



**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/4**

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

Contratto prot.n. 18121 si/gce/fbe

Documento **MACROATTIVITÀ: LIVELLI DI FALDA
I RAPPORTO DI VALUTAZIONE
PERIODO DI RIFERIMENTO: DA MAGGIO AD
AGOSTO 2008**

Versione **1.0**

Emissione **15 settembre 2008**

Redazione

Verifica

Verifica

Approvazione

Ing. Alessandro Casasso
(POLITECNICO TORINO)

Ing. Rajandrea Sethi
(POLITECNICO TORINO)

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta Ing. Pierpaolo Campostrini

INDICE

PARTE PRIMA: MONITORAGGIO CANTIERE DI PUNTA SABBIONI.....	4
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
2.2.1 <i>Precipitazioni</i>	7
2.2.2 <i>Livello del mare</i>	10
2.2.3 <i>Pressione atmosferica - h_b</i>	12
2.3 Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A).....	14
2.3.1 <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}</i>	14
2.3.2 <i>Effetti delle precipitazioni</i>	16
2.3.3 <i>Effetti delle oscillazioni mareali</i>	18
2.4 Piezometri profondi – secondo livello acquifero (Strato C).....	20
2.4.1 <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}</i>	20
2.4.2 <i>Effetti mareali</i>	22
2.4.3 <i>Effetti barometrici</i>	24
2.4.4 <i>Effetti antropici</i>	26
3. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE	28
4. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA.....	29
4.1 Il calcolo della densità dell'acqua.....	29
4.1.1 <i>Profili verticali di densità</i>	29
5. STUDIO PIEZOMETRICO.....	38
5.1.1 <i>Piezometria superficiale</i>	40
5.1.2 <i>Piezometria profonda</i>	46
6. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE	52
7. CONCLUSIONI	62
PARTE SECONDA: MONITORAGGIO CANTIERE DI CA' ROMAN	63
8. INTRODUZIONE.....	64
9. ANALISI DEI DATI.....	65
9.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello.....	66
9.2 Descrizione delle forzanti naturali	66
9.2.1 <i>Precipitazioni</i>	66
9.2.2 <i>Livello del mare</i>	68
9.2.3 <i>Pressione atmosferica - h_b</i>	70

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

9.3	Piezometro superficiale – primo livello acquifero (Strato A)	72
9.3.1	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{H1} (Fase A)</i>	72
9.3.2	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{H1}</i>	72
9.3.3	<i>Effetti mareali, delle precipitazioni e antropici</i>	75
9.4	Piezometro profondo – secondo livello acquifero (Strato C).....	77
9.4.1	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{H1} (Fase A)</i>	77
9.4.2	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{H1}</i>	77
9.4.3	<i>Effetti mareali e antropici</i>	80
10.	CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE	82
11.	ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA	83
11.1	Il calcolo della densità dell'acqua	83
11.1.1	<i>Profili verticali di densità</i>	83
12.	VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE	88
13.	CONCLUSIONI	93
ALLEGATI	94

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

1. INTRODUZIONE

La prima parte di questo documento descrive l'analisi dei dati derivanti dal quadrimestre di monitoraggio comprendente il periodo 1 maggio 2008 - 31 agosto 2008, relativi all'osservazione degli effetti delle attività del cantiere alla Bocca di Lido-Treporti sui due livelli acquiferi, come previsto dal Disciplinare Tecnico (Studio B.6.72 B/4 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2008) 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 01/05/2008 e il 31/08/2008.

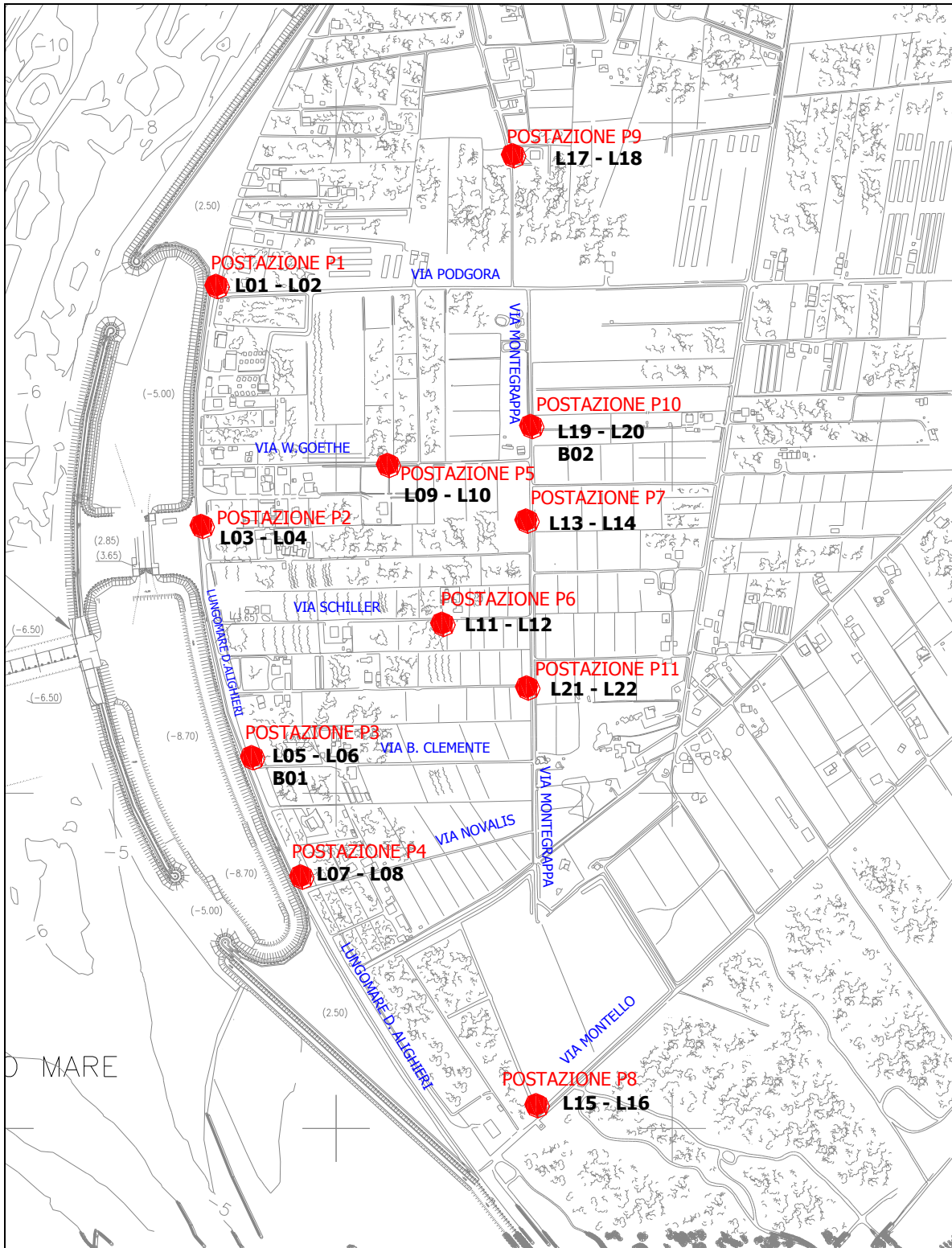


Fig. 2.1 - Ubicazione delle postazioni di monitoraggio, dei Levellogger e dei Barologger

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", Studio B.6.72 B/1, dicembre 2005):

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

dove:

z_t quota ortometrica assoluta del punto di riferimento;

l_{cc} lunghezza cavo corretta;

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

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

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

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

2.2 Descrizione delle forzanti naturali

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

- **precipitazioni**, registrate dalle stazioni meteorologiche "MET 3000R" di Punta Sabbioni e "ARPA Veneto - Cavallino Treporti (VE)";
- **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 dalle centraline "MET 3000R" (ubicata presso il Circolo So.Ci.Ve., Lungomare Dante Alighieri), gestita dal settore "Matrice Aria e Agenti Chimici", per i mesi di giugno, luglio, agosto; per il mese di maggio sono stati utilizzati i dati della centralina "ARPA Veneto - Cavallino Treporti (VE)". 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.

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

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

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
18/05/08	24	105
20/05/08	24	11,6
23/05/08	24	7,2
04-05/06/08	48	18
11/06/08	24	20,8
13-14/06/08	48	31,2
17-18/06/08	14	29
28/06/08	2	17,4
01/07/08	4	21,4
06/07/08	2	27,2
13/07/08	3	15,0
14/07/08	4	5,0
18/07/08	6	7,6
08/08/08	2	24,6
14/08/08	1	5,4
15-16/08/08	18	75,4

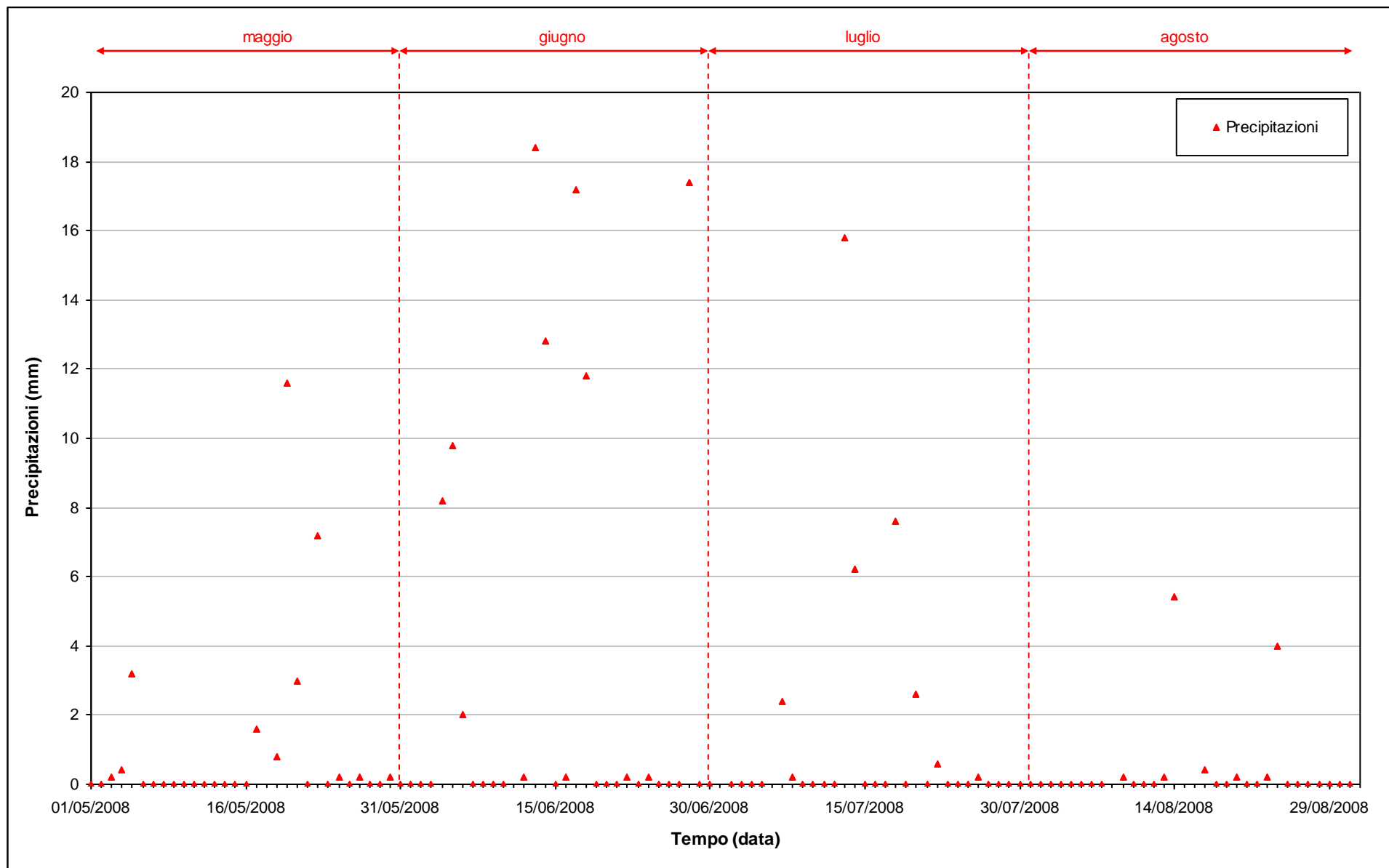


Fig. 2.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/05/2008 - 31/08/2008

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.

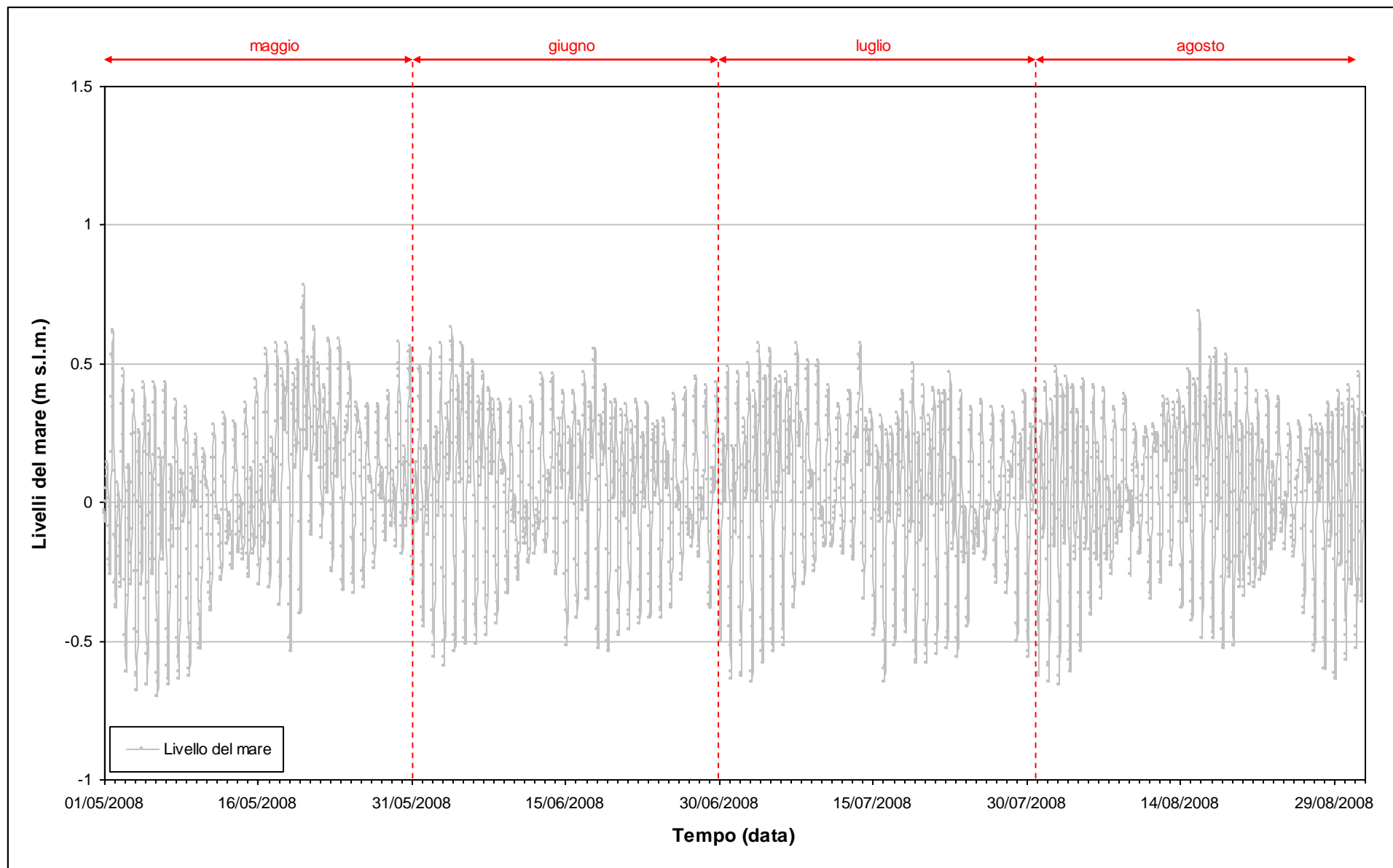


Fig. 2.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo "Diga Sud Lido". I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942"

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

2.2.3 *Pressione atmosferica - h_p*

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

In Fig. 2.5 è riportato l'andamento dei tracciati di misura dei Barologger nel periodo di riferimento. Dall'analisi delle curve si può notare come le due registrazioni siano tra loro in buon accordo, presentando tuttavia uno scarto assoluto medio quantificabile in circa 7 cm. Nell'elaborazione dei dati sono state utilizzate le misure acquisite dal Barologger B02, in quanto il Barologger B01 sovrastima il valore della pressione atmosferica.

