



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/2**

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

Contratto prot.n. 17128 si/gce/fbe

Documento **MACROATTIVITÀ: LIVELLI DI FALDA**

**II RAPPORTO DI VALUTAZIONE**

**PERIODO DI RIFERIMENTO: DA MARZO AD  
APRILE 2007**

Versione **1.0**

Emissione **15 Maggio 2007**

Redazione

Ing. Tommaso Baldarelli  
(POLITECNICO TORINO)

Verifica

Ing. Rajandrea Sethi  
(POLITECNICO TORINO)

Verifica

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta

Approvazione

Ing. Pierpaolo  
Campostrini

## INDICE

<b>PARTE PRIMA: MONITORAGGIO CANTIERE DI PUNTA SABBIONI</b> .....	4
1. INTRODUZIONE.....	5
2. ANALISI DEI DATI.....	6
2.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello .....	7
2.2 Descrizione delle forzanti naturali.....	7
<b>2.2.1</b> Precipitazioni.....	7
<b>2.2.2</b> Livello del mare.....	9
<b>2.2.3</b> Pressione atmosferica - $h_b$ .....	11
2.3 Piezometri superficiali - primo livello acquifero (Strato A) .....	13
<b>2.3.1</b> Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ .....	13
<b>2.3.2</b> Effetti delle precipitazioni.....	15
<b>2.3.3</b> Effetti delle oscillazioni mareali.....	17
2.4 Piezometri profondi - secondo livello acquifero (Strato C).....	19
<b>2.4.1</b> Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{td}$ .....	19
<b>2.4.2</b> Effetti delle precipitazioni.....	21
<b>2.4.3</b> Effetti mareali .....	23
<b>2.4.4</b> Effetti antropici.....	25
3. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE .....	27
4. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA.....	28
4.1 Il calcolo della densità dell'acqua .....	28
<b>4.1.1</b> Profili verticali di densità.....	28
<b>4.1.2</b> Differenza tra superficie piezometrica e quota d'acqua nei piezometri .....	33
5. STUDIO PIEZOMETRICO .....	34
<b>5.1.1</b> Piezometria superficiale.....	36
<b>5.1.2</b> Piezometria profonda.....	40
6. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE .....	44
7. CONCLUSIONI.....	52
<b>PARTE SECONDA: MONITORAGGIO CANTIERE DI CA' ROMAN</b> .....	53
8. INTRODUZIONE.....	54
9. ANALISI DEI DATI.....	55
9.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello .....	55

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

9.2	Descrizione delle forzanti naturali.....	55
9.2.1	Precipitazioni.....	56
9.2.2	Livello del mare.....	58
9.2.3	Pressione atmosferica - $h_b$ .....	60
9.3	Piezometro superficiale – primo livello acquifero (Strato A).....	62
9.3.1	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ (Fase A) .....	62
9.3.2	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ .....	62
9.3.3	Effetti delle precipitazioni.....	65
9.3.4	Effetti delle oscillazioni mareali.....	65
9.4	Piezometro profondo – secondo livello acquifero (Strato C).....	67
9.4.1	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ (Fase A) .....	67
9.4.2	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ .....	67
9.4.3	Effetti delle precipitazioni.....	70
9.4.4	Effetti mareali .....	70
10.	CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE .....	72
11.	ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA.....	73
11.1	Il calcolo della densità dell'acqua .....	73
11.1.1	Correlazione densità-conduttanza specifica .....	73
11.1.2	Profili verticali di densità.....	75
11.1.3	Differenza tra superficie piezometrica e quota d'acqua nei piezometri .....	78
12.	VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE .....	79
13.	CONCLUSIONI.....	83
	ALLEGATI.....	84

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

## 1. INTRODUZIONE

La prima parte di questo documento descrive l'analisi dei dati derivanti dal bimestrale di monitoraggio comprendente il periodo 1 marzo 2007 - 30 aprile 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/2 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2006) 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 e conduttanza specifica dell'acqua di falda e le elaborazioni effettuate per la definizione di un metodo di correzione dei livelli piezometrici misurati dai trasduttori in funzione della densità dell'acqua.

## 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 01/03/2007 e il 30/04/2007.

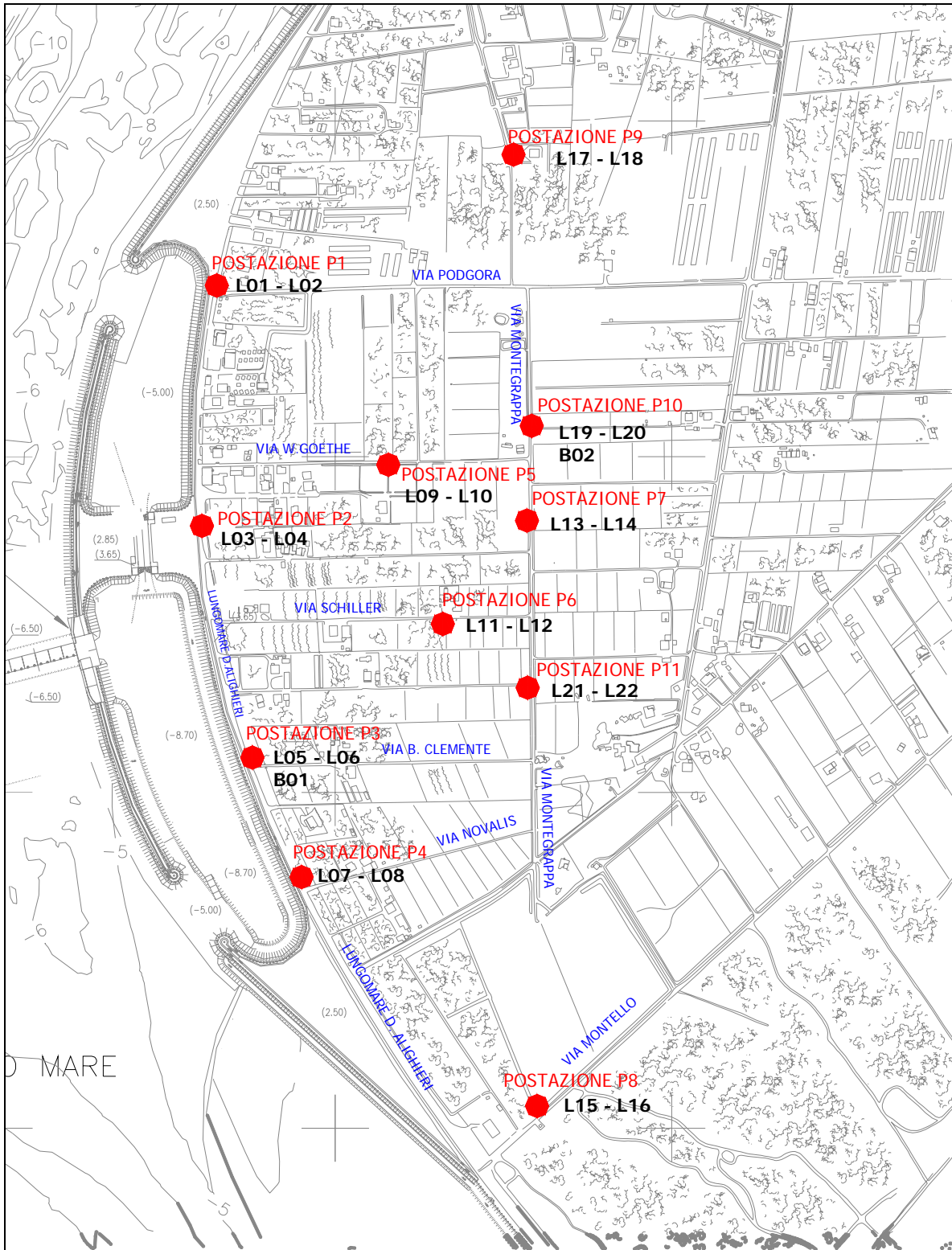


Fig. 2.1- Ubicazione delle postazioni di monitoraggio, dei Levellogger e dei Barologger.

## 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 pari a 7.627 m;

$h_p$  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 gestita dalla "Matrice Aria e Agenti Chimici";
- oscillazioni mareali, registrate dal mareografo Diga Sud Lido (stazione di monitoraggio meteorologico dell'Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree);
- 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 due 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]
7-8-9/03/07	47	6
19-20/03/07	26	24.8
25-26/03/07	29	18
30-31/03/07	19	16.2

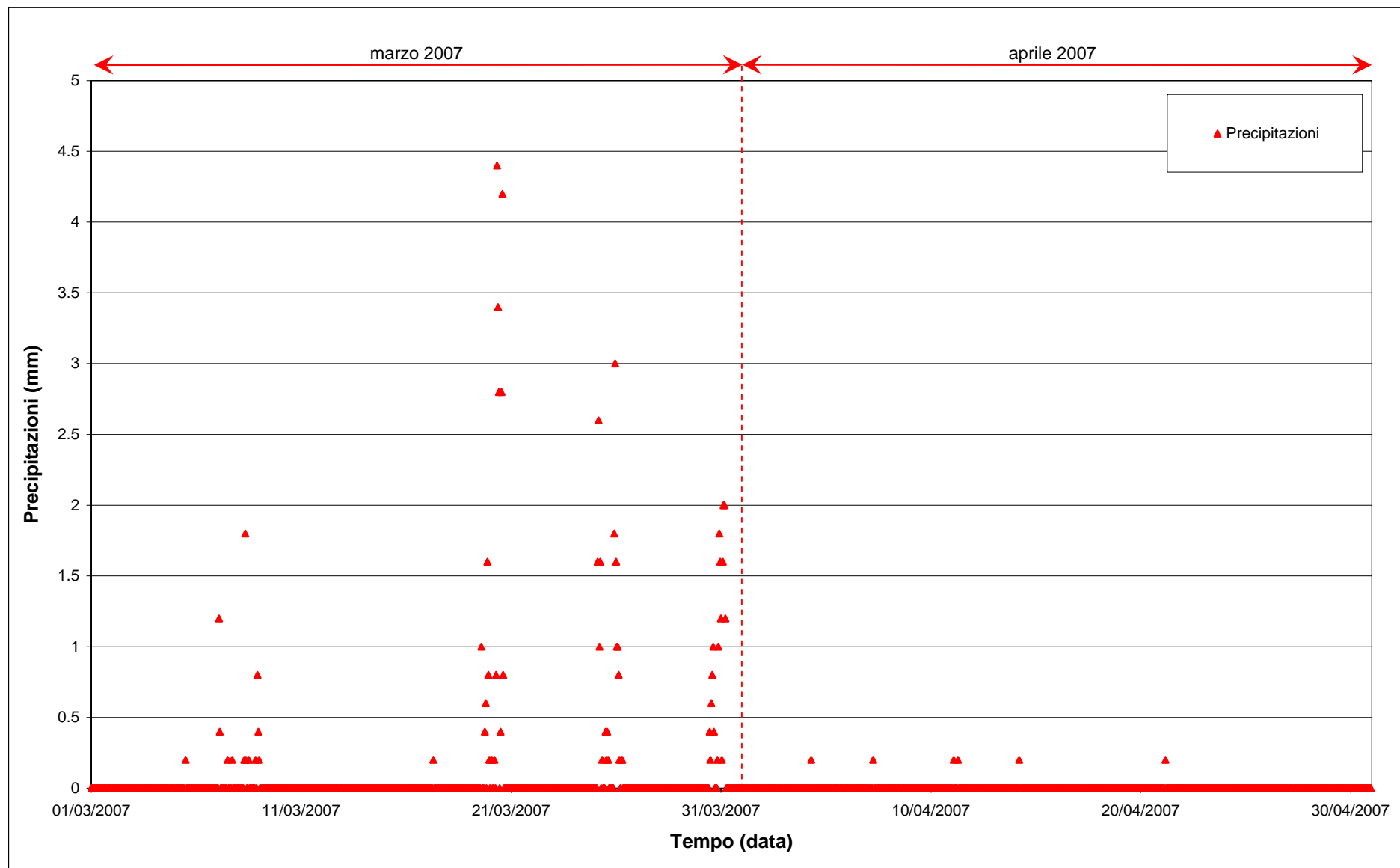


Fig.2. 2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/03/2007 - 30/04/2007



### **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 durante i due mesi 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.

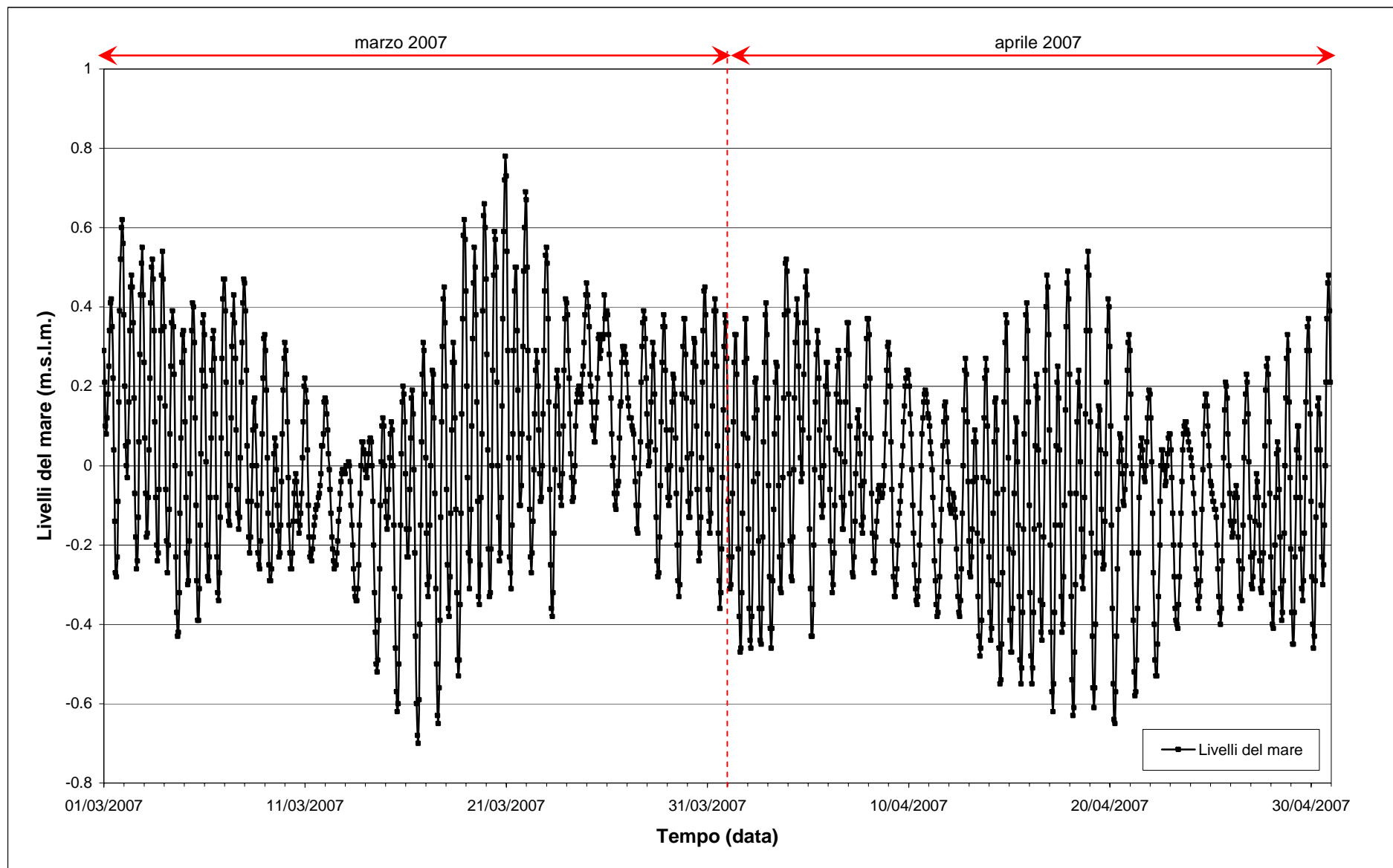


Fig.2. 3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

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

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

In Fig.2.5 è riportato l'andamento dei tracciati di misura dei Barologger nel periodo di osservazione: i dati registrati dai due strumenti sono in buon accordo. Analogamente a quanto descritto nel "Rapporto di Variabilità Attesa" (Studio B.6.72 B/1, dicembre 2005). Per la compensazione dei dati di livello è stato utilizzato il tracciato del Barologger B02.

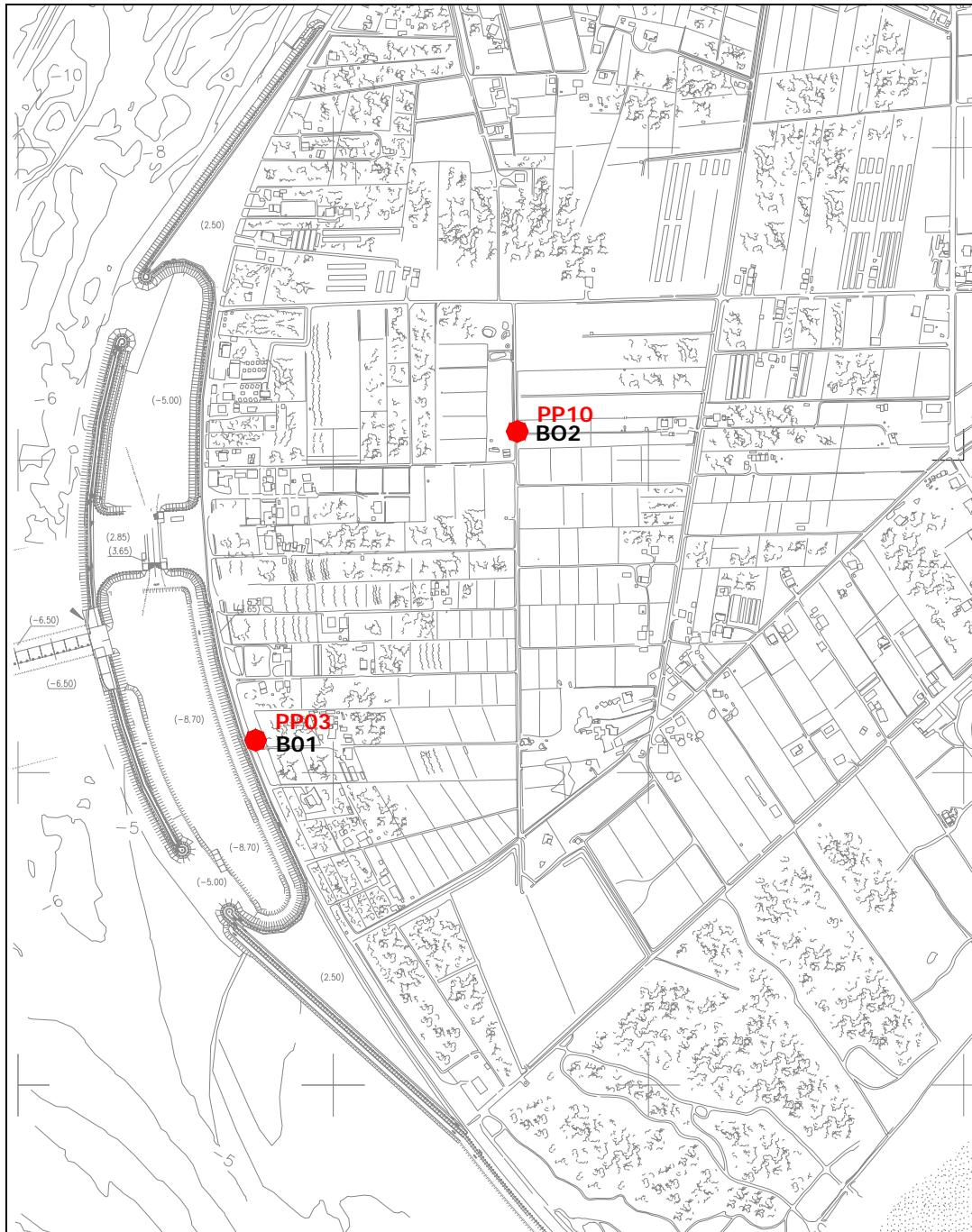
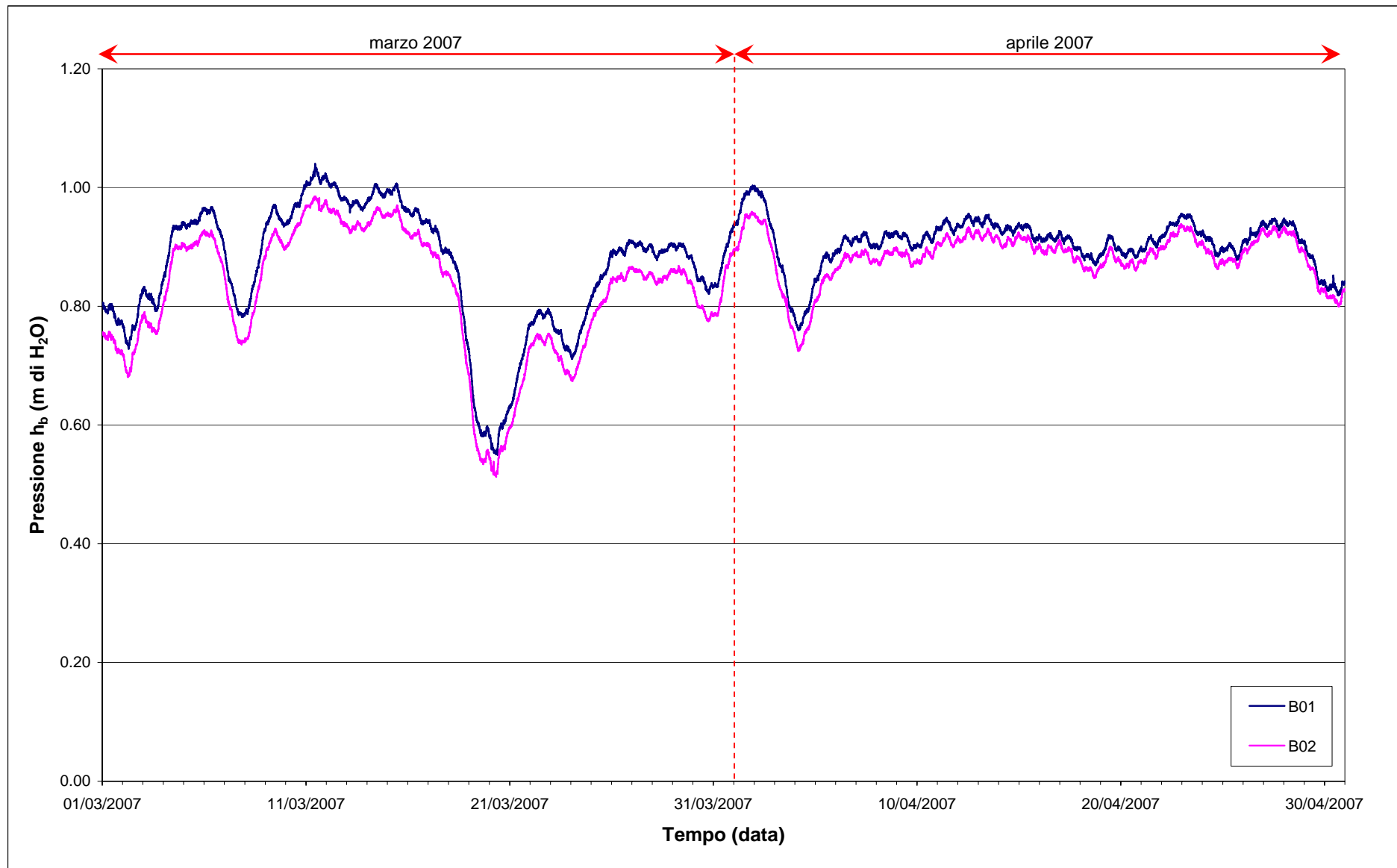


Fig.2. 4- Ubicazione dei Barologger B01 e B02

Fig.2. 5 - Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 ( $h_b$ )

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

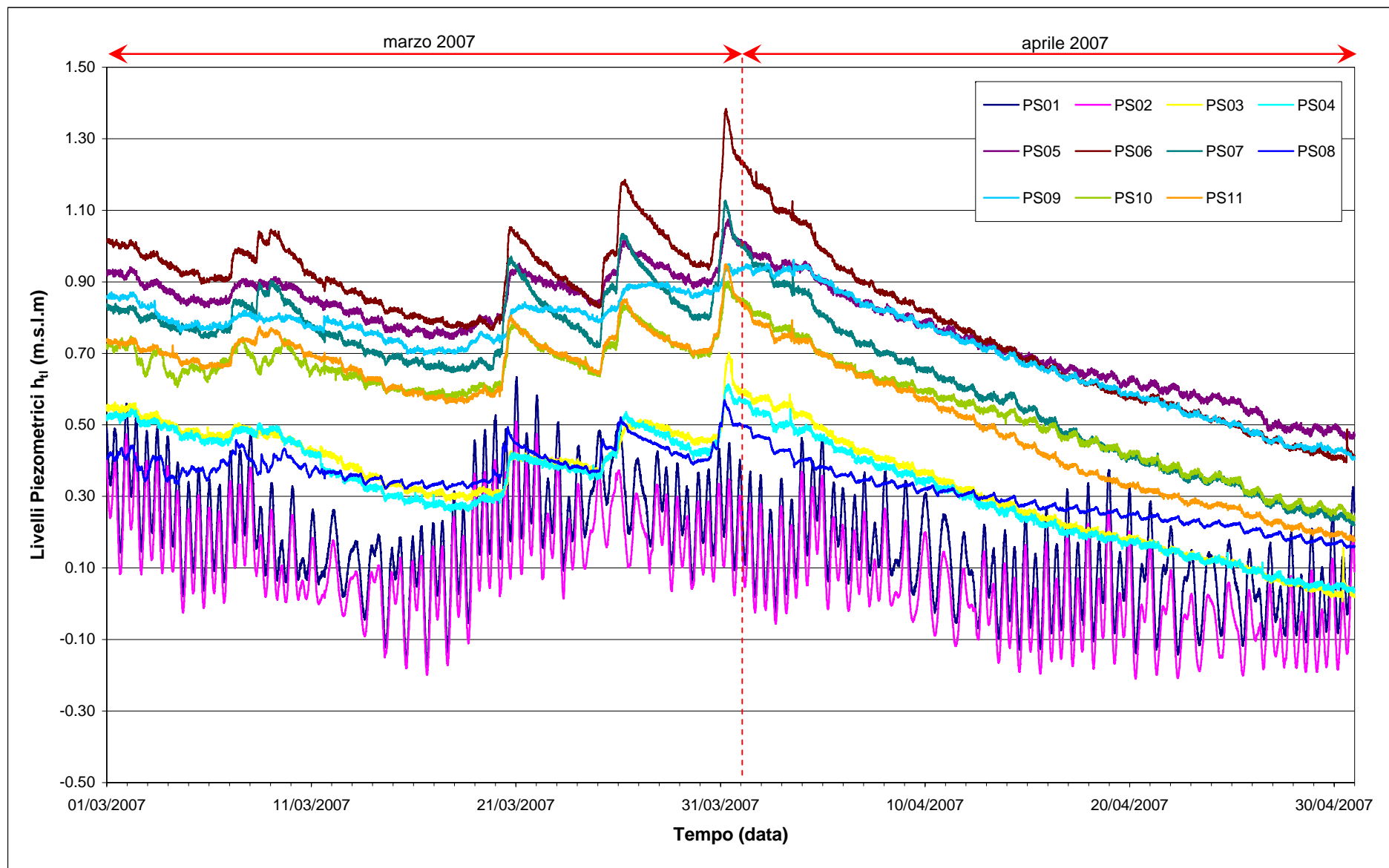
In questo capitolo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti degli 11 piezometri superficiali finestrati in corrispondenza del primo livello acquifero (Strato A), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

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

I dati riportati in Fig.2.6 sono riferiti ai due mesi di monitoraggio di Fase B.

