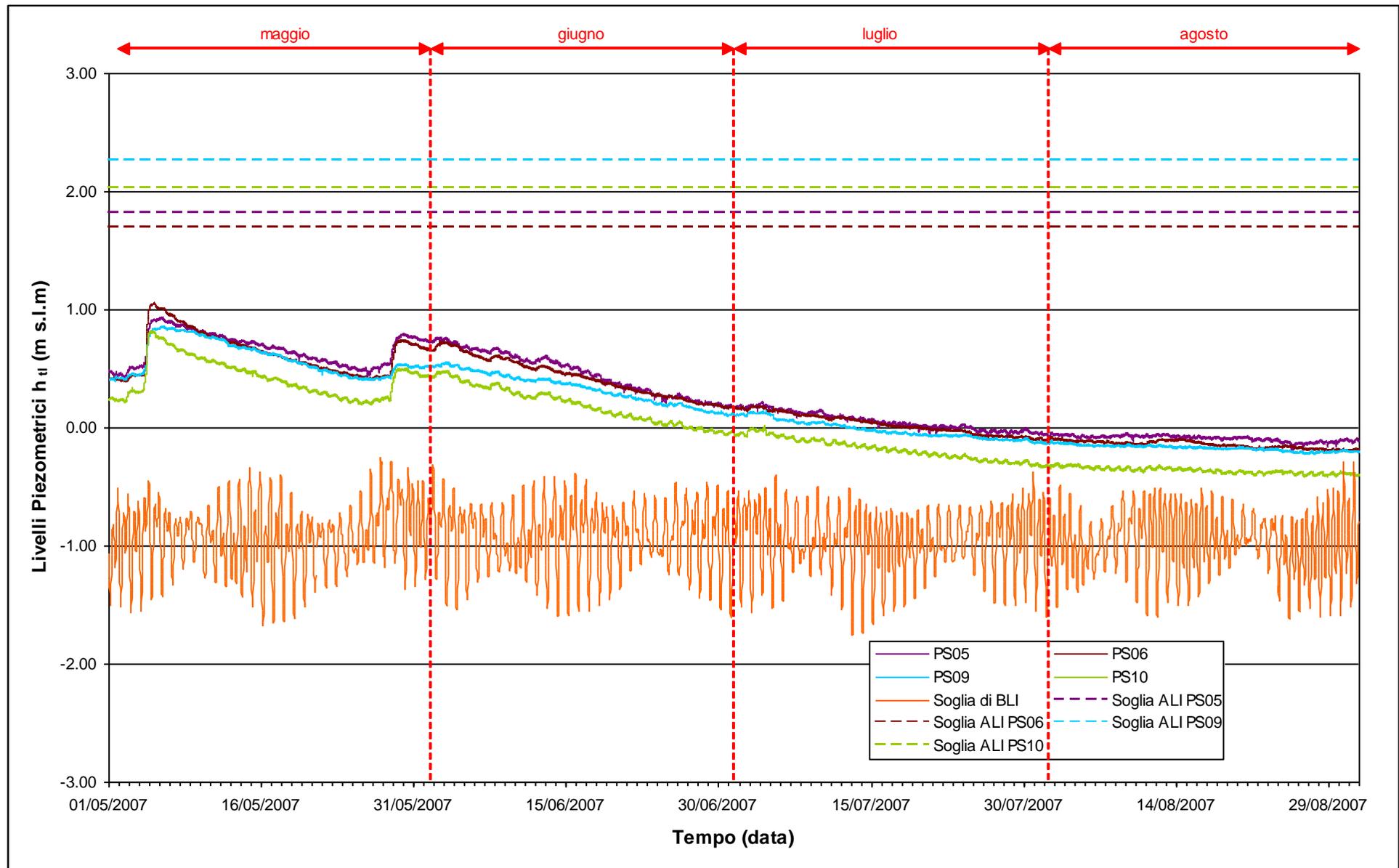


Fig.6.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS05, PS06, PS09, PS10

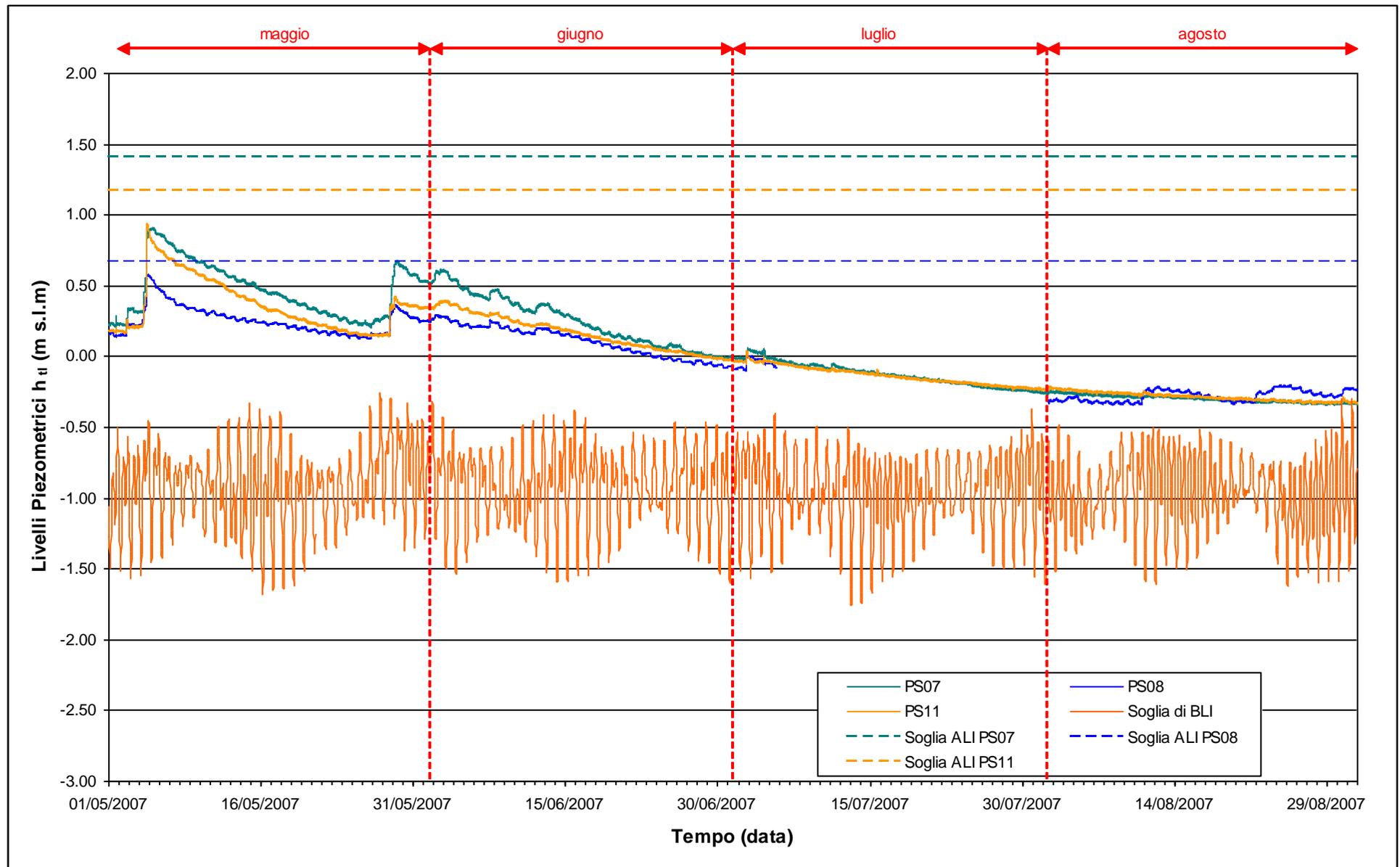


Fig.6.3 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS07, PS08, PS11

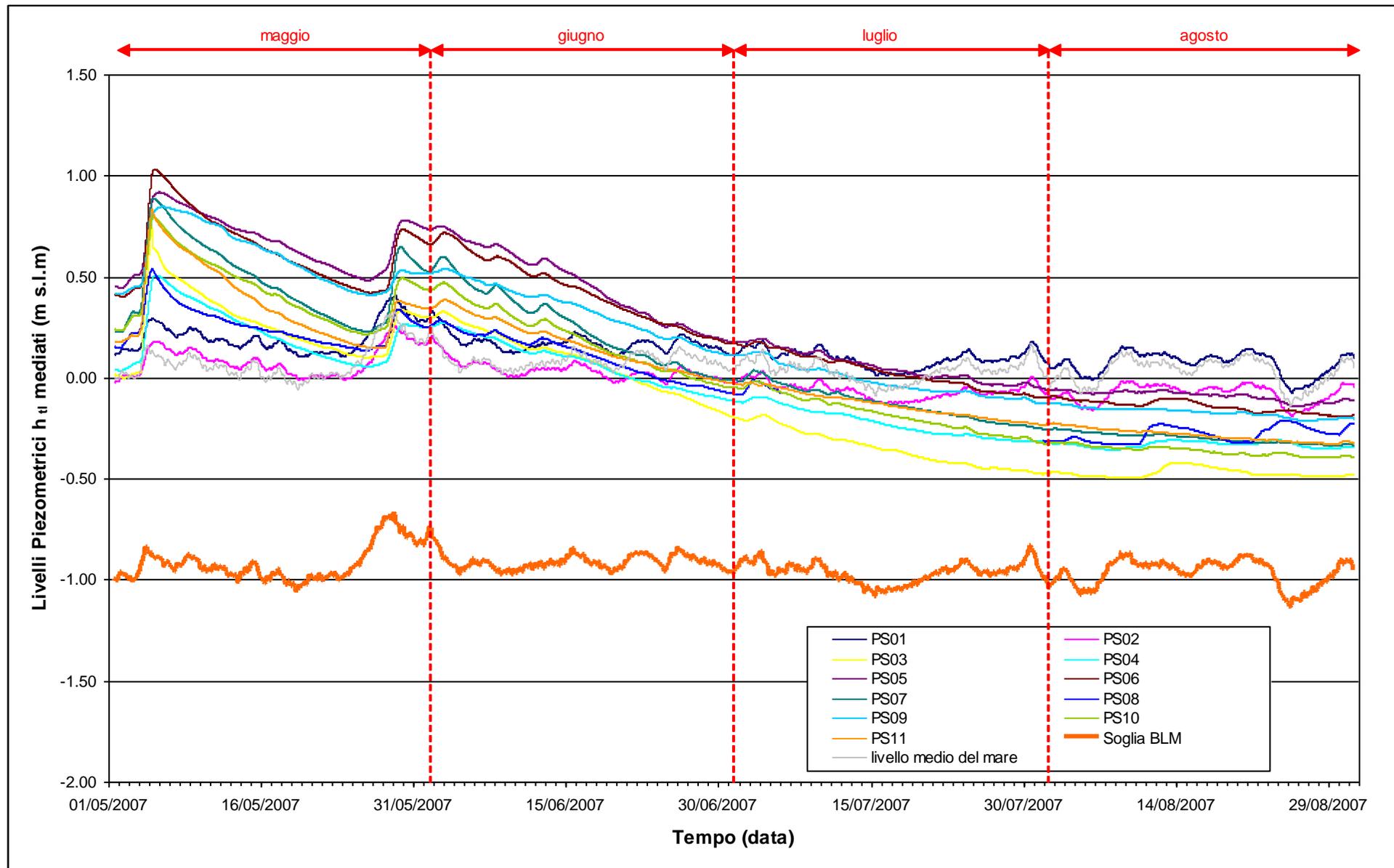


Fig. 6.4 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri superficiali e soglia di Basso Livello Medio