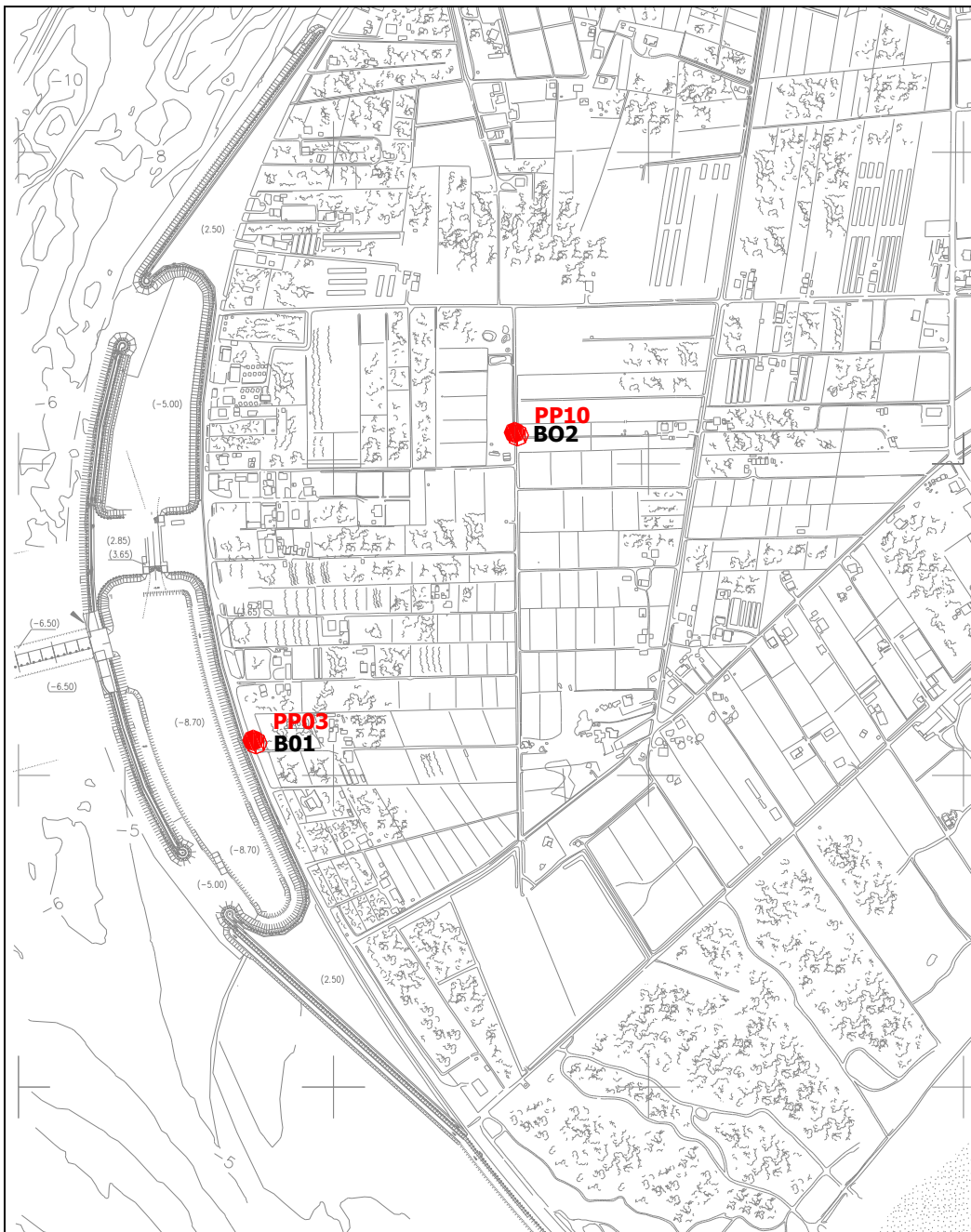
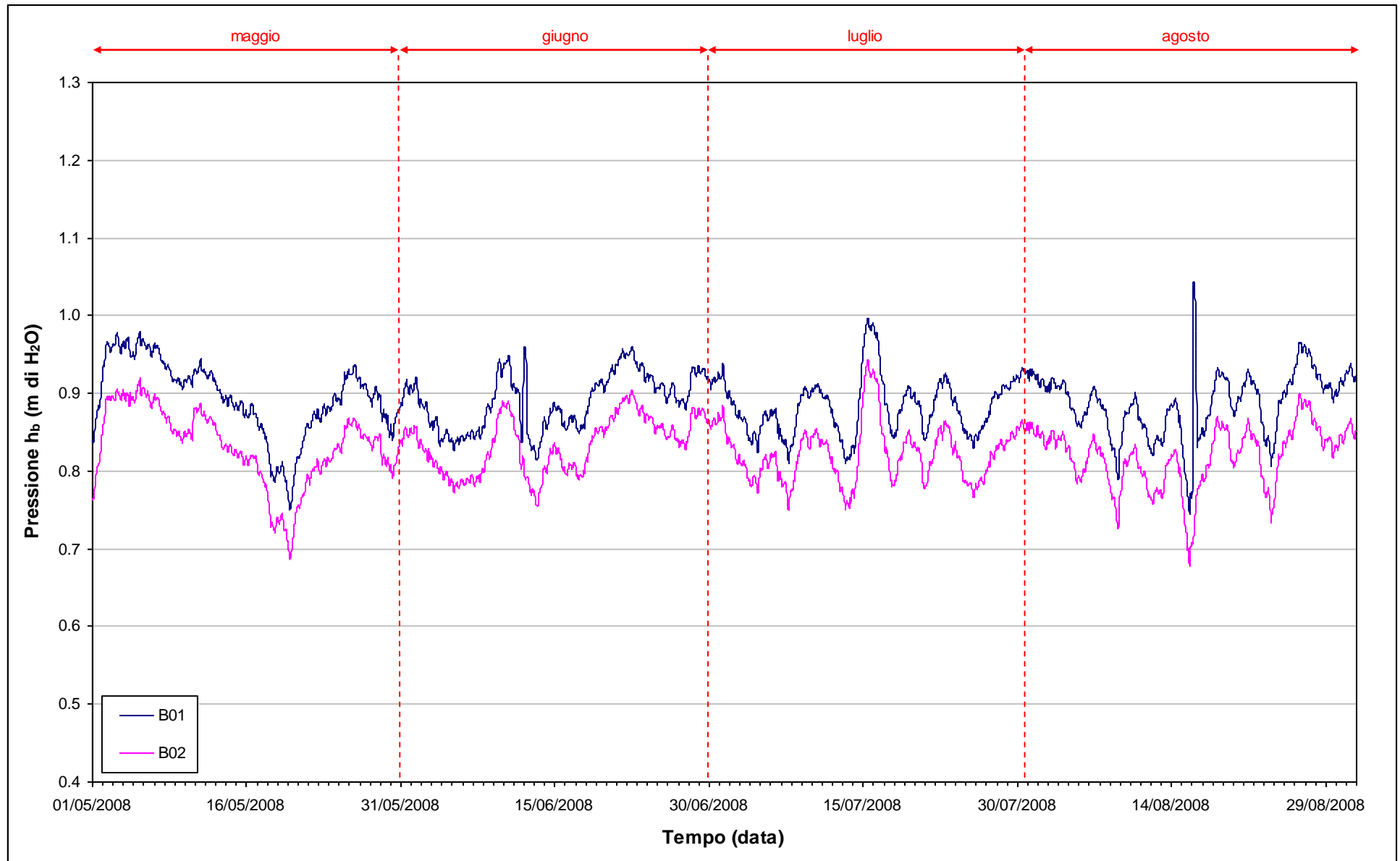


Fig. 2.4 - Ubicazione dei Barologger B01 e B02

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

2.3 Piezometri superficiali - primo livello acquifero (Strato A)

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

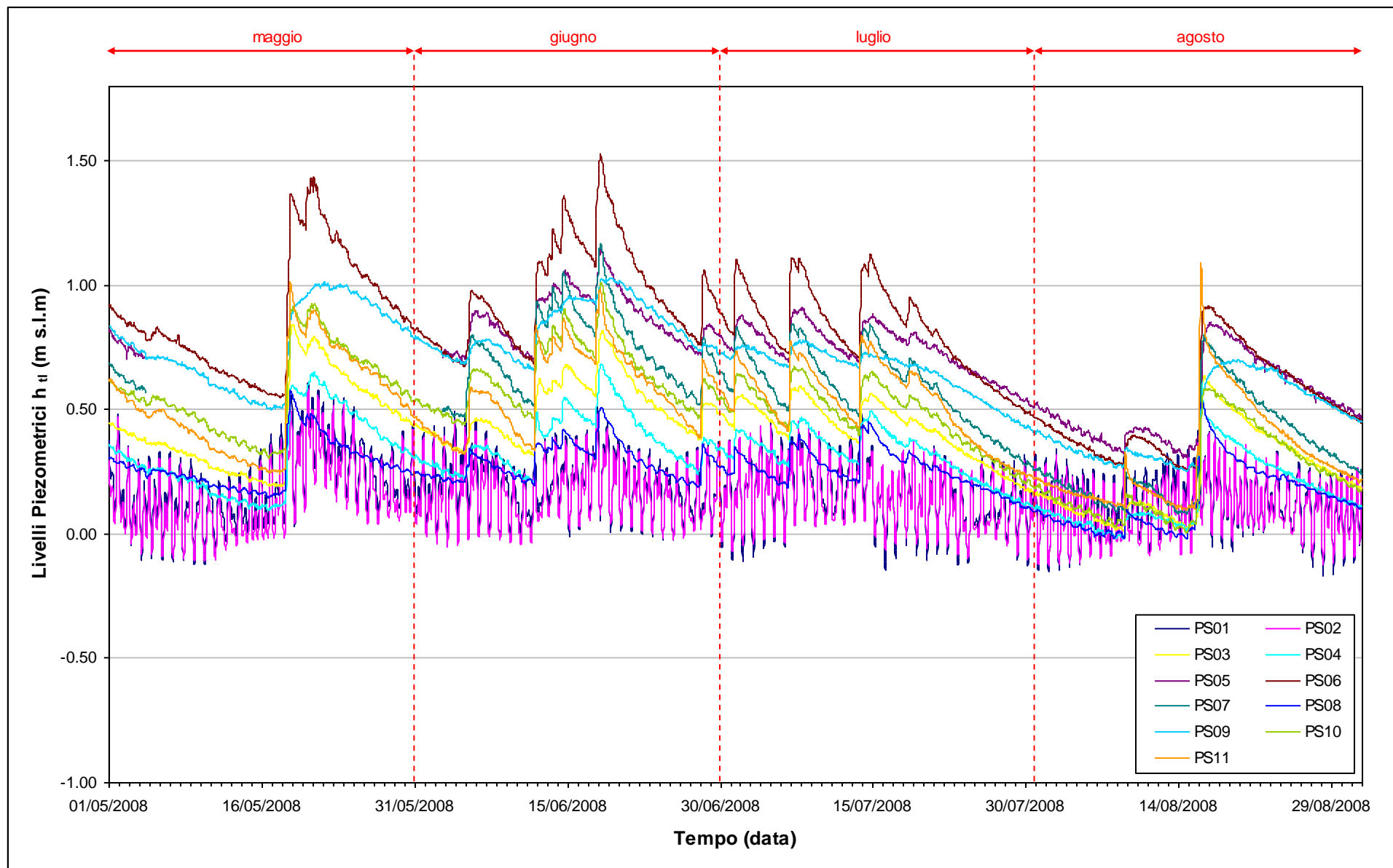
2.3.1 *Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl*

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

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

- i piezometri PS01 e PS02, posti sul Lungomare Dante Alighieri, sono caratterizzati da un andamento sinusoidale correlato alle dinamiche mareali;
- i piezometri PS05, PS06, PS07, PS08, PS09, PS10 e PS11, collocati nella porzione più interna dell'area di monitoraggio e quindi più distanti dal mare, presentano un andamento dei livelli influenzato soprattutto dai fenomeni piovosi e evapotraspirativi;
- 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.

I dati relativi al mese di maggio dei piezometri PS05 e PS07 non sono disponibili a causa di problemi tecnici nello scaricamento dei dati dai trasduttori.

Fig. 2.6 - Livelli piezometrici (h_u) relativi ai piezometri superficiali nei due mesi di monitoraggio 01/05/2008 - 31/08/2008

2.3.2 *Effetti delle precipitazioni*

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

Nei mesi di monitoraggio le intense precipitazioni hanno determinato sensibili innalzamenti di livello nei piezometri interni e nei piezometri PS03 e PS04, seguiti da rapide diminuzioni del livello piezometrico dovute alla forte evapotraspirazione.