Dall'analisi dei tracciati riportati in Fig.2.6 è possibile osservare come i livelli piezometrici 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 correlabile alle evoluzioni 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;
- 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 in parte imputabile alla costruzione del diaframma impermeabile sul fianco del bacino lato mare.

Fig.2.6 - Livelli piezometrici ( $h_i$ ) 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 30-31/03/07, si registra un innalzamento di livello superiore a 40 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 (questo fenomeno è particolarmente visibile nel mese di aprile, durante il quale non si sono verificati fenomeni piovosi). La risposta all'evento meteorico è simile per tutti i piezometri, ma è particolarmente accentuata in corrispondenza dei piezometri PS06, PS07 e PS11, mentre il PS08 e il PS09 mostrano risposte meno marcate. Nella Fase A si era riscontrato che il piezometro maggiormente sensibile alle precipitazioni era il PS06 mentre quello che mostrava la minore escursione di livello era il PS08.

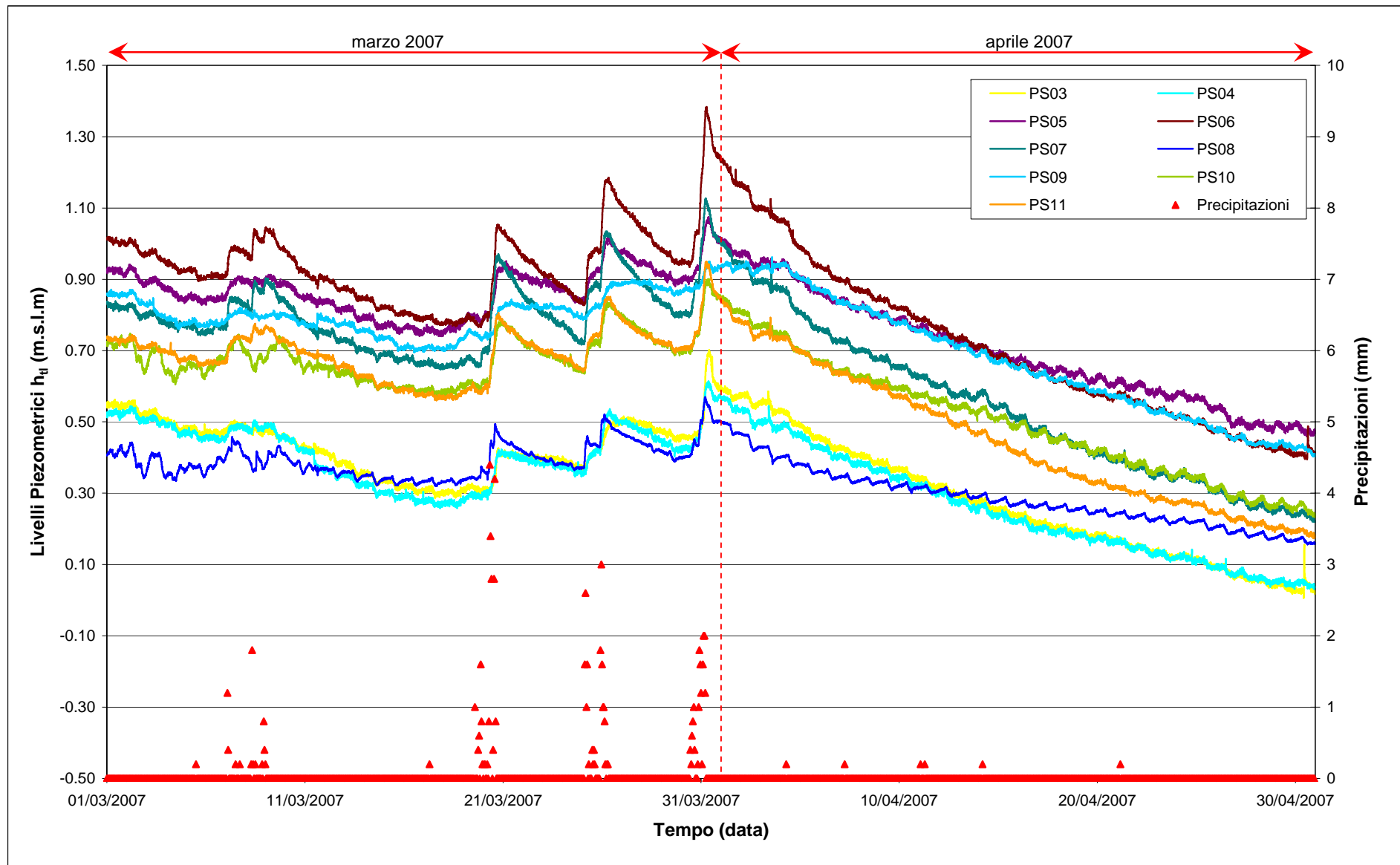


Fig.2.7 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali maggiormente sensibili alle precipitazioni



### **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.

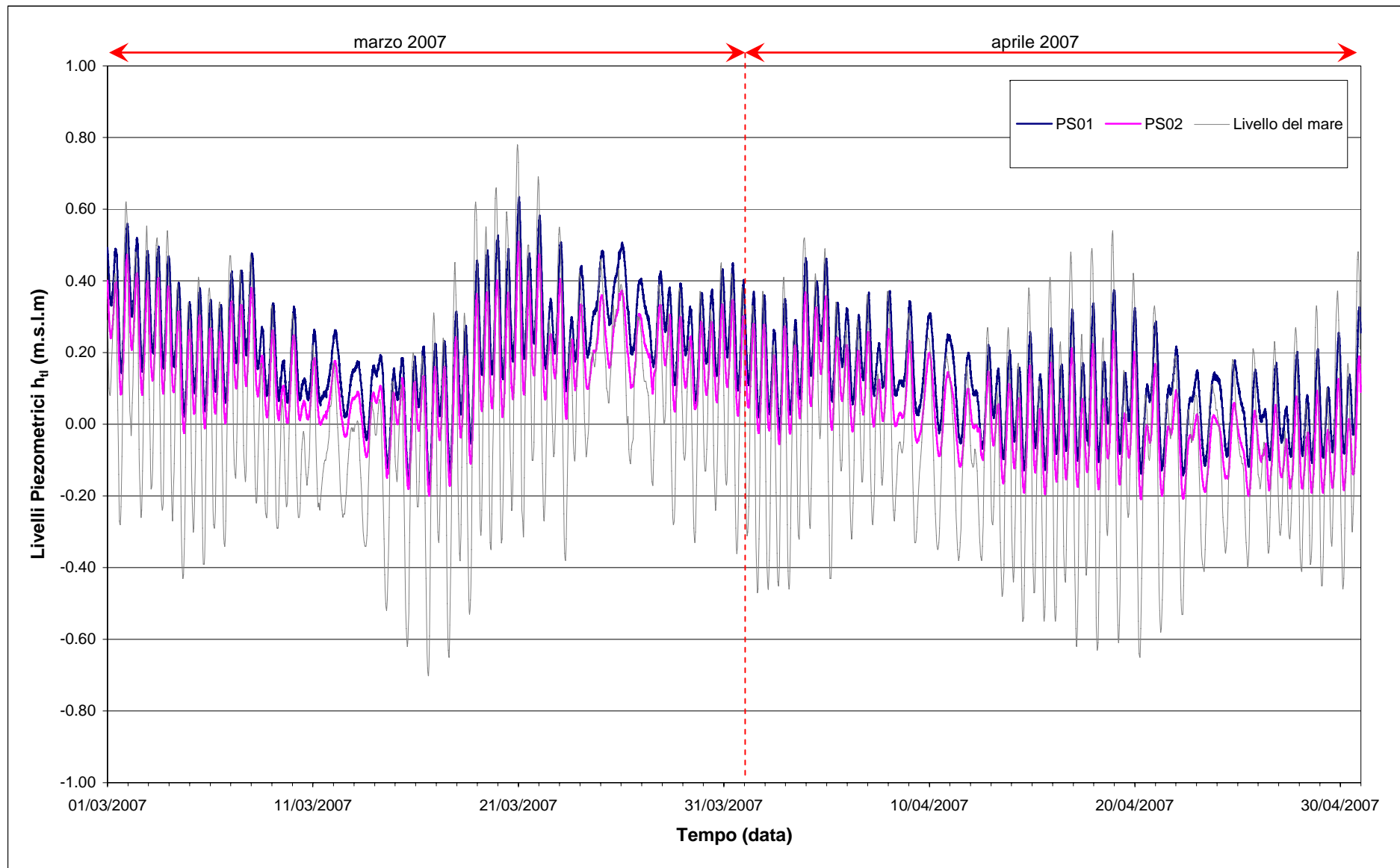


Fig.2.8 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali PS01, PS02 e livelli del mare

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

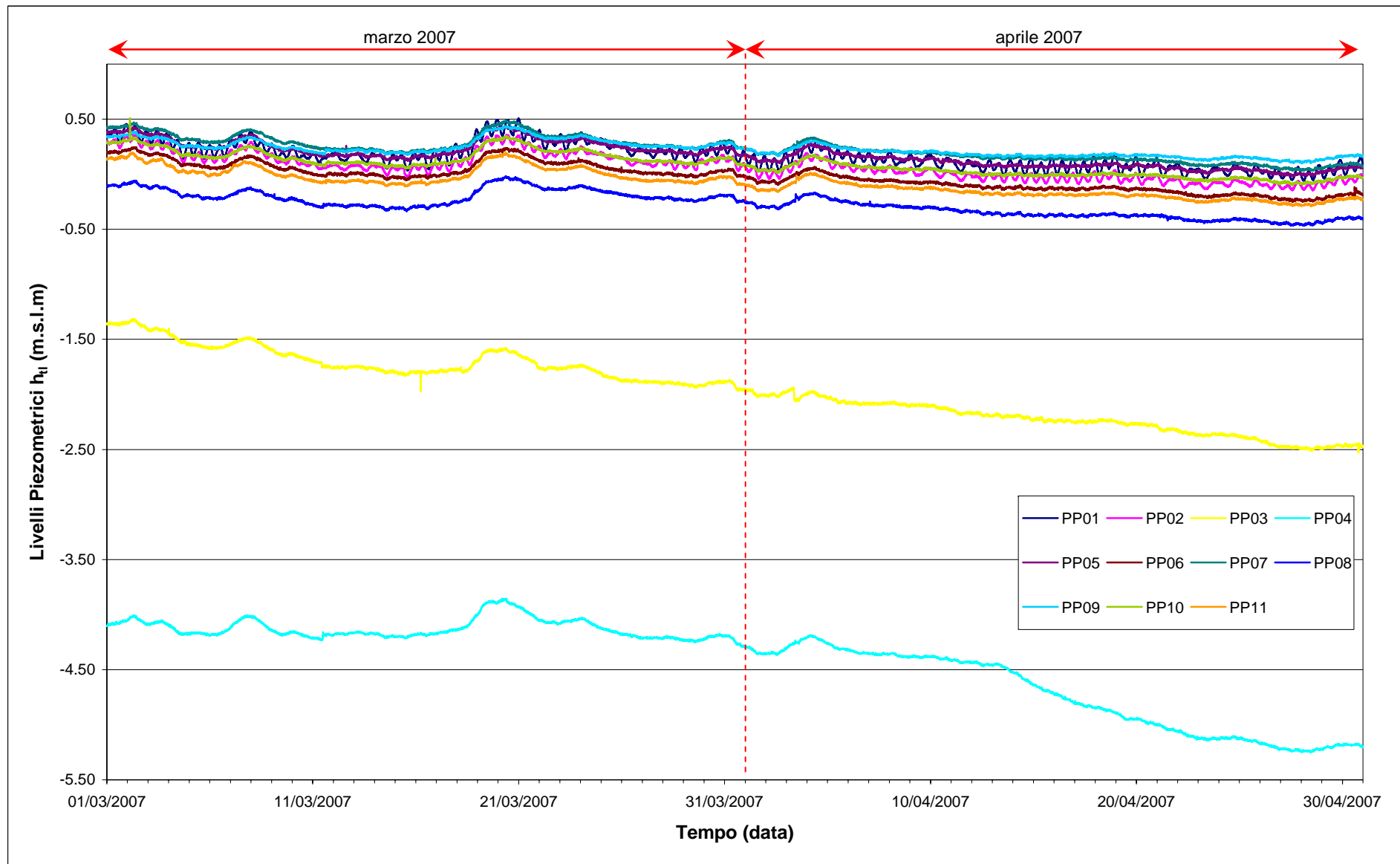
Di seguito verranno presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti negli 11 piezometri profondi finestrati in corrispondenza del secondo livello acquifero (Strato C), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

### **2.4.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{it}$**

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

Dall'analisi dei tracciati riportati in Fig.2.9 è possibile osservare come i piezometri profondi siano, in misura diversa, sensibili ai fenomeni fisici esterni (eventi piovosi ed oscillazioni mareali):

- 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 misura che sono influenzati in maniera ridotta sia dalle evoluzioni mareali, sia dai fenomeni meteorologici;
- i piezometri PP03 e PP04, posti in prossimità del Lungomare Dante Alighieri, risultano influenzati dalle attività di pompaggio interne al bacino lato mare. Il livello all'interno dei due piezometri continua a diminuire sensibilmente, fino a raggiungere i valori assoluti di -2.4 m s.l.m. e -5.2 m s.l.m., rispettivamente nel PP03 e nel PP04.

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

#### **2.4.2** *Effetti delle precipitazioni*

In Fig.2.10 è stato confrontato l'andamento dei livelli piezometrici in corrispondenza dei piezometri profondi ubicati nella porzione interna dell'Area di Monitoraggio con le precipitazioni verificatesi nel periodo compreso tra marzo e aprile 2007. Dall'analisi dei tracciati di misura, le influenze delle precipitazioni sui livelli piezometrici appaiono modeste. La risposta all'evento meteorico è simile per tutti i piezometri. Nella Fase A si era riscontrato che il piezometro profondo maggiormente sensibile alle precipitazioni era il PP05 mentre quelli che mostravano la minore escursione di livello erano il PP08 ed il PP11. Analogamente a quanto riscontrato nei precedenti mesi di monitoraggio, è possibile osservare che l'effetto delle precipitazioni sul secondo livello produttivo (Strato C) è inferiore rispetto a quanto riscontrato in corrispondenza dell'acquifero superficiale (Strato A).

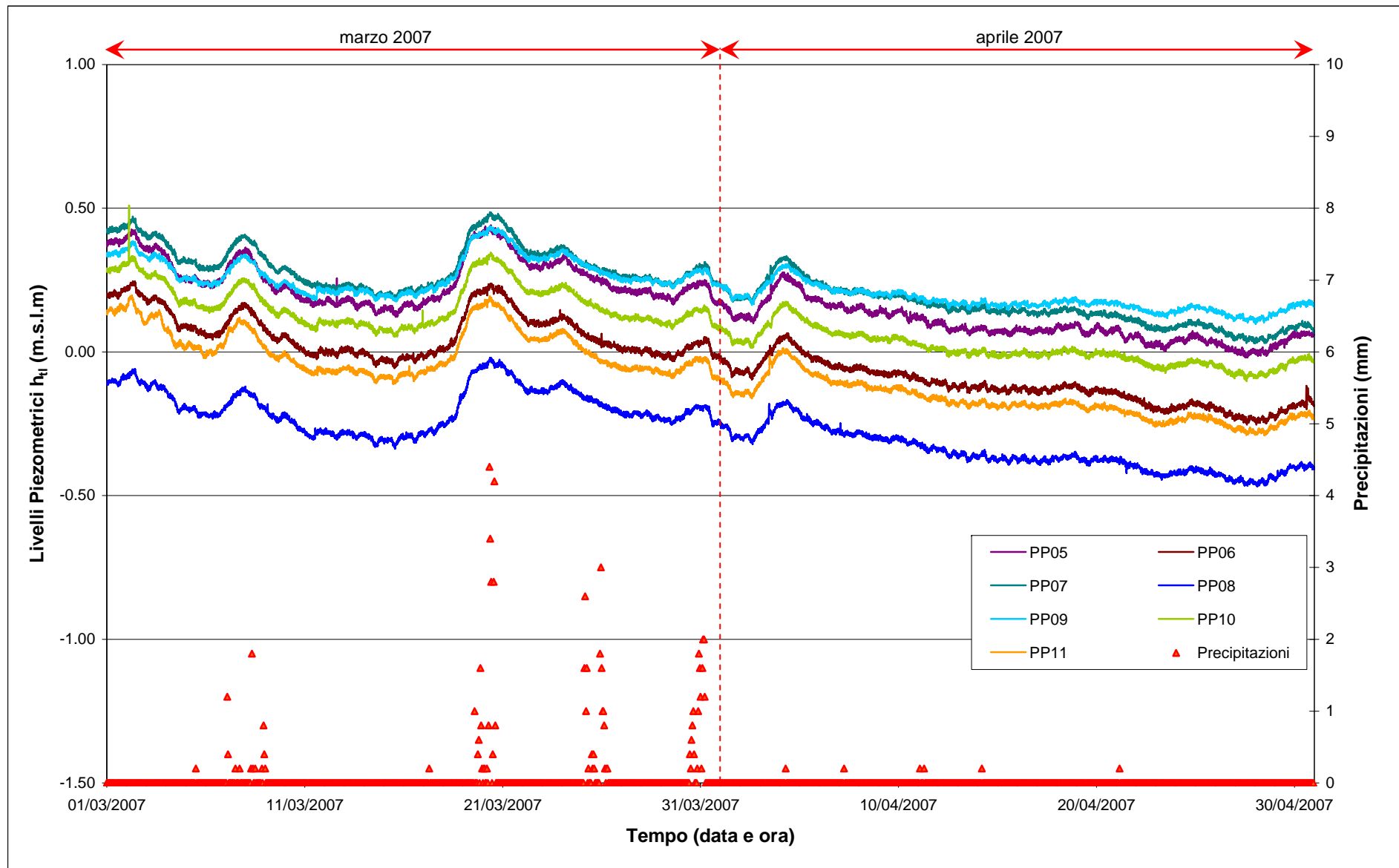


Fig.2.10- Livelli piezometrici dei piezometri profondi interni all'area di monitoraggio e precipitazioni

### 2.4.3 *Effetti mareali*

In Fig.2.11 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.

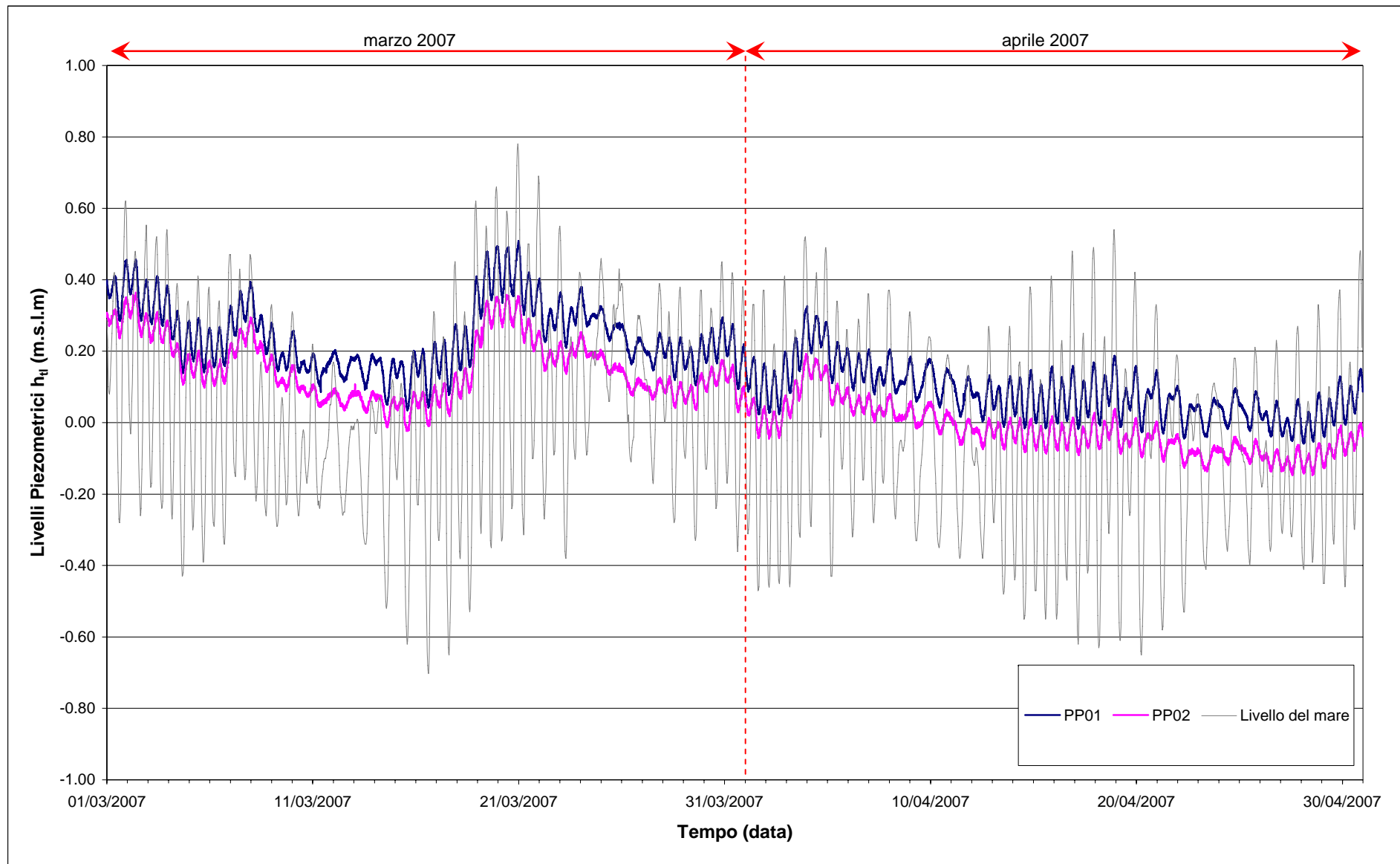


Fig.2.11 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP01 e PP02 e livelli del mare



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

**2.4.4** *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 da Fig.2.12, durante i due mesi monitorati il livello continua sensibilmente ad abbassarsi, presentando nel PP04 una brusca variazione di pendenza in data 13/04/07.