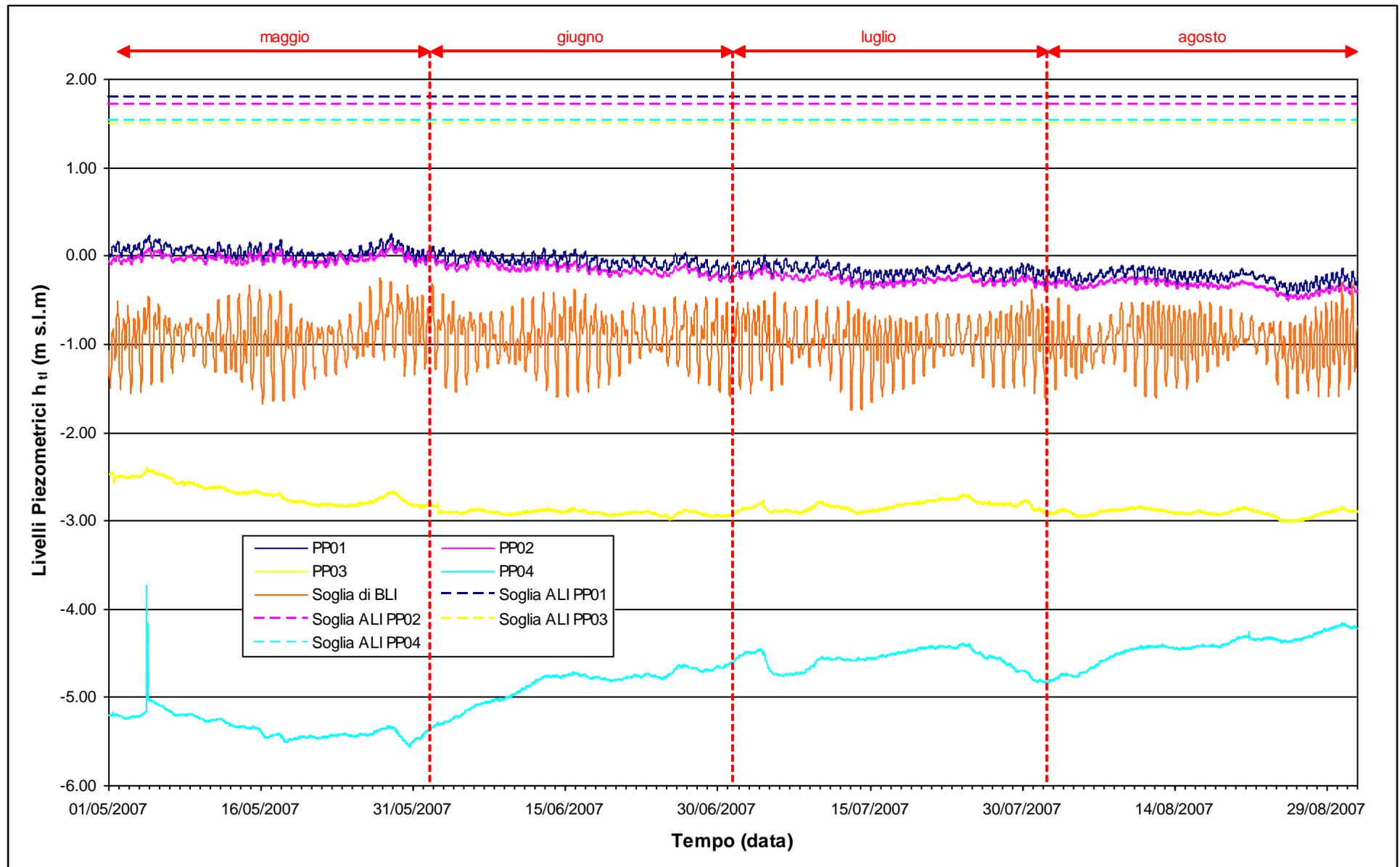


Fig. 6.5 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP04

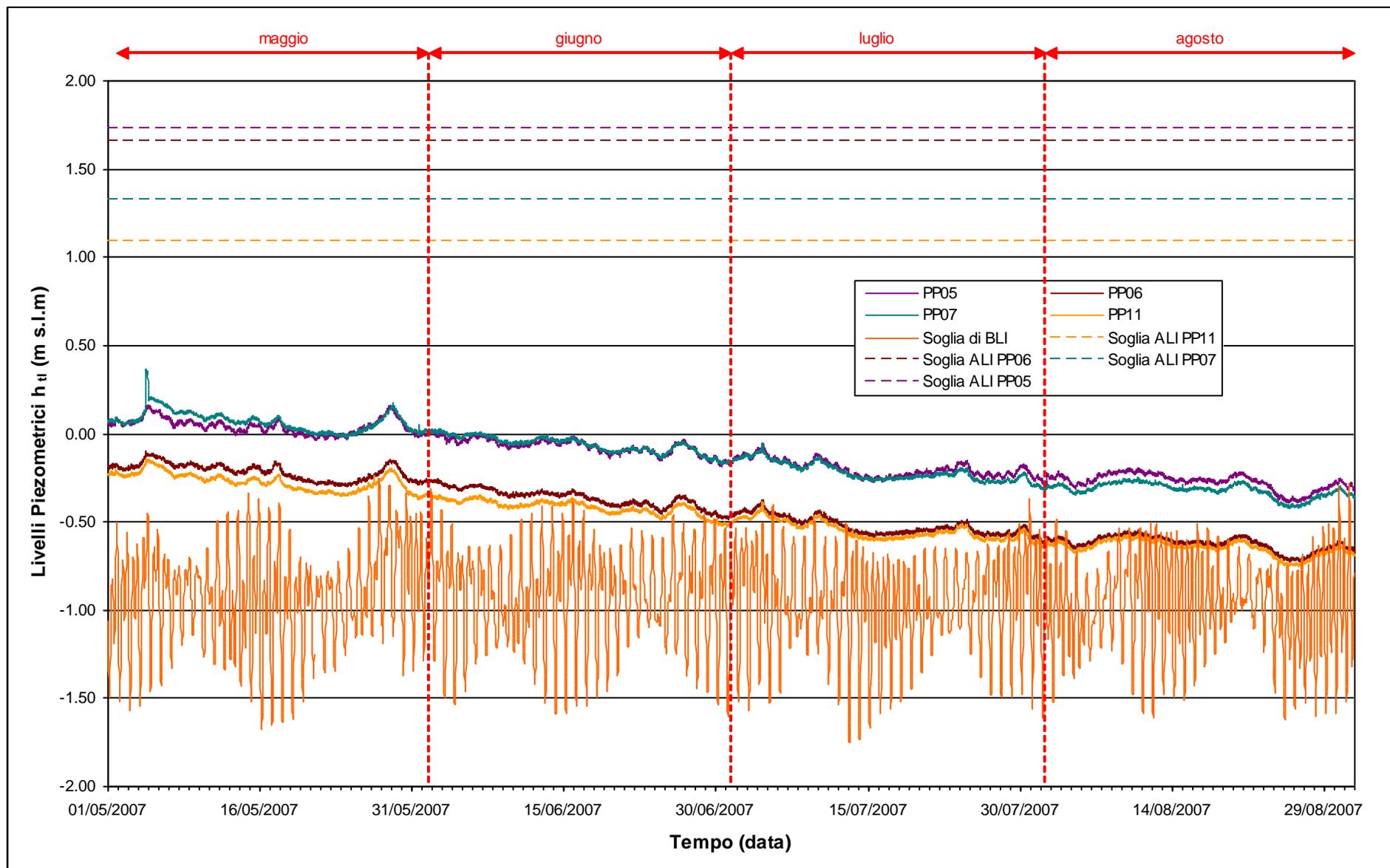


Fig. 6.6 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP11

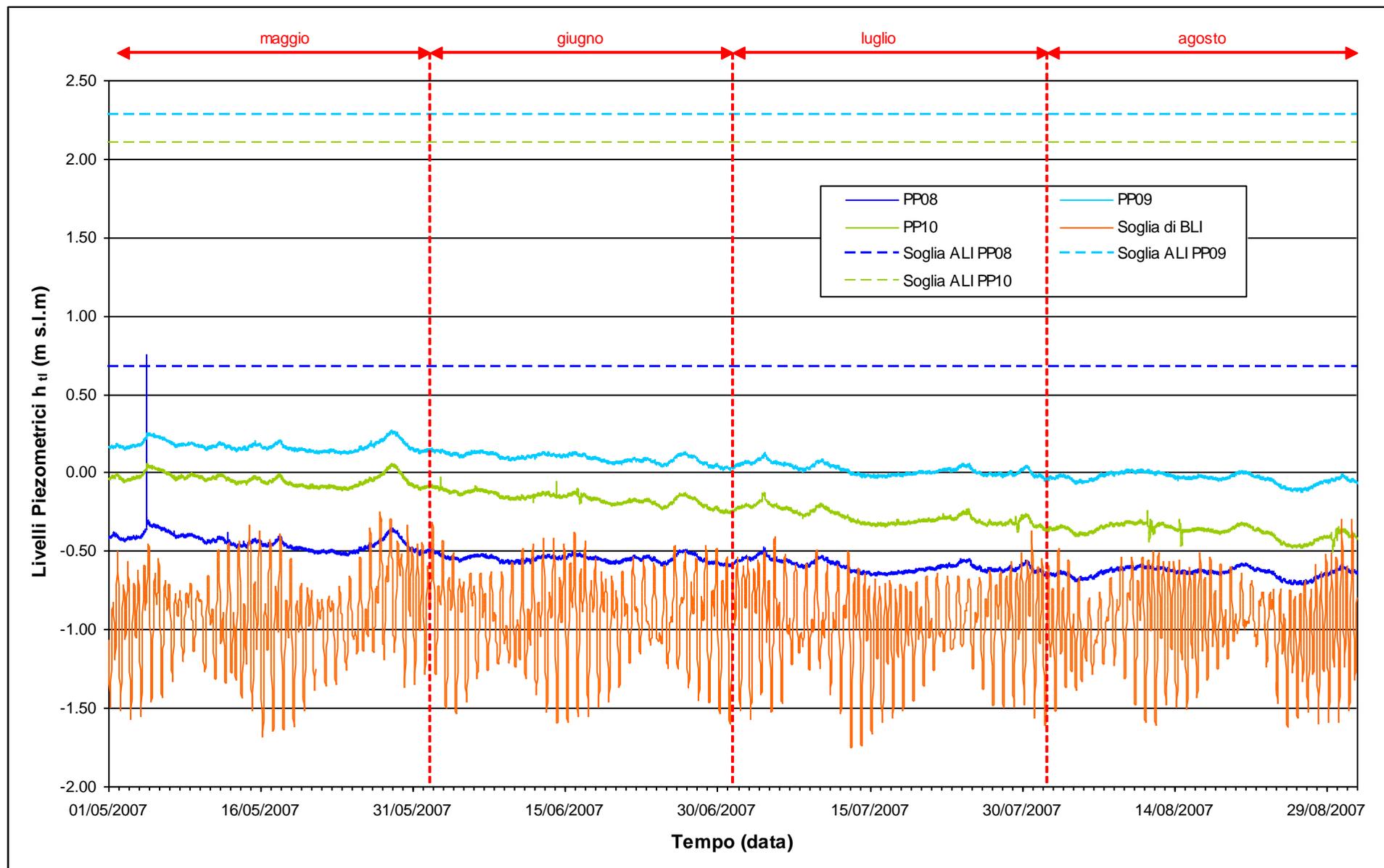


Fig. 6.7 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP08, PP09, PP10

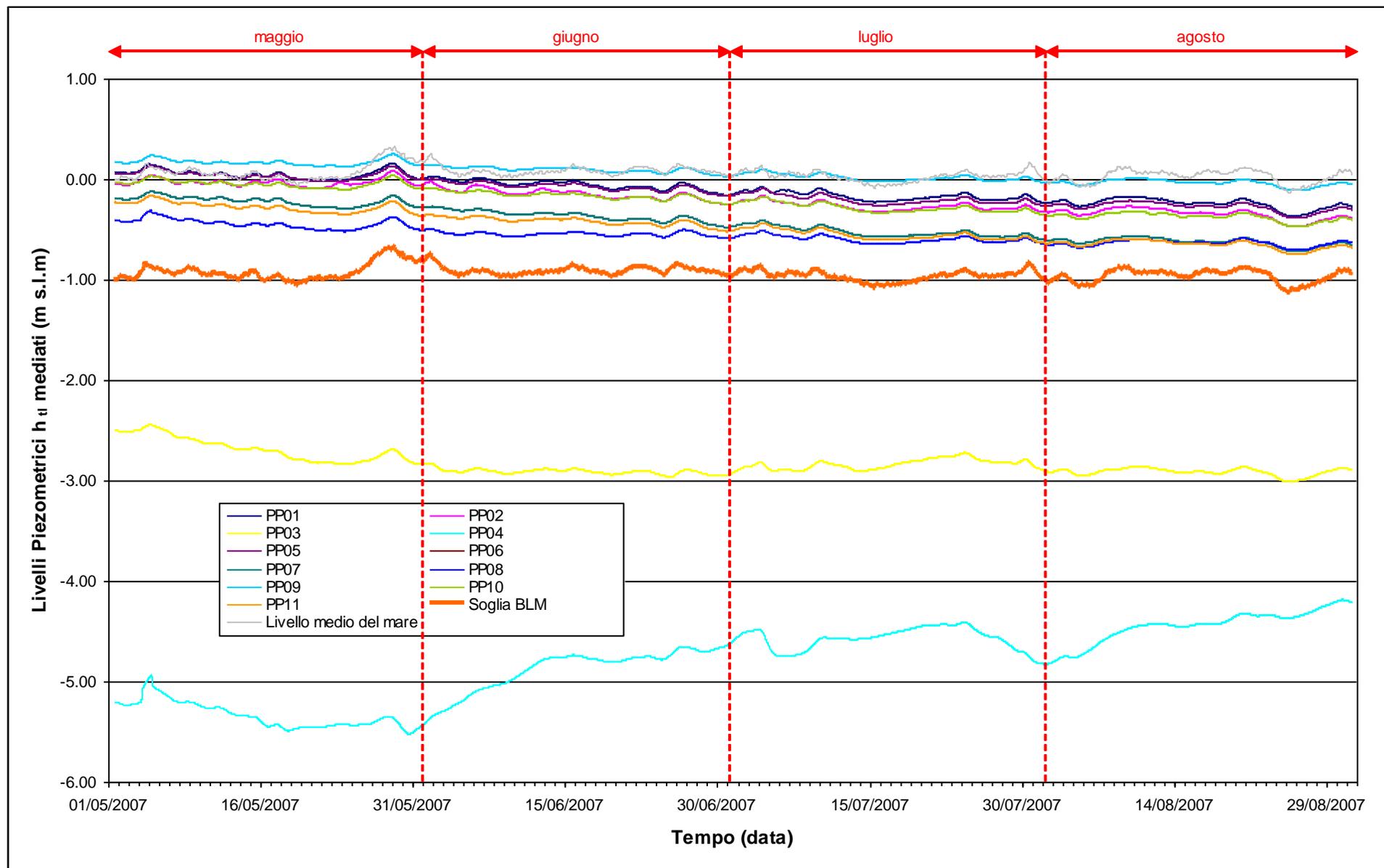


Fig. 6.8 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri profondi e soglia di Basso Livello Medio

## 7. CONCLUSIONI

Nell'ambito del Presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/05/2007 e il 31/08/2007, 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 sono stati registrati considerevoli abbassamenti di livello. Nei mesi di luglio e agosto tutti i piezometri superficiali (escludendo il PS01) si sono mantenuti su livelli inferiori al medio mare. A tale fenomeno, pur causato da peculiarità stagionali quali elevata evapotraspirazione e scarsità di precipitazioni, sembra concorrere (in prossimità dei piezometri PS03 e PS04) anche l'influenza dei pozzi di pompaggio posti nella tura lato mare.

Nell'acquifero profondo sono stati rilevati sensibili abbassamenti di livello in tutti i piezometri monitorati, ad eccezione del PP04. Il recupero di livello all'interno di tale piezometro è probabilmente imputabile alla riduzione della portata emunta in corrispondenza dei pozzi della tura.

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

## 8. INTRODUZIONE

La seconda parte di questo documento descrive l'analisi dei dati derivanti dal periodo di monitoraggio comprendente il periodo 1 maggio 2007 - 31 agosto 2007 relativi alla 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/3 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2007).