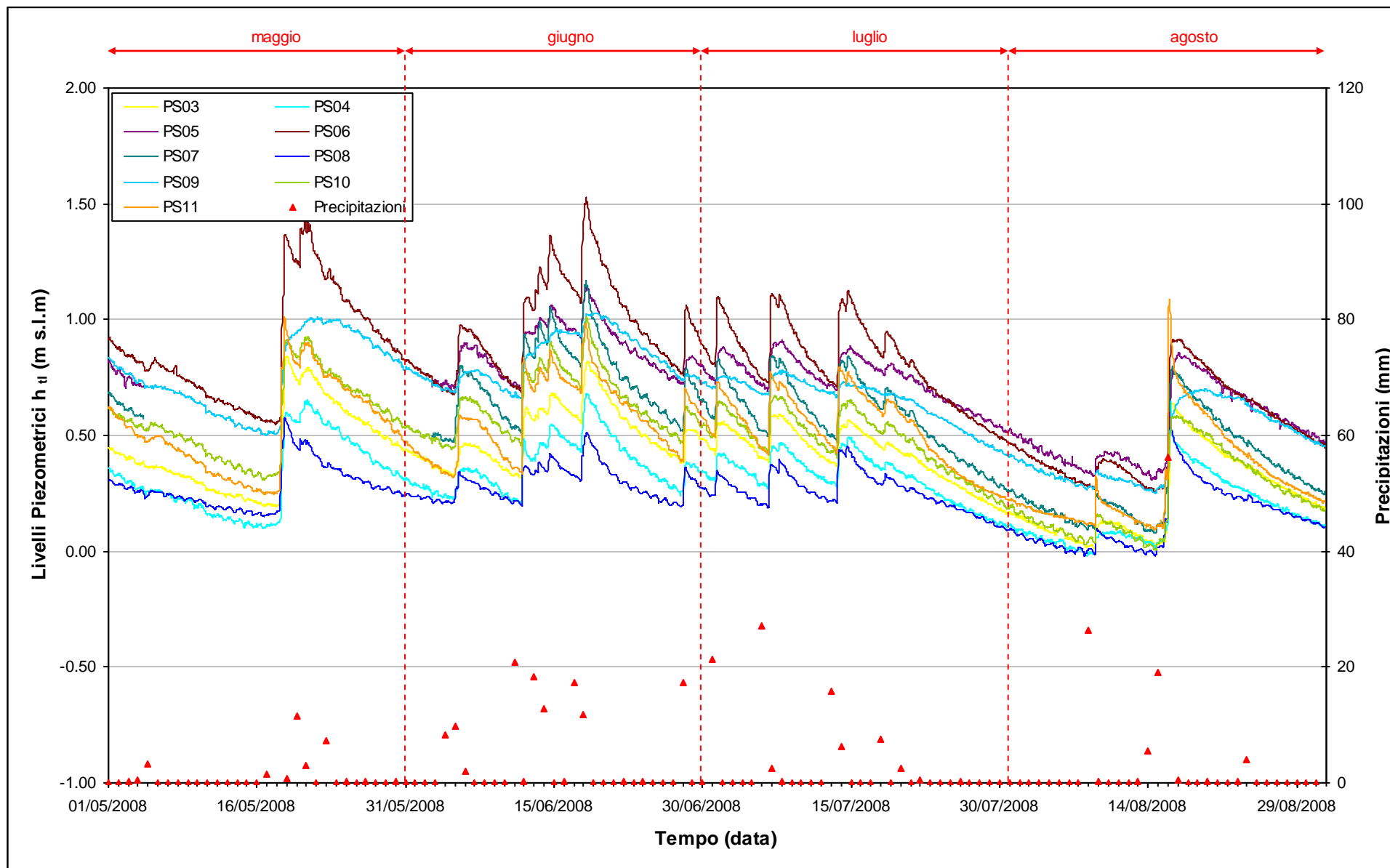


Fig. 2.7 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali maggiormente sensibili alle precipitazioni

2.3.3 *Effetti delle oscillazioni mareali*

In Fig. 2.8 è possibile confrontare i tracciati di misura dei trasduttori posizionati in corrispondenza dei piezometri PS01 e PS02 disposti sul Lungomare Dante Alighieri e le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. Le due serie temporali seguono andamenti caratterizzati da una ciclicità che è tipica delle evoluzioni mareali. Si verificano, infatti, incrementi di ampiezza e frequenza del fenomeno oscillatorio in corrispondenza del plenilunio e del novilunio. In corrispondenza dei quarti di luna, invece, le oscillazioni sono meno frequenti e più smorzate. Il periodo di oscillazione dei livelli nei piezometri varia da 12 h (novilunio e plenilunio) a 24 h (durante le fasi di quadratura lunare). Da un'analisi dei dati è possibile riscontrare uno sfasamento di circa due ore tra le oscillazioni mareali e quelle piezometriche.

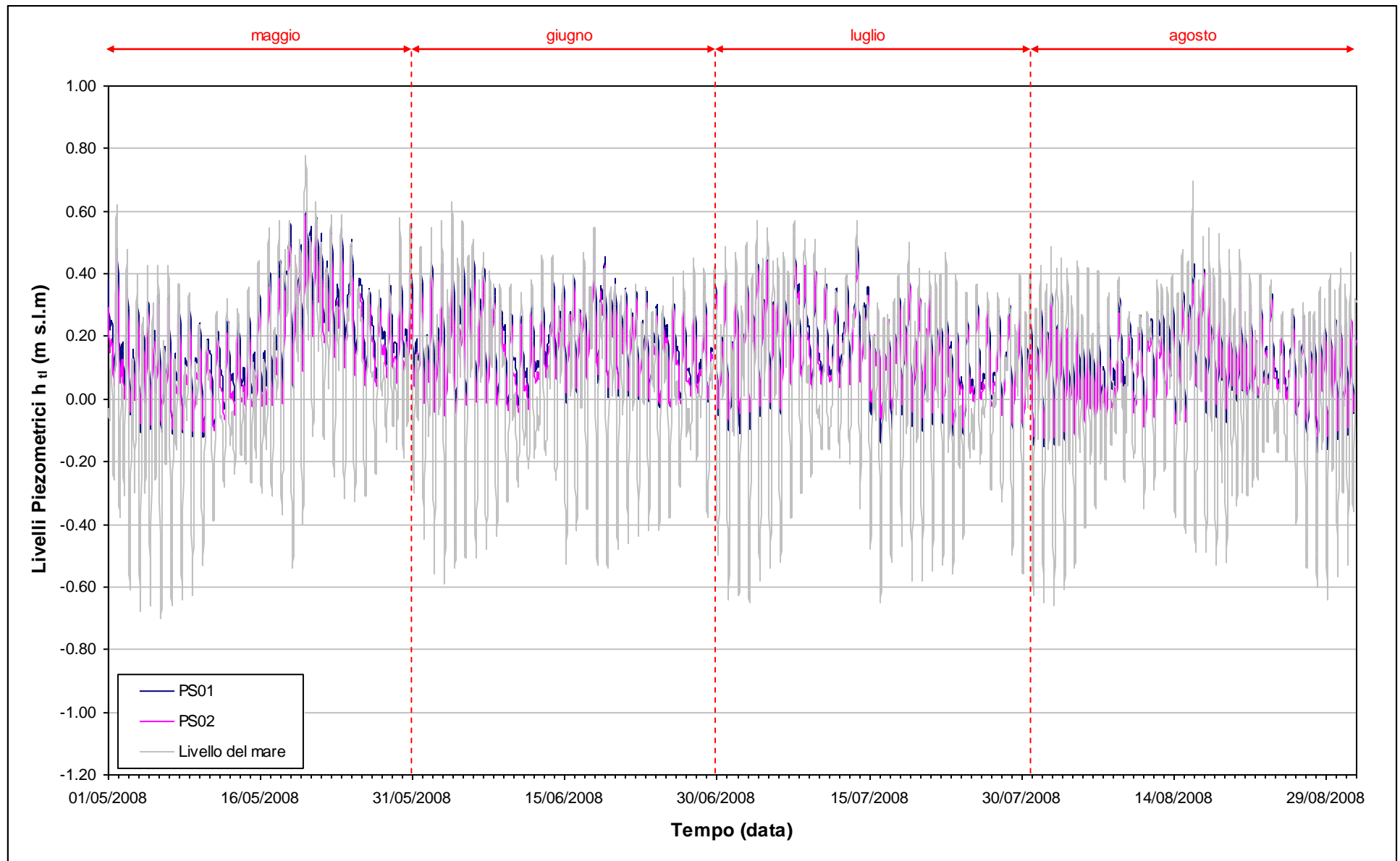


Fig. 2.8 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali PS01, PS02 e livelli del mare

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*

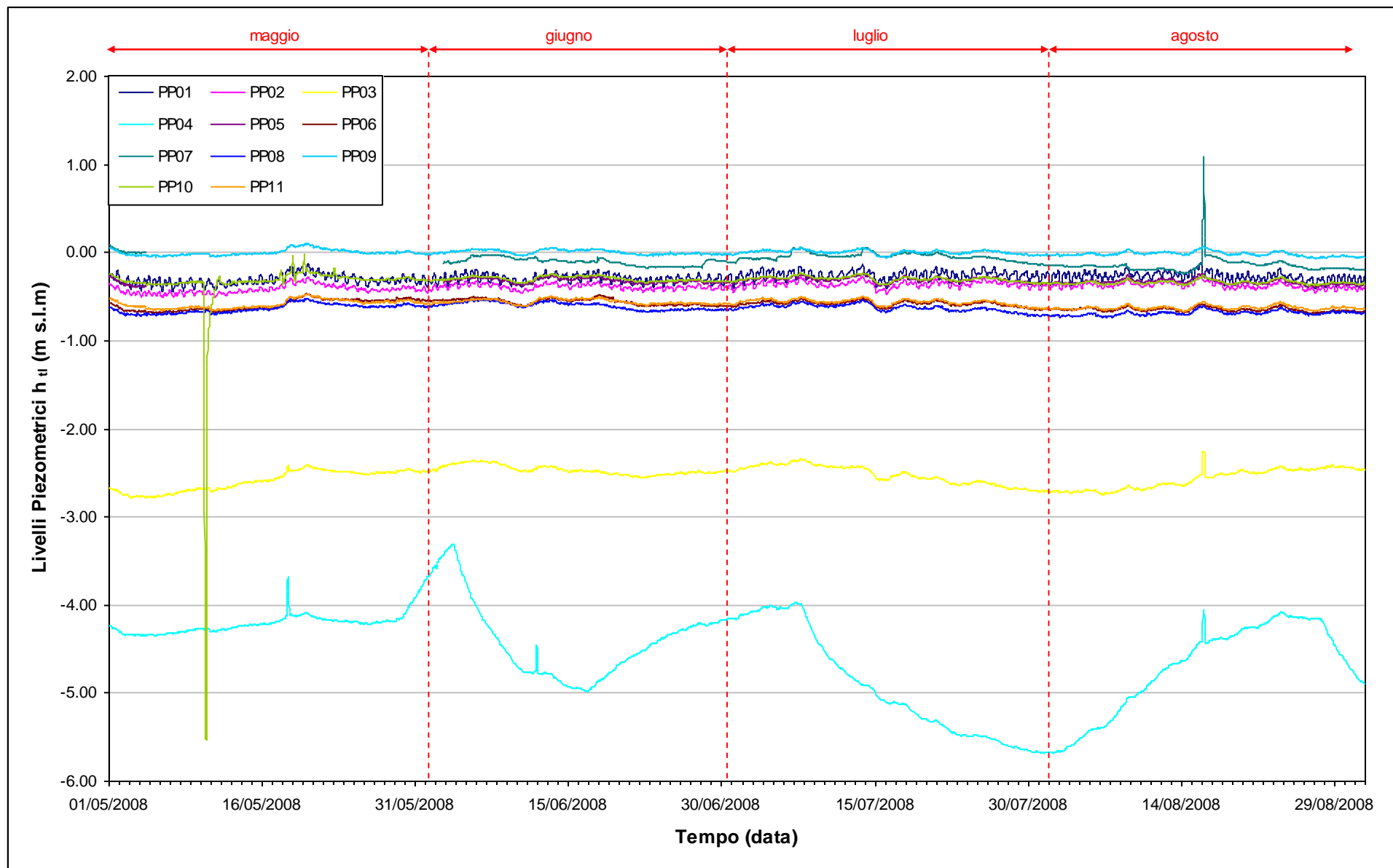
I dati riportati in Fig. 2.9 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio maggio - agosto 2008.

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 dominati dalle variazioni conseguenti presumibilmente al pompaggio barometrico;
- i piezometri PP03 e PP04, posti in prossimità del Lungomare Dante Alighieri sono influenzati in maniera preponderante dalle attività di cantiere (emungimento dei pozzi di dewatering della tura).

In data 10/05/2008 è stato effettuato lo spurgo del piezometro PP10: l'anomalia del tracciato in tale data è dovuta all'estrazione del trasduttore. I dati relativi al mese di maggio dei piezometri PP05 e PP07 non sono disponibili a causa di problemi tecnici nello scaricamento dei dati dai trasduttori.

In data 16/08/08 si è registrato un brusco aumento di livello nei PP03, PP04 e PP07 dovuto all'infiltrazione da piano campagna imputabile alle forti precipitazioni.

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

2.4.2 *Effetti mareali*

In Fig. 2.10 è possibile confrontare i tracciati di misura dei trasduttori posizionati in corrispondenza dei piezometri PP01 e PP02, disposti sul Lungomare Dante Alighieri, e le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. Le serie temporali seguono andamenti caratterizzati da una ciclicità che è tipica delle evoluzioni mareali. Si verificano, infatti, incrementi di frequenza del fenomeno oscillatorio in corrispondenza del plenilunio e del novilunio. In corrispondenza dei quarti di luna le oscillazioni sono meno frequenti e più smorzate. Il periodo di oscillazione dei livelli nei piezometri varia da 12 h (novilunio e plenilunio) a 24 h (durante le fasi di quadratura lunare).

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

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

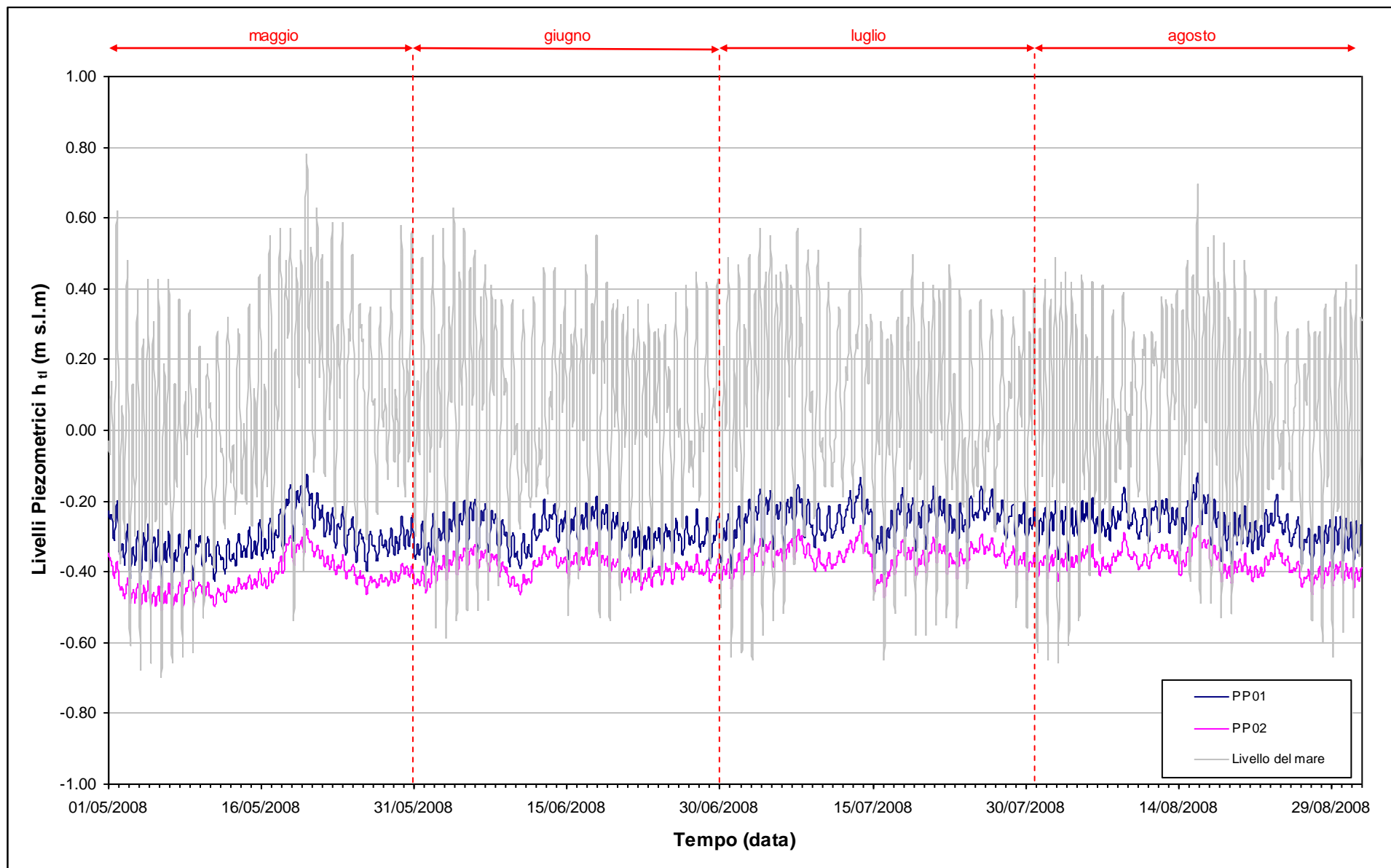


Fig. 2.10- Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP01, PP02 e livelli del mare

2.4.3 *Effetti barometrici*

In Fig. 2.11, dove sono riportati i tracciati piezometrici associati al livello medio del mare e al tracciato barometrico di riferimento (B02), si possono osservare le conseguenze delle variazioni di pressione atmosferica sui livelli dell'acquifero profondo. In particolare durante i periodi di bassa pressione si osservano innalzamenti del livello piezometrico, mentre durante fenomeni di alta pressione i livelli piezometrici misurati tendono a decrescere.