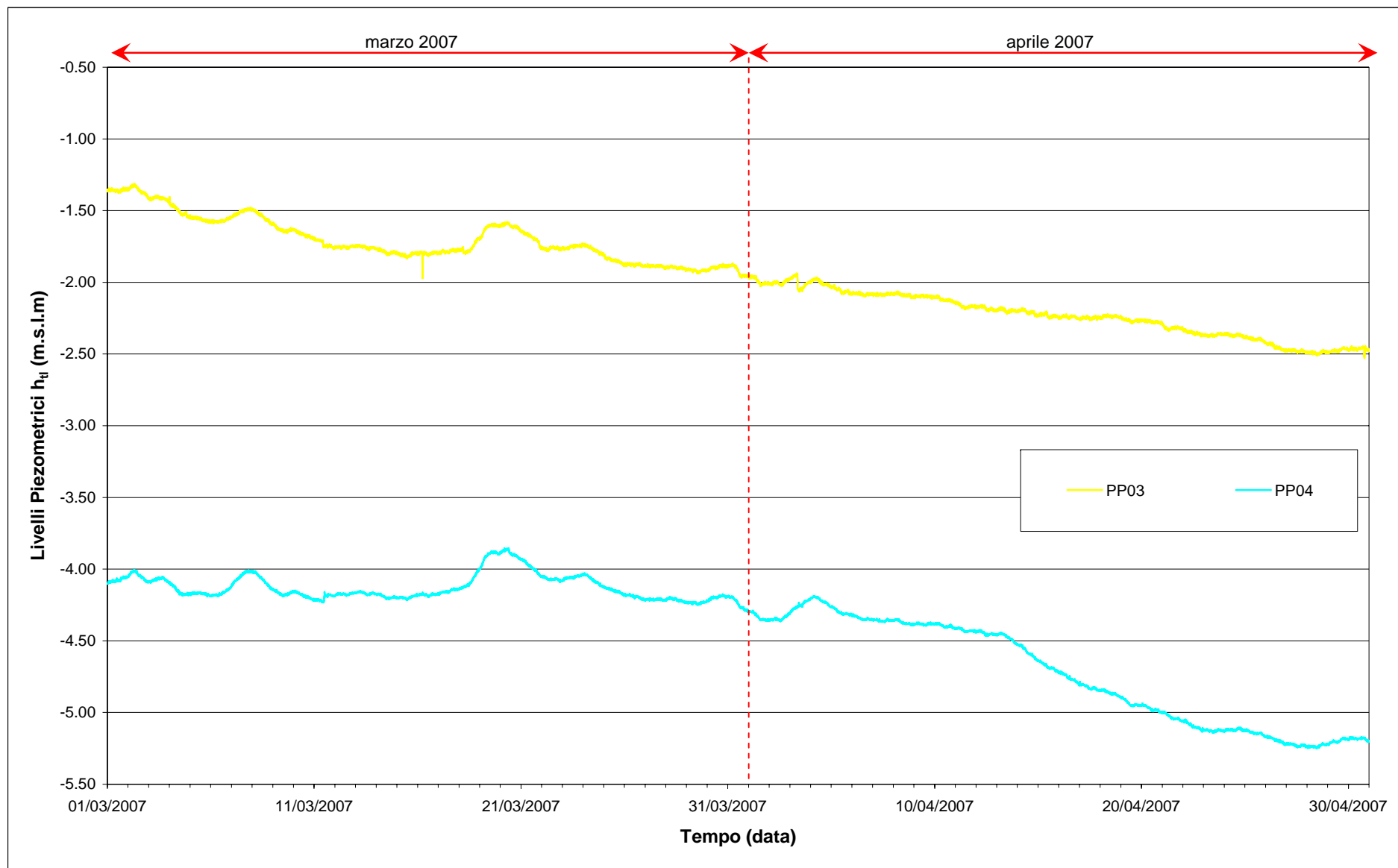


Fig.2.12 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi influenzati dalle operazioni di pompaggio

### **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.

Per il momento non si è ancora reso necessario l'utilizzo dei dati acquisiti dal secondo trasduttore installato nel PP04 con lo scopo di evitare la perdita dei dati a seguito di ulteriori abbassamenti che avrebbero determinato l'emersione del Levelogger originario.

Dalle verifiche effettuate durante l'elaborazione dei dati, escludendo saltuarie valutazioni puntuali errate, tutti i trasduttori risultano funzionare correttamente. Anche il trasduttore installato nel piezometro superficiale PS04, che nei mesi precedenti aveva registrato temperature anomale rendendo necessaria l'applicazione di un algoritmo che minimizzasse l'errore delle misure (per ulteriori chiarimenti si rimanda al Rapporto Mensile Gennaio 2007), risulta registrare valori corretti.

## 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).

La sonda Solinst restituisce la temperatura dell'acqua e la conduttanza specifica riferita a 25 °C ( $C_{25}$ ). Questo valore, una volta normalizzato alla temperatura di 20°C, è stato convertito in un valore di densità utilizzando una correlazioni empirica che lega conduttanza specifica e densità, (per ulteriori informazioni si rimanda al I Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/2, periodo di riferimento: novembre 2006 - febbraio 2007).

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:

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

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

$e = -8.907391 \cdot 10^{-7}$ ,  $f = 5.291959 \cdot 10^{-9}$ ,  $g = -1.359813 \cdot 10^{-11}$  (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 - 4.2: piezometri superficiali; Figg.4.3 - 4.4: piezometri profondi). Nelle figure che seguono è evidenziata (con un tratto più spesso) la posizione della finestratura in ogni piezometro, mentre le due rette tratteggiate orizzontali indicano la quota minima e massima, in m s.l.m., a cui sono collocati i trasduttori di pressione.

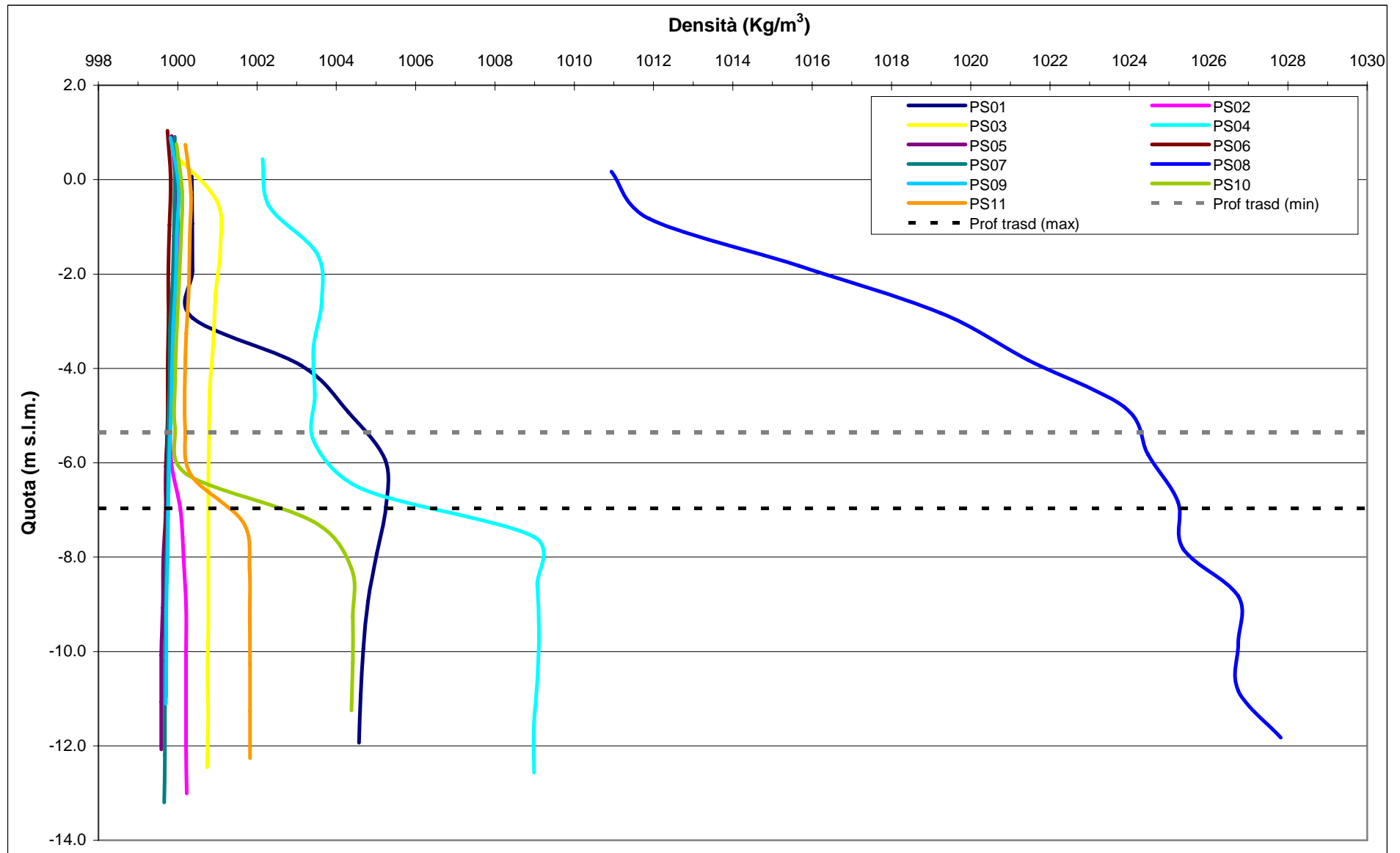


Fig.4. 1 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 3 aprile 2007

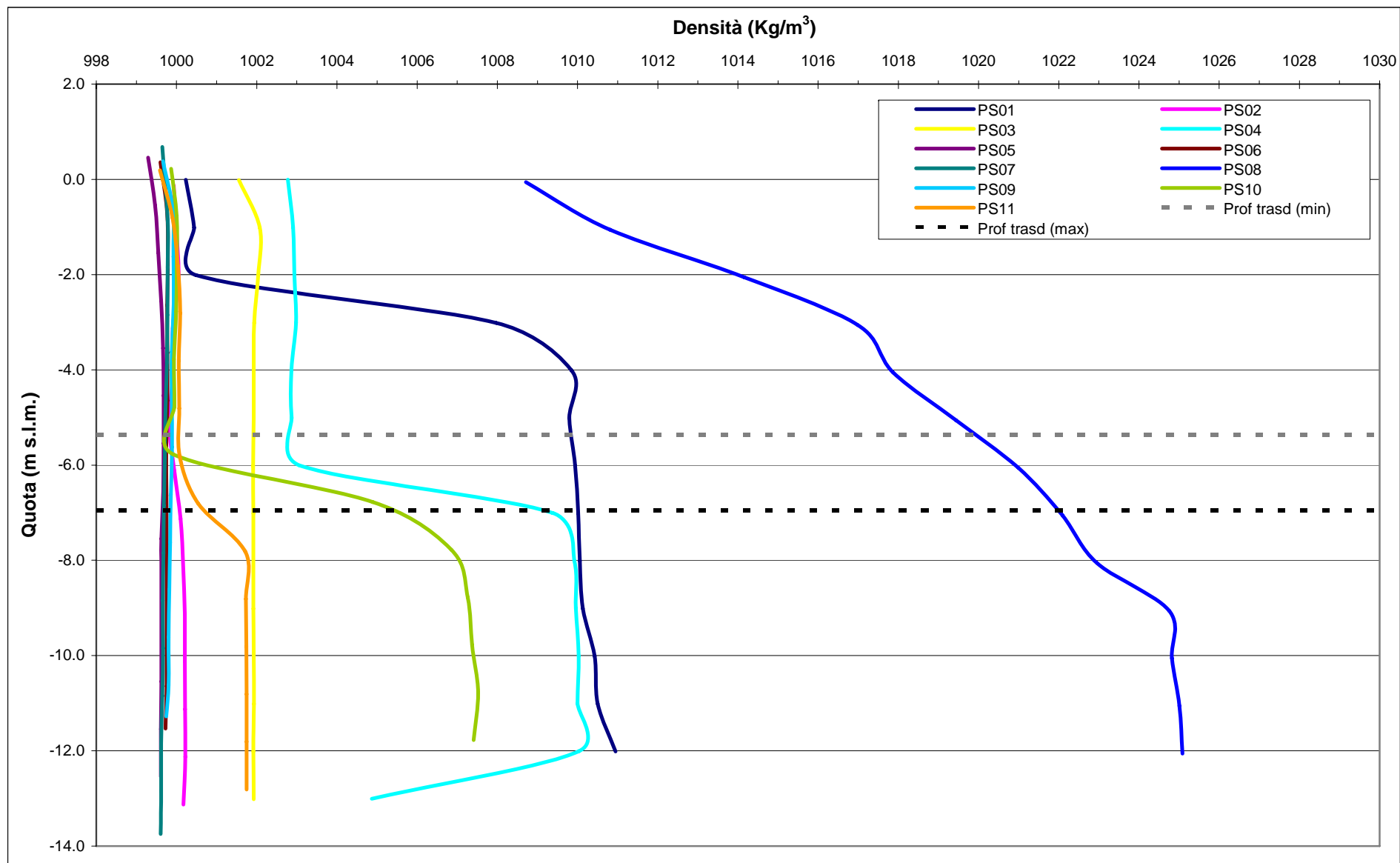


Fig.4. 2 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 1 maggio 2007

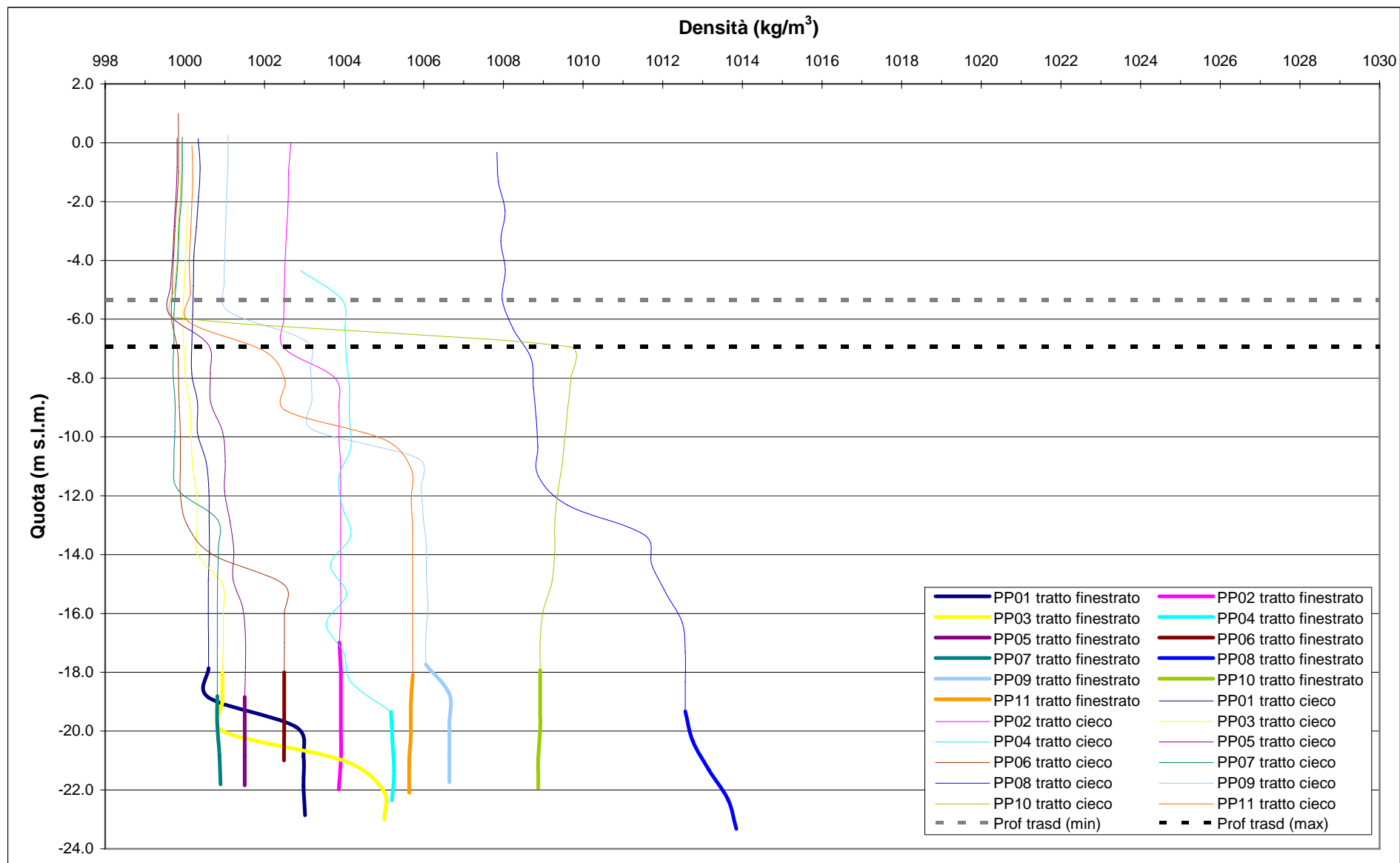


Fig.4. 3 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 3 aprile 2007

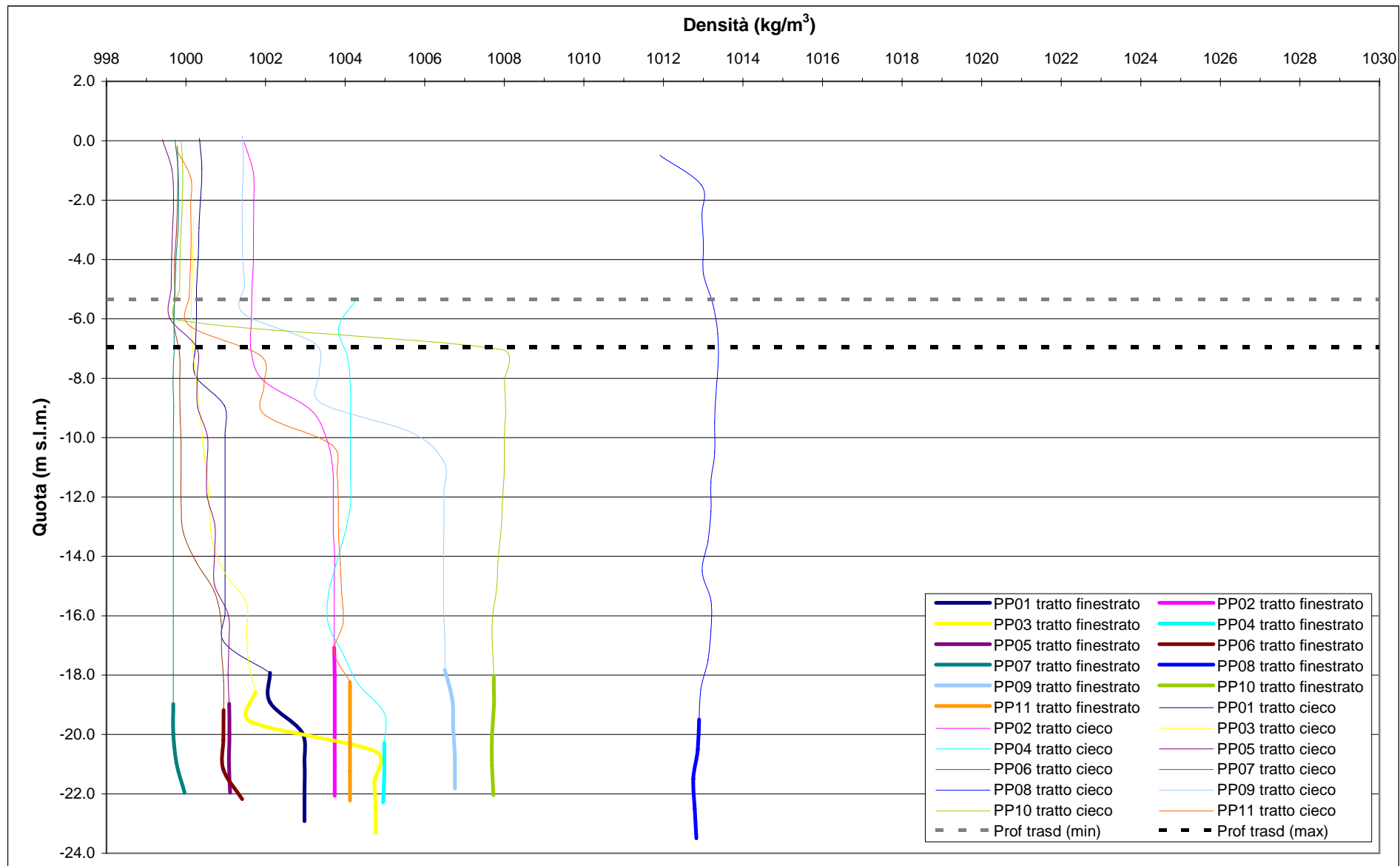


Fig.4. 4- Profili verticali di densità piezometri profondi - 1 maggio 2007



#### 4.1.2 Differenza tra superficie piezometrica e quota d'acqua nei piezometri

La quota assoluta del pelo libero dell'acqua all'interno dei piezometri, determinata mediante l'utilizzo di freatimetro manuale, si discosta dal carico idraulico misurato dai trasduttori di pressione ( $h_{pl}$ ). Tale differenza è imputabile, in parte, al fatto che i trasduttori di pressione non tengono conto della reale densità della colonna di acqua al di sopra del trasduttore ma di una densità teorica  $\rho_w(T, C = 0)$  prossima a  $\rho_0$ .

La differenza di quota tra il pelo libero dell'acqua è quello stimato con le acquisizioni dei trasduttori può essere stimata con approssimazione tramite la seguente formula (per ulteriori informazioni si rimanda al I Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/2, periodo di riferimento: novembre 2006 - febbraio 2007):

$$\Delta z_{pl} = h_{pl} - z_{pl} = h_p \left( 1 - \frac{\rho_w}{\rho_m} \right)$$

Tali differenze  $\Delta z_{pl}$  variano tra le diverse postazioni ma anche nel tempo seguendo le variazioni temporali dei profili di densità (Tabb.4.1 - 4.2). Si può notare come solamente nei piezometro superficiale PS08 questa differenza sia superiore ai 10 cm.

Tab.4. 1 -  $\Delta z_{pl}$  ricavati per i piezometri superficiali

$\Delta z_{pl}$ (m)	PS01	PS02	PS03	PS04	PS05	PS06	PS07	PS08	PS09	PS10	PS11
<b>03/04/2007</b>	0.021	0.010	0.017	0.033	0.011	0.011	0.012	0.153	0.011	0.011	0.015
<b>01/05/2007</b>	0.042	0.010	0.023	0.029	0.009	0.010	0.010	0.127	0.010	0.010	0.012

Tab.4. 2 -  $\Delta z_{pl}$  ricavati per i piezometri profondi

$\Delta z_{pl}$ (m)	PP01	PP02	PP03	PP04	PP05	PP06	PP07	PP08	PP09	PP10	PP11
<b>03/04/2007</b>	0.012	0.031	0.008	0.010	0.009	0.010	0.010	0.094	0.011	0.009	0.013
<b>01/05/2007</b>	0.013	0.034	0.007	0.005	0.009	0.010	0.010	0.059	0.008	0.008	0.011

## 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 due 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). È possibile effettuare un confronto con la situazione osservata in Fase A.

Come illustrato in precedenza, le piezometrie riportate nella presente relazione e nei precedenti rapporti quadrimestrali 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.).