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 01/05/2007 e il 31/08/2007.

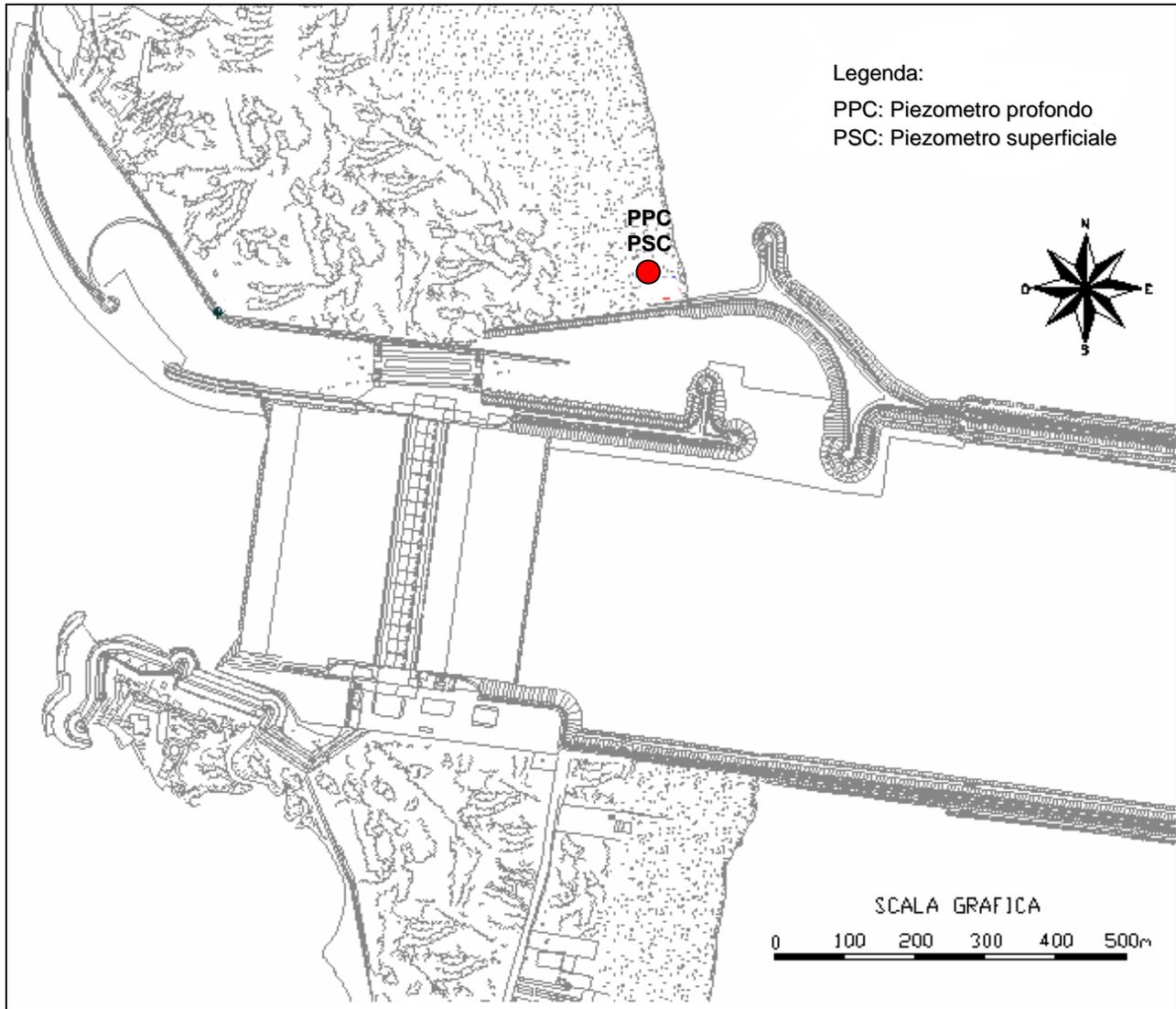


Fig. 9.1 - Ubicazione dei piezometri

## 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", 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 "Ceppè";
- **oscillazioni mareali** registrate dal mareografo Diga Sud Chioggia;
- **pressione atmosferica** registrata dal barologger BC01, installato in corrispondenza piezometro superficiale PSC01.

### 9.2.1 *Precipitazioni*

I dati di precipitazione sono stati acquisiti dalla centralina "Ceppè" situata alla bocca Nord di Malamocco, ad eccezione del periodo di agosto, per il quale sono stati utilizzati i dati provenienti dalla centralina MET3000R. In Fig. 9.2 è riportato l'andamento delle precipitazioni registrate durante il periodo di monitoraggio. La Tab. 9.1 riporta gli eventi piovosi più significativi, caratterizzati da un'altezza di pioggia superiore a 5 mm.

Tab. 9.1- Eventi piovosi significativi verificatesi nel periodo di monitoraggio

DATA	DURATA [h]	ENTITÀ [mm]
02/05/07	2	17.1
04/05/07	11	22.4
27/06/07	3	9.7
10-11/07/07	9	5.1
03/08/07	9	5.2
10-11/08/07	29	15.2
21-22/08/07	16	9.4
23/08/07	7	5.2
30/08/07	2	7.6

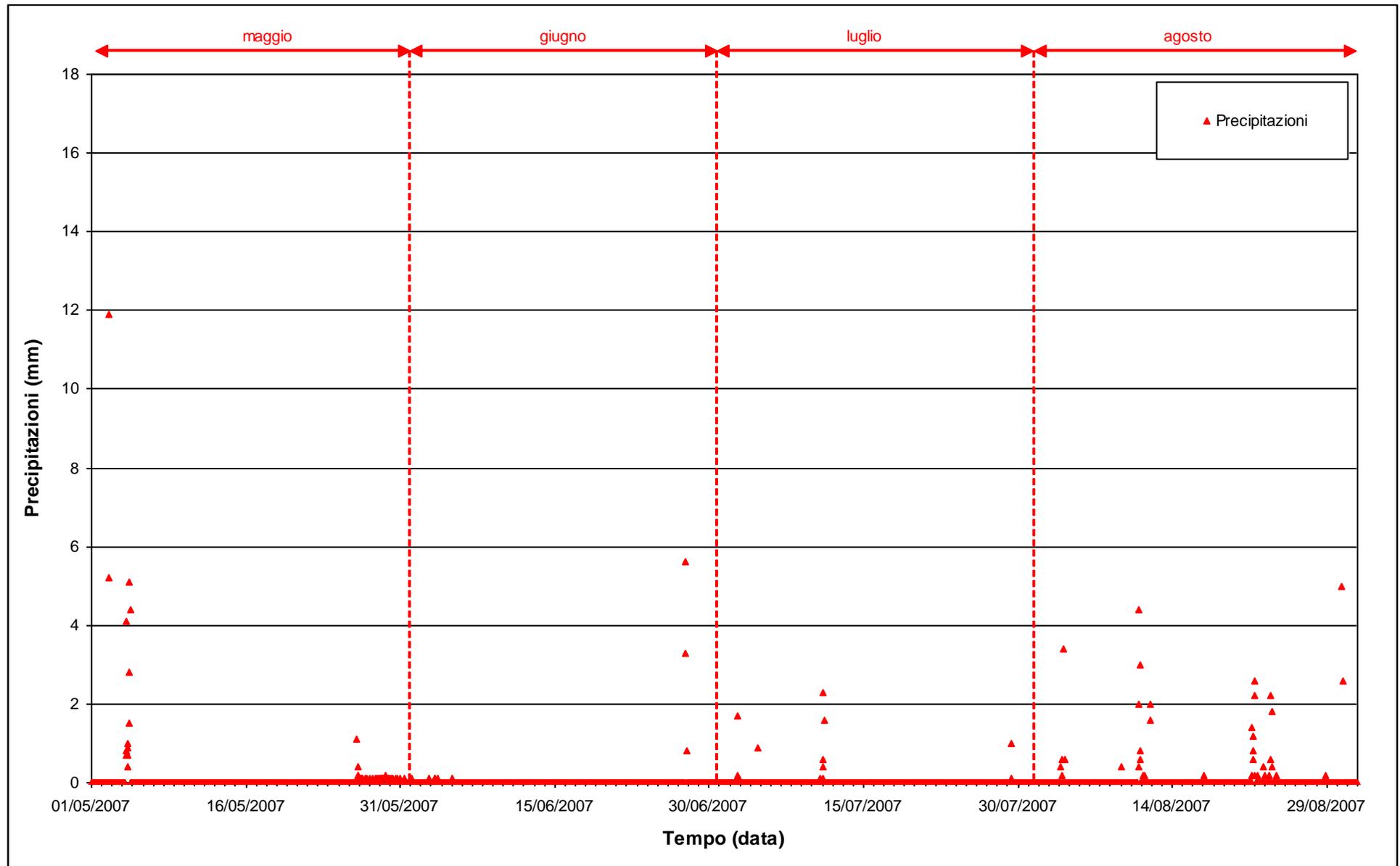


Fig. 9.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio

### 9.2.2 Livello del mare

In Allegato II è riportata la serie temporale relativa ai livelli marini ed in Fig. 9.3 è tracciato l'andamento del livello del mare registrato dal mareografo Diga Sud Chioggia durante il periodo 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.