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

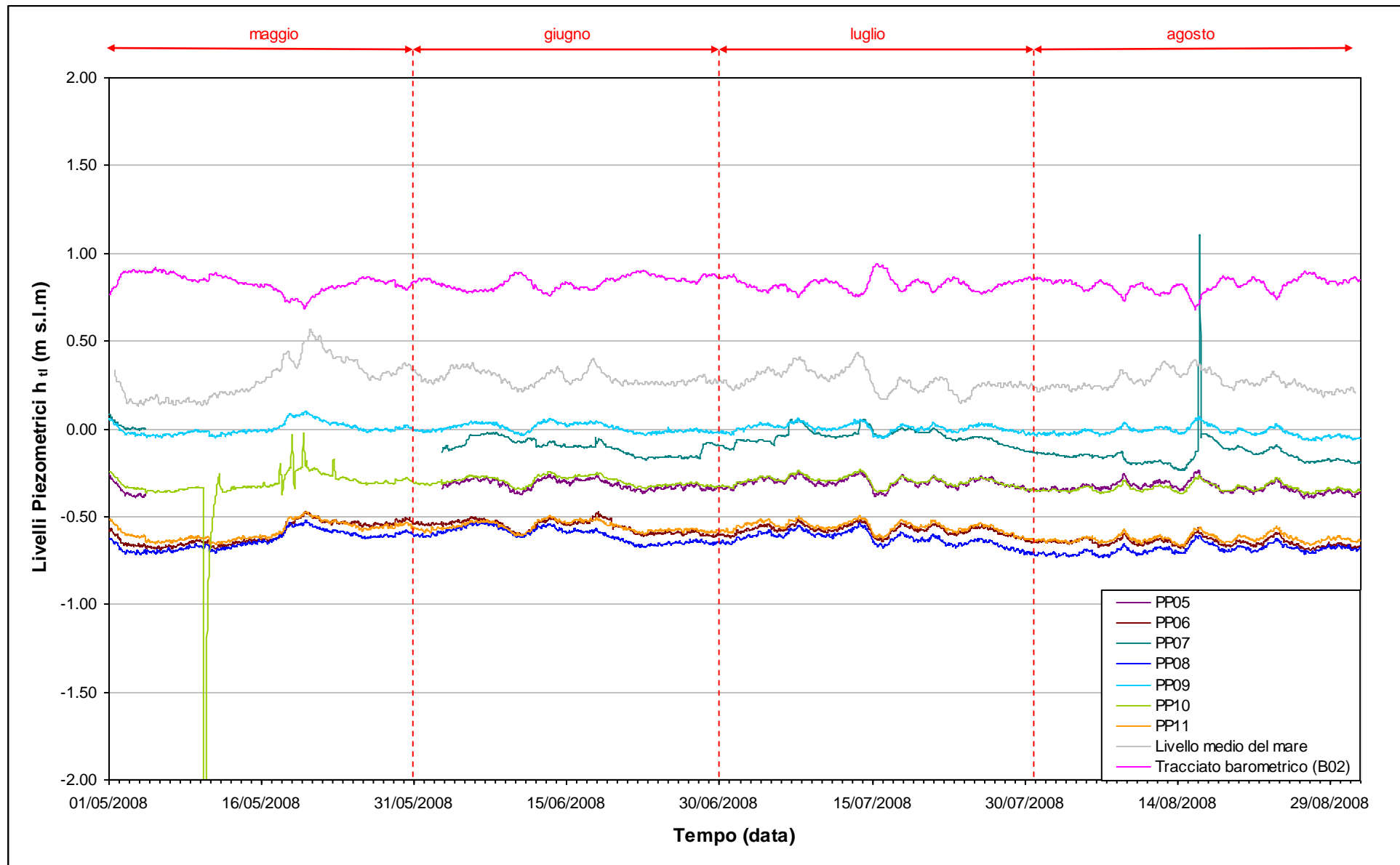


Fig. 2.11 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10, PP11, livelli medi del mare e tracciati barometrici

2.4.4 Effetti antropici

In Fig. 2.12 vengono visualizzati i tracciati relativi ai livelli assoluti dei piezometri profondi PP03 e PP04. In queste postazioni è stato riscontrato, a partire dall'inizio delle operazioni di pompaggio (gennaio 2007), un significativo abbassamento del livello piezometrico rispetto ai livelli misurati in fase A (situazione *ante operam*).

Durante il quadrimestre di monitoraggio maggio - agosto 2008 il livello in corrispondenza del piezometro PP03 si mantiene pressoché costante.

Nel periodo di monitoraggio si è registrata una diminuzione del livello nel PP04 (circa 0,65 m tra il 01/05/08 e il 31/08/08). Sono presenti, inoltre, nel tracciato alcune oscillazioni attribuibili a variazioni nella portata di emungimento dei pozzi di cantiere.

CORILA

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

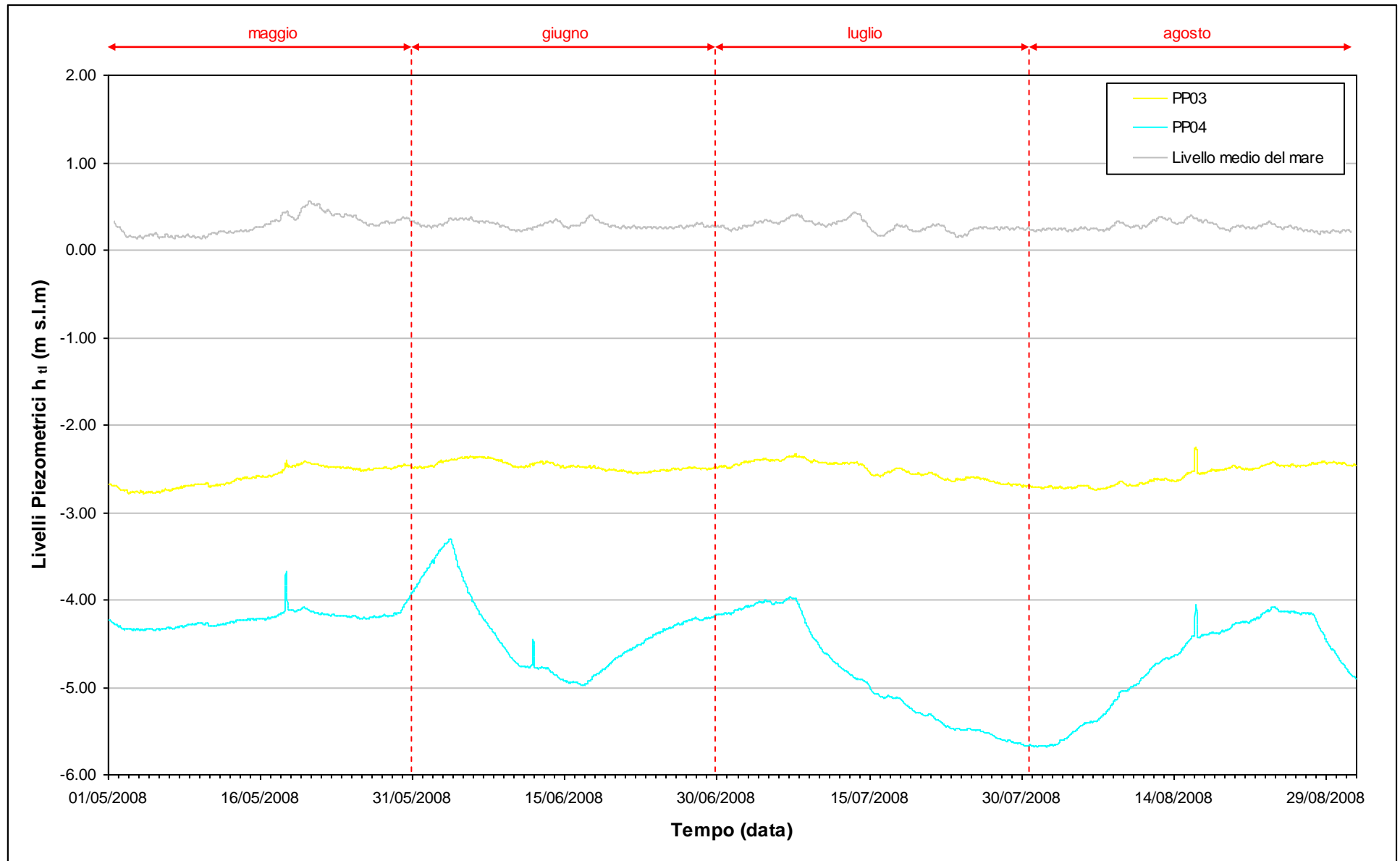


Fig. 2.12 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi influenzati dalle operazioni di pompaggio

3. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE

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

A seguito delle anomalie riscontrate nelle serie dei livelli nel piezometro PP07, in data 04/05/08 si è provveduto alla sostituzione del trasduttore L13 con un nuovo strumento di misura.

In data 10/05/2008 è stato effettuato lo spurgo del piezometro PP10: l'anomalia del tracciato in tale data è pertanto da attribuirsi all'estrazione del trasduttore.

I dati relativi al mese di maggio dei piezometri PS05, PS07, PP05 e PP07 non sono disponibili a causa di problemi tecnici imputabili al palmare utilizzato per lo scaricamento dei dati dai trasduttori.

I restanti trasduttori di livello, escludendo saltuarie valutazioni erronee, risultano funzionare correttamente.

4. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA

4.1 Il calcolo della densità dell'acqua

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

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

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

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

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

dove:

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

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

4.1.1 Profili verticali di densità

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

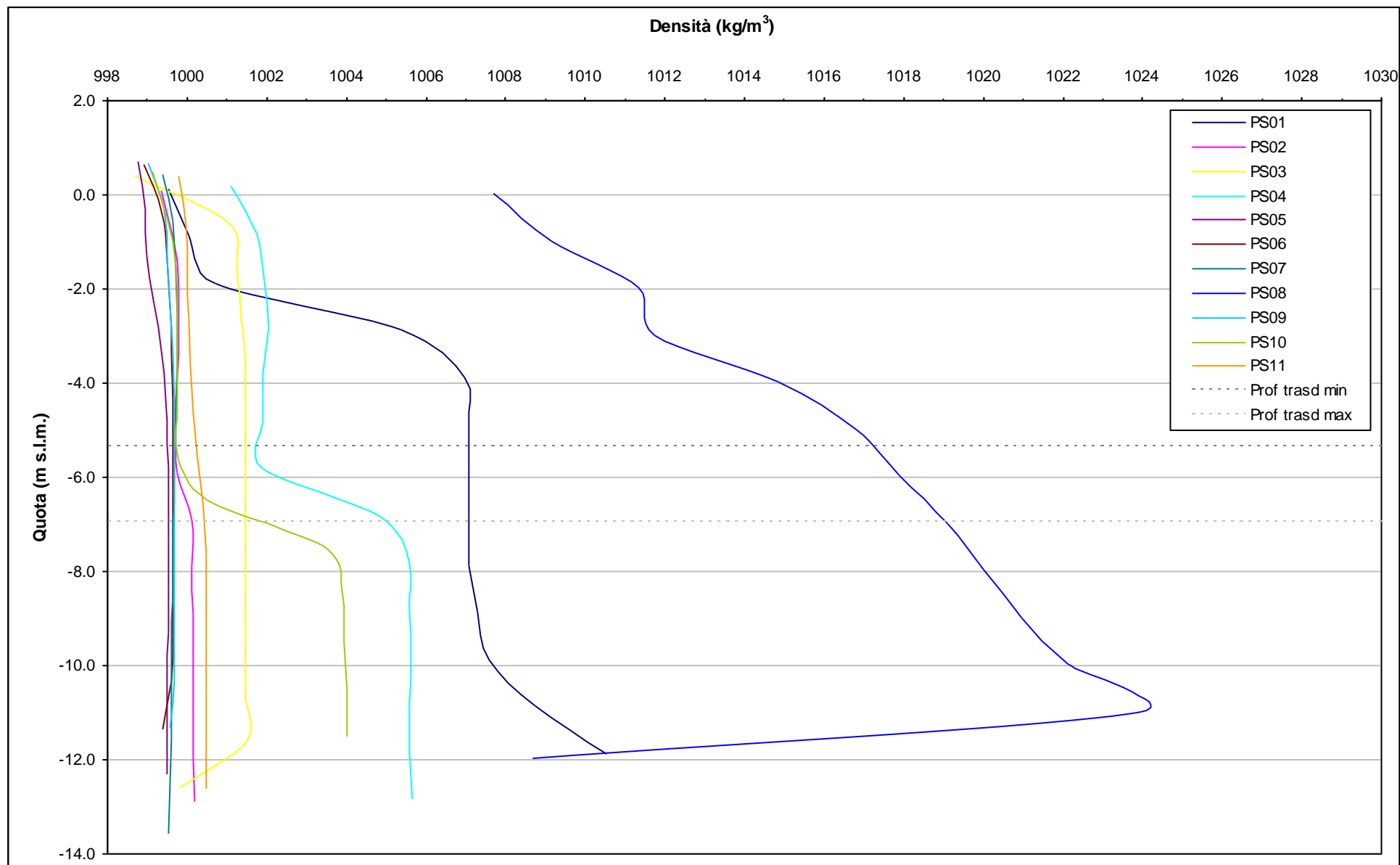


Fig. 4.1- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 1 e 2 giugno 2008

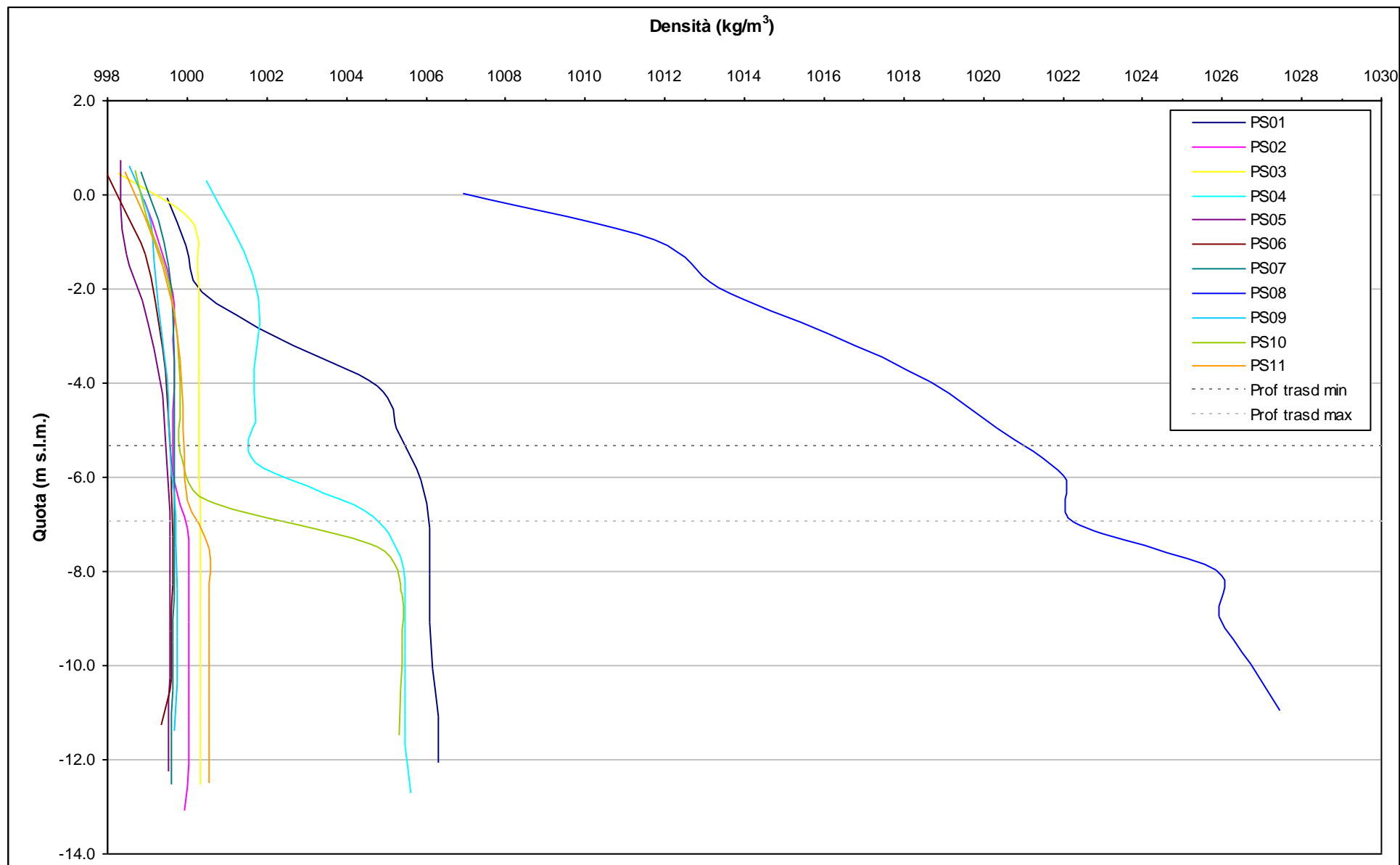


Fig. 4.2- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 4 e 5 luglio 2008

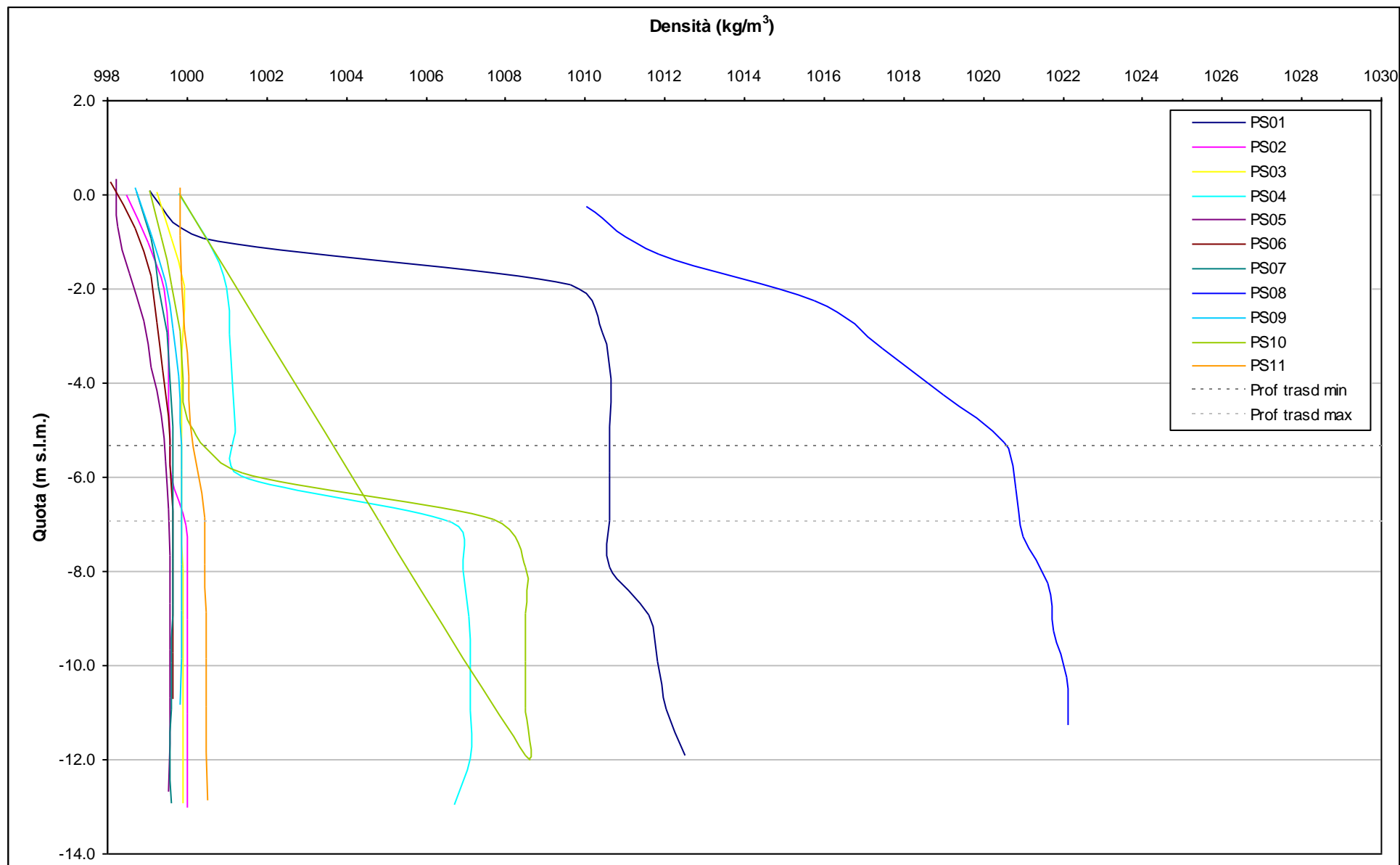


Fig. 4.3 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 4 e 5 agosto 2008

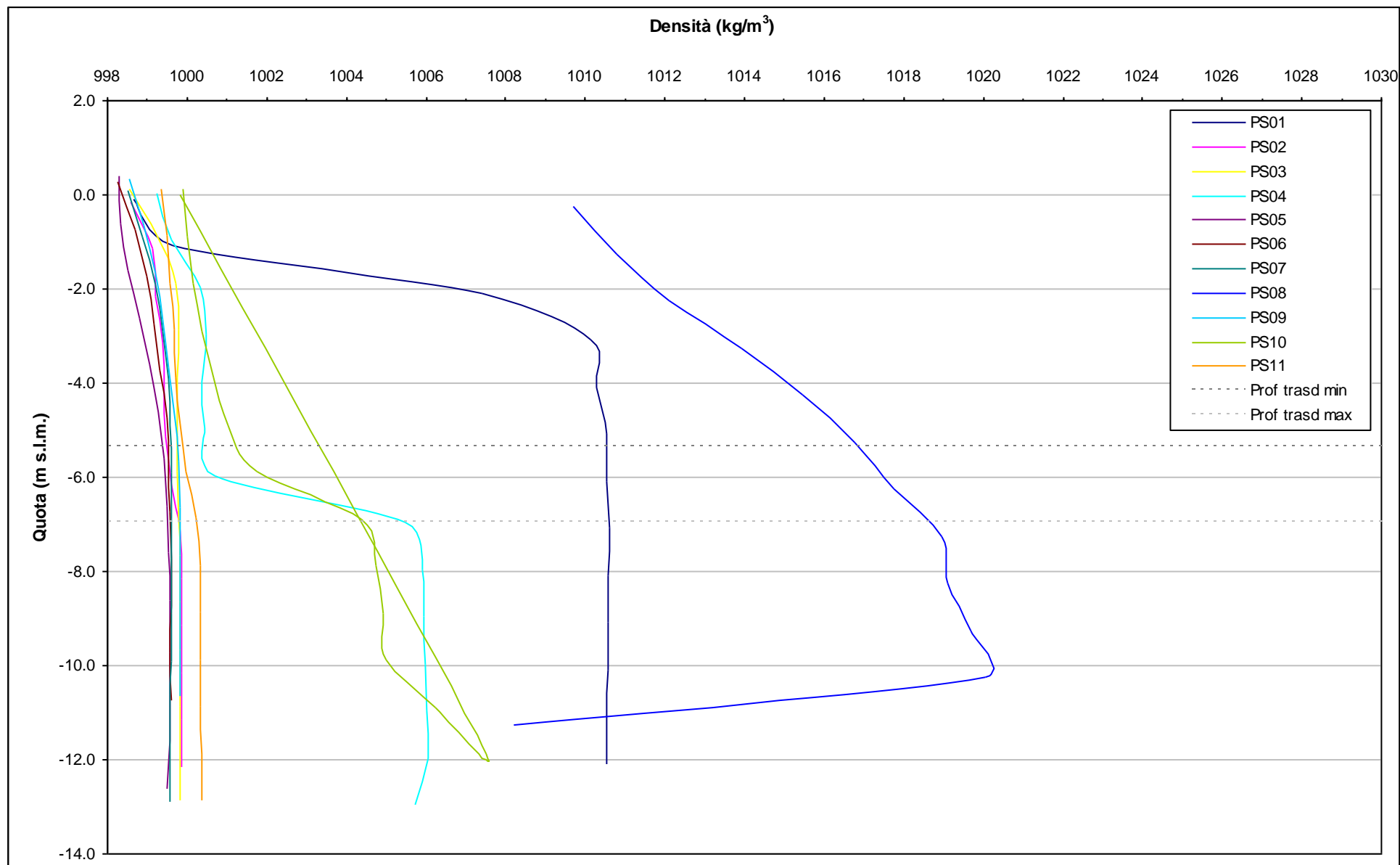


Fig. 4.4 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 2 e 3 settembre 2008