Tab.5. 1 - Istanti temporali utilizzati per l'elaborazione delle piezometrie

Mese	Data e ora
Fase A	12 novembre 2005 - h. 14:00
Marzo	16 marzo 2007 - h. 20:00
Aprile	27 aprile 2007 - h. 17:00

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

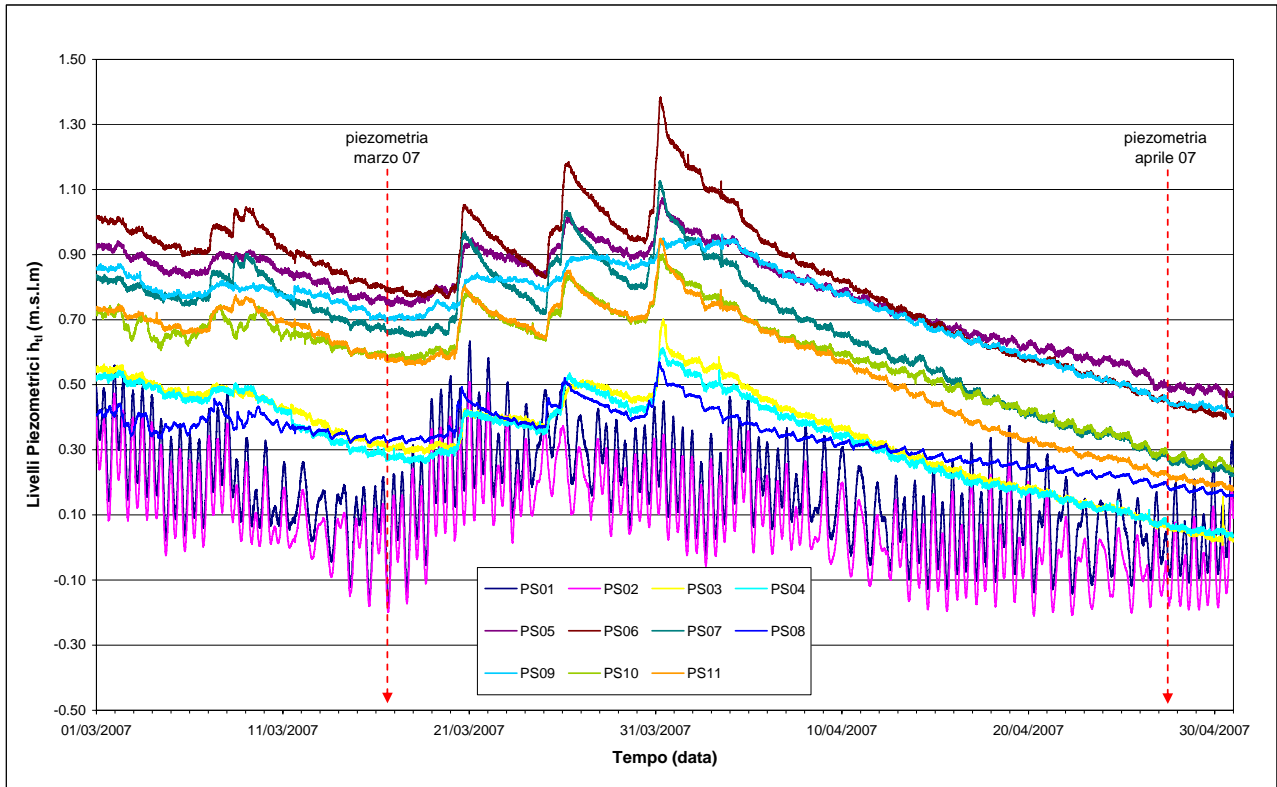


Fig.5. 1 - Elaborazione delle piezometrie superficiali

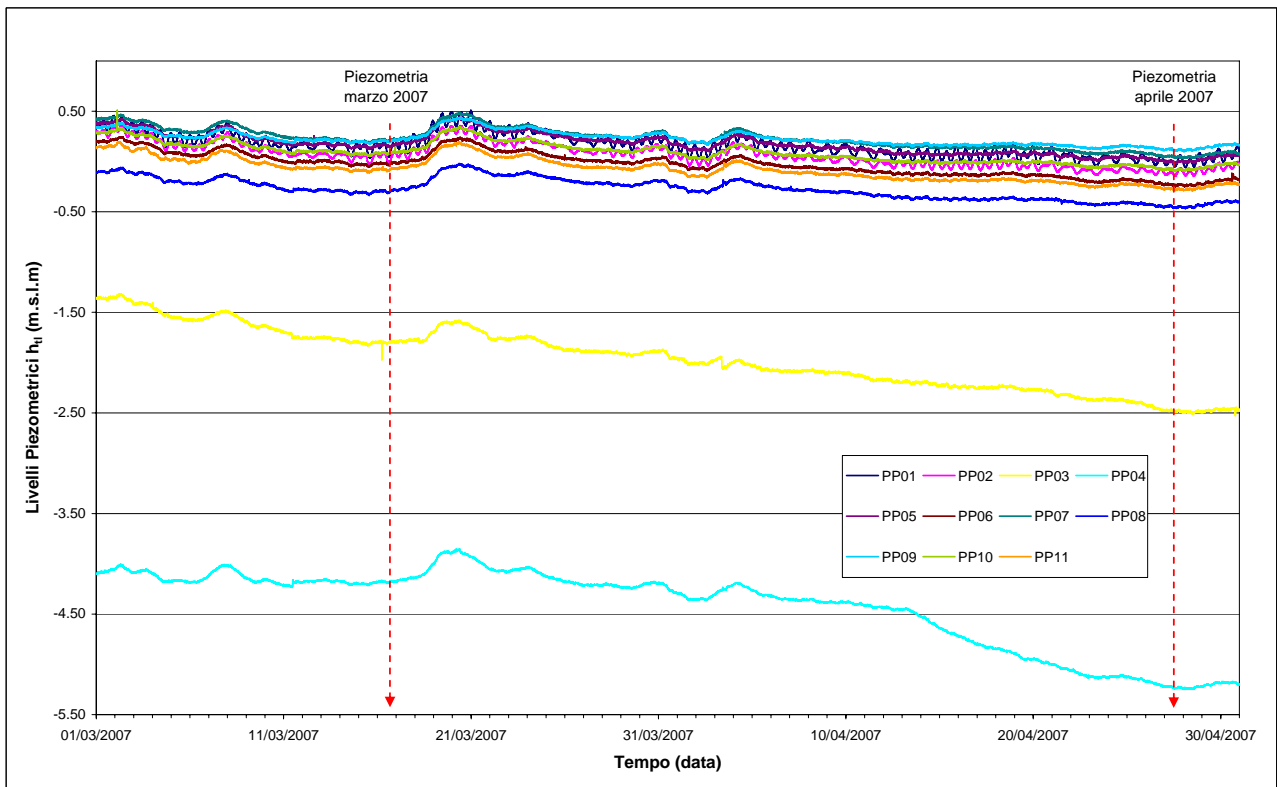


Fig.5. 2 - Elaborazione delle piezometrie profonde

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

**5.1.1** *Piezometria superficiale*

La piezometria del Primo livello acquifero (Strato A) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levellogger posti nei piezometri superficiali. In Tab. 5.2 sono riportati i livelli piezometrici riferiti agli istanti temporali scelti per ognuno dei due mesi monitorati e alla Fase A. Nelle Figg. 5.3, 5.4, 5.5, 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 due date di riferimento

Piezometro	Levellogger	X	Y	$z_t$ (m s.l.m.)	Fase A	Marzo	Aprile
					$h_{\text{el}}$ (m s.l.m.)	$h_{\text{el}}$ (m s.l.m.)	$h_{\text{el}}$ (m s.l.m.)
PS01	L02	2318325.88	5035253.68	1.778	0.271	0.072	0.003
PS02	L04	2318303.30	5034900.48	1.713	n.d.	0.019	-0.102
PS03	L06	2318377.62	5034552.61	1.545	0.331	0.302	0.054
PS04	L08	2318449.34	5034373.27	1.453	0.147	0.276	0.063
PS05	L10	2318582.01	5034989.80	1.816	0.799	0.752	0.494
PS06	L12	2318658.27	5034750.84	1.688	0.843	0.786	0.435
PS07	L14	2318785.95	5034898.62	1.403	0.654	0.665	0.266
PS08	L16	2318799.69	5034032.43	0.663	0.345	0.329	0.179
PS09	L18	2318764.67	5035448.00	2.259	0.638	0.703	0.443
PS10	L20	2318792.99	5035043.94	2.023	0.634	0.583	0.266
PS11	L22	2318787.28	5034652.23	1.169	0.673	0.573	0.209

Il livello piezometrico medio (escludendo il PS01 e PS02) nei mesi di marzo e aprile risulta inferiore sia a quanto osservato durante la Fase A, sia a quanto osservato nel precedente Rapporto di Valutazione quadrimestre di monitoraggio (I Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/2, periodo di riferimento: novembre 2006 - febbraio 2007). I piezometri costieri PS01 e PS02 si mantengono invece ad un livello poco superiore a quello del mare. La decrescita dei livelli nei due mesi monitorati, evidente soprattutto nel mese di aprile 2007, è correlabile alle assenza di precipitazioni ed all'incremento dei fenomeni di evapotraspirazione rispetto a quanto avveniva nei mesi invernali. Dai tracciati di carico idraulico si può notare, come già osservato in precedenza, che il PS08 subisce un abbassamento meno marcato rispetto agli altri.

Il gradiente idraulico medio (Tab.5.3) è aumentato lievemente rispetto al precedente quadrimestre di monitoraggio.

Tab.5. 3 - Gradienti idraulici medi caratterizzanti le superfici piezometriche

Data piezometria	Gradiente idraulico medio
Fase A: 12 novembre 2005 - h14.00	0.14%
mese marzo: 16 marzo 2007 - h.20:00	0.16%
mese aprile: 27 aprile 2007 - h.18:00	0.16%

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

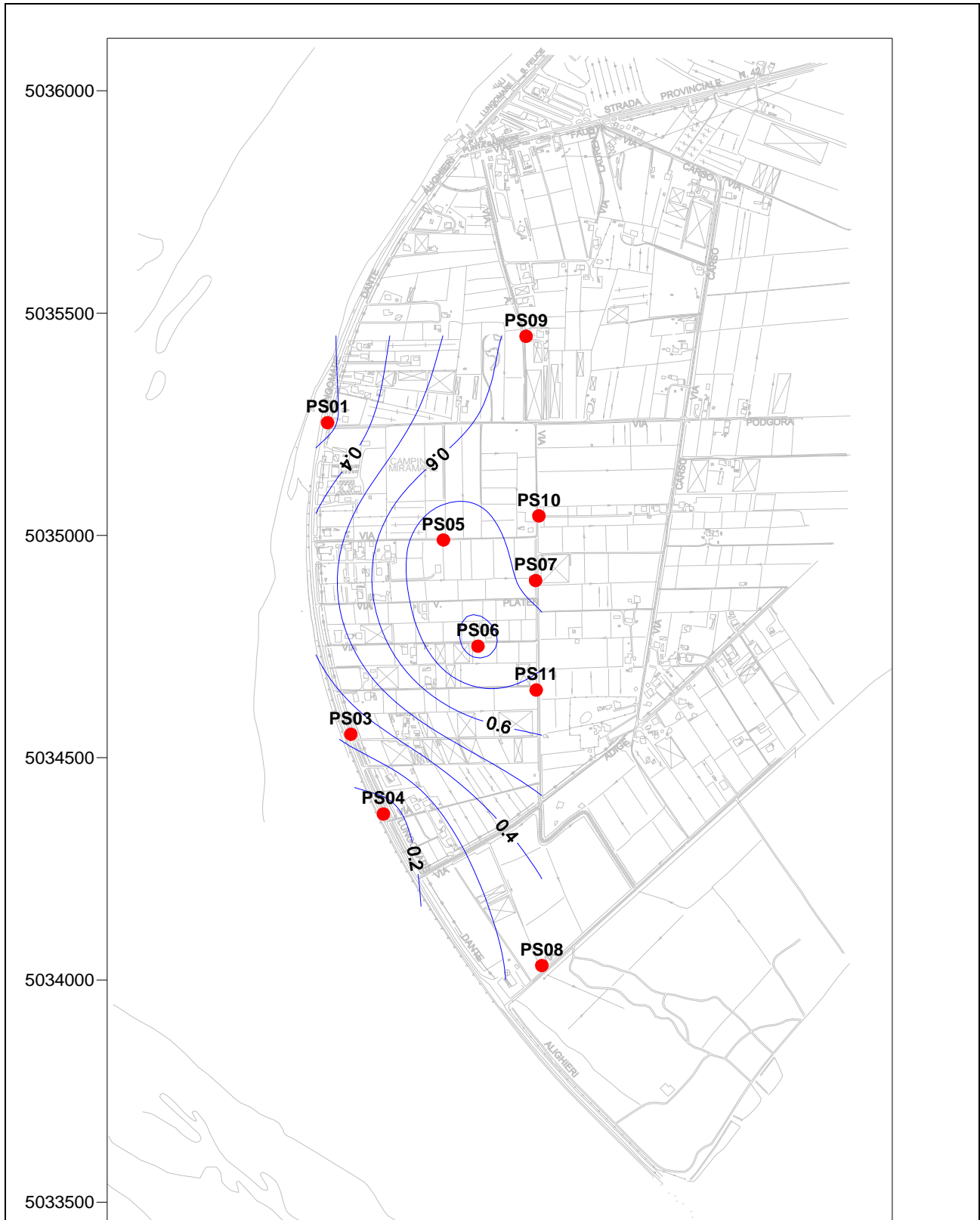


Fig.5. 3 - Piezometria superficiale Fase A ( $h_{q1}$  - m s.l.m.), 12 novembre 2005 - h.14.00

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

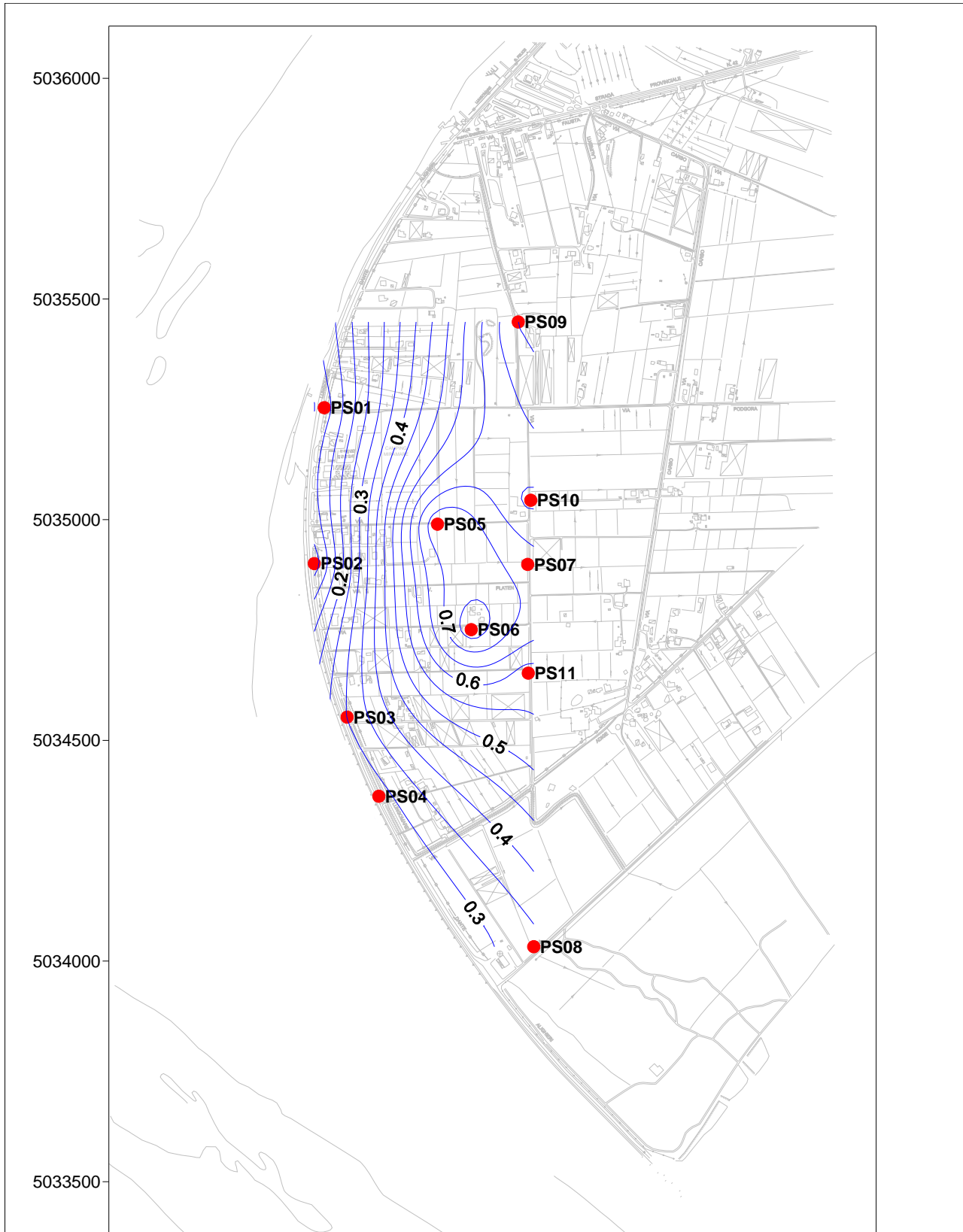


Fig.5. 4 - Piezometria superficiale mese di marzo 2007 ( $h_q$  - m s.l.m.), 16 marzo 2007 - h. 20:00

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

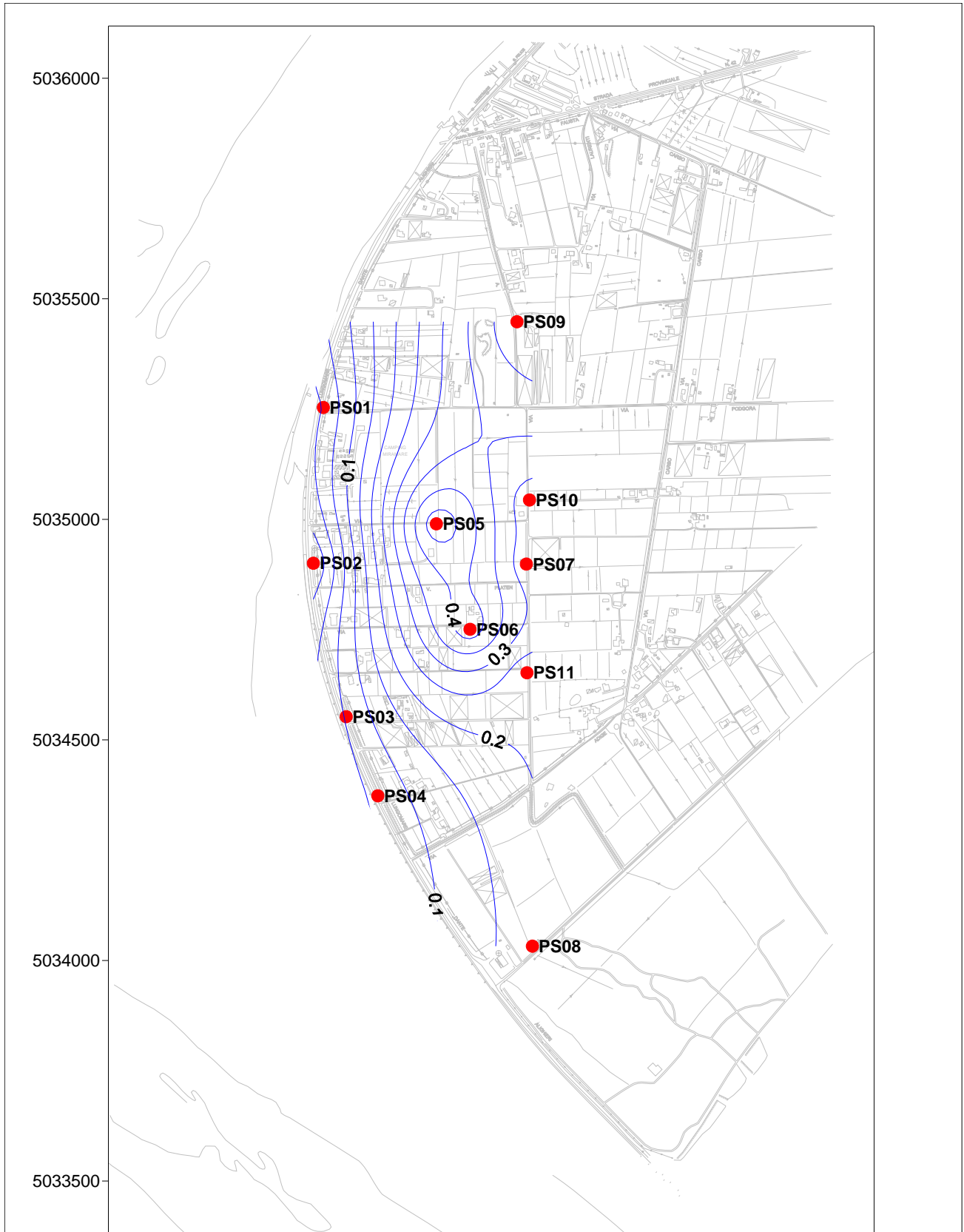


Fig.5. 5 - Piezometria superficiale mese di aprile 2007 ( $h_{qt}$  - m s.l.m.), 27 aprile 2007 - h. 17:00

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. 5.6, 5.7, 5.8 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab.5. 4 - Livelli piezometrici  $h_{fi}$  relativi al Secondo livello acquifero (Strato C), rilevati dai trasduttori nella Fase A e nelle due date di riferimento.

Piezometro	Levellogger	X	Y	$z_t$ (m s.l.m.)	Fase A	Marzo	aprile
					$h_{fi}$ (m s.l.m.)	$h_{fi}$ (m s.l.m.)	$h_{fi}$ (m s.l.m.)
PP01	L01	2318325.44	5035252.10	1.781	0.337	0.189	0.007
PP02	L03	2318303.40	5034898.36	1.706	0.298	0.080	-0.100
PP03	L05	2318378.37	5034550.49	1.492	0.353	-1.800	-2.475
PP04	L07	2318448.54	5034374.67	1.515	0.394	-4.179	-5.234
PP05	L09	2318579.81	5034989.68	1.730	0.469	0.165	-0.012
PP06	L11	2318658.29	5034748.80	1.652	0.375	-0.015	-0.233
PP07	L13	2318786.12	5034900.50	1.323	0.401	0.218	0.042
PP08	L15	2318800.26	5034031.14	0.675	0.260	-0.281	-0.456
PP09	L17	2318765.07	5035445.93	2.274	0.339	0.209	0.115
PP10	L19	2318793.08	5035045.83	2.098	0.302	0.090	-0.076
PP11	L21	2318787.40	5034654.31	1.087	0.288	-0.072	-0.275

I livelli dei piezometri profondi PP03 e PP04 risultano essere notevolmente minori a quelli rilevati durante la Fase A. Dalla ricostruzione piezometrica si può notare che il flusso converge verso l'area prossima al PP04, posto in vicinanza dei pozzi di emungimento all'interno della tura.

Si può notare un considerevole incremento del gradiente piezometrico rispetto alle condizioni di flusso della Fase A (Tab. 5.5).