CORILA

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

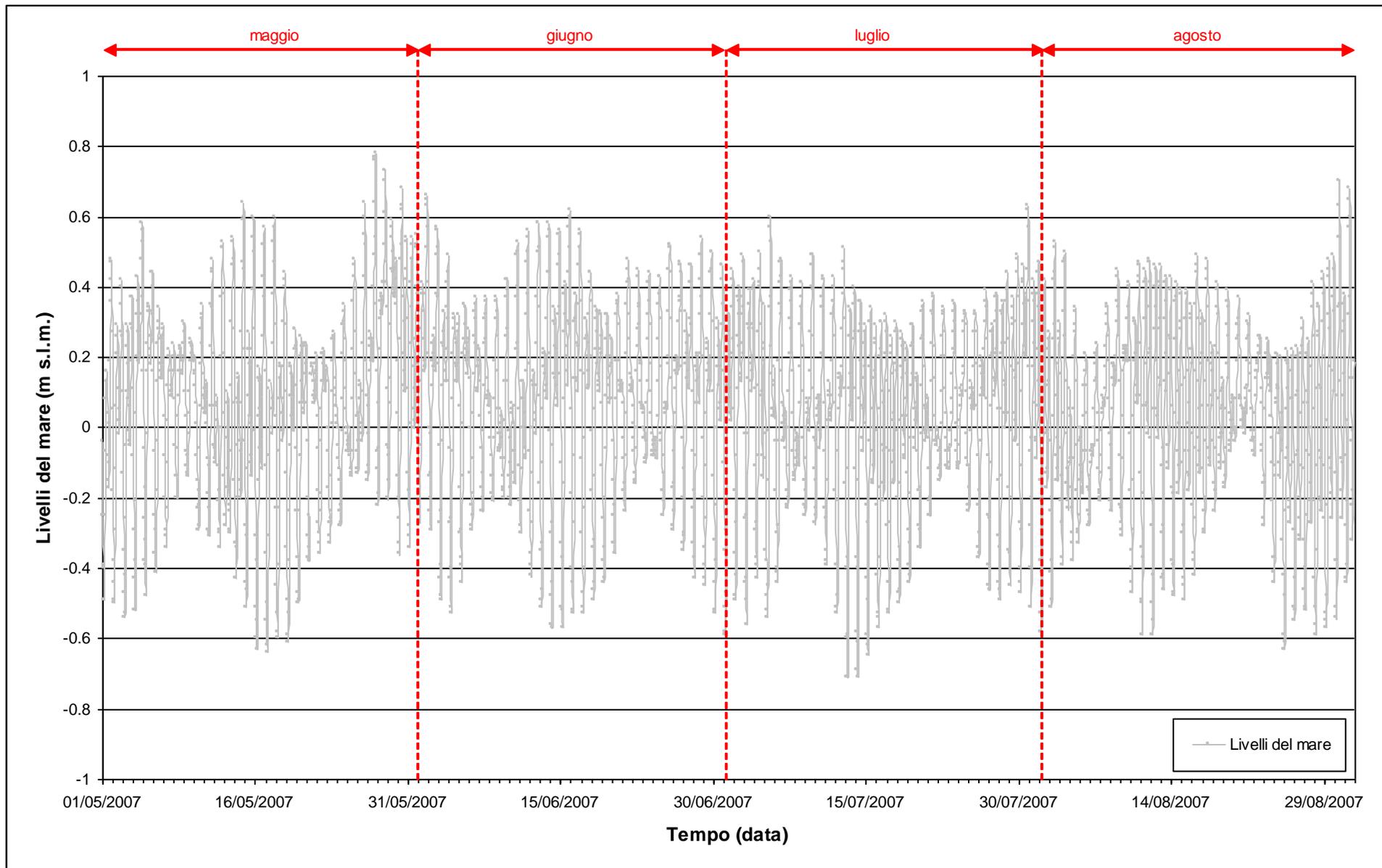
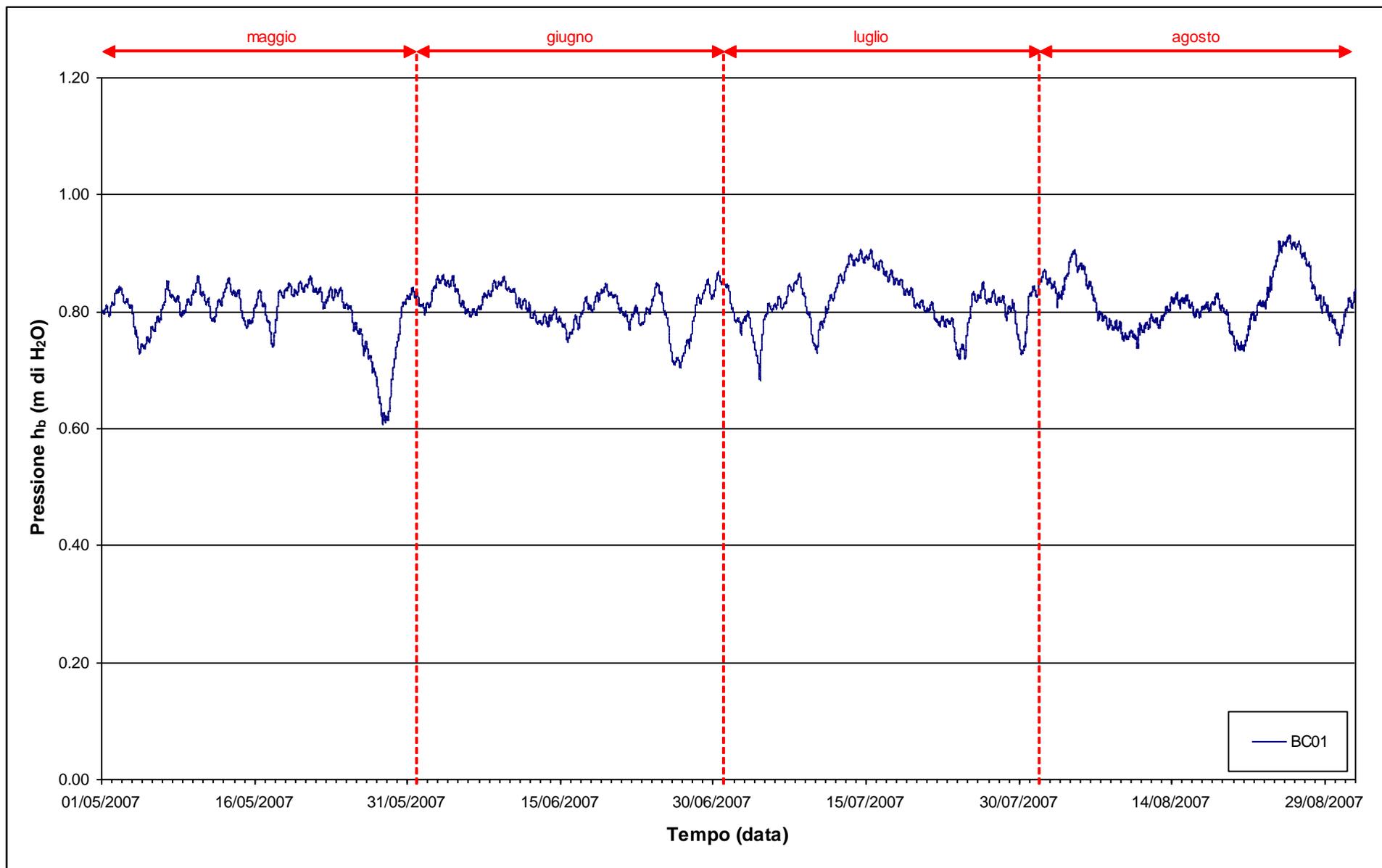


Fig. 9.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia. I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

**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) - $h_{pl}$ (Fase A)**

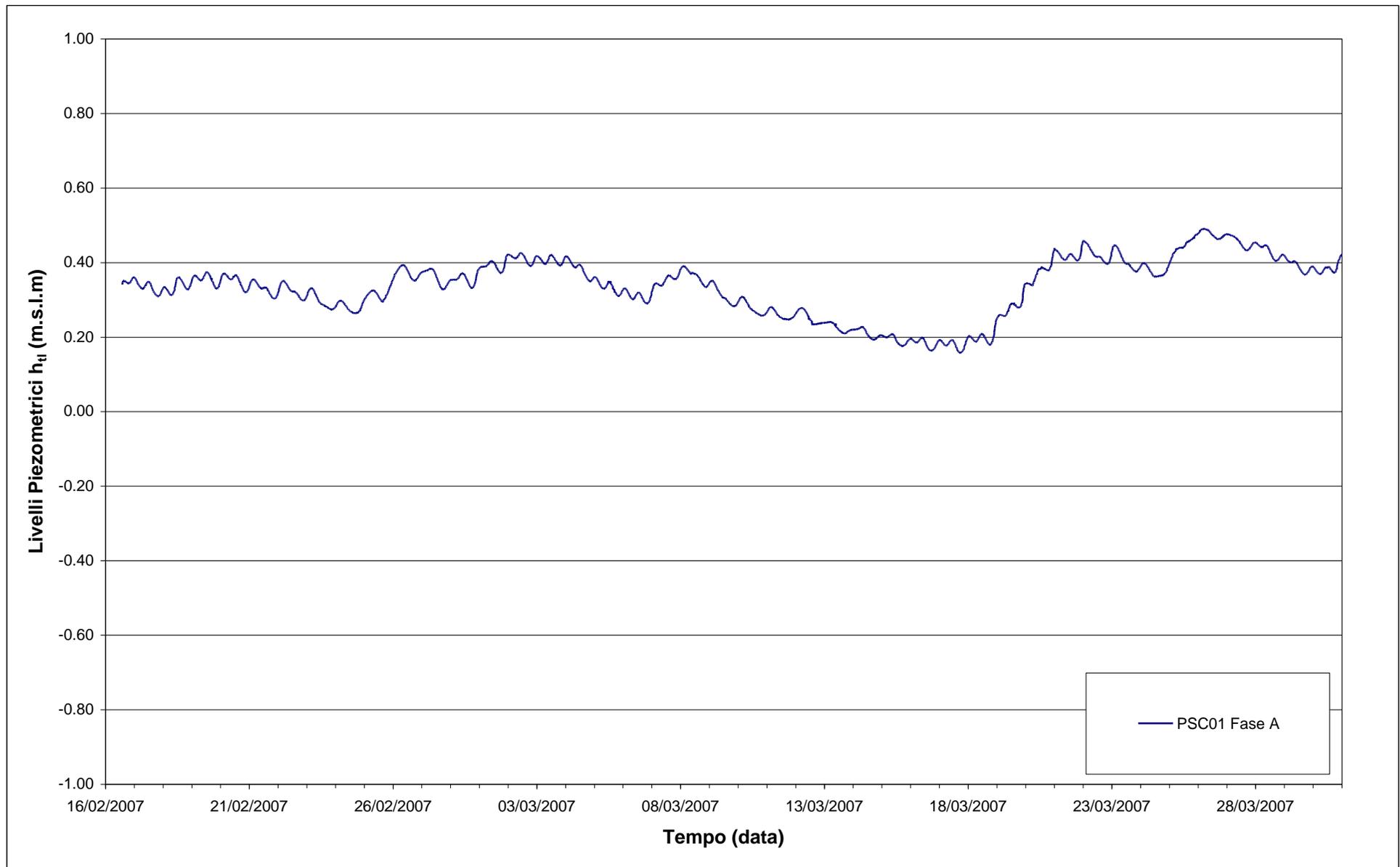
In Fig. 9.5 sono riportati i dati relativi ai livelli del piezometro PSC01 durante la Fase A (febbraio - marzo 2007).