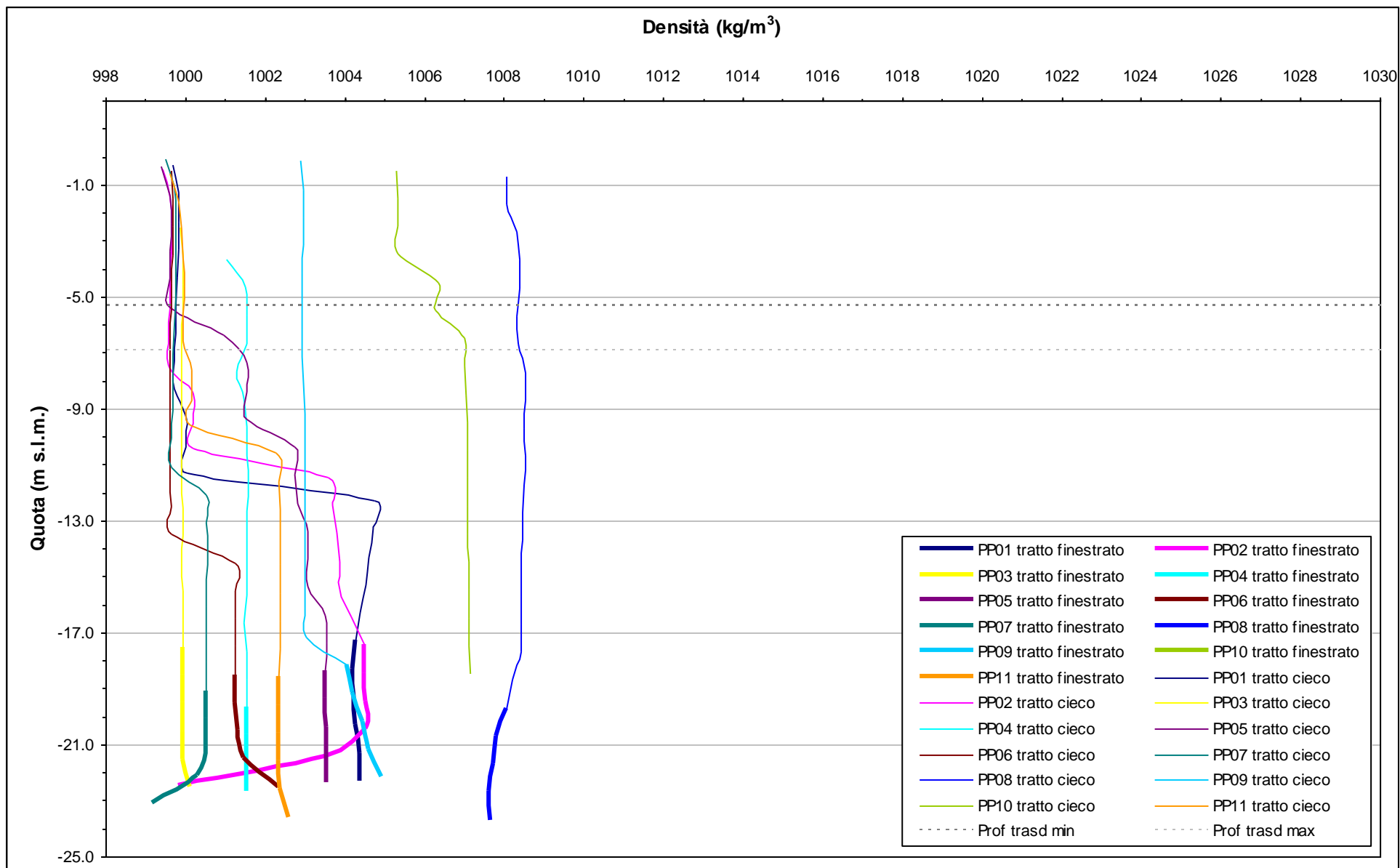


Fig. 4.5 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 2 e 3 giugno 2008

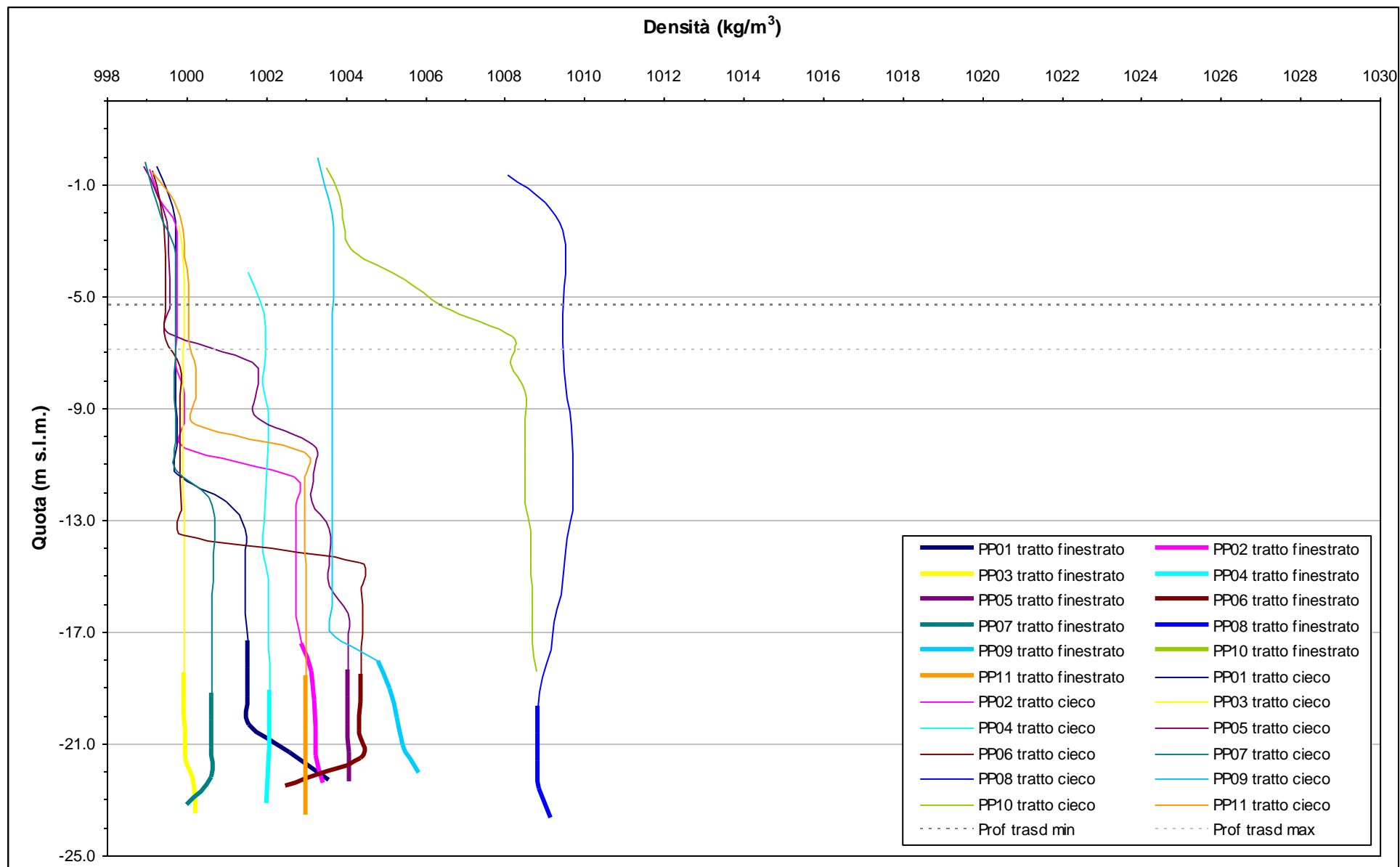


Fig. 4.6- Profili verticali di densità piezometri profondi - 4 e 5 luglio 2008

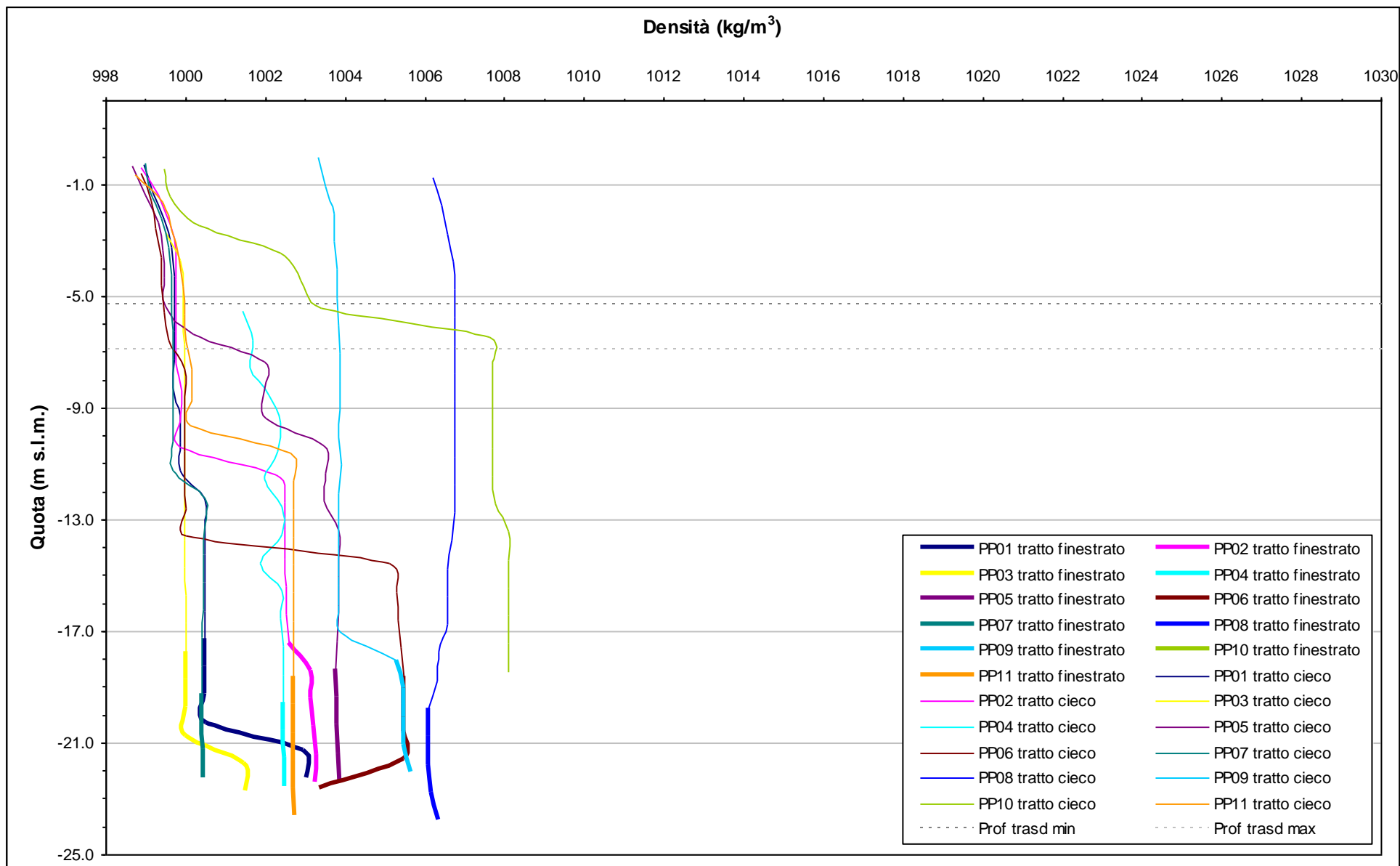


Fig. 4.7 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 4 e 5 agosto 2008

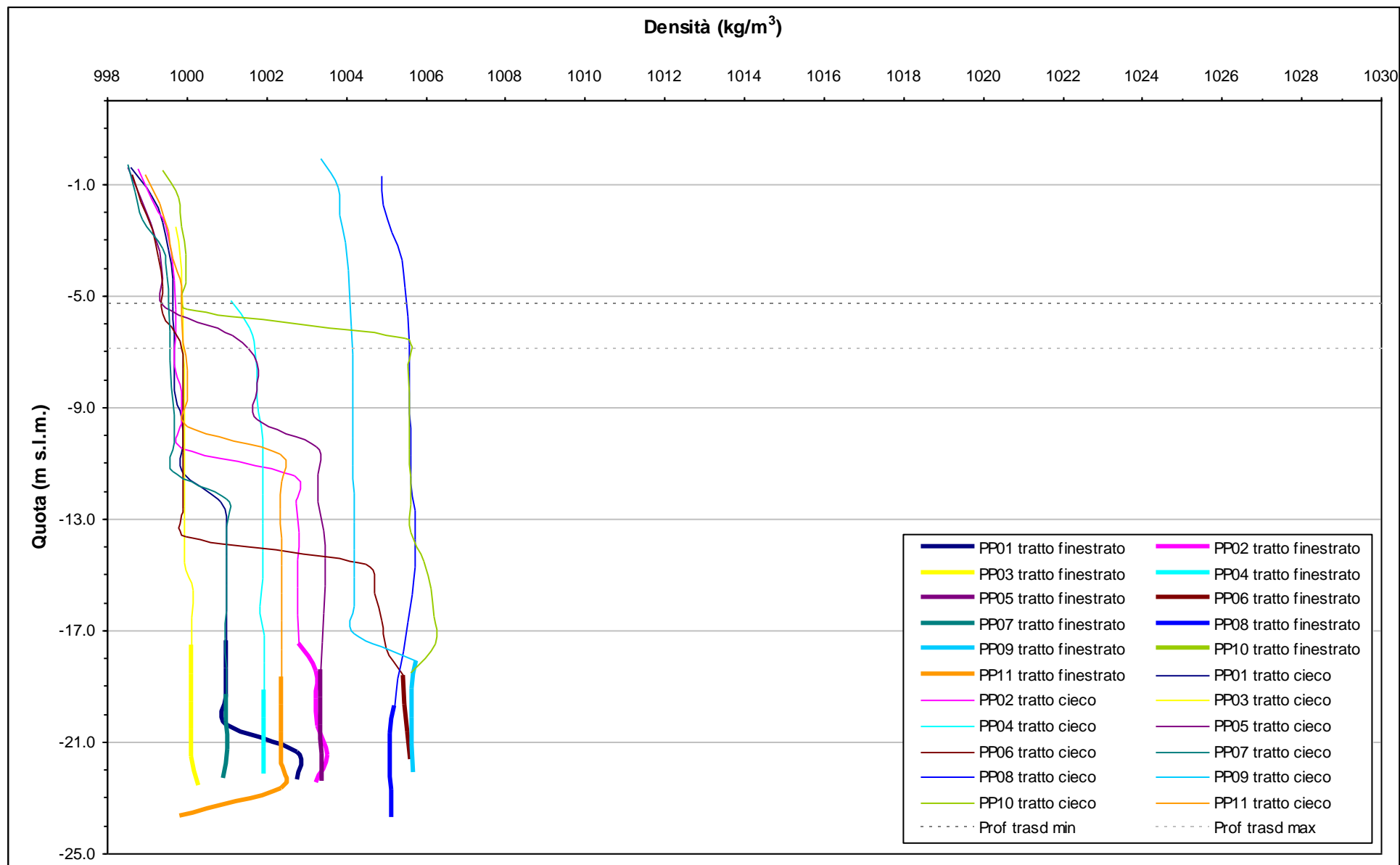


Fig. 4.8 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 2 e 3 settembre 2008

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 ρ_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	15 maggio 2008 - h.10.00
Giugno	10 giugno 2008 - h. 13.00
Luglio	16 luglio 2008 - h.18.00
Agosto	13 agosto 2008 - h.21.00

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

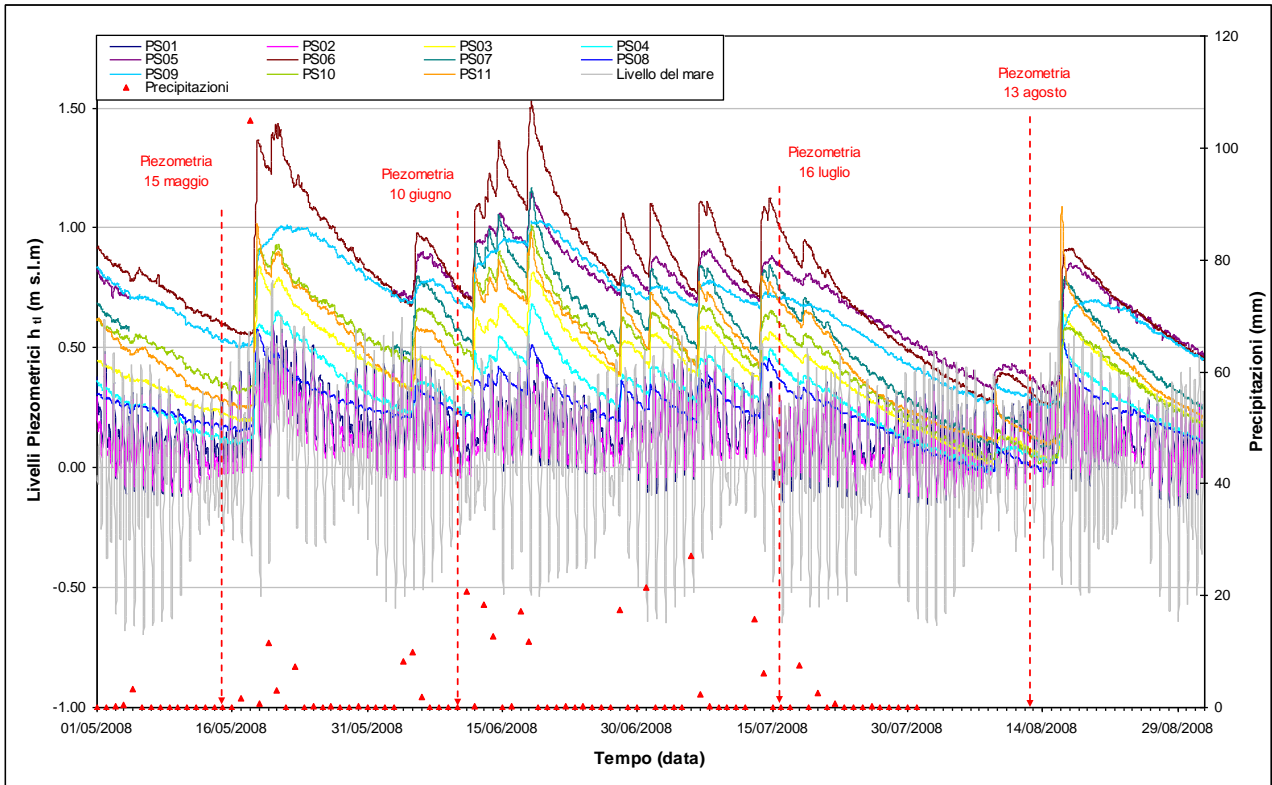


Fig. 5.1 – Elaborazione delle piezometrie superficiali

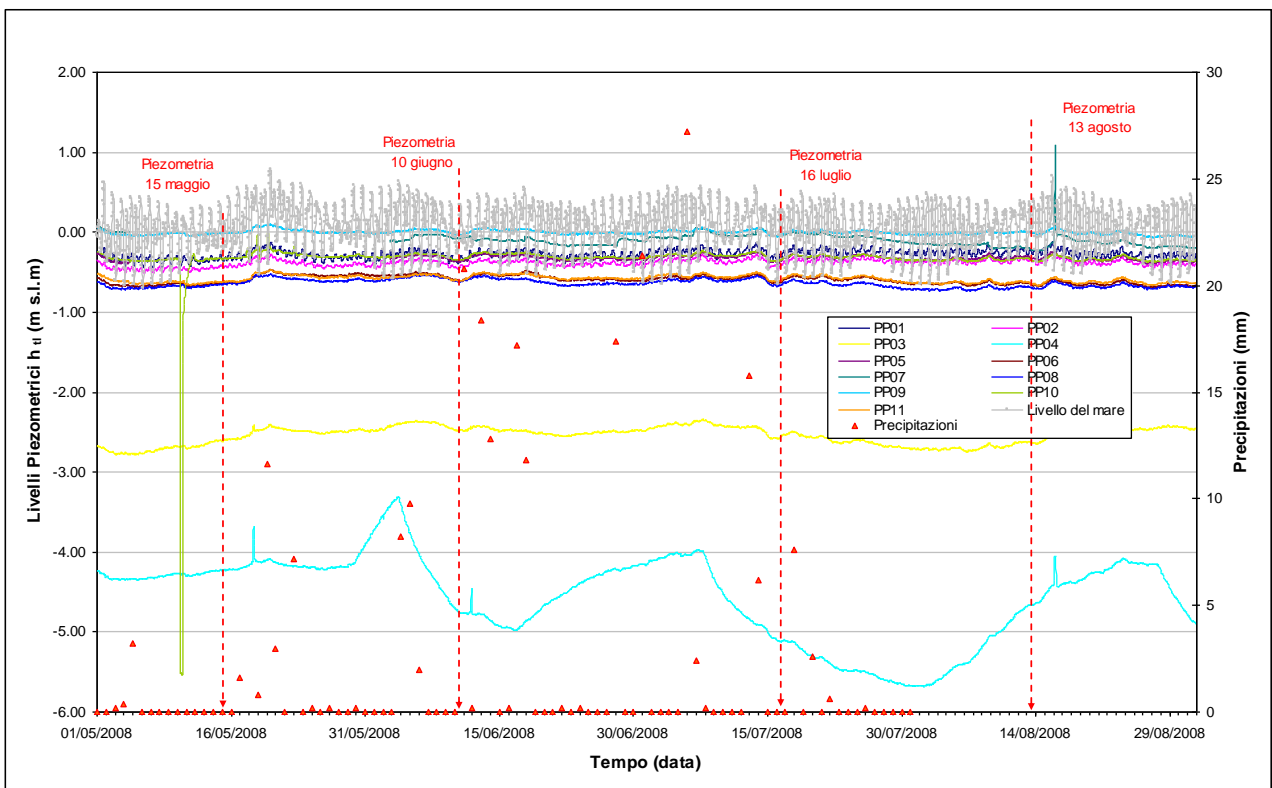


Fig. 5.2- Elaborazione delle piezometrie profonde

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

5.1.1 *Piezometria superficiale*

La piezometria del Primo livello acquifero (Strato A) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levelogger posti nei piezometri superficiali. In Tab. 5.2 sono riportati i livelli piezometrici riferiti agli istanti temporali scelti per ognuno dei quattro mesi monitorati e alla Fase A. Nelle Figg. 5.3 , 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab. 5.2- Livelli piezometrici h_{fl} 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_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)
PS01	2318325.88	5035253.68	1.778	0.271	0.14	0.06	0.15	0.32
PS02	2318303.30	5034900.48	1.713	nd	0.07	0.02	0.14	0.27
PS03	2318377.62	5034552.61	1.545	0.331	0.22	0.34	0.50	0.05
PS04	2318449.34	5034373.27	1.453	0.147	0.12	0.22	0.39	0.04
PS05	2318582.01	5034989.80	1.816	0.799	nd	0.73	0.82	0.33
PS06	2318658.27	5034750.84	1.688	0.843	0.59	0.74	0.93	0.27
PS07	2318785.95	5034898.62	1.403	0.654	nd	0.55	0.67	0.08
PS08	2318799.69	5034032.43	0.663	0.345	0.17	0.22	0.32	0.00
PS09	2318764.67	5035448.00	2.259	0.638	0.53	0.69	0.70	0.27
PS10	2318792.99	5035043.94	2.023	0.634	0.34	0.50	0.55	0.03
PS11	2318787.28	5034652.23	1.169	0.673	0.28	0.39	0.64	0.11

Confrontando le ricostruzioni piezometriche del quadrimestre di riferimento con quella relativa alla Fase A (novembre 2005) è possibile notare un sostanziale accordo con la configurazione relativa alla situazione *ante operam*, ad esclusione della piezometria di agosto, nella quale si osserva una diminuzione generale dei livelli.