Tab.5. 5 - Gradienti idraulici medi caratterizzanti le superfici piezometriche profonde

Data piezometria	Gradiente idraulico medio
Fase A: 12 novembre 2005 - h.14:00	0.02%
mese marzo: 16 marzo 2007 - h.20:00	0.93%
mese aprile: 27 aprile 2007 - h.18:00	1.13 %



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

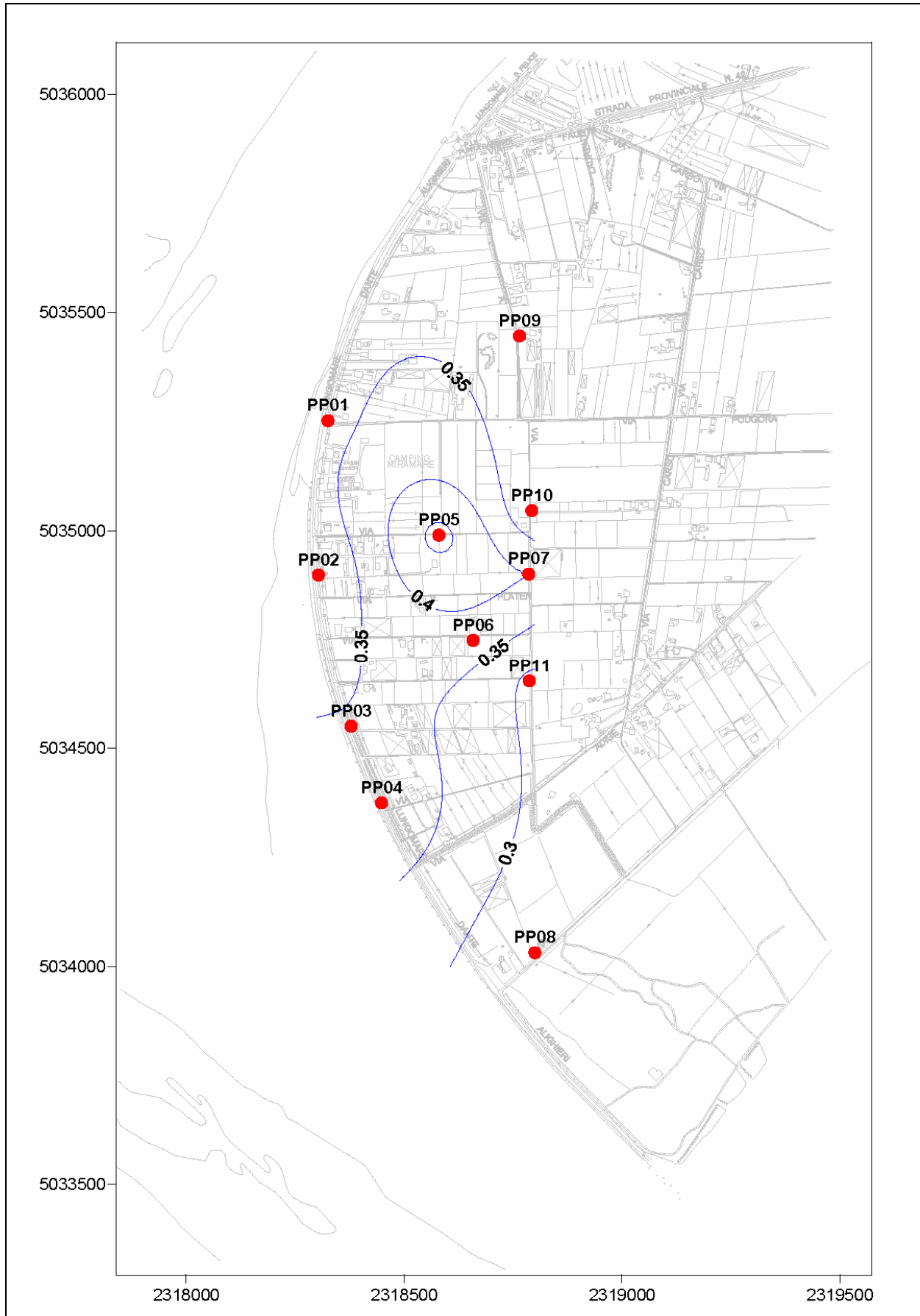


Fig.5. 6 - Piezometria profonda Fase A ( $h_u$  - m s.l.m.), 12 novembre 2005 - h.14.00

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

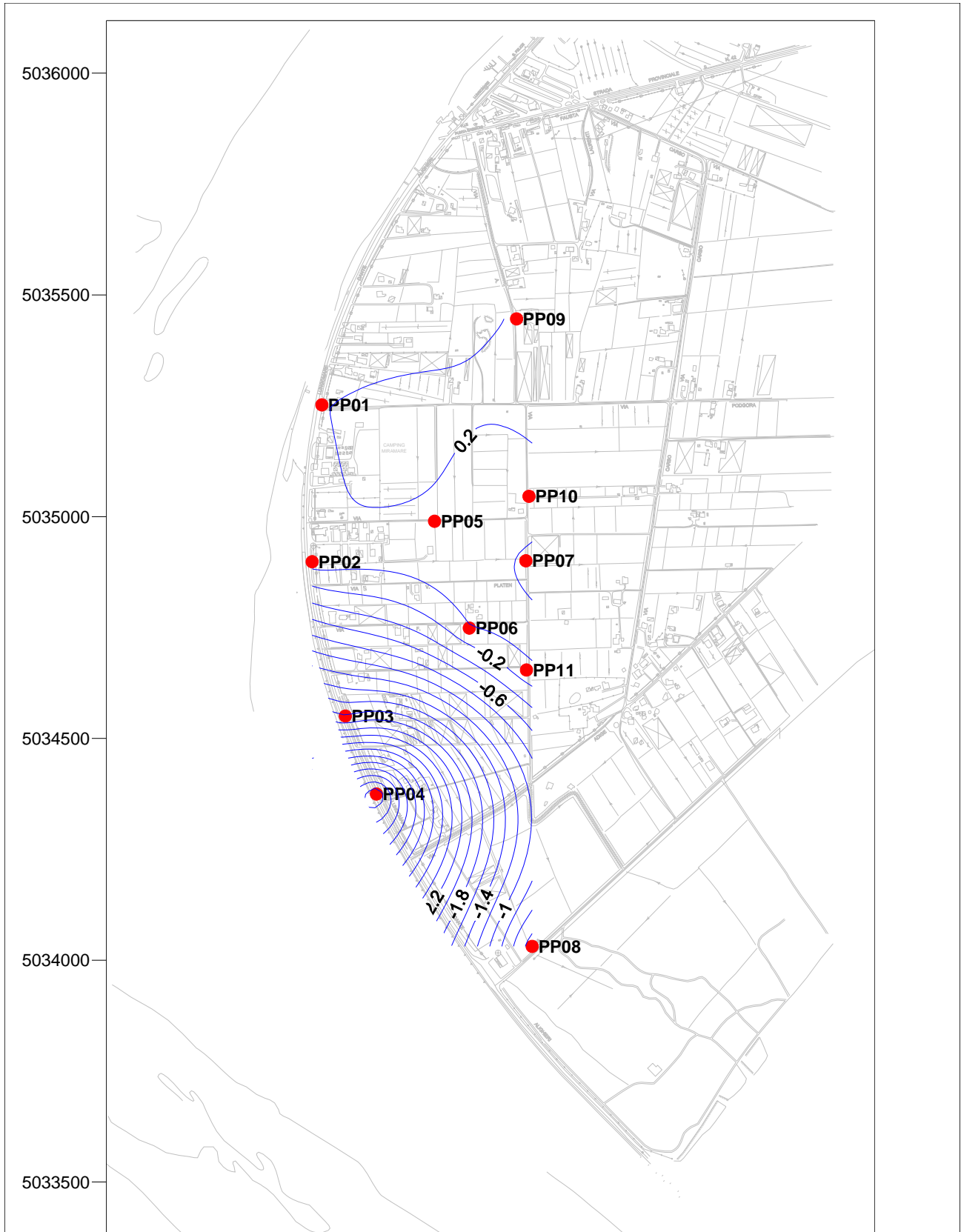


Fig.5. 7 - Piezometria profonda mese di marzo 2007 ( $h_{II}$  - m s.l.m.), 16 marzo 2007 - h. 20:00

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

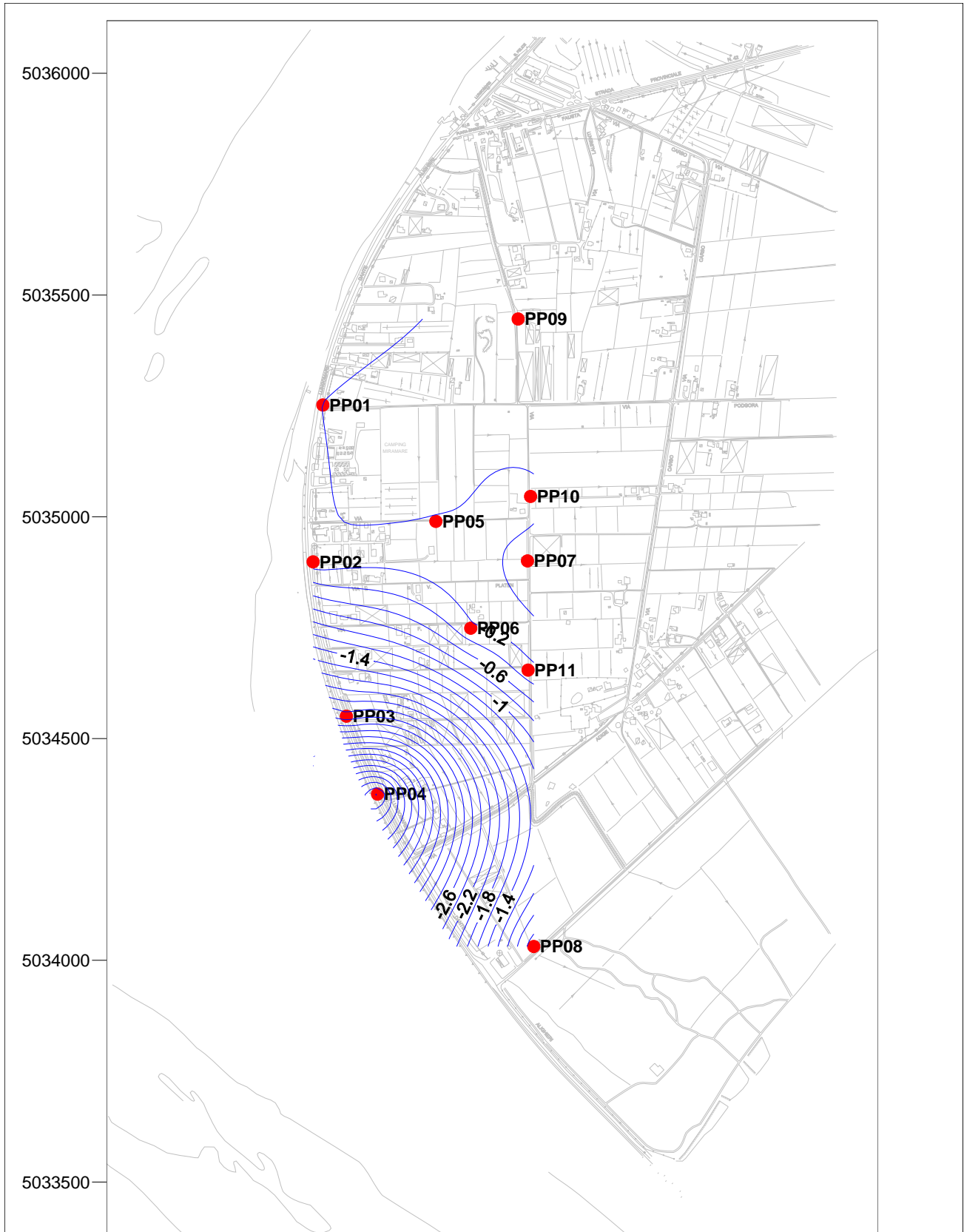


Fig.5. 8 - Piezometria profonda mese di aprile 2007 ( $h_{PI} - m$  s.l.m.), 27 aprile 2007 - h. 17:00

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

Tab.6. 1 - Identificazione preliminare delle soglie ed azioni correttive

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

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

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

Nel corso del bimestre di monitoraggio è stato verificato il rispetto delle soglie indicate in Tab.6.1. Nel seguito sono indicati i superamenti:

- La soglia di basso livello istantaneo non è stata rispettata nei piezometri profondi PP04 e PP03 durante tutto il periodo monitorato;
- La soglia di basso livello medio non è stata rispettata nei piezometri profondi PP04 e PP03 durante tutto il periodo monitorato;

Nei piezometri profondi il superamento delle soglie di basso livello è correlato alle operazioni di emungimento agenti sul cantiere del bacino lato mare. 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. 6.4, 6.5 e 6.6 sono visualizzate le soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi: si notano i superamenti nei piezometri PP03 e PP04 durante tutto il periodo di monitoraggio.

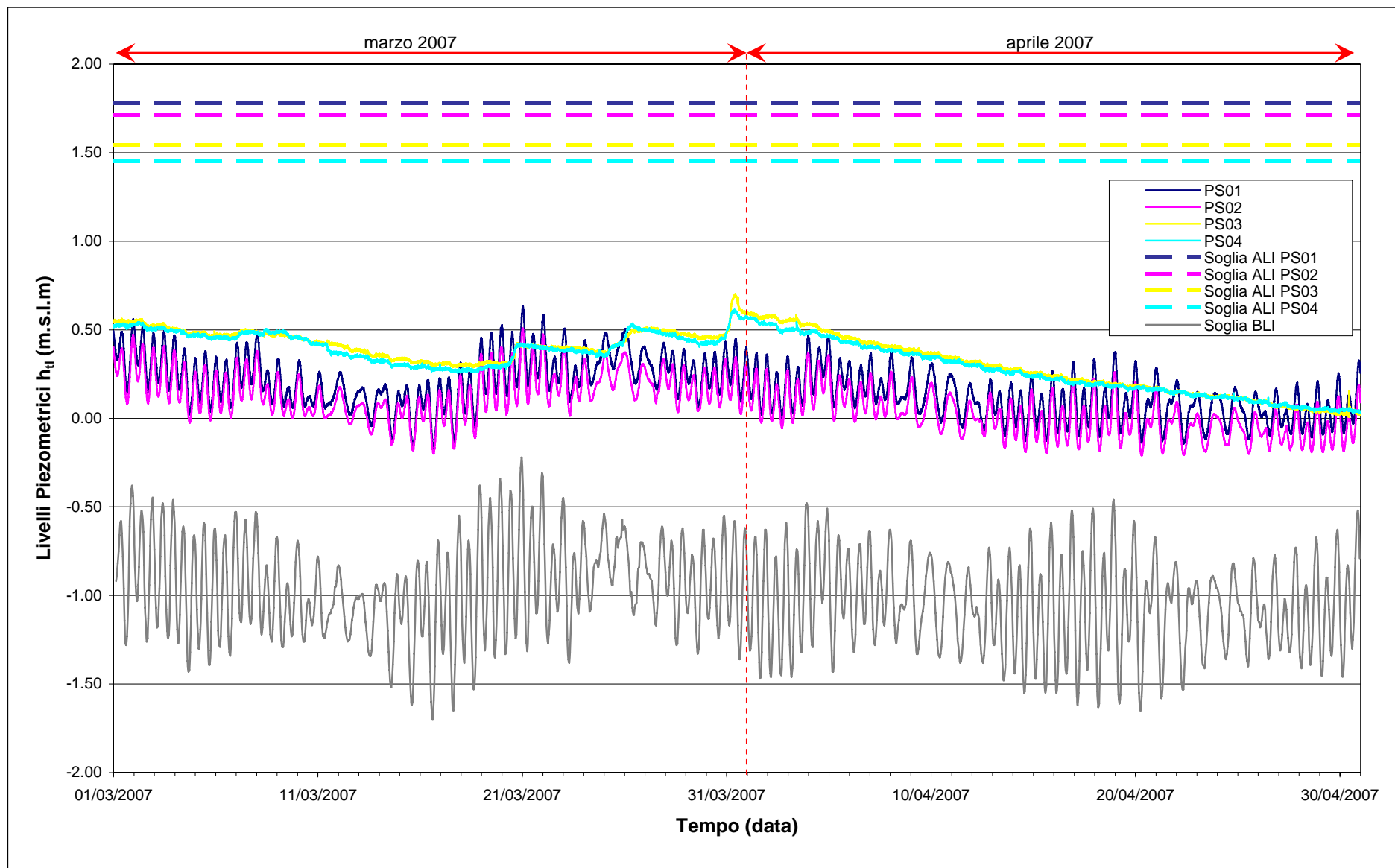


Fig.6.1 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS01, PS02, PS03, PS04