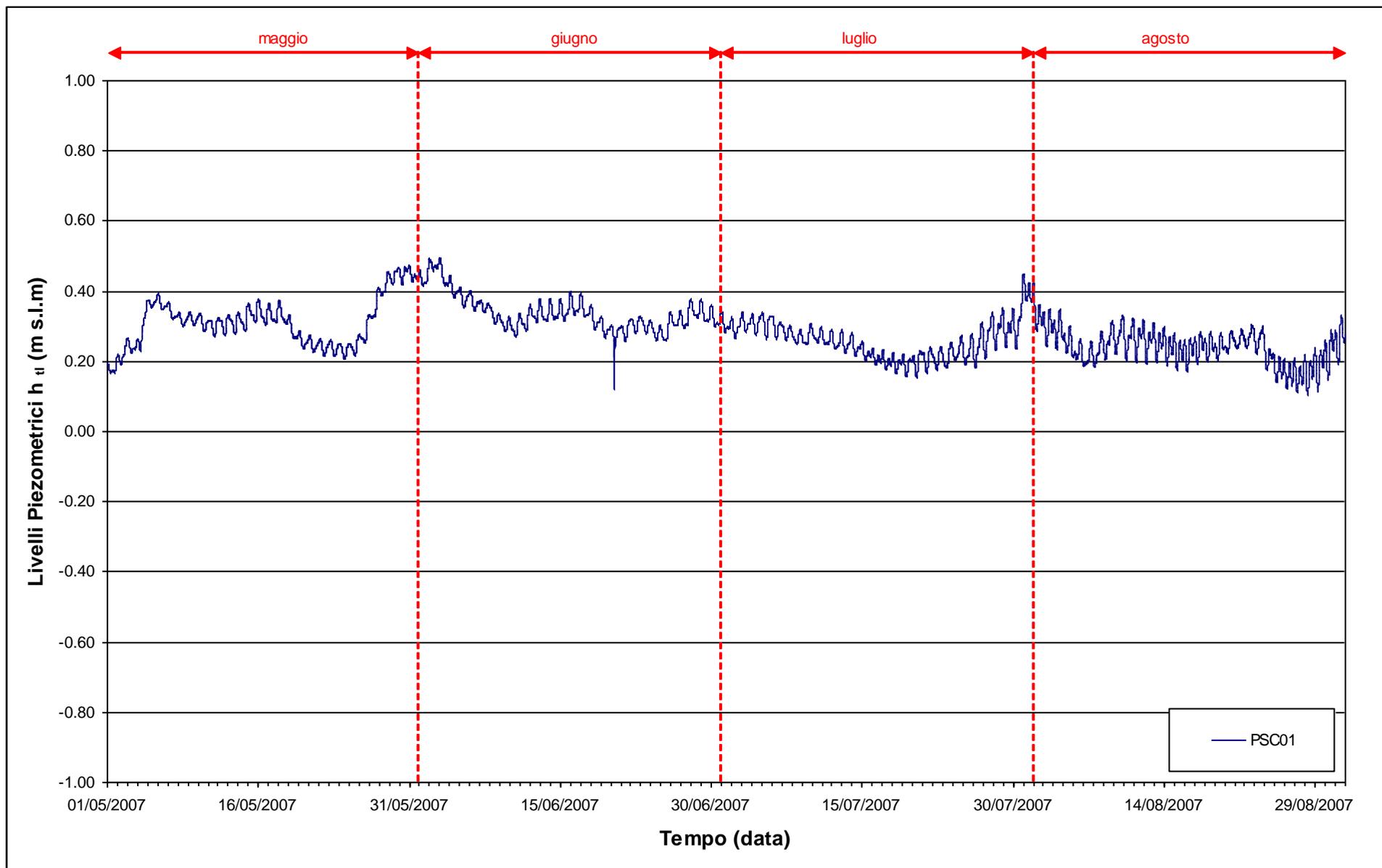
#### **9.3.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$**

I dati riportati in Fig. 9.6 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio di Fase B: 1 maggio 2007 - 31 agosto 2007.

Dall'analisi dei tracciati è possibile osservare come i livelli piezometrici del piezometro superficiale siano correlabili alle differenti forzanti naturali.

Gli abbassamenti di livello registrati il 20 giugno sono attribuibili alle operazioni di campionamento acqua effettuate sui due piezometri dalla ditta SELC per conto di CVN.

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

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

### 9.3.3 Effetti delle oscillazioni mareali

In Fig. 9.7 è possibile confrontare i tracciati di misura del trasduttore posizionato in corrispondenza del piezometro PSC01 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 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 (luna calante e crescente).

Da un'analisi dei dati è possibile notare un deciso smorzamento nella risposta alle variazioni mareali e riscontrare uno sfasamento di circa due ore tra gli estremi delle oscillazioni mareali e quelli delle oscillazioni piezometriche.

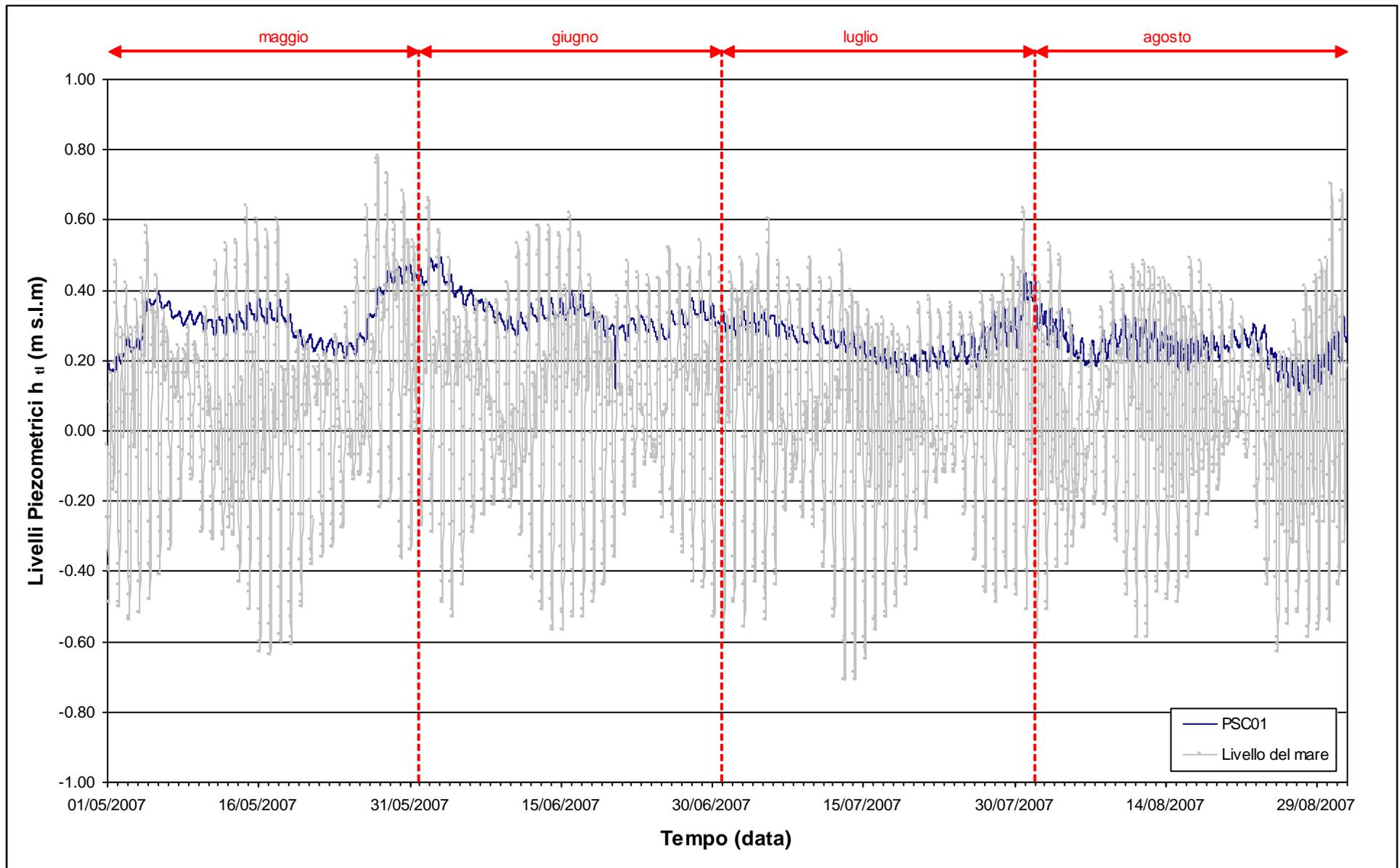


Fig. 9.7 - Livelli piezometrici del piezometro superficiale PSC01 e livelli del mare

#### **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)**

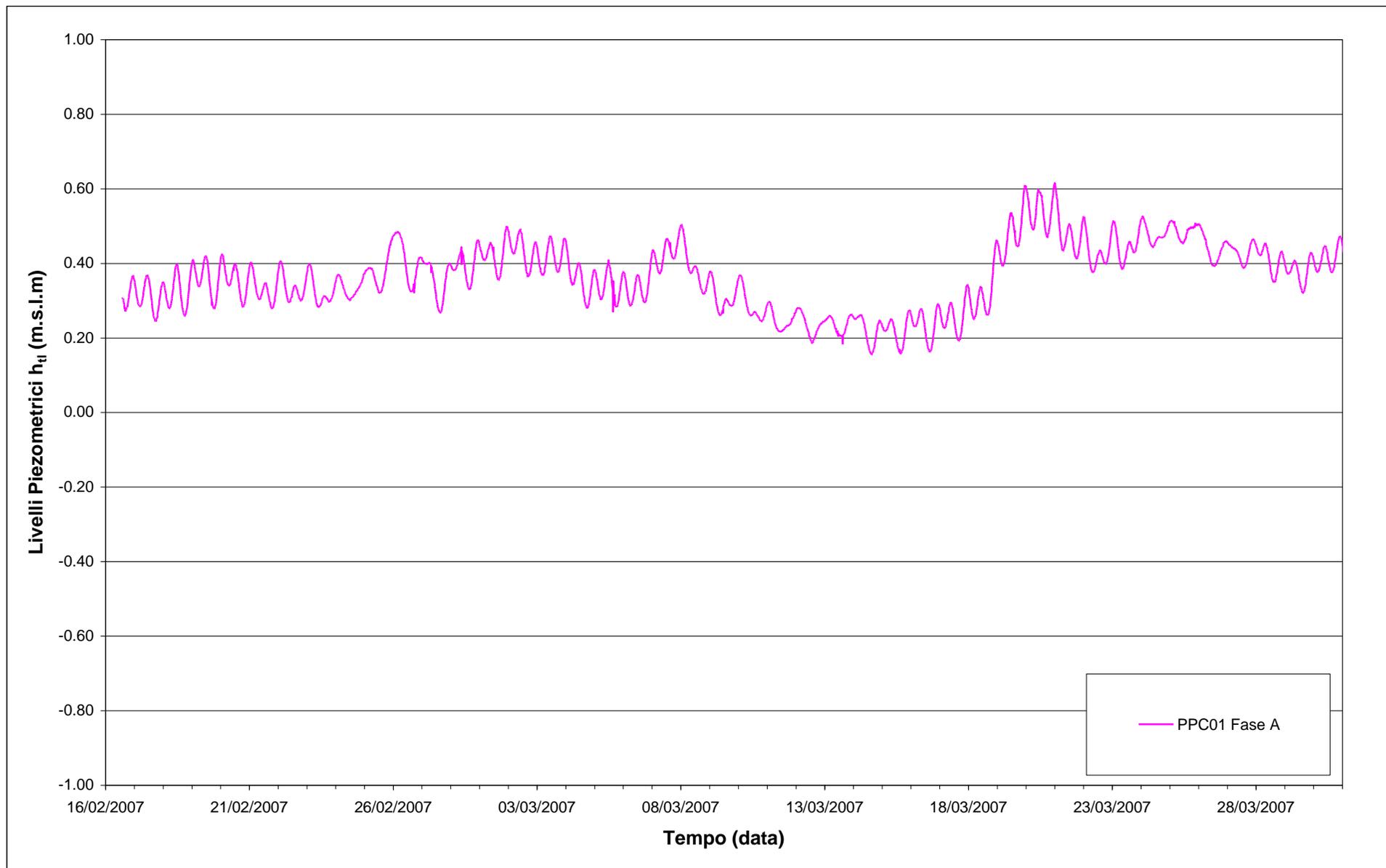
I dati riportati in Fig. 9.8 si riferiscono ai livelli piezometrici assoluti misurati in corrispondenza del piezometro profondo PPC01 nel periodo febbraio - marzo 2007 (Fase A).