Analogamente a quanto osservato durante la Fase A, in tutte le piezometrie elaborate si evidenzia un chiaro deflusso diretto dalla terraferma verso il mare, ad esclusione della piezometria relativa al mese di agosto, nella quale si osserva un'inversione del deflusso sotterraneo.

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

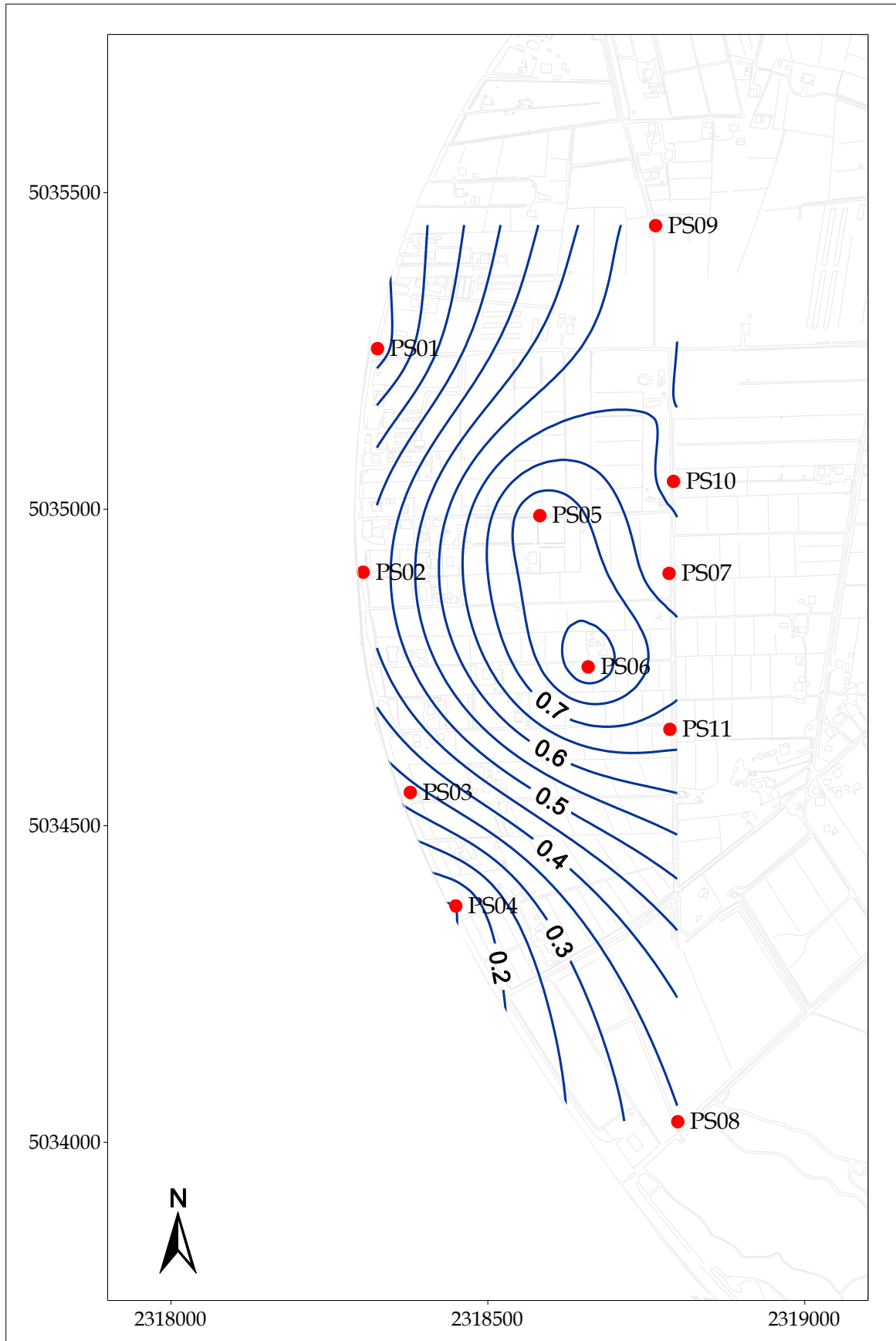


Fig. 5.3 - Piezometri superficiale Fase A(h_{fl} - m s.l.m.) - novembre 2005

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

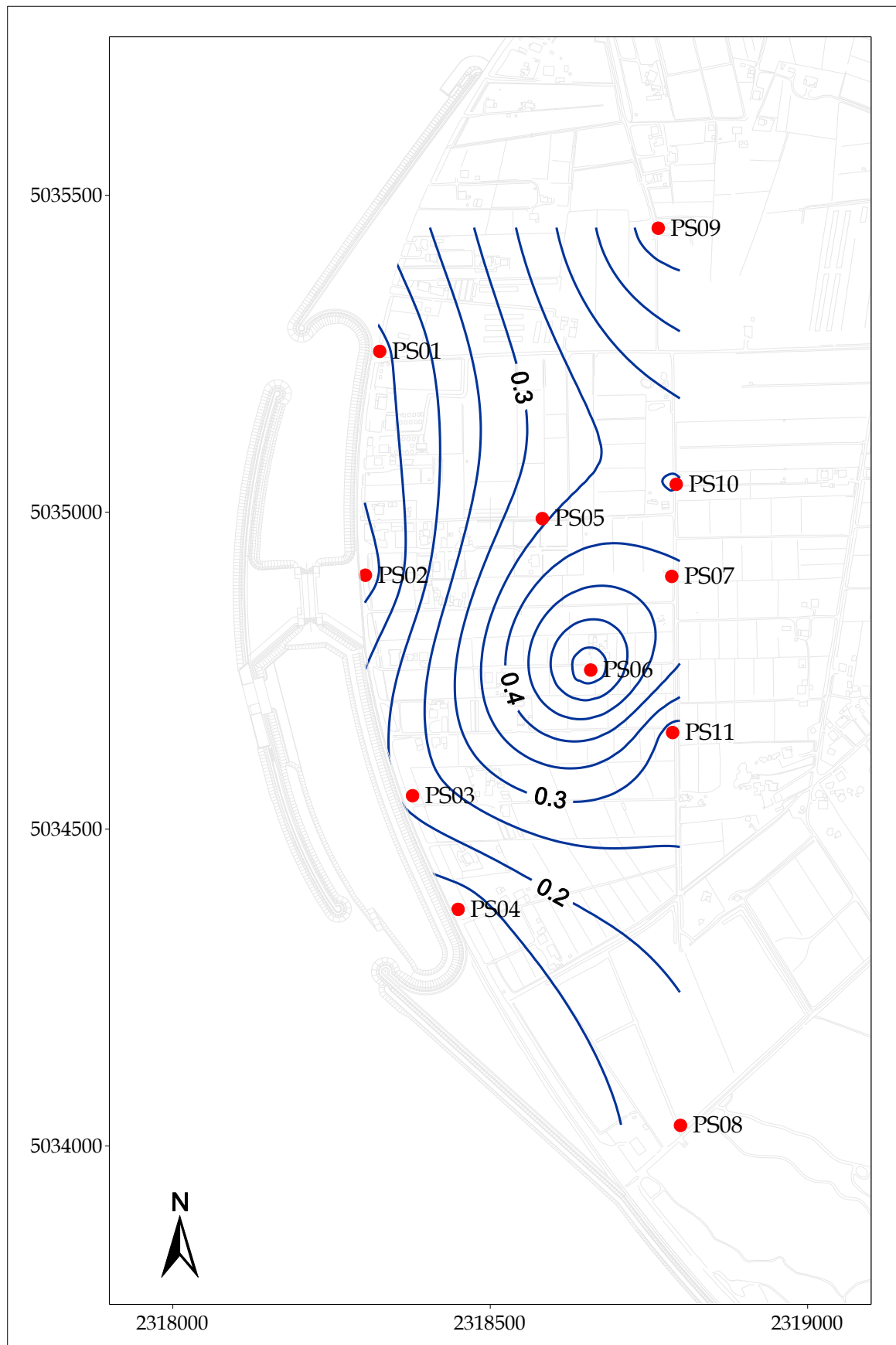


Fig. 5.4 - Piezometria superficiale - maggio 2008 (h_{fd} - m s.l.m.)

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

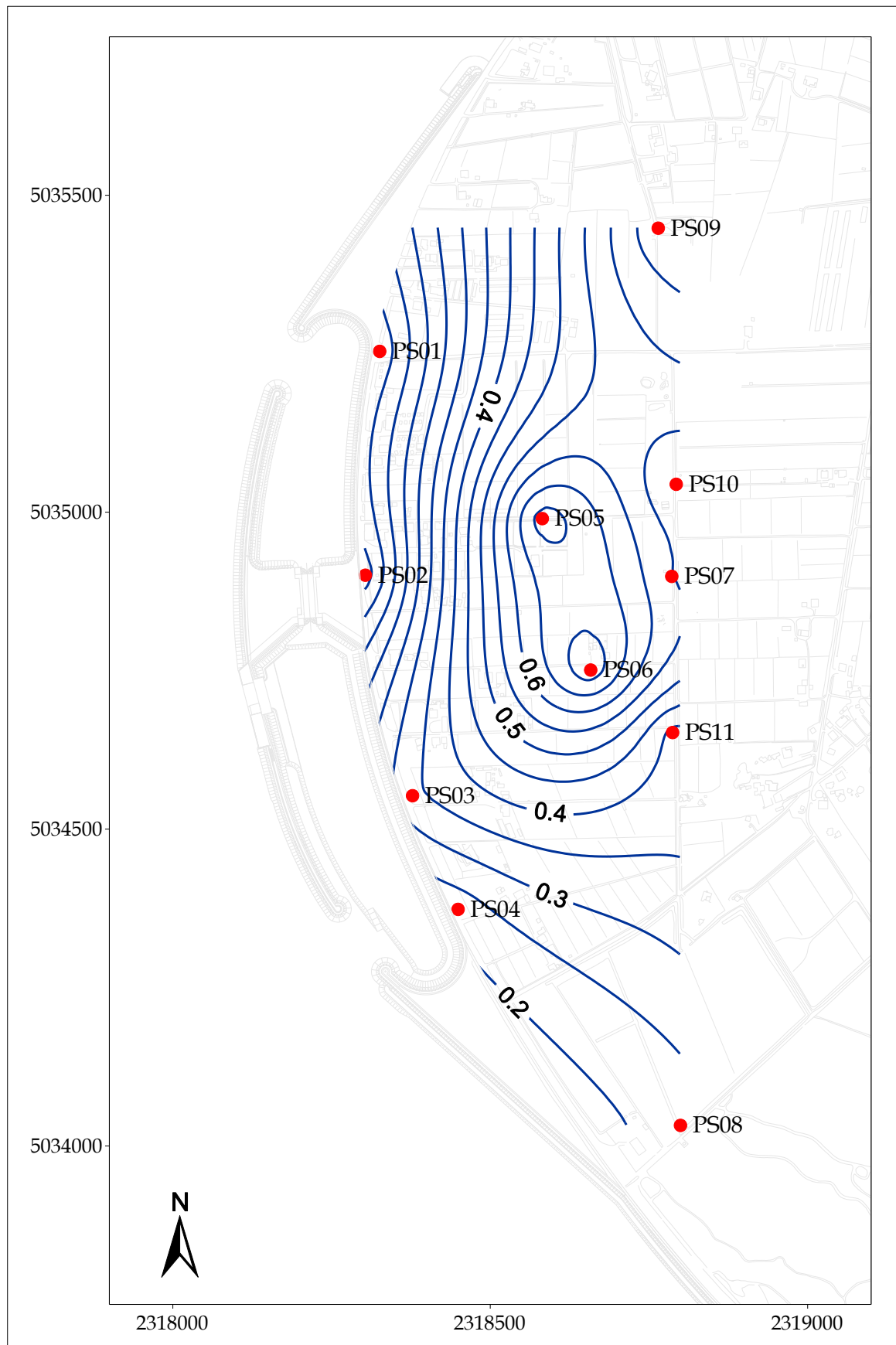


Fig. 5.5- Piezometria superficiale - giugno 2008 (h_{tl} - m s.l.m.)

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

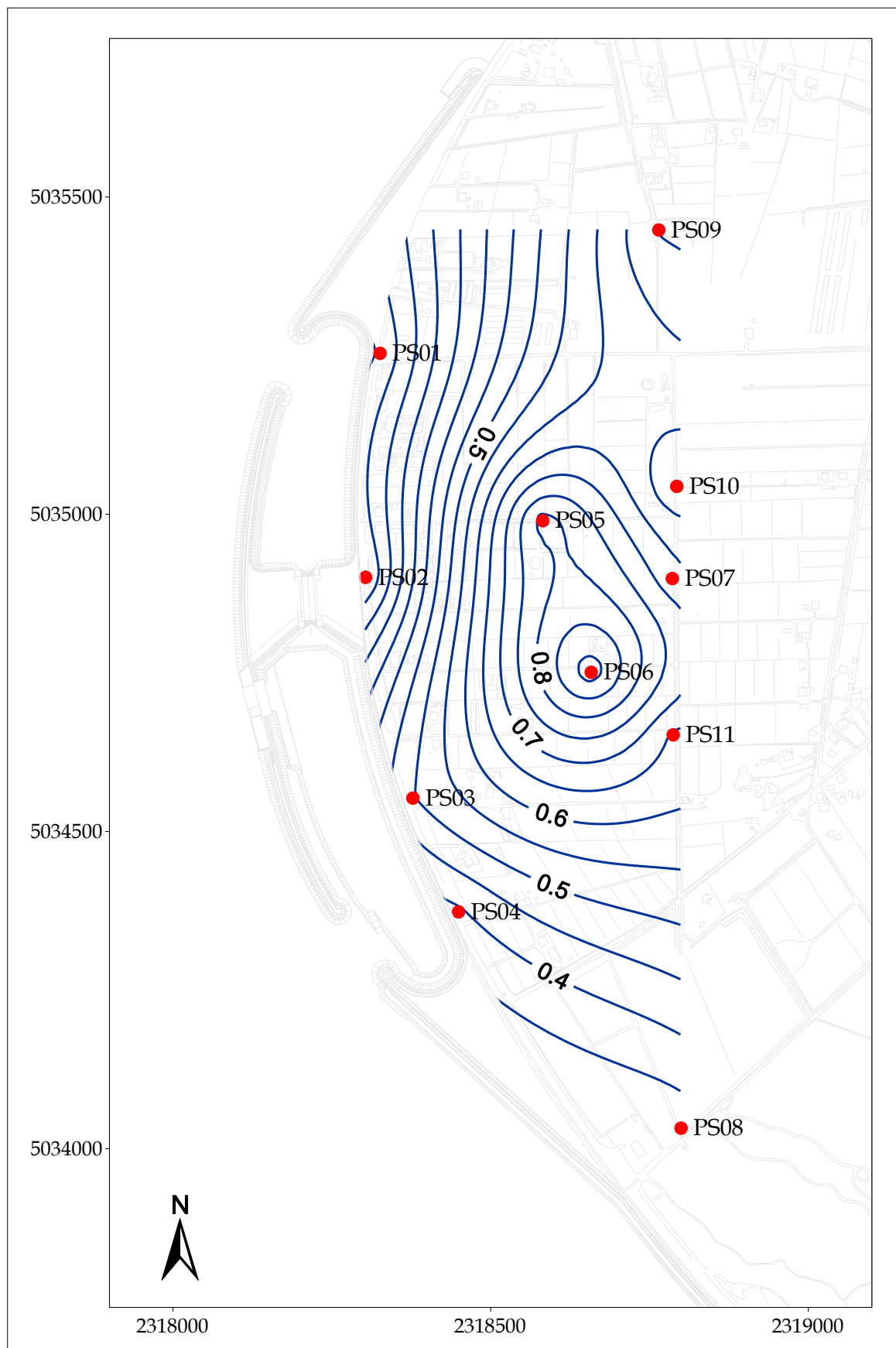


Fig. 5.6 - Piezometria superficiale - luglio 2008 (h_{tl} - m s.l.m.)