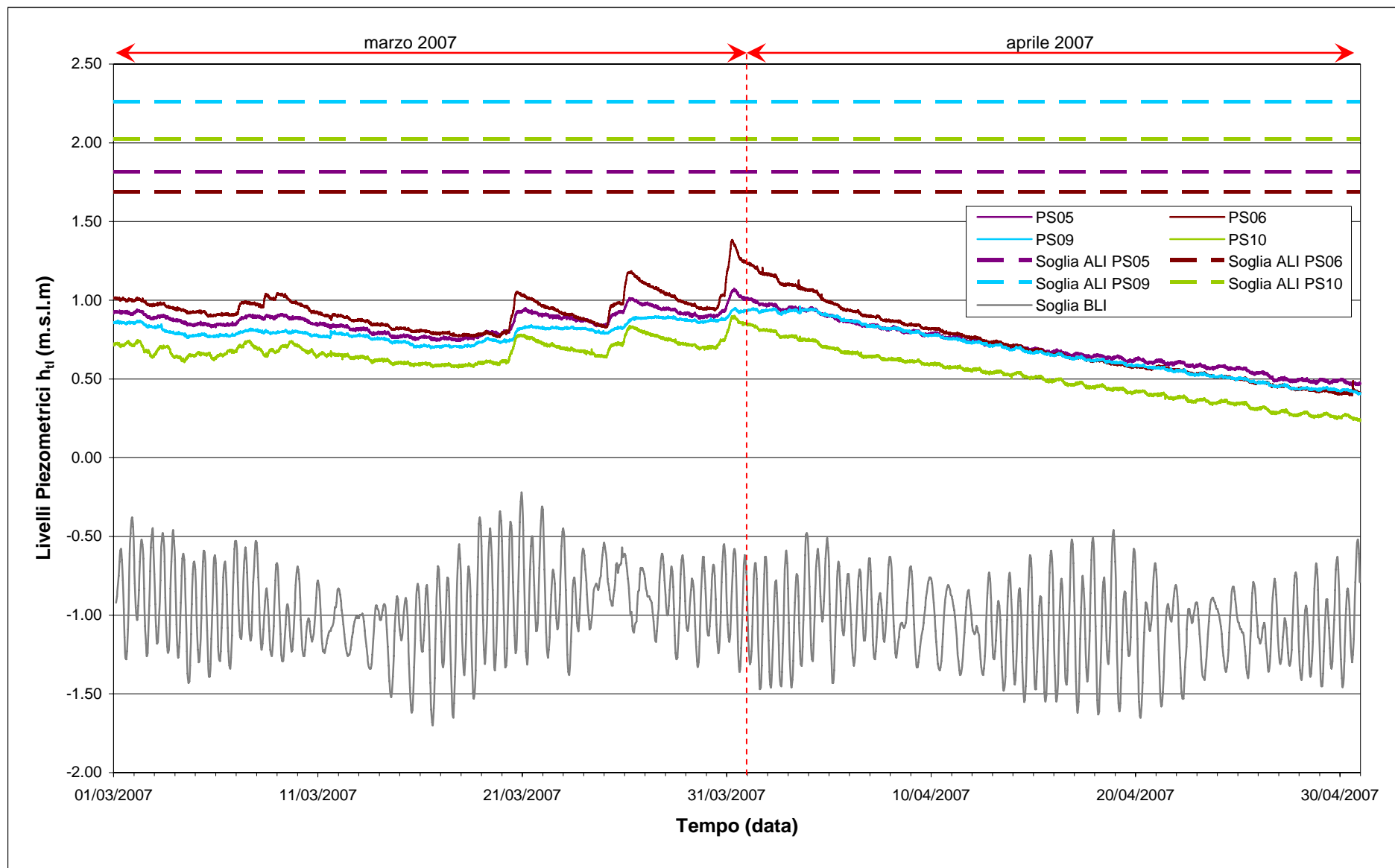


Fig.6.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS05, PS06, PS09, PS10

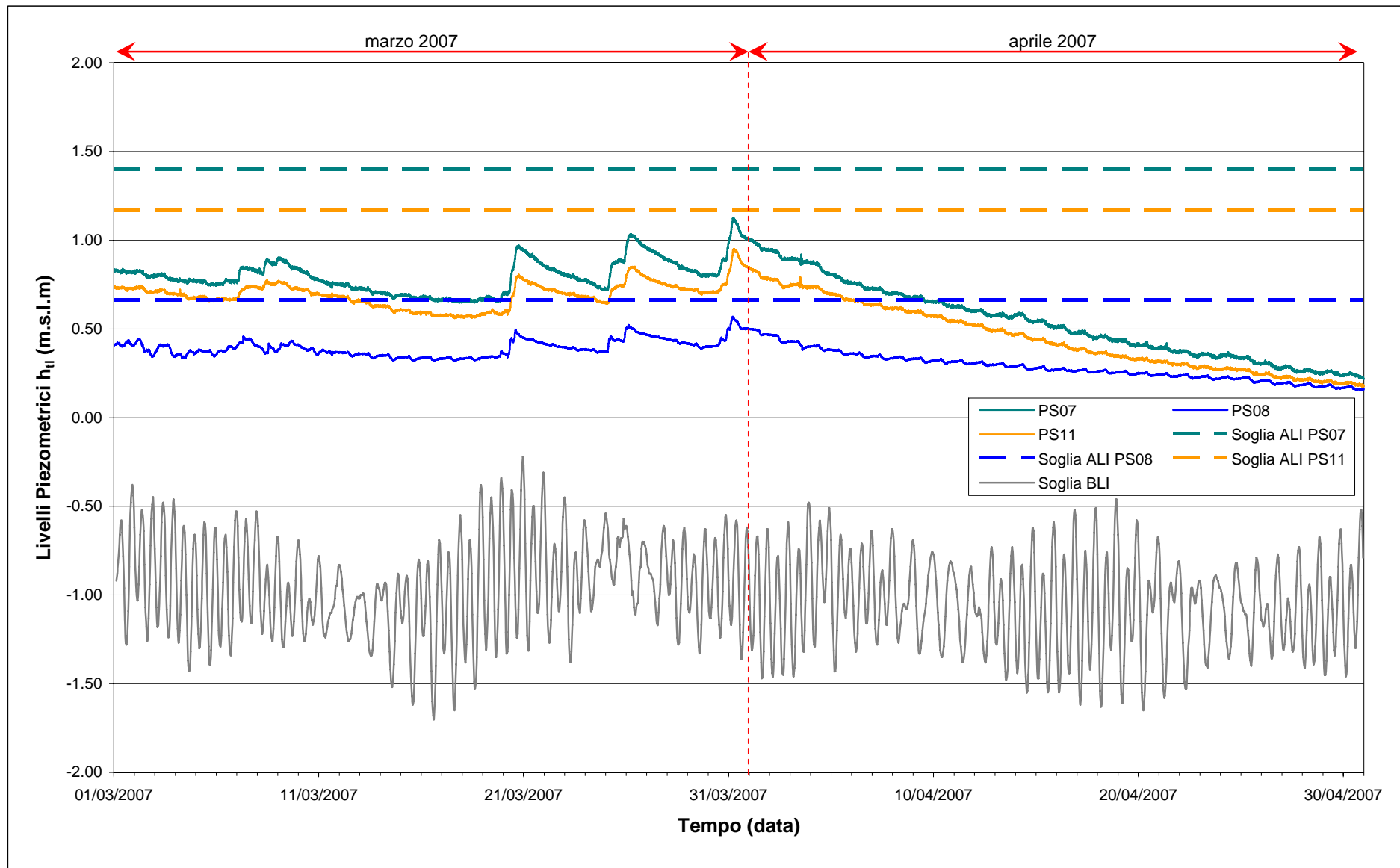


Fig.6.3 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS07, PS08, PS11



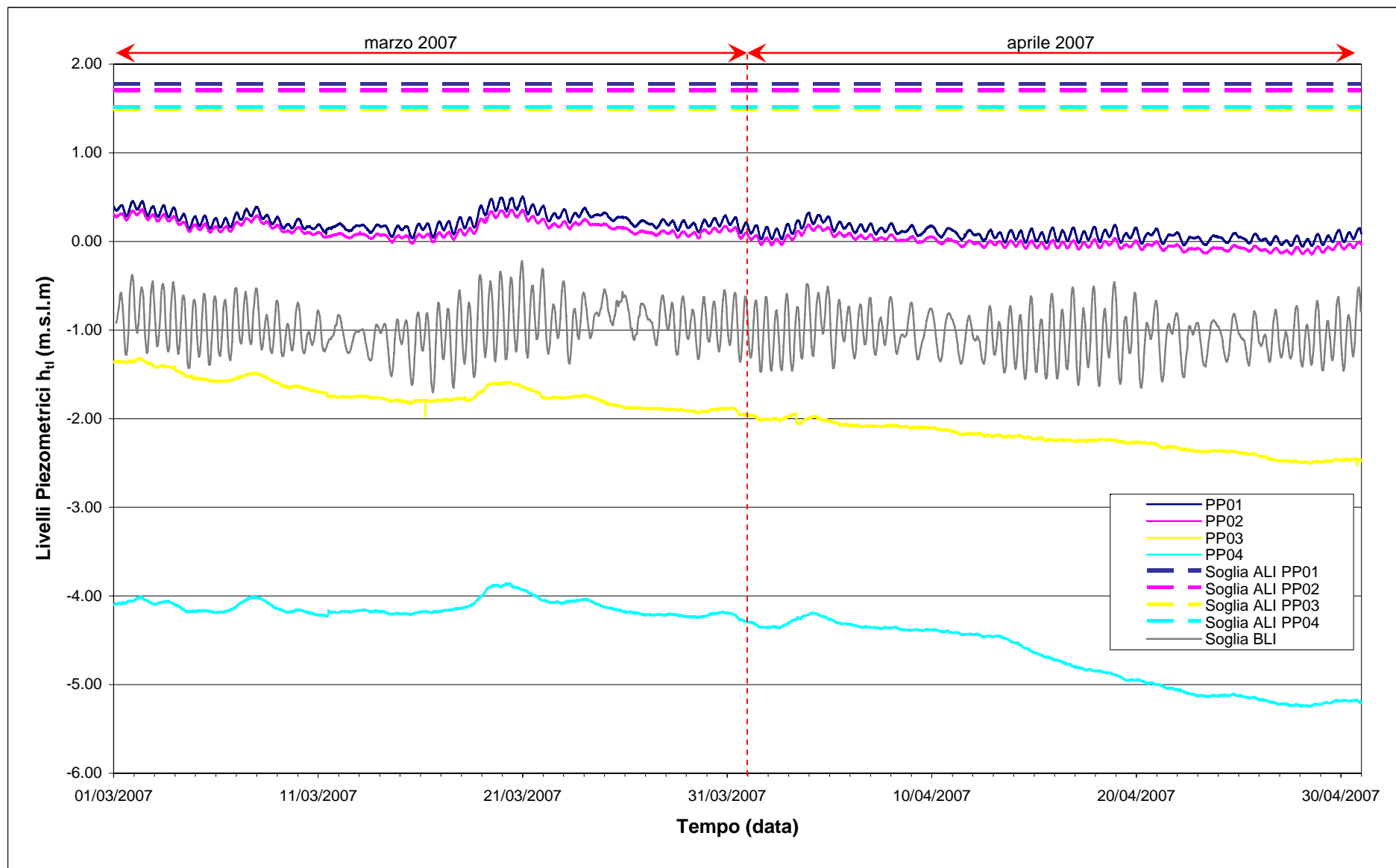


Fig.6.4 – Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP04

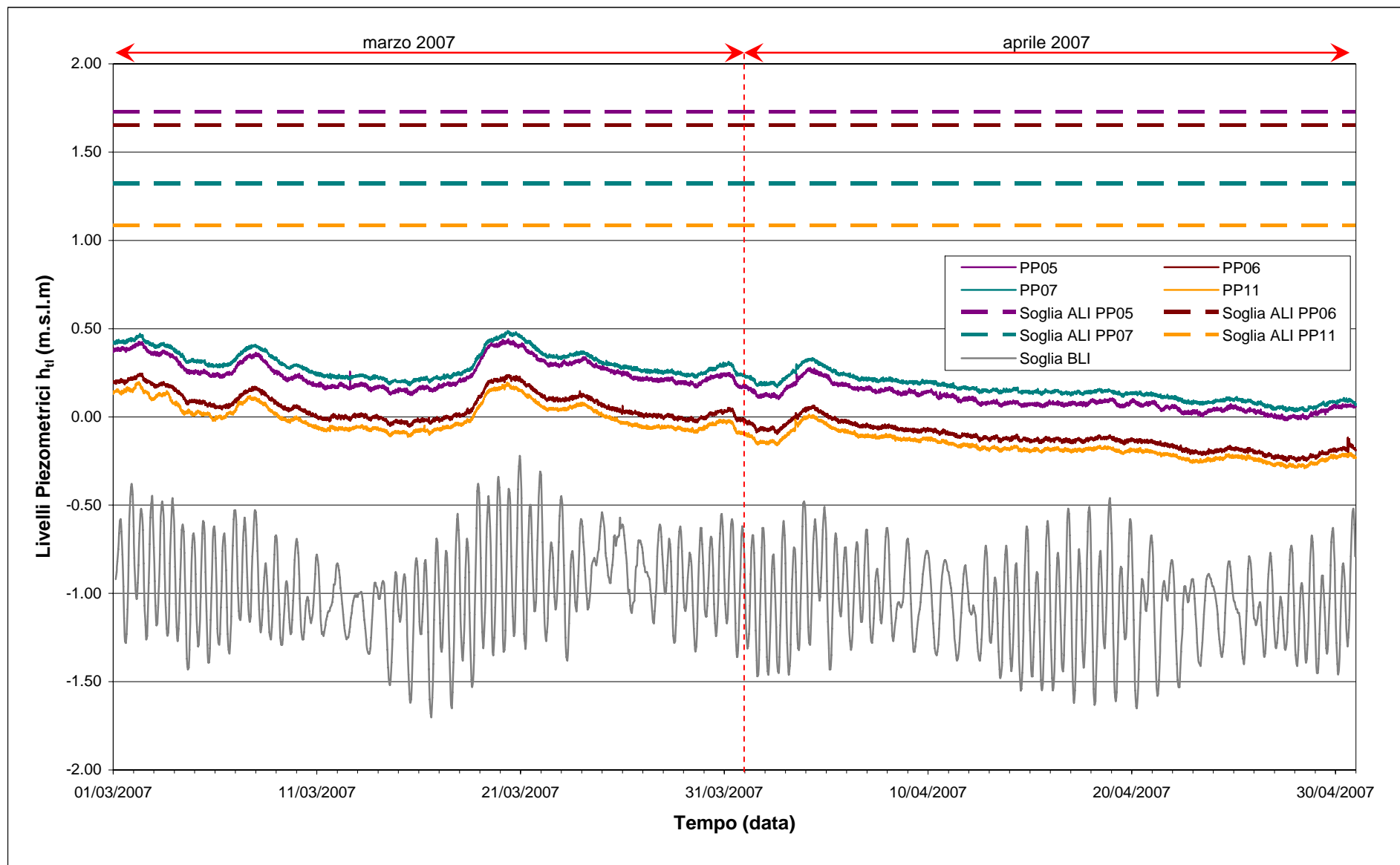


Fig.6.5 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP11

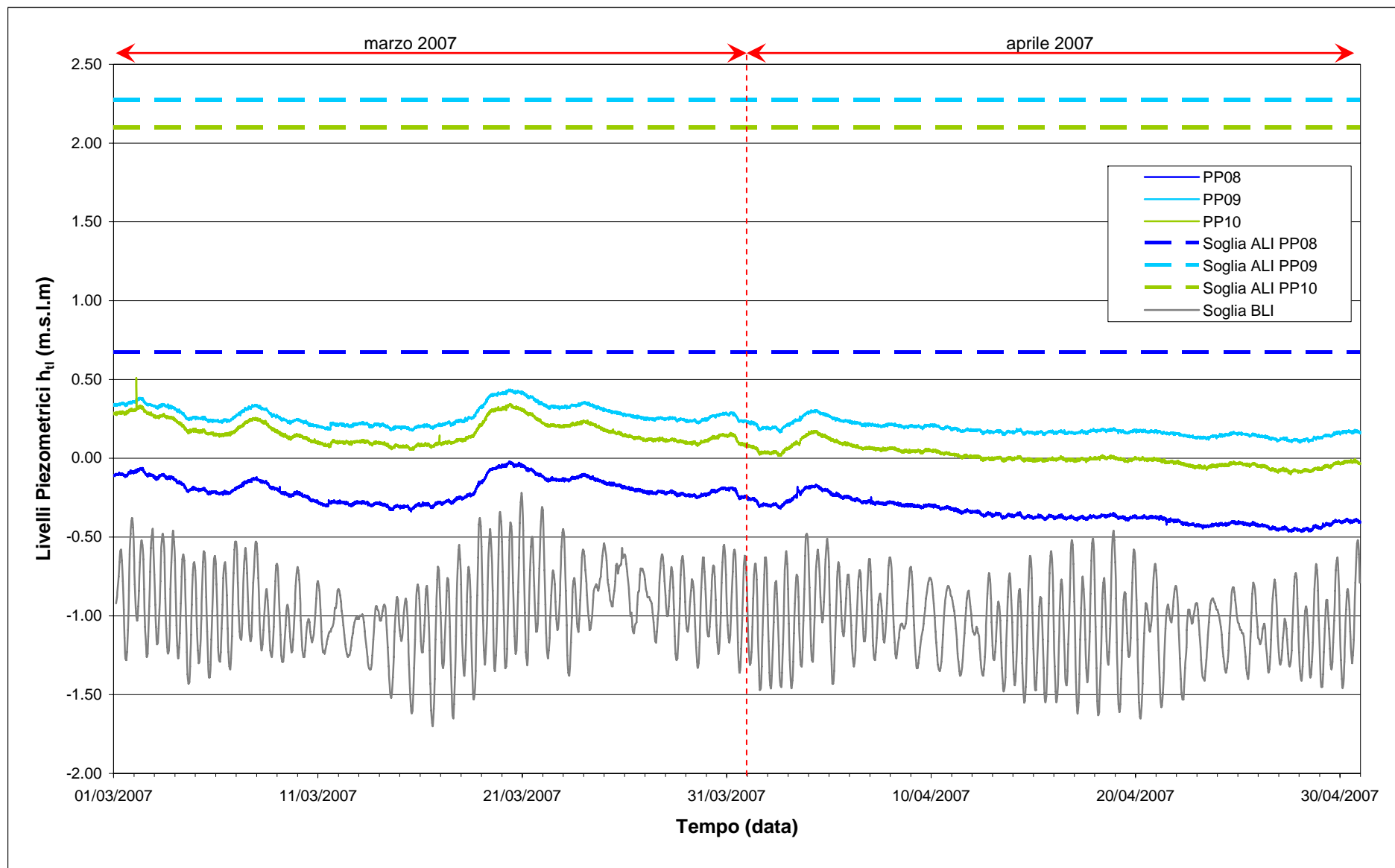


Fig.6.6 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP08, PP09, PP10

## 7. CONCLUSIONI

Nell'ambito del II Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 1 marzo 2006 ed il 30 aprile 2007, sono stati valutati gli andamenti dei livelli piezometrici all'interno del Primo e Secondo livello acquifero individuati dal Disciplinare Tecnico. 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 e della sua influenza sulla determinazione dei carichi idraulici.

Per quanto riguarda le influenze delle forzanti naturali, l'unica differenza riscontrabile da quanto rilevato durante i precedenti mesi di monitoraggio (I Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/2, periodo di riferimento: novembre 2006 - febbraio 2007 ), è l'assoluta mancanza di rilevanti precipitazioni durante il periodo di aprile 2007 che determina un sensibile abbassamento dei livelli piezometrici dell'acquifero superficiale.

Per quanto riguarda le influenze delle forzanti antropiche, nei due mesi oggetto del monitoraggio continuano ad essere visibili le conseguenze attribuibili alle attività di cantiere nei due piezometri profondi PP03 e PP04 ed in maniera minore in corrispondenza di PP08 che risentono del pompaggio in atto all'interno della tura in corrispondenza del cantiere del bacino lato mare.

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

## 8. INTRODUZIONE

La seconda parte di questo documento descrive l'analisi dei dati derivanti dal mensile di monitoraggio comprendente il periodo 1 aprile 2007 - 30 aprile 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/2 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2006).

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 risultati delle analisi di densità e conduttanza specifica dell'acqua di falda e le elaborazioni effettuate per la definizione di un metodo di correzione dei livelli piezometrici misurati dai trasduttori in funzione della densità dell'acqua.

## 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 01/04/2007 e il 30/04/2007.

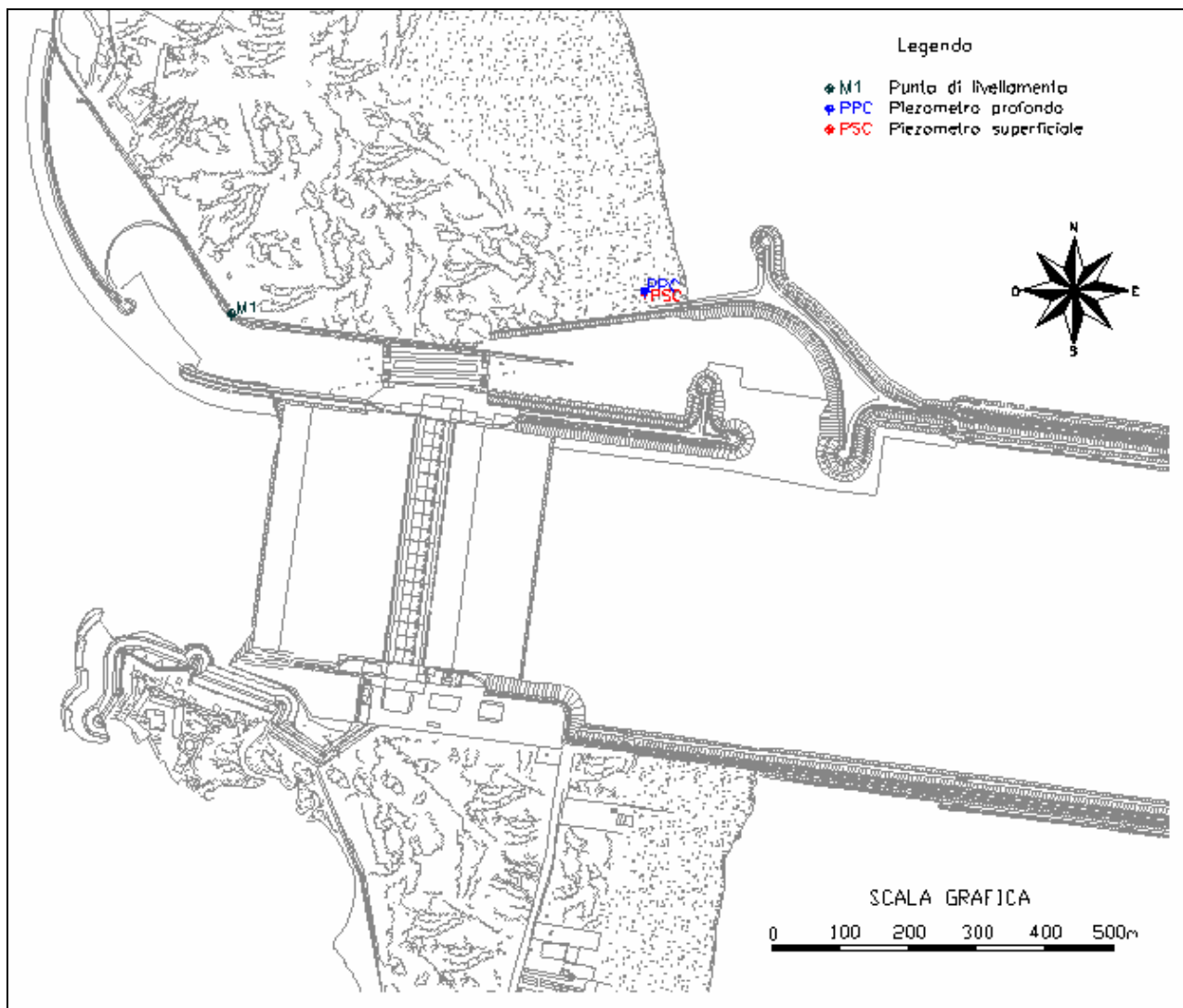


Fig.9. 1- Ubicazione dei piezometri

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

La risposta del sistema è misurata dal carico idraulico  $h_{il}$ , 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:

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

- Precipitazioni, registrate dalla stazione meteorologica “Cepe” situata alla bocca Nord di Malamocco;
- oscillazioni mareali registrate dal mareografo Diga Sud Chioggia (stazione di monitoraggio meteo-marino dell’Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, comune di Venezia);
- 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 “Cepe” del Magistrato alle Acque di Venezia. In Fig.9.2 è riportato l’andamento delle precipitazioni registrate durante il mese di monitoraggio. Durante il mese di aprile non sono avvenuti eventi piovosi caratterizzati da un’altezza di pioggia superiore a 5 mm.



CORILA

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

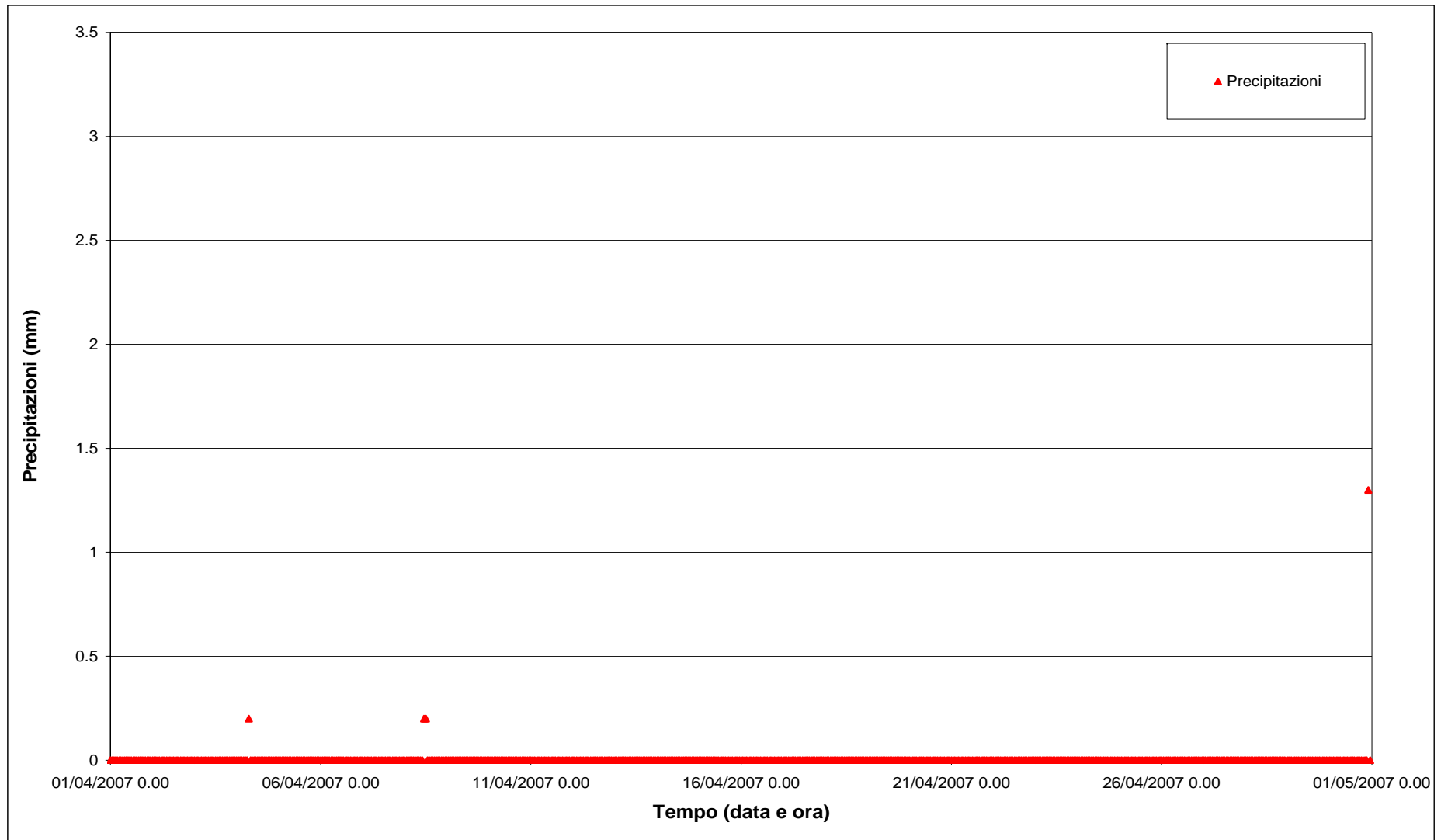


Fig.9.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/04/2007 - 30/04/2007

**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 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.

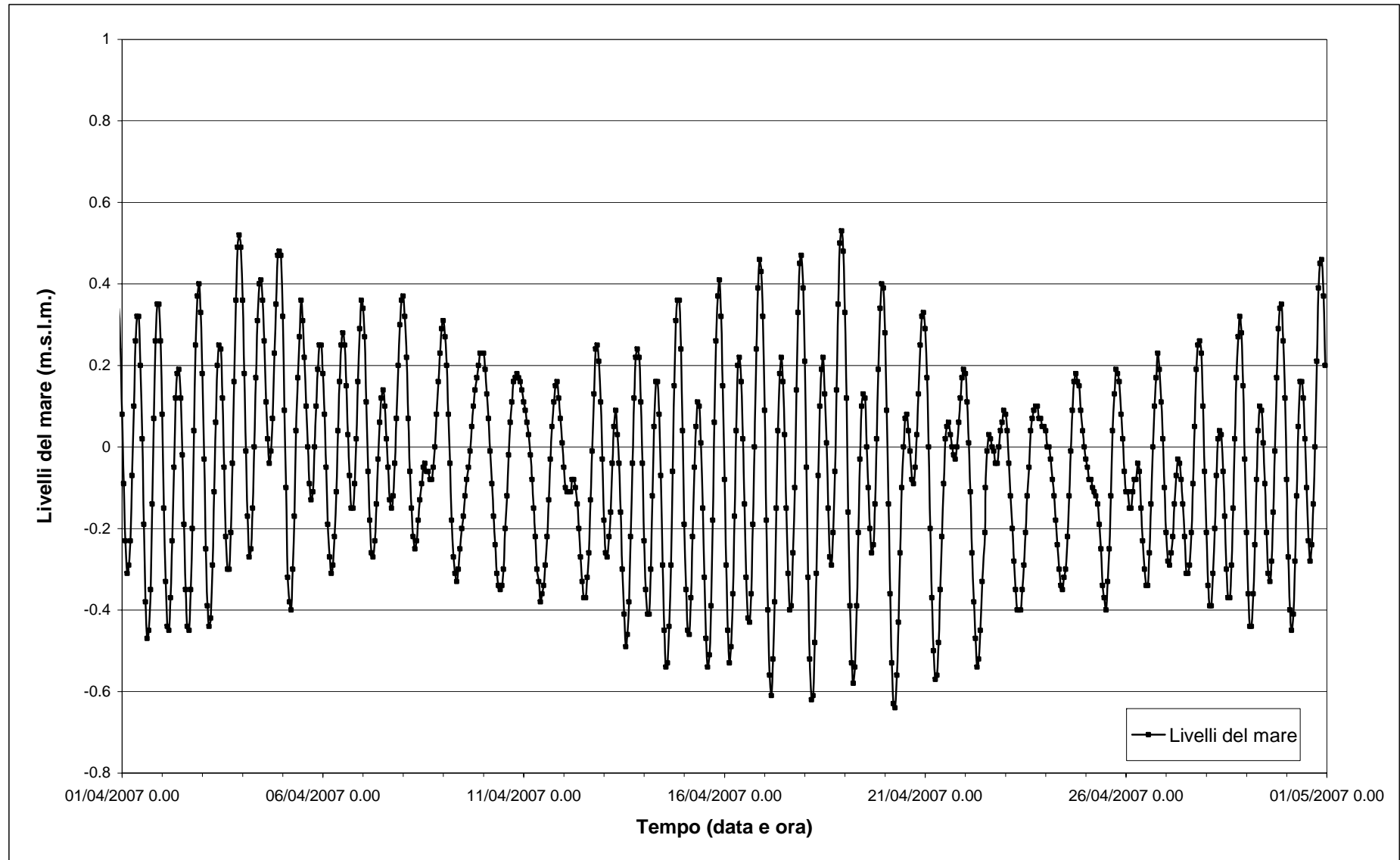
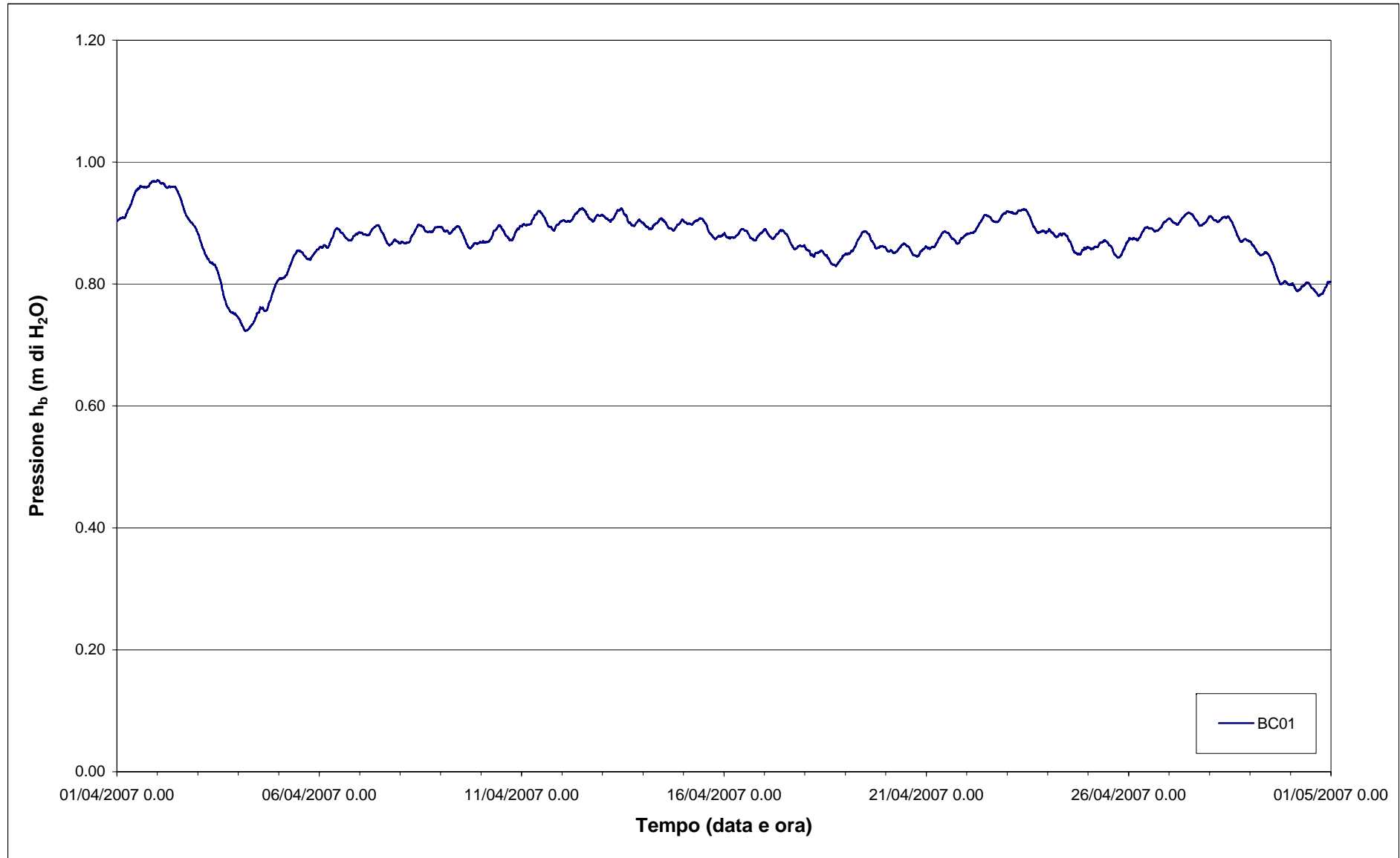


Fig.9.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia. I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

**9.2.3** *Pressione atmosferica -  $h_b$*

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.