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

I dati riportati in Fig. 9.9 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio della Fase B: 1 maggio 2007 - 31 agosto 2007.

Dall'analisi dei tracciati è possibile osservare come il piezometri profondo sia sensibile alle forzanti fisiche naturali.

Gli abbassamenti di livello registrati il 20 giugno sono attribuibili alle operazioni di campionamento acqua effettuate sui due piezometri dalla ditta SELC per conto di CVN.

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

CORILA

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

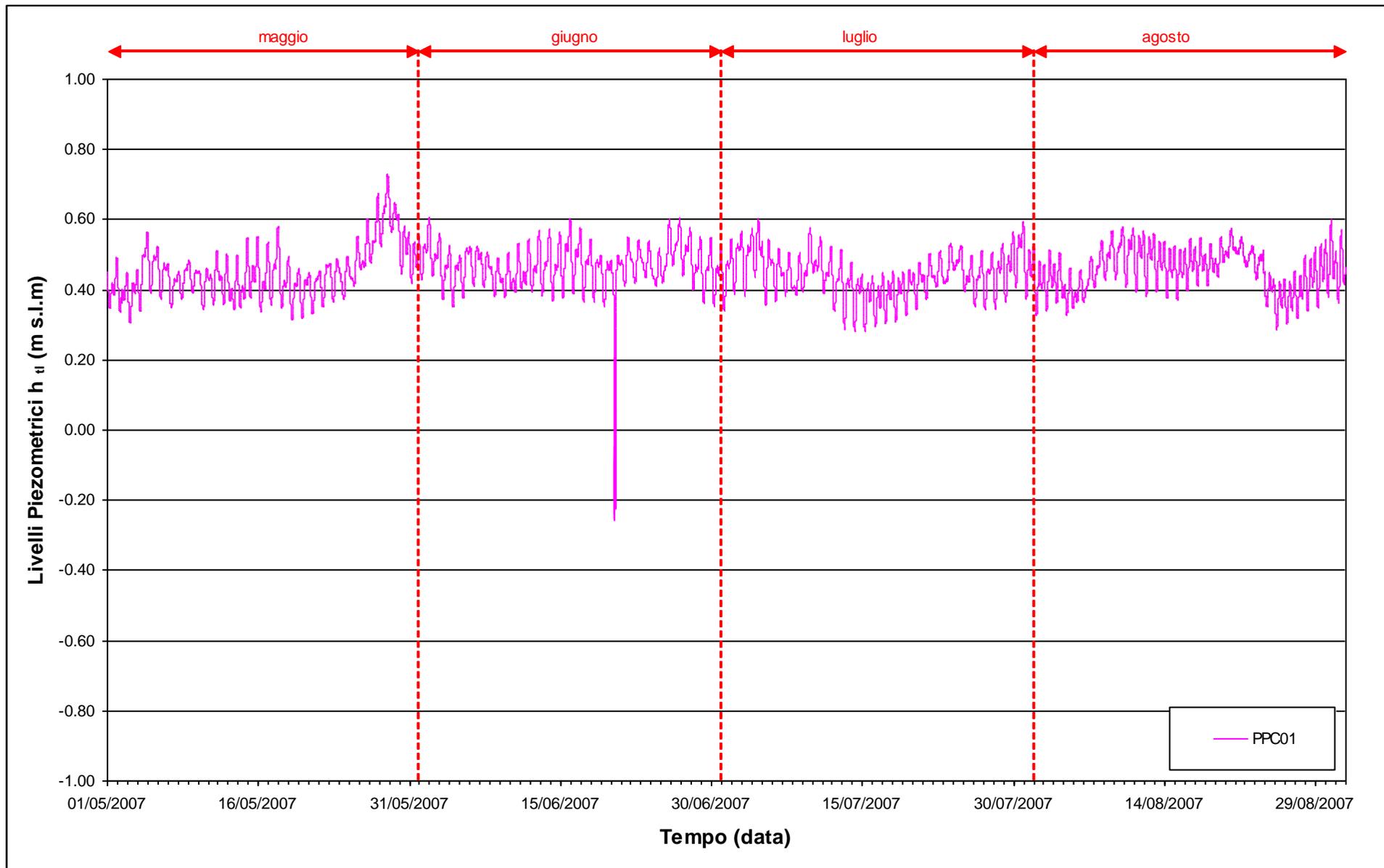


Fig. 9.9 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo

### 9.4.3 *Effetti mareali*

In Fig. 9.10 è possibile confrontare i tracciati di misura del trasduttore posizionato in corrispondenza del piezometro PPC01 e le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia. 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 (luna calante e crescente).

Da un'analisi dei dati è possibile riscontrare uno sfasamento di circa due ore tra le oscillazioni mareali e quelle piezometriche. Diversamente dal acquifero superficiale, l'acquifero profondo risponde alle sollecitazioni sinusoidali con uno smorzamento minore.

CORILA

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

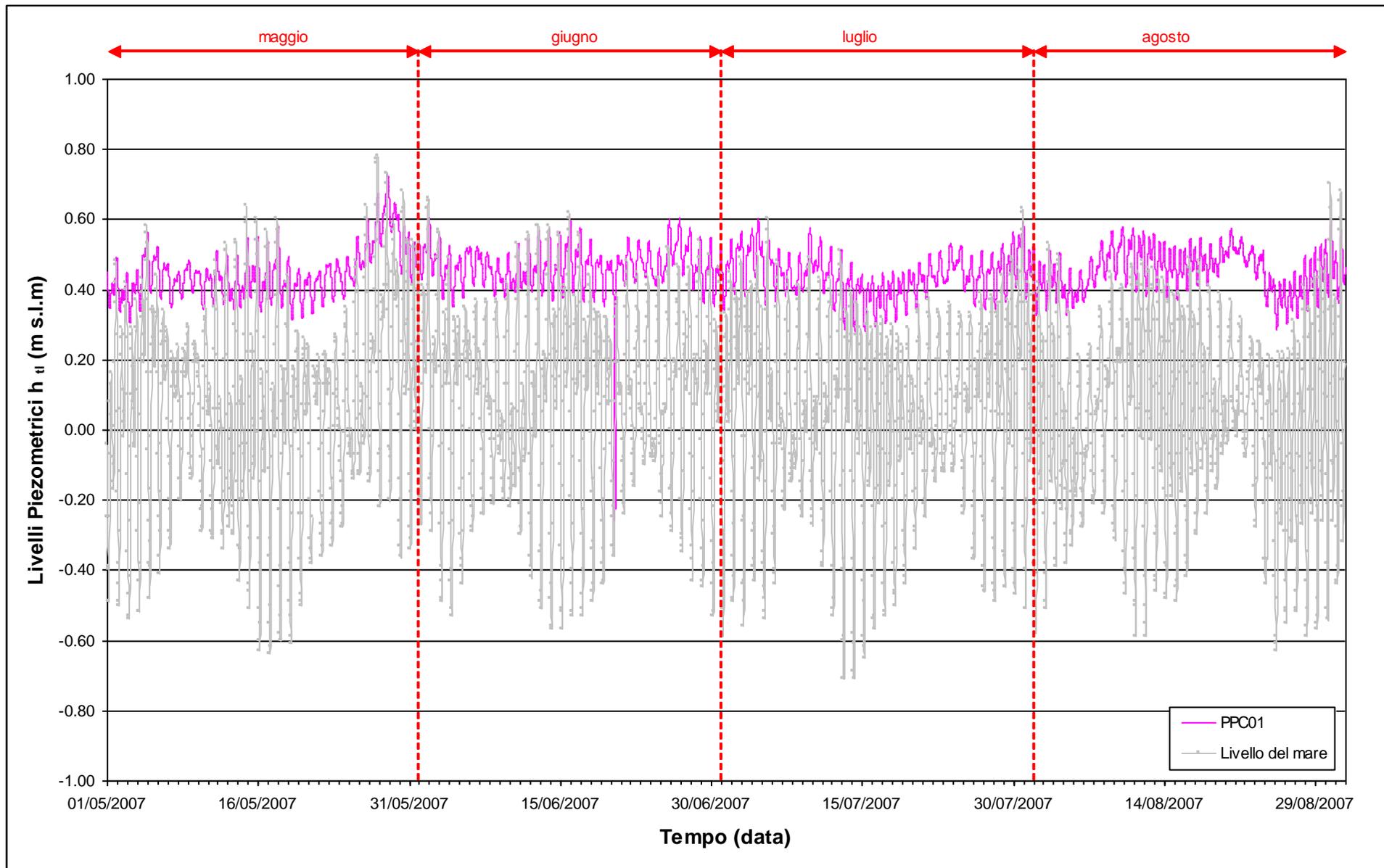


Fig. 9.10 - Livelli piezometrici del piezometro profondo PPC01 e livelli del mare

## **10. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE**

Nel corso dei sopralluoghi mensili effettuati durante il periodo 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, novembre 2006 - febbraio 2007, 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 omogenea di densità lungo la verticale, mentre il piezometro superficiale manifesta un incremento mediamente costante lungo tutta la profondità.