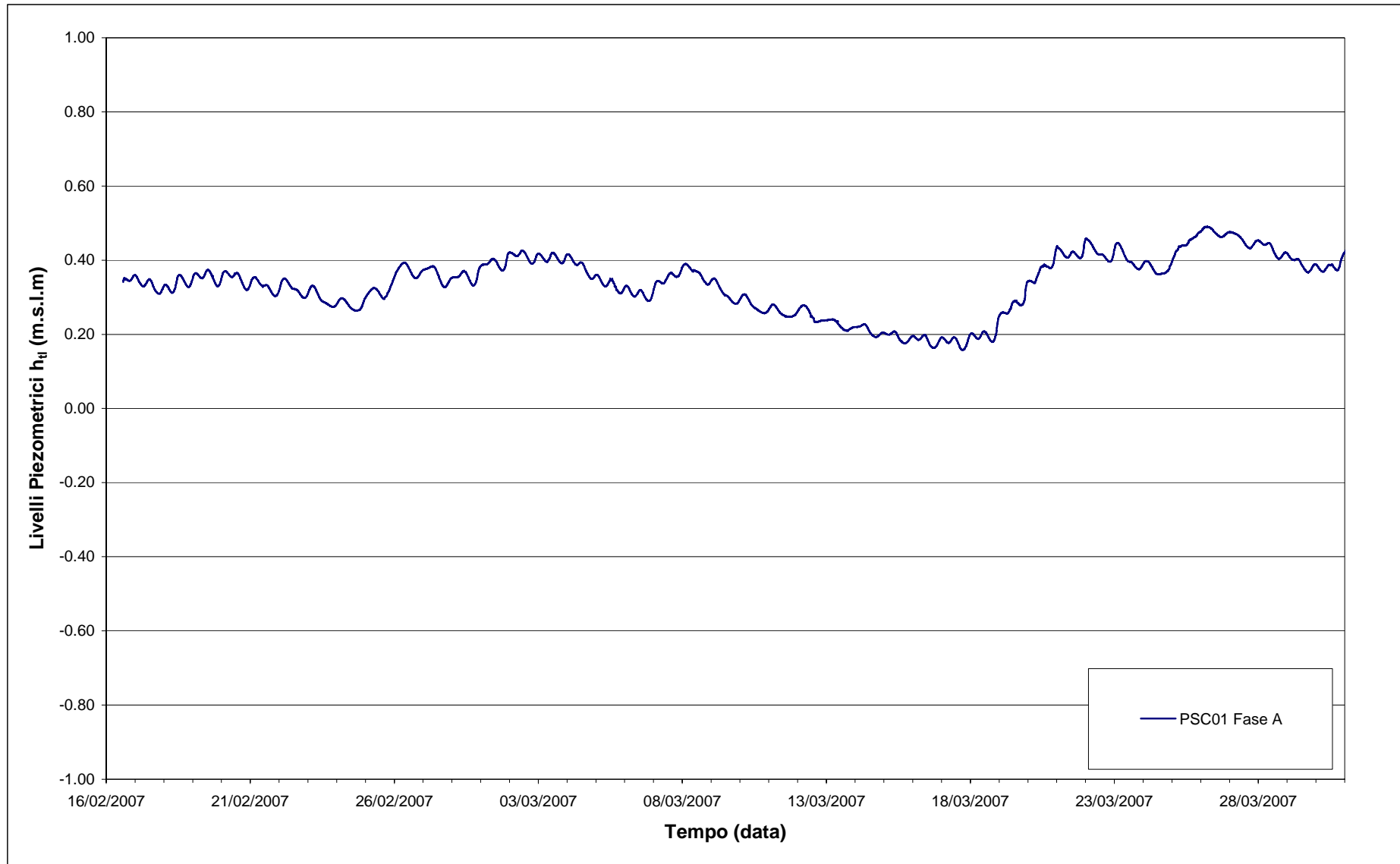
#### **9.3.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_d$ (Fase A)**

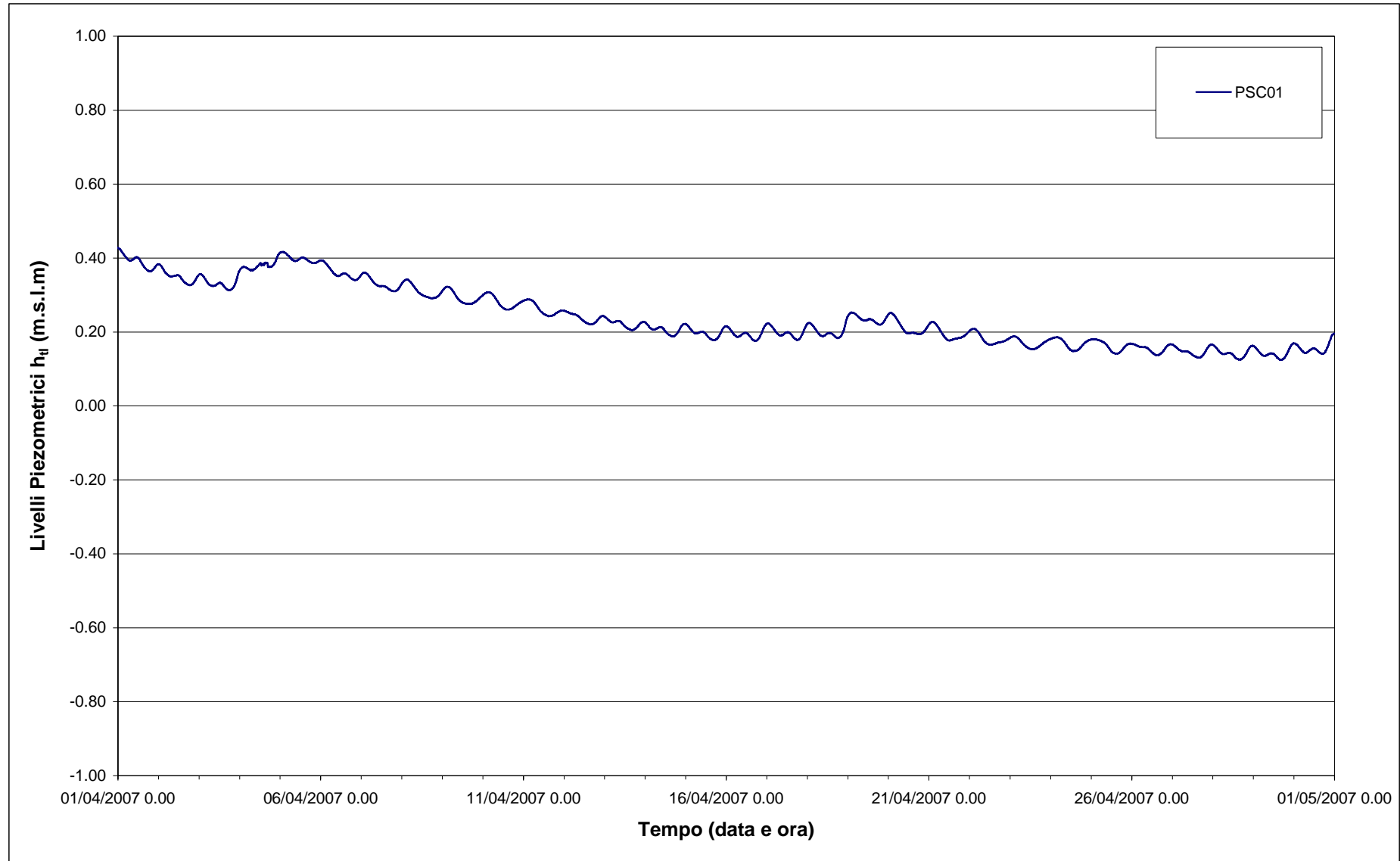
In Fig 9.5 sono riportati i dati relativi ai livelli del piezometro PSC01 durante la Fase A (febbraio - marzo 2007).

#### **9.3.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_t$**

I dati riportati in Fig.9.6 sono riferiti al primo mese di monitoraggio di Fase B: aprile 2007.

Dall'analisi dei tracciati riportati in Fig.9.6 è possibile osservare come i livelli piezometrici del piezometro superficiale siano correlabili alle differenti forzanti naturali:

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

Fig.9.6 - Livelli piezometrici ( $h_{pi}$ ) relativi al piezometro superficiale nel mese di monitoraggio aprile 2007



### 9.3.3 *Effetti delle precipitazioni*

Durante il mese di aprile non sono stati rilevati eventi piovosi significativi, pertanto il sistema acquifero non ha risentito di questa forzante naturale.

L'assenza di pioggia può aver concorso al sensibile abbassamento del livello piezometrico che si è rilevato rispetto al periodo della Fase A (gennaio - febbraio 2007)

### 9.3.4 *Effetti delle oscillazioni mareali*

In Fig.9.7 è possibile confrontare i tracciati di misura del trasduttore posizionato in corrispondenza del piezometro 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.

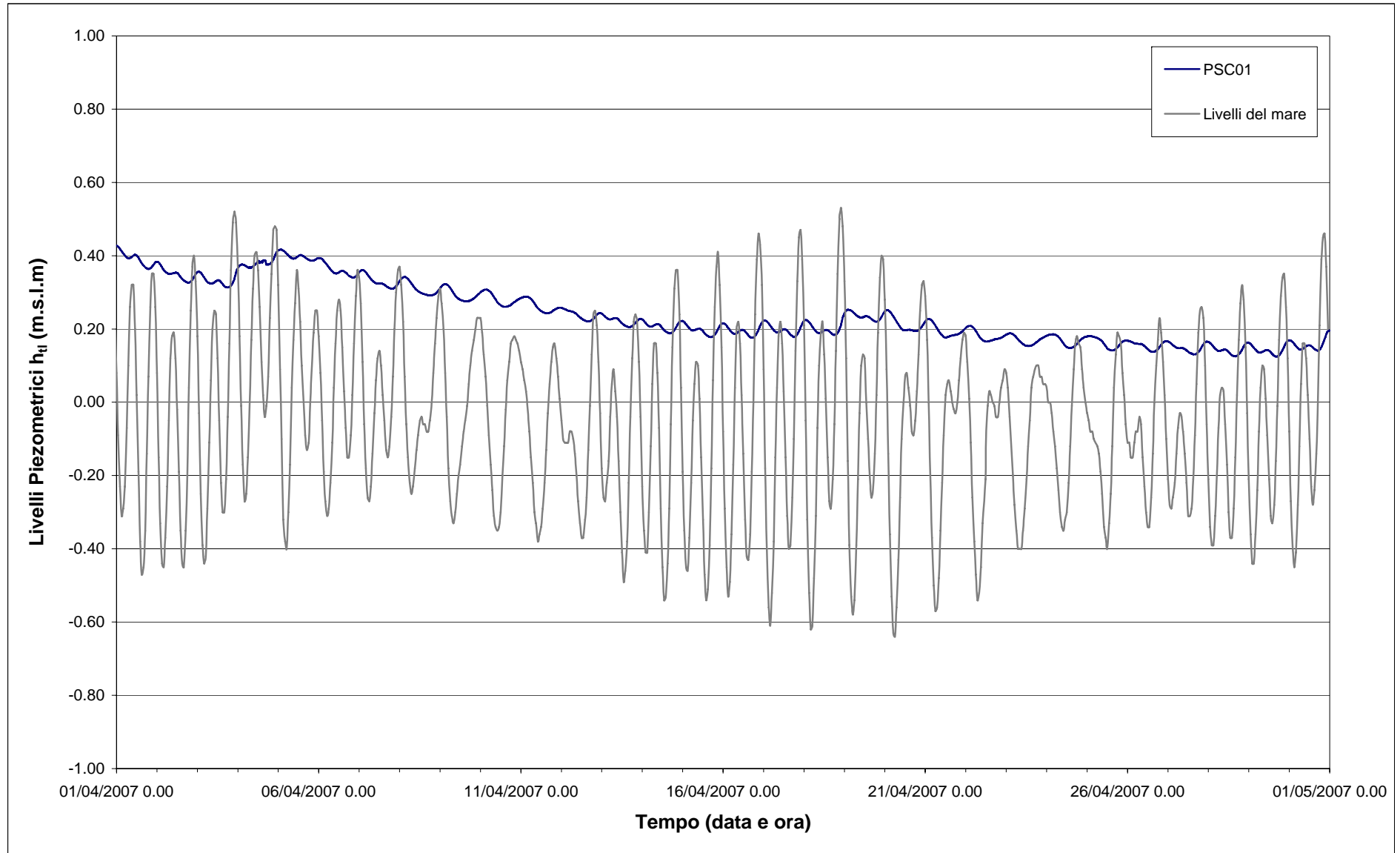


Fig.9.7 - Livelli piezometrici del piezometro superficiale PSC01 e livelli del mare

#### **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.

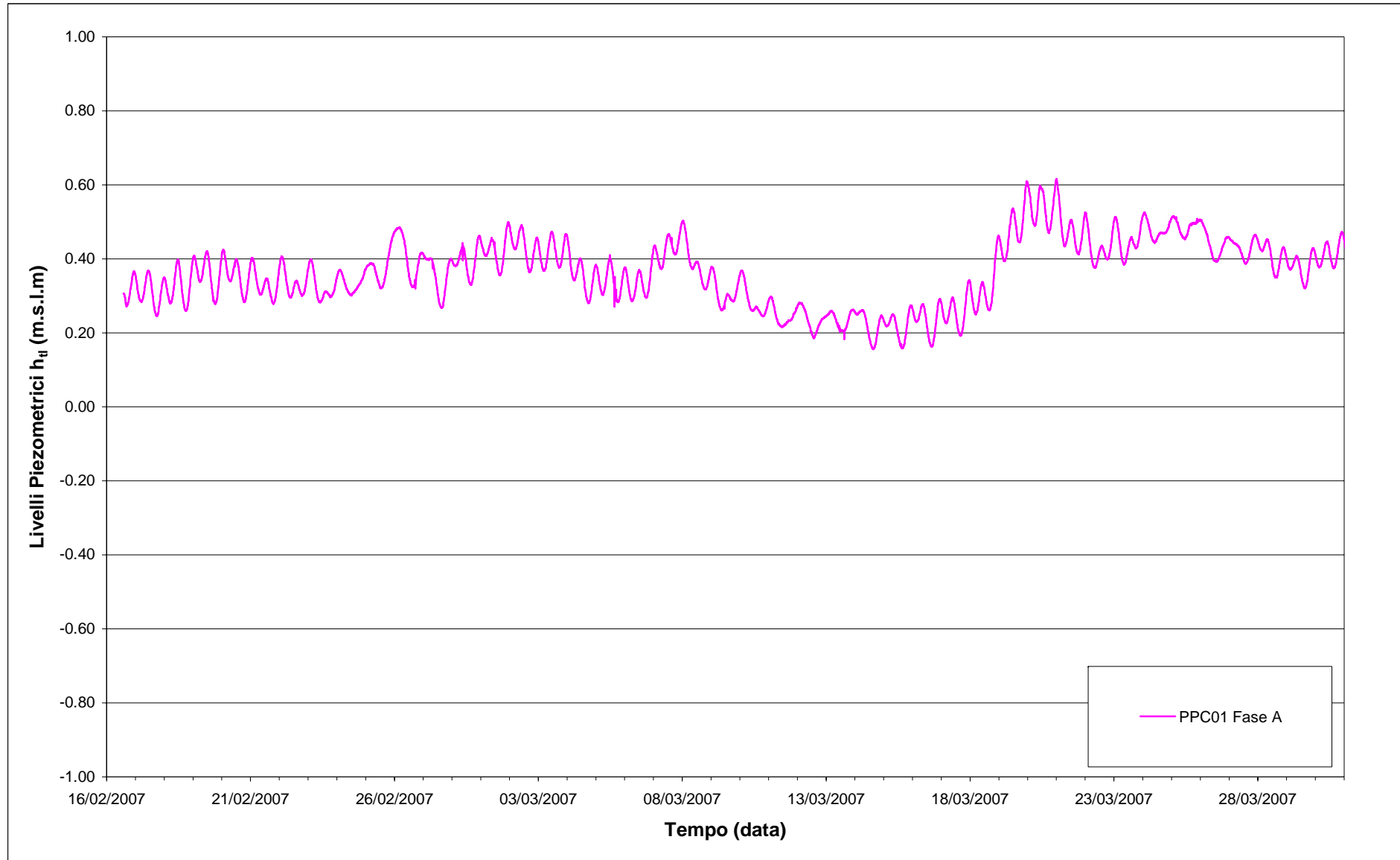
##### **9.4.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{ij}$ (Fase A)**

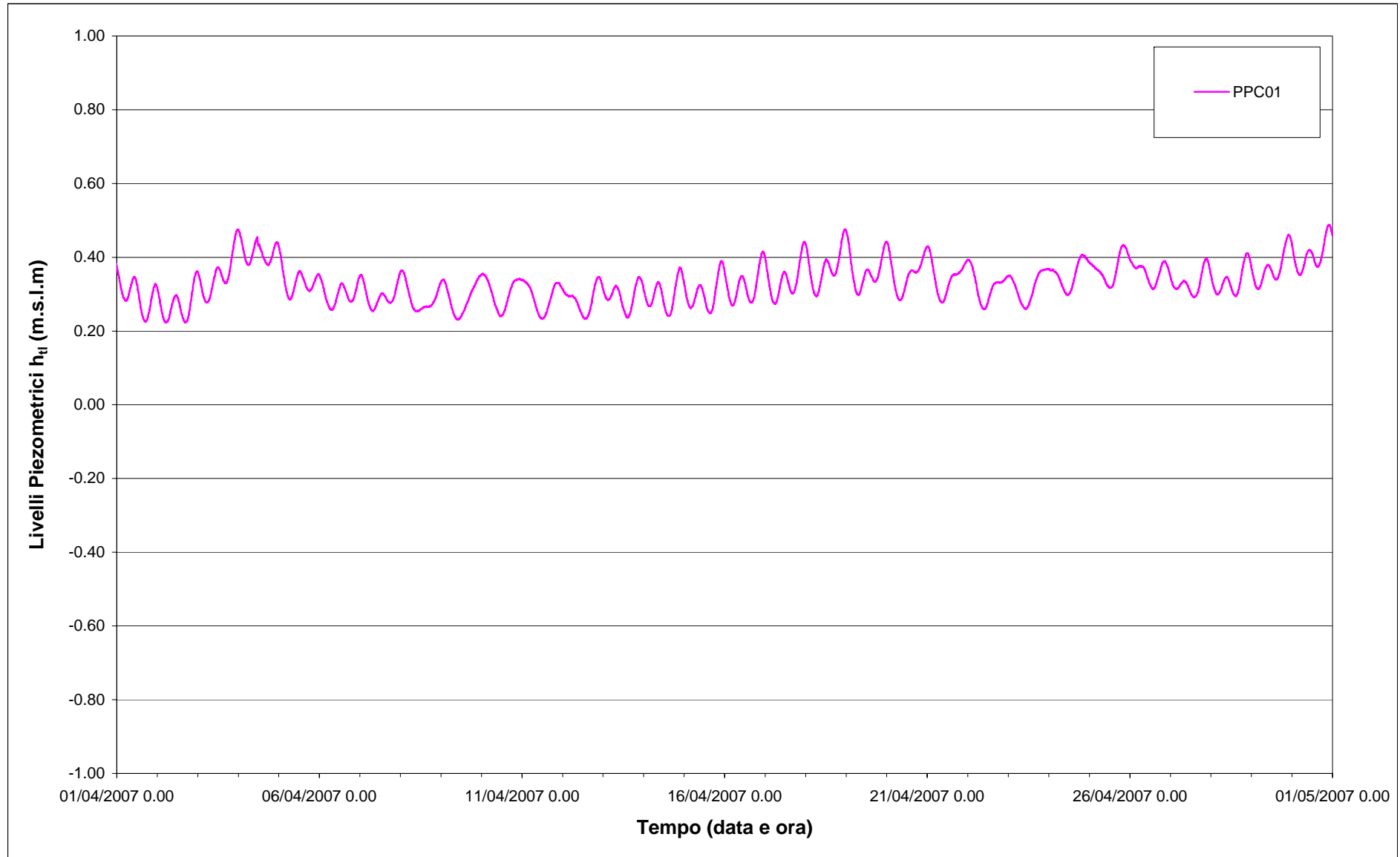
I dati riportati in Fig.9.8 si riferiscono ai livelli piezometrici assoluti misurati in corrispondenza del piezometro profondo PPC01 nel periodo febbraio – marzo 2007 (Fase A)

##### **9.4.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{ij}$**

I dati riportati in Fig.9.9 sono riferiti al mese di monitoraggio della Fase B: aprile 2007.

Dall'analisi dei tracciati riportati in Fig.9.9 è possibile osservare come il piezometri profondo sia sensibile alle forzanti fisiche naturali.

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

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

#### **9.4.3** *Effetti delle precipitazioni*

L'assenza di precipitazioni durante il mese di aprile non sembra aver determinato un abbassamento del livello piezometrico, che appare invece in linea con quello monitorato durante la Fase A.

#### **9.4.4** *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.

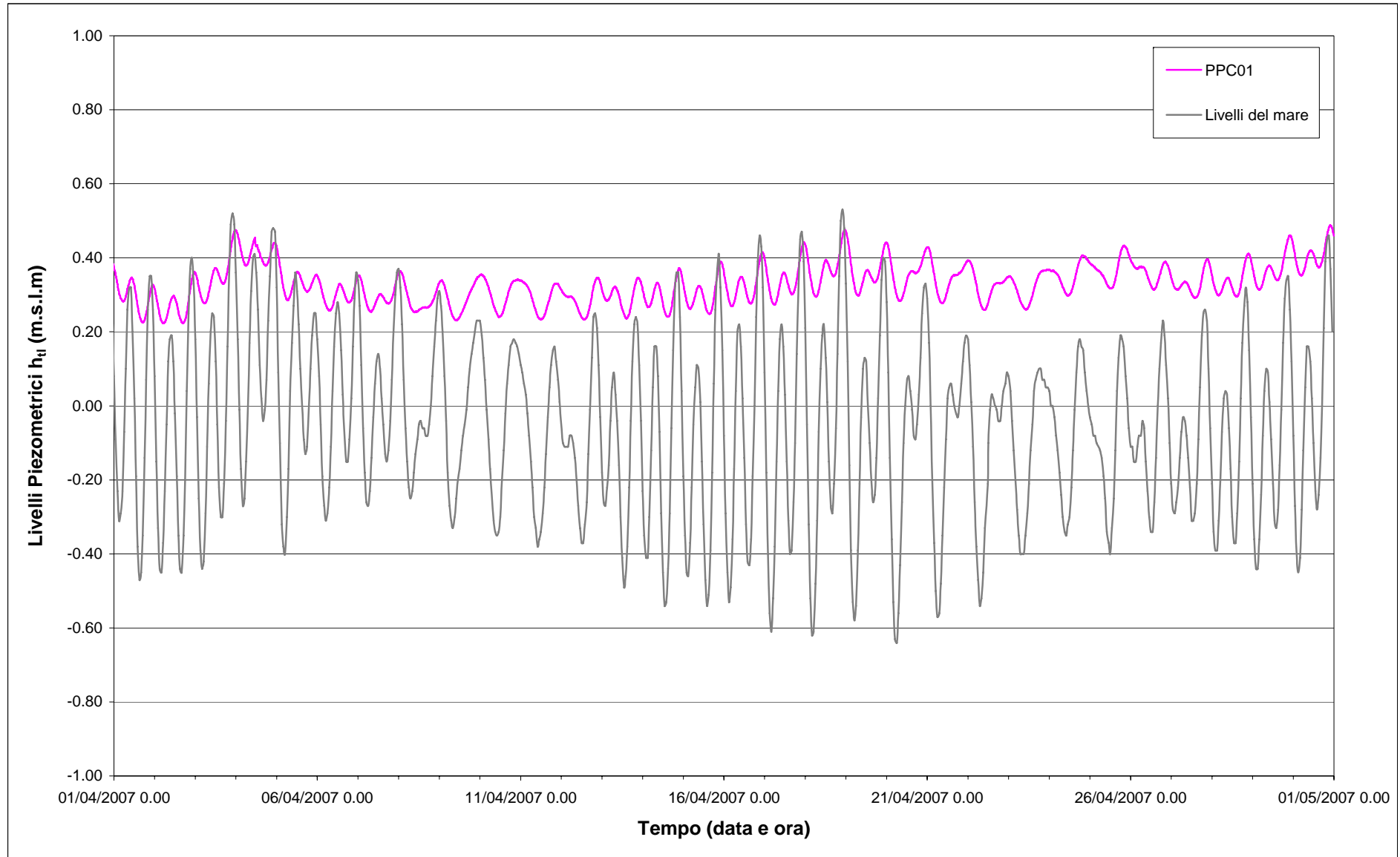


Fig.9.10 - Livelli piezometrici del piezometro profondo PPC01 e livelli del mare

## **10. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE**

Nel corso dei sopralluoghi effettuati durante il mese 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

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 possano essere eseguite in campo per la misura della densità lungo la verticale all'interno di ciascun piezometro, sono state derivate alcune correlazioni con la conduttanza specifica, parametro più facilmente misurabile mediante sonda multiparametrica Solinst TLC modello 107 (come illustrato nel rapporto mensile di novembre 2006). La sonda TLC della Solinst restituisce la temperatura dell'acqua e la conduttanza specifica riferita a 25 °C ( $C_{25}$ ).

#### 11.1.1 Correlazione densità-conduttanza specifica

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 veda il I Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/2).

Per lo sviluppo della correlazione, analogamente a quanto descritto nel paragrafo 4.2, stato necessario normalizzare i valori di conduttanza riferendoli ad una temperatura di 20 °C. A seguito di questa operazione, i campioni di acqua prelevati dai due piezometri sono stati sottoposti ad analisi (alla temperatura di 20°C) mediante densimetro, al fine di determinare la correlazione tra densità e conduttanza specifica. Tale correlazione, mostrata in Fig.11.1, è stata ricavata impostando una intercetta  $\rho_0 = 998.200101772$  (kg/m<sup>3</sup>) corrispondente alla densità dell'acqua pura (C=0) alla temperatura di 20°C.

$$\rho(T = 20^\circ\text{C}, C_{20}) = 998.200101772 + 4.93511 \cdot 10^{-4} \cdot C_{20}$$

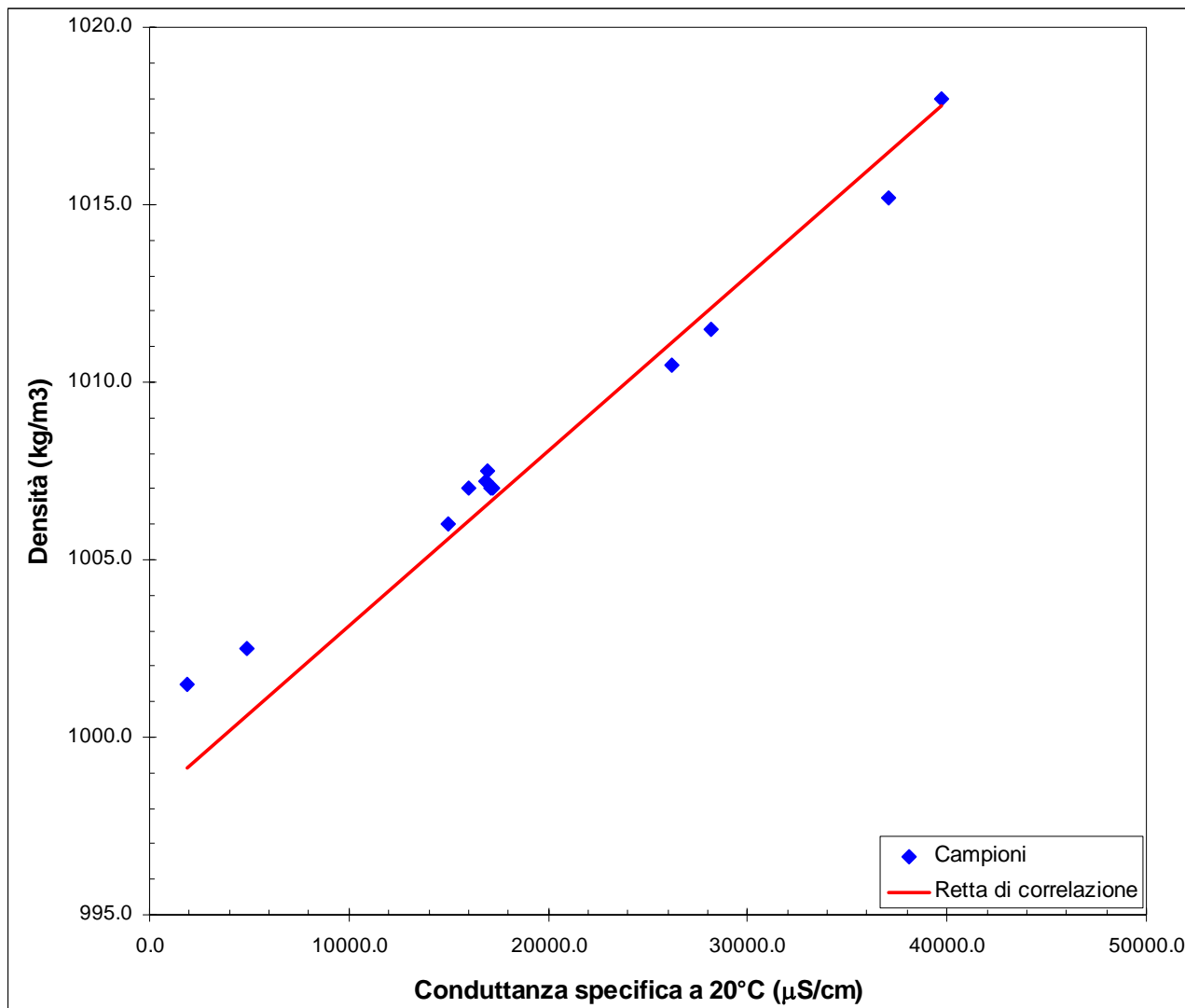


Fig.11.1 - Correlazione densità - conducibilità specifica dell'acqua (T=20°C).

Oltre alla presenza di soluti, è opportuno considerare il contributo della temperatura nel determinare la densità dell'acqua lungo la verticale del piezometro. Tale concorso è modellizzato tramite una funzione polinomiale del sesto grado (Perrochet, 1996).

L'algoritmo generale risultante dall'unione di questi aspetti è il seguente:

$$\rho(T, C) = \rho(T, C_{20} = 0) + \rho(T = 20, C_{20}) - \rho_0 =$$

$$= a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4 + fT^5 + gT^6 + 4.93511 \cdot 10^{-4} \cdot C_{25} \frac{1 + r \cdot (T - 25)}{1 + r \cdot (T - 20)} \quad (2)$$

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

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

**11.1.2** *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 di aprile e maggio 2007 (Fig. 11.2). Nella 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 in entrambi i sopralluoghi una distribuzione omogenea di densità, mentre il piezometro superficiale manifesta un incremento mediamente costante lungo tutta la profondità. I tracciati rilevati in data 2 maggio non differiscono significativamente da quelli del 4 aprile.

CORILA

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

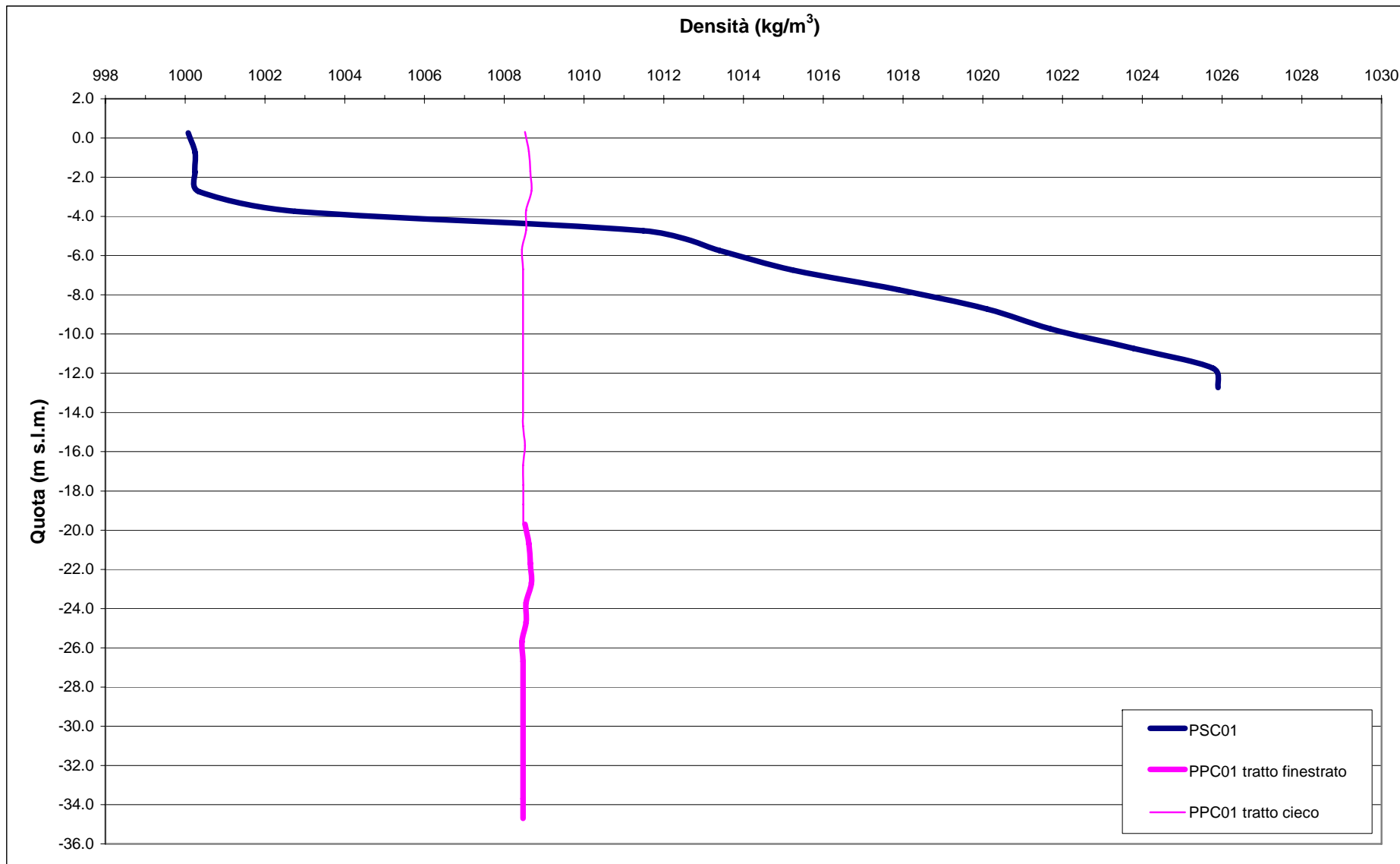


Fig.11.3.- Profili verticali di densità - 4 aprile 2007

CORILA

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

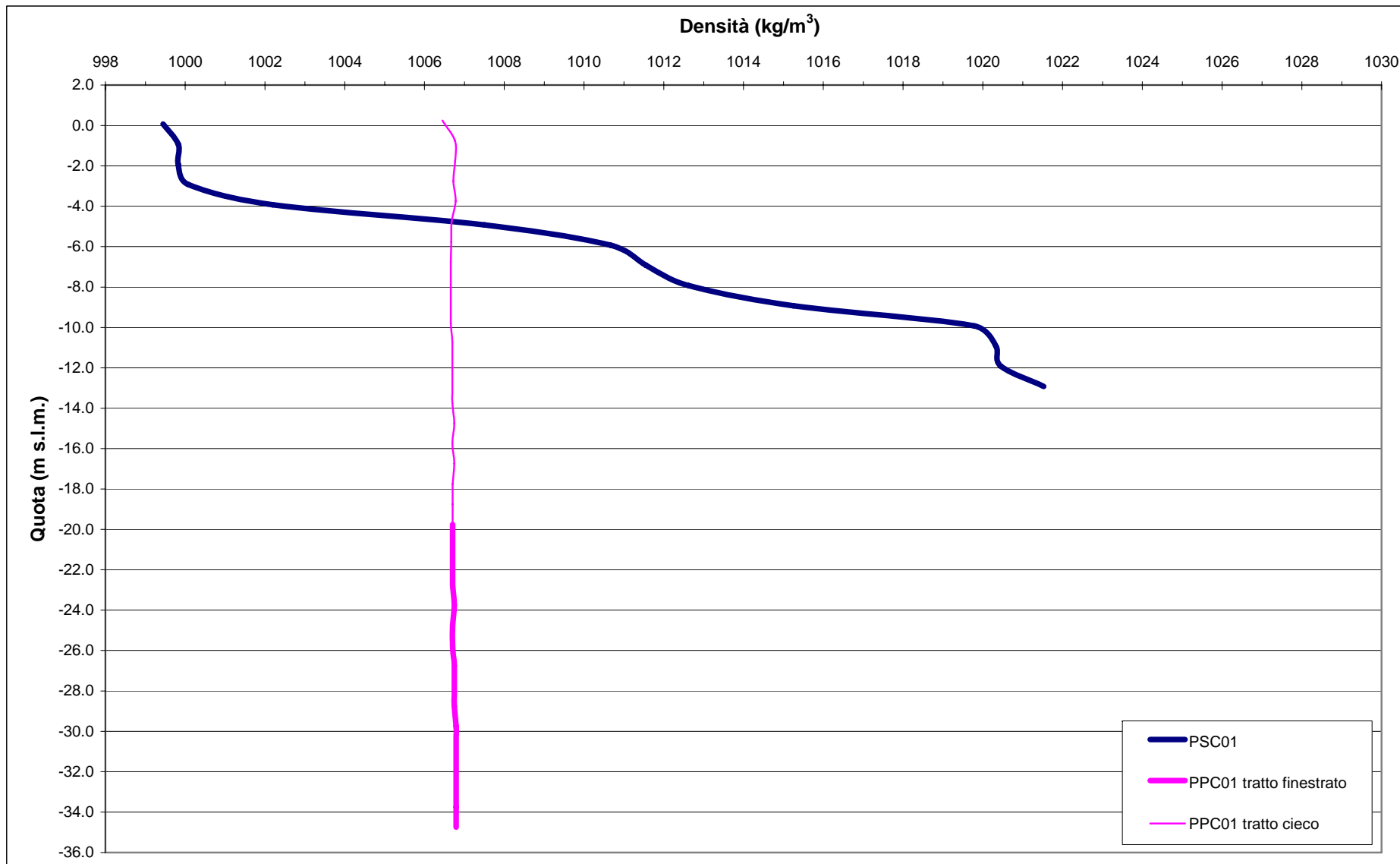


Fig.11.4.- Profili verticali di densità - 2 maggio 2007

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

**11.1.3** Differenza tra superficie piezometrica e quota d'acqua nei piezometri

Come descritto nel paragrafo 4.22, la quota assoluta del pelo libero dell'acqua all'interno dei piezometri determinata mediante l'utilizzo di freaticometro manuale si discosta dal carico idraulico misurata dai trasduttori di pressione ( $h_{pl}$ ). Tale differenza è imputabile, in parte, al fatto che i trasduttori di pressione non tengono conto della reale densità della colonna di acqua al di sopra del trasduttore ma di una densità teorica  $\rho_w(T, C = 0)$  prossima a  $\rho_0$ .

Per ogni trasduttore è stata ricavato la differenza  $\Delta z_{pl}$  tra il carico idraulico misurato dal trasduttore di livello e la quota del pelo libero (Tab.11.1) stimata considerando la densità media della colonna d'acqua battente sul trasduttore

Tab.11. 1 -  $\Delta z_{pl}$  ricavati per i piezometri di Ca' Roman

$\Delta z_{pl}$ (m)	PSC01	PPC01
04/04/2007	0.027	0.063
02/05/2007	0.021	0.051

## 12. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE

Le soglie identificate nel “Rapporto di Variabilità Attesa” (marzo 2007) prendono in considerazione eventi quali il basso o l’alto livello piezometrico, valutati sui valori istantanei dei carichi idraulici e sui valori mediati su 24 ore, come definito dalle seguenti relazioni (vedasi Tab.12.1):

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

Tab.12. 1 - Identificazione preliminare delle soglie ed azioni correttive

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

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

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

Nel corso del mese di monitoraggio è stato verificato il rispetto di tutte le soglie indicate in Tab.12.1. Come appare nelle Figg.12.1 e 12.2, durante tutto il periodo non sono stati rilevati superamenti dei valori di minimo e massimo istantaneo.



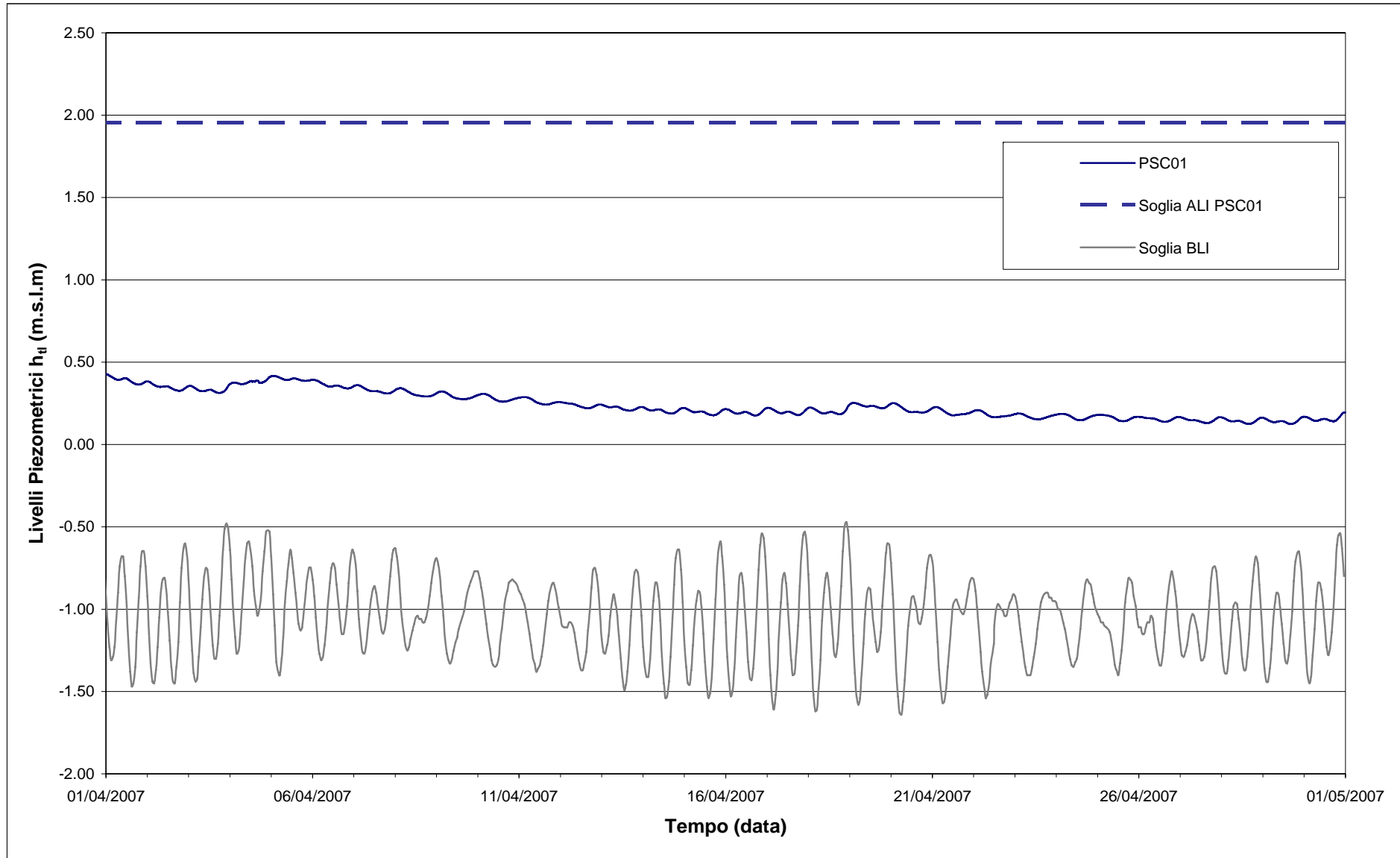


Fig.12.1 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro superficiale PSC01

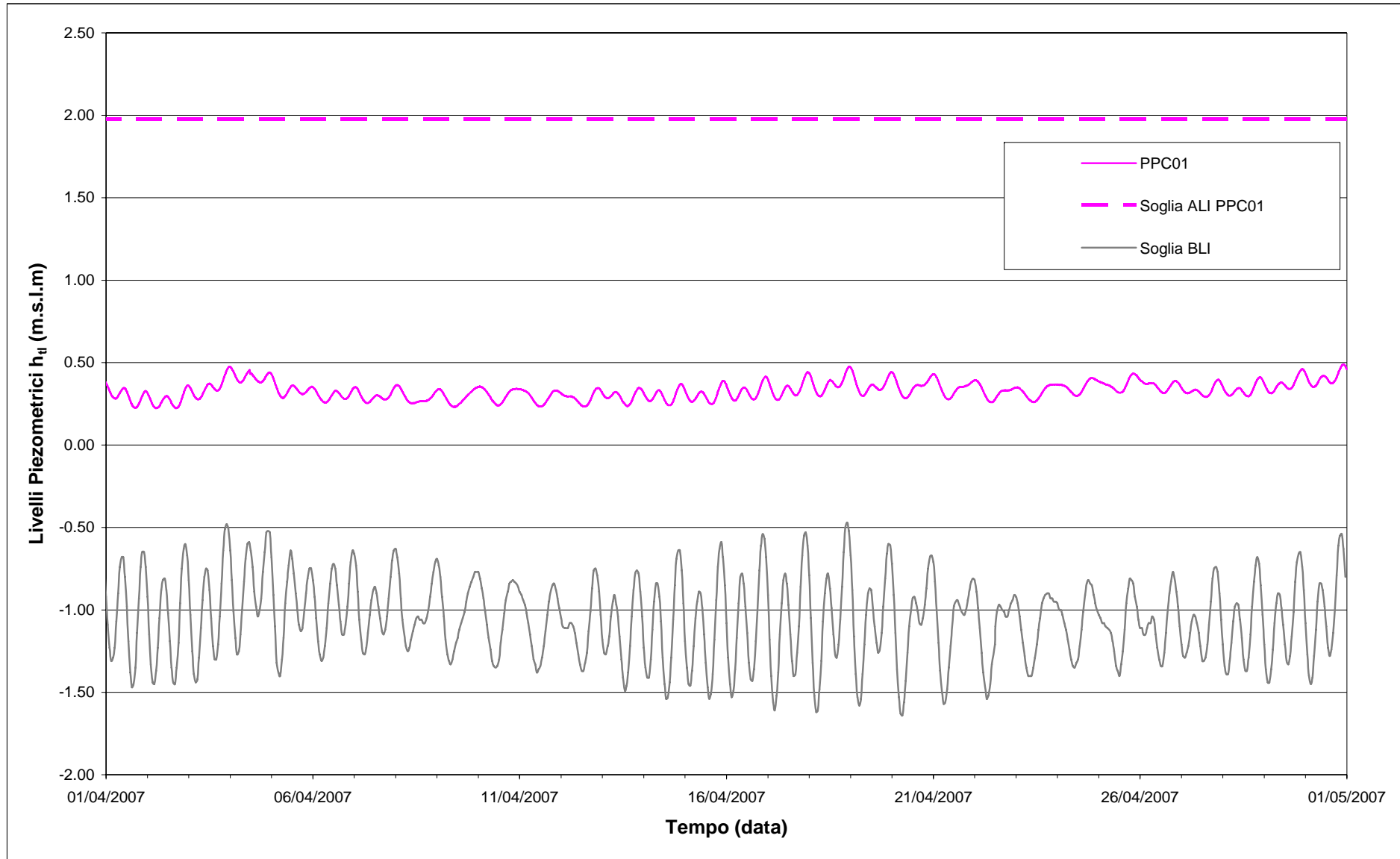


Fig.12.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro profondo PPC01

### **13. CONCLUSIONI**

Nell'ambito del II Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 1 aprile 2007 ed il 30 aprile 2007, sono stati valutati gli andamenti dei livelli piezometrici all'interno del Primo e Secondo livello acquifero individuati dal Disciplinare Tecnico. 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 e della sua influenza sulla determinazione dei carichi idraulici.

Per quanto riguarda le influenze delle forzanti naturali, escludendo l'assenza di precipitazioni, non si osservano sostanziali differenze da quanto rilevato durante la Fase A.

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.