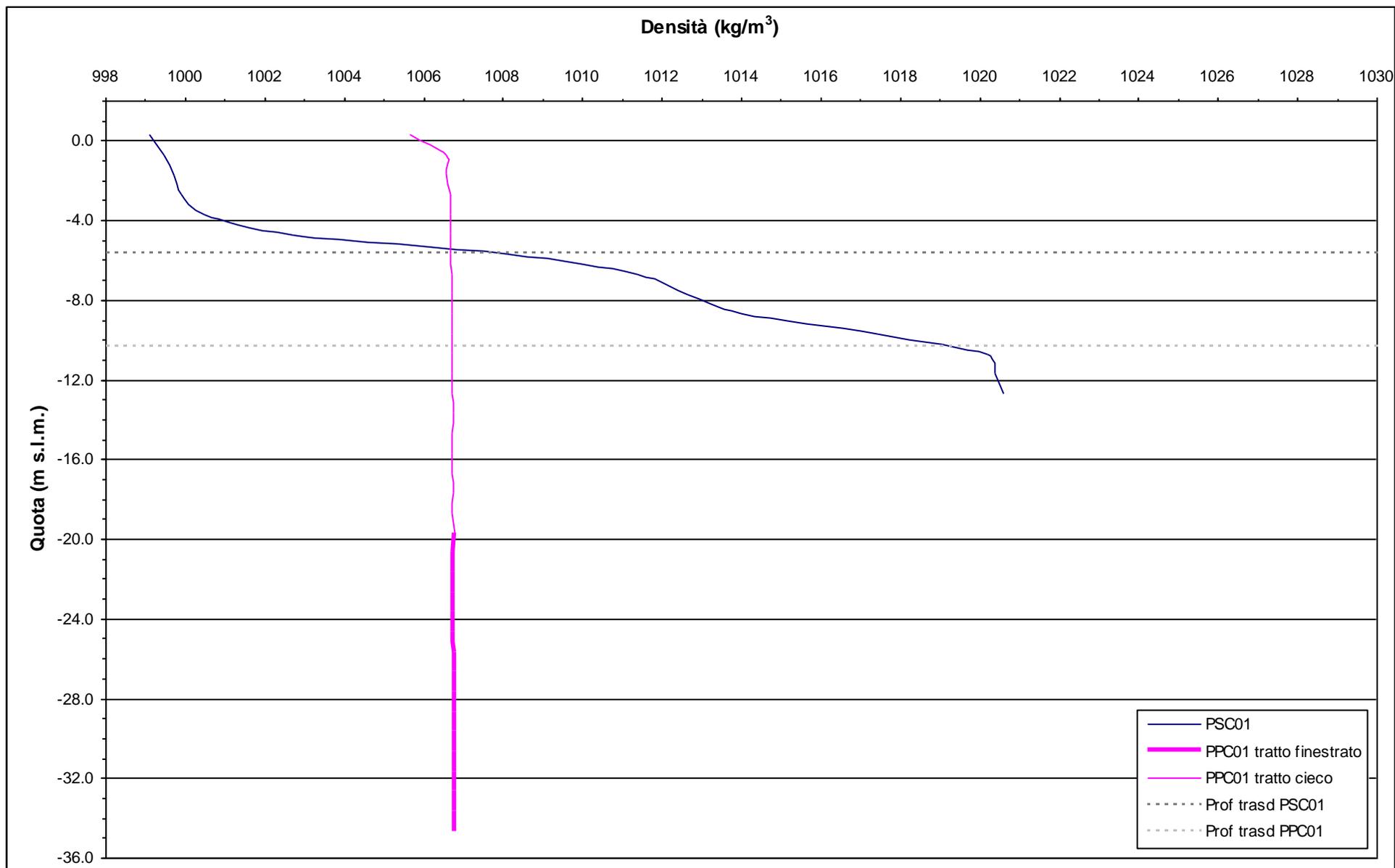


Fig. 11.1 Profili verticali di densità, 3 giugno 2007

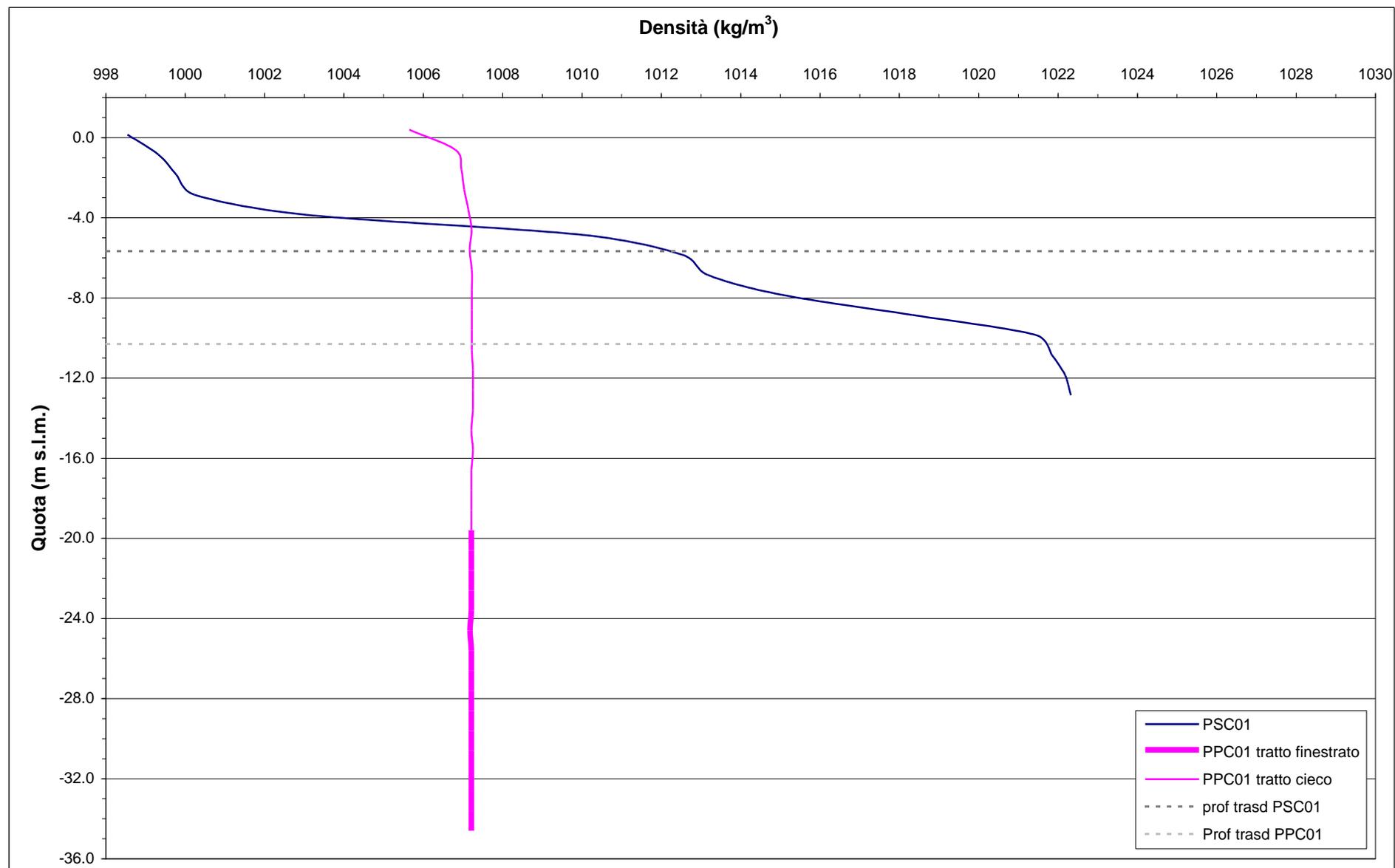


Fig. 11.2.- Profili verticali di densità, 5 luglio 2007

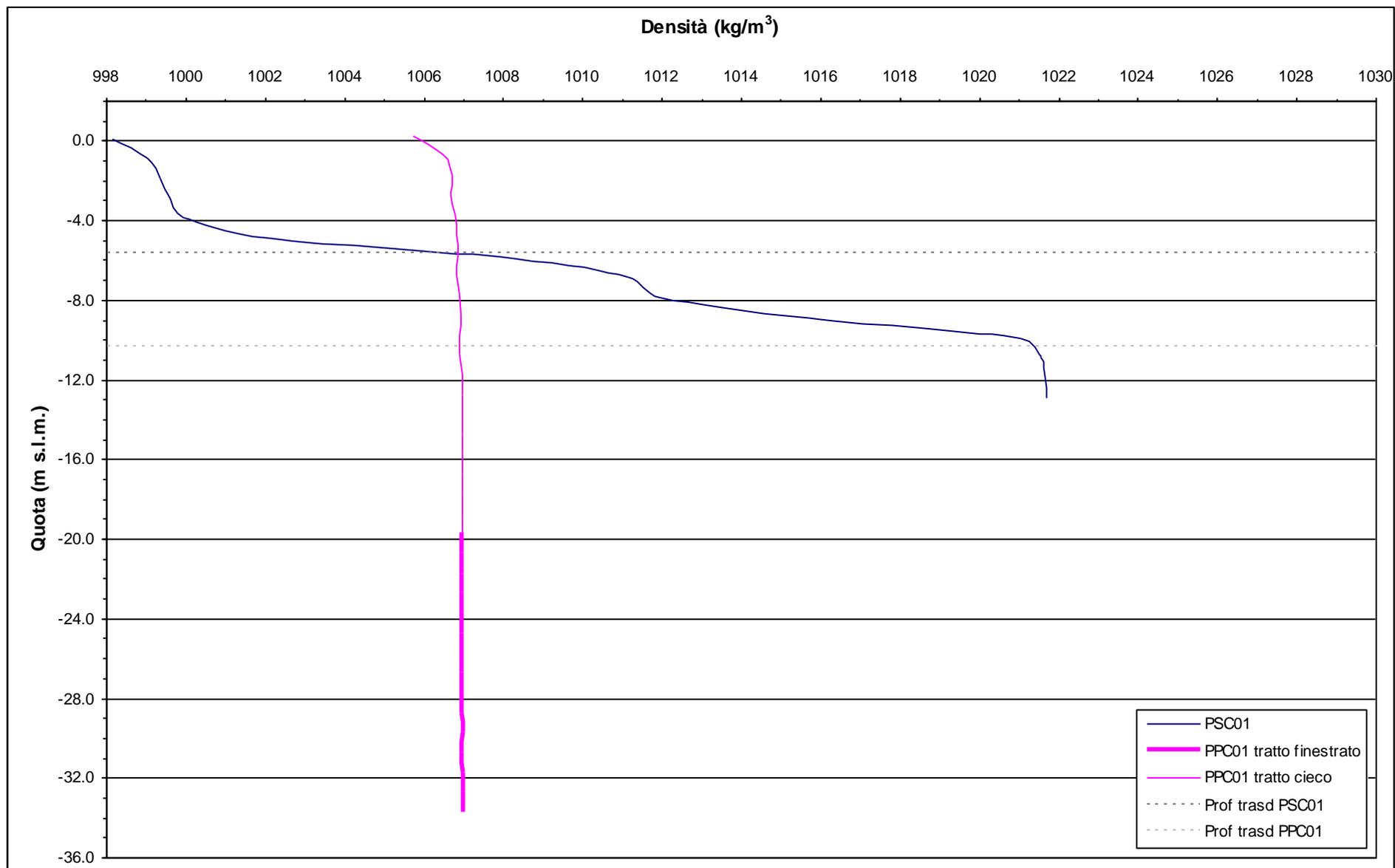


Fig. 11.3.- Profili verticali di densità, 2 agosto 2007

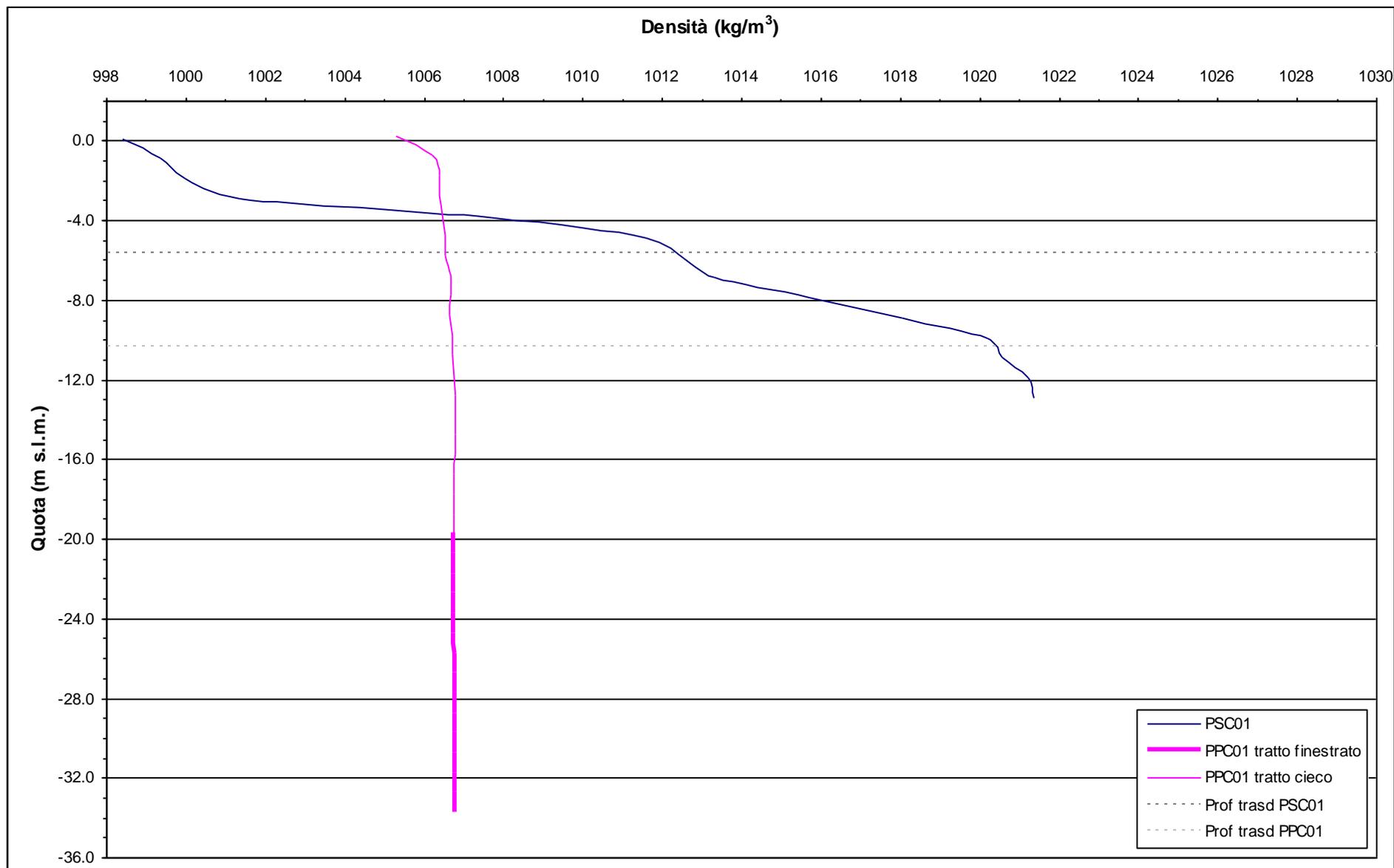


Fig. 11.4.- Profili verticali di densità, 2 settembre 2007

## 12. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE

Le soglie identificate nel “Rapporto di Variabilità Attesa Ca’ Roman - Chioggia” (Studio B.6.72 B/2) 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:  $h_{it} < h_M - 1$  (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:  $\bar{h}_{it,24} < \bar{h}_{M,24} - 1$  (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:  $h_{it} > z_t$  (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:  $\bar{h}_{it,24} > z_t$  (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	$h_{it} < h_M - 1$			$\bar{h}_{it,24} < \bar{h}_{M,24} - 1$		
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	$h_{it} > z_t$			$\bar{h}_{it,24} > z_t$		
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 è stato verificato il rispetto di tutte le soglie indicate nella tabella precedente. Come appare nelle Figg. 12.1 e 12.2, durante tutto il periodo non è stato rilevato alcun superamento.

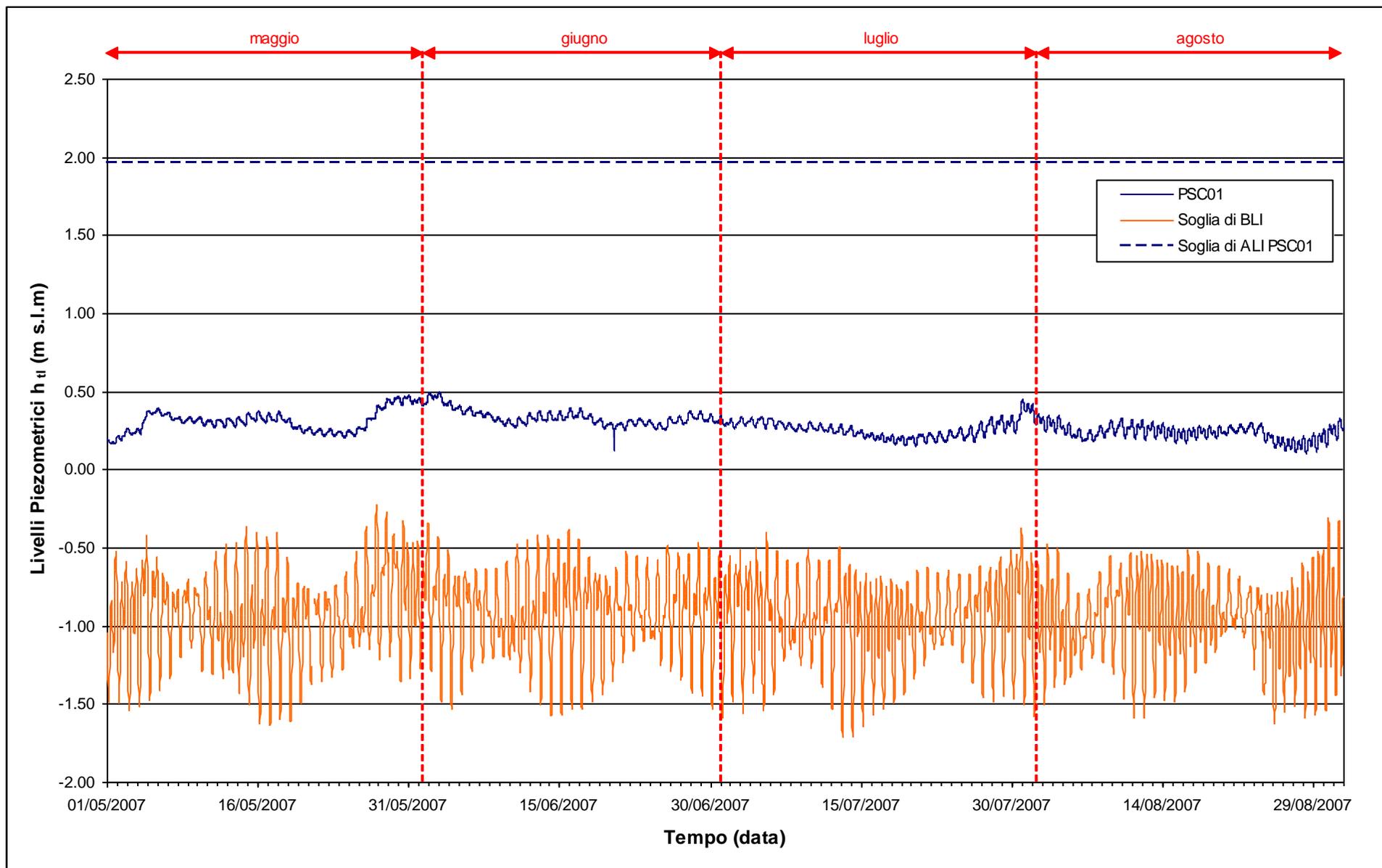


Fig. 12.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro superficiale PSC01

## CORILA

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

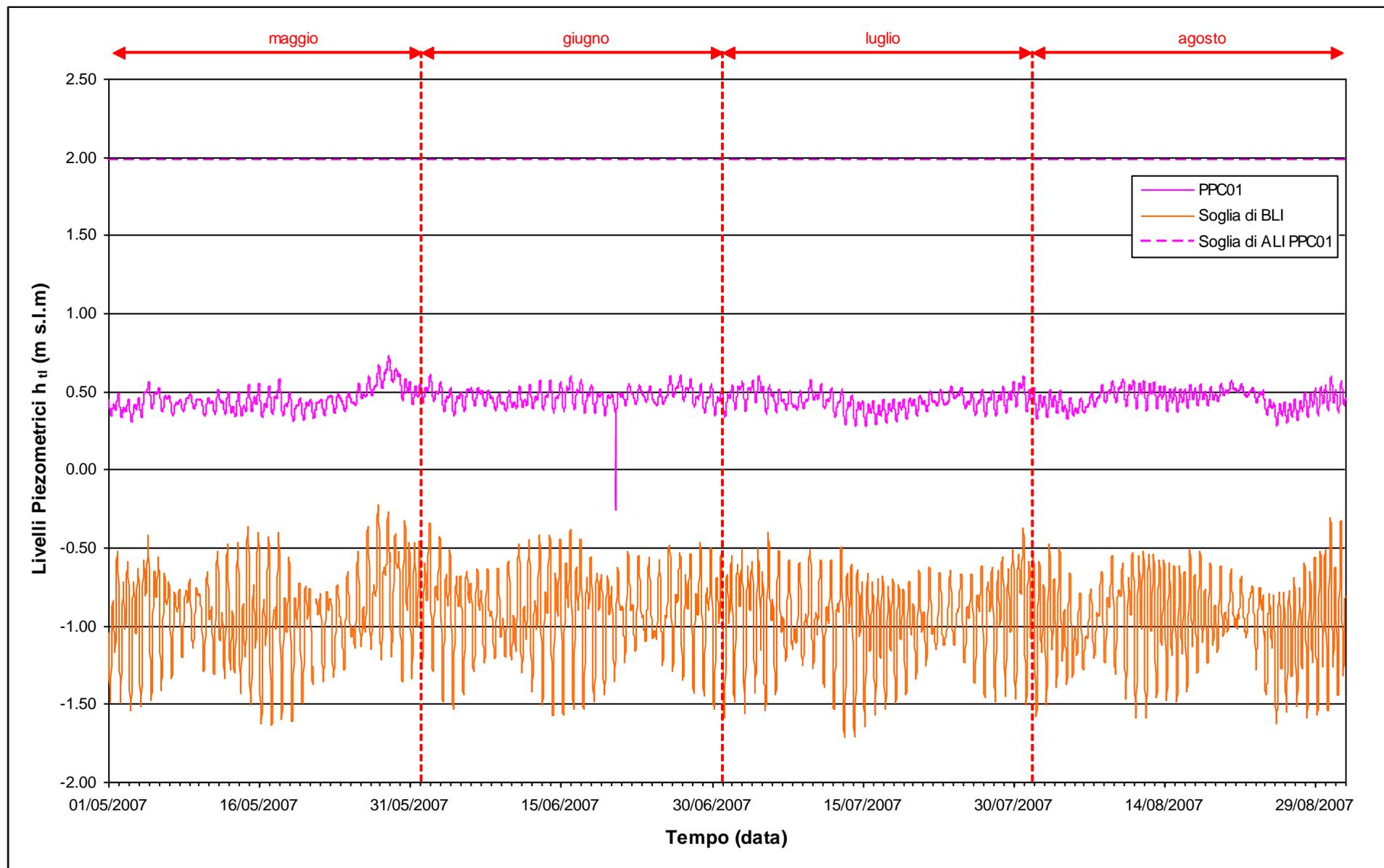


Fig. 12.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro profondo PPC01

### **13. CONCLUSIONI**

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/05/2007 e il 31/08/2007, 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.

Per quanto riguarda le influenze delle forzanti antropiche, non essendo stata effettuata alcuna operazione di cantiere che possa aver influenzato i livelli piezometri, questi si sono mantenuti all'interno delle soglie definite nel "Rapporto di Variabilità Attesa Ca' Roman - Chioggia" (Studio B.6.72 B/2).

## **ALLEGATI**

- Allegato I: Livelli del mare misurati in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido
- Allegato II: Livelli del mare misurati in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia
- Allegato III: Profili di conduttanza specifica giugno 2007
- Allegato IV: Profili di conduttanza specifica luglio 2007
- Allegato V: Profili di conduttanza specifica agosto 2007
- Allegato VI: Profili di conduttanza specifica settembre 2007