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

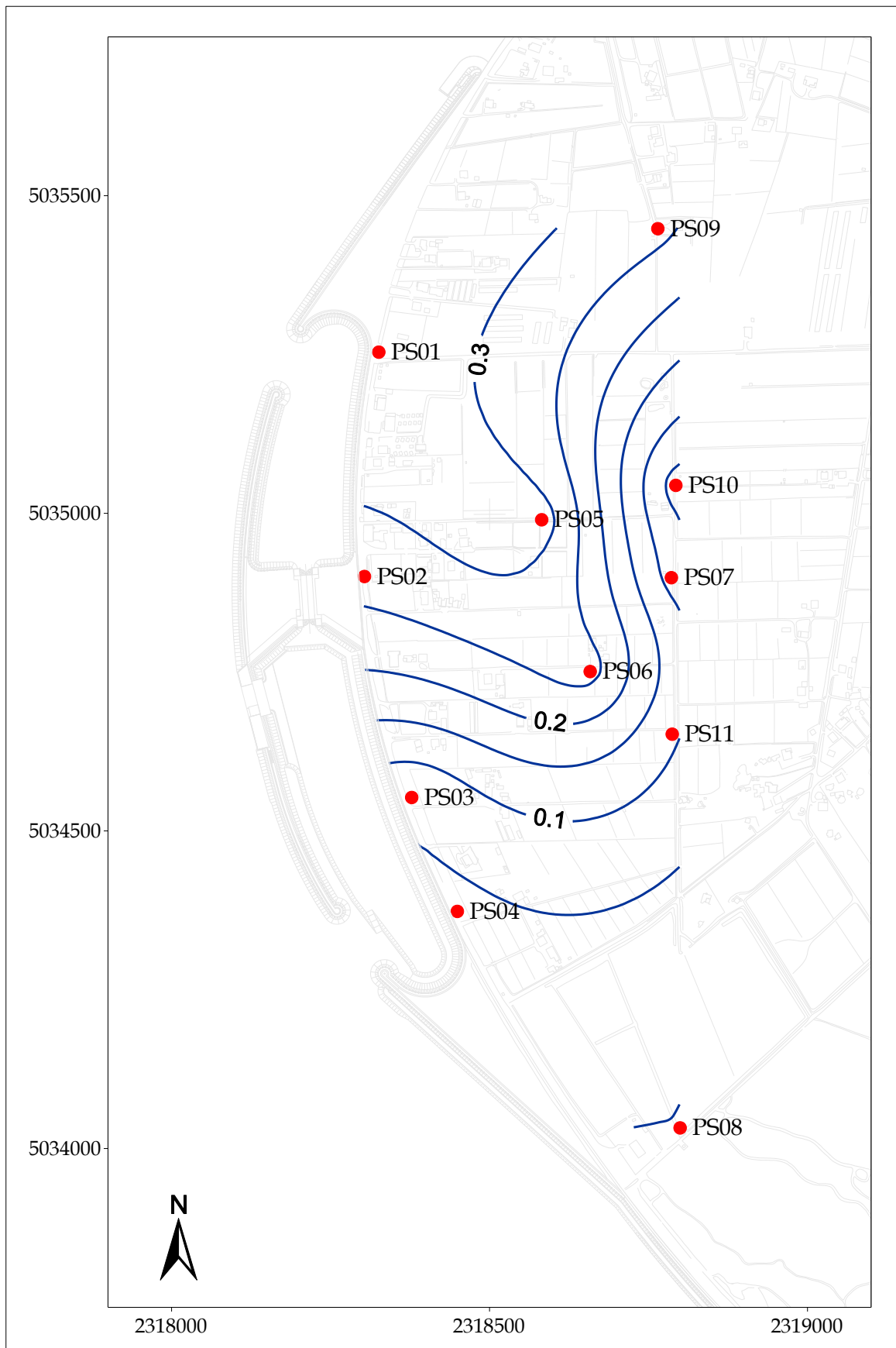


Fig. 5.7 - Piezometria superficiale - agosto 2008 (h_{tl} - m s.l.m.)

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

5.1.2 *Piezometria profonda*

La piezometria del Secondo livello acquifero (Strato C) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levellogger posizionati in corrispondenza di piezometri profondi. In Tab. 5.4 sono riportati i livelli piezometrici riferiti a quattro istanti temporali, uno per ognuno dei mesi monitorati ed uno appartenente alla Fase A. Nelle Figg. 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab.5. 1 – Livelli piezometrici h_{fl} relativi al secondo livello acquifero: Fase A e quattro date di riferimento

Piezometro	X	Y	z_t (m s.l.m.)	Fase A	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto
				h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)
PP01	2318325.44	5035252.10	1.781	0.337	-0.33	-0.35	-0.26	-0.22
PP02	2318303.40	5034898.36	1.706	0.298	-0.43	-0.44	-0.39	-0.34
PP03	2318378.37	5034550.49	1.492	0.353	-2.61	-2.48	-2.54	-2.64
PP04	2318448.54	5034374.67	1.515	0.394	-4.23	-4.76	-5.10	-4.65
PP05	2318579.81	5034989.68	1.730	0.469	nd	-0.37	-0.33	-0.33
PP06	2318658.29	5034748.80	1.652	0.375	-0.64	-0.61	-0.60	-0.66
PP07	2318786.12	5034900.50	1.323	0.401	nd	-0.07	-0.03	-0.23
PP08	2318800.26	5034031.14	0.675	0.260	-0.66	-0.62	-0.64	-0.70
PP09	2318765.07	5035445.93	2.274	0.339	-0.01	-0.03	-0.03	-0.01
PP10	2318793.08	5035045.83	2.098	0.302	-0.33	-0.34	-0.32	-0.36
PP11	2318787.40	5034654.31	1.087	0.288	-0.62	-0.61	-0.58	-0.65

Come illustrato nei precedenti Rapporti di Valutazione, la configurazione della piezometria profonda non risulta essere compatibile con quanto registrato durante la Fase A, risentendo delle operazioni di pompaggio della tura lato mare: in particolare nel piezometro PP03 si riscontra un abbassamento di livello di circa 3 m rispetto alla Fase A, mentre nel piezometro PP04 la diminuzione di livello è pari a circa 5 m; negli altri piezometri i livelli risultano inferiori rispetto a quelli registrati nella Fase A, con differenze comprese tra 30 e 100 cm.

Tutti i valori piezometrici dell'area di riferimento si attestano su valori negativi.

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

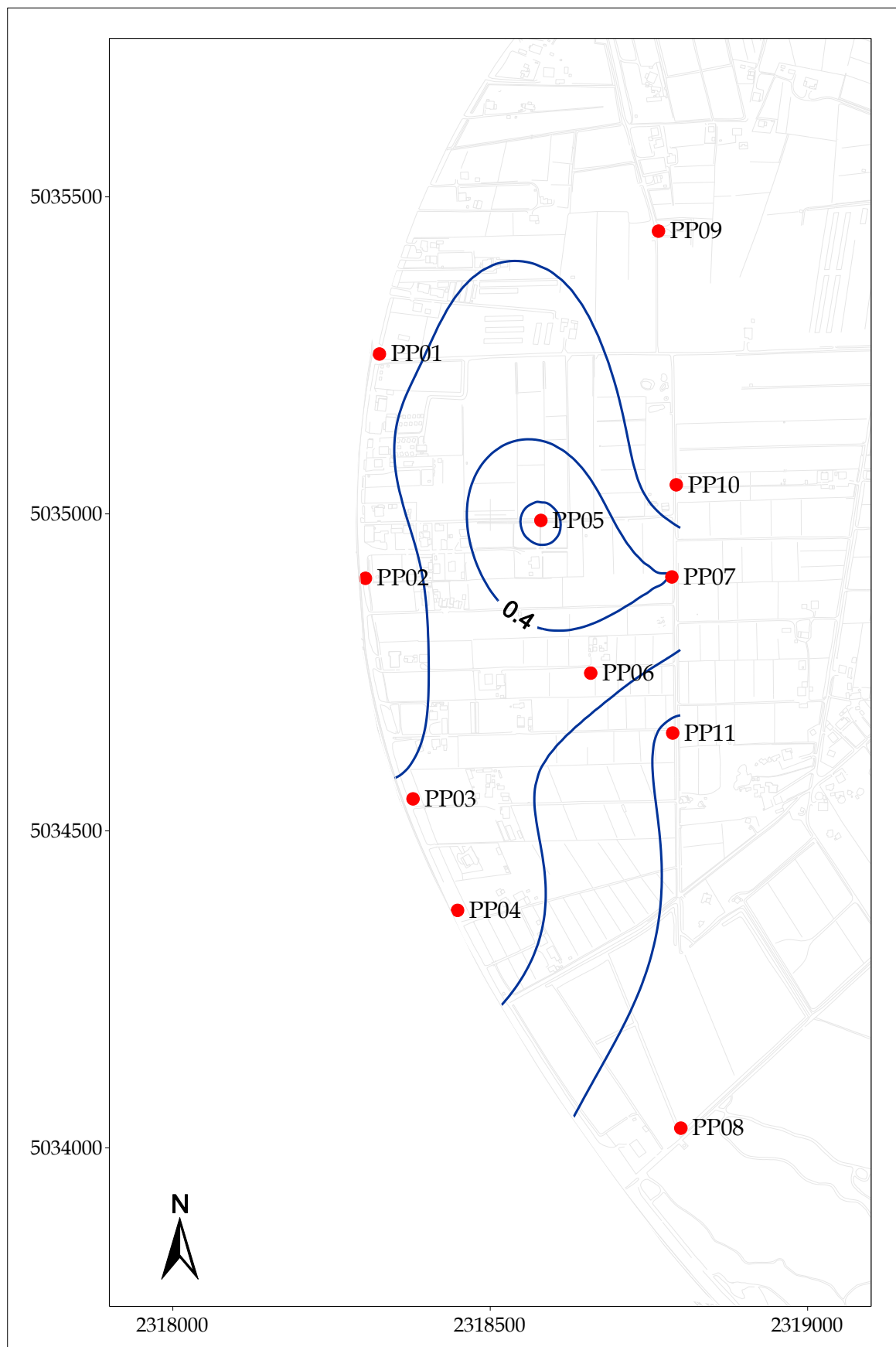


Fig. 5.8- Piezometria profonda Fase A (h_{tl} - m s.l.m.), novembre 2005

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

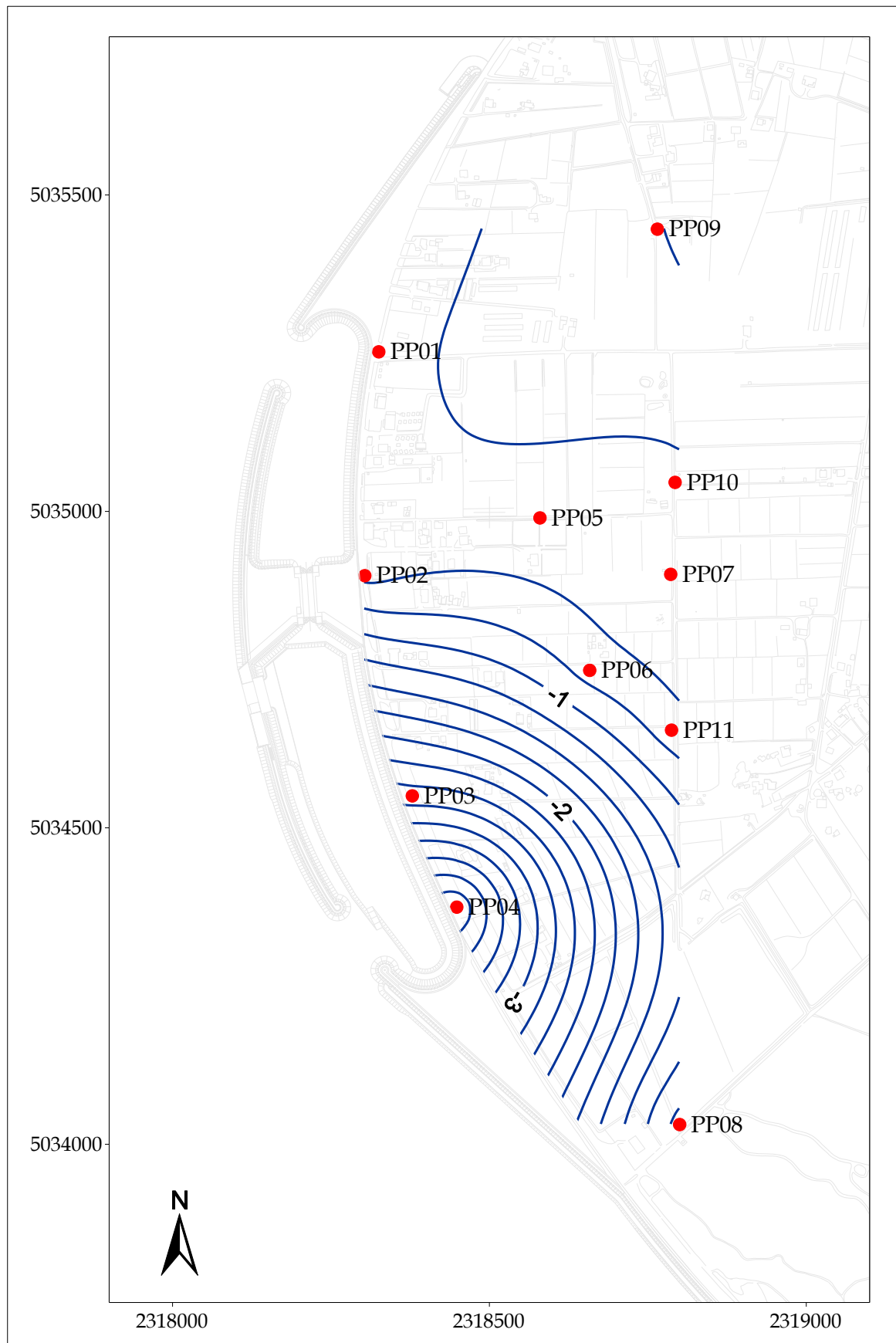


Fig. 5.9 - Piezometria profonda - maggio 2008 (h_{hl} - m s.l.m.)

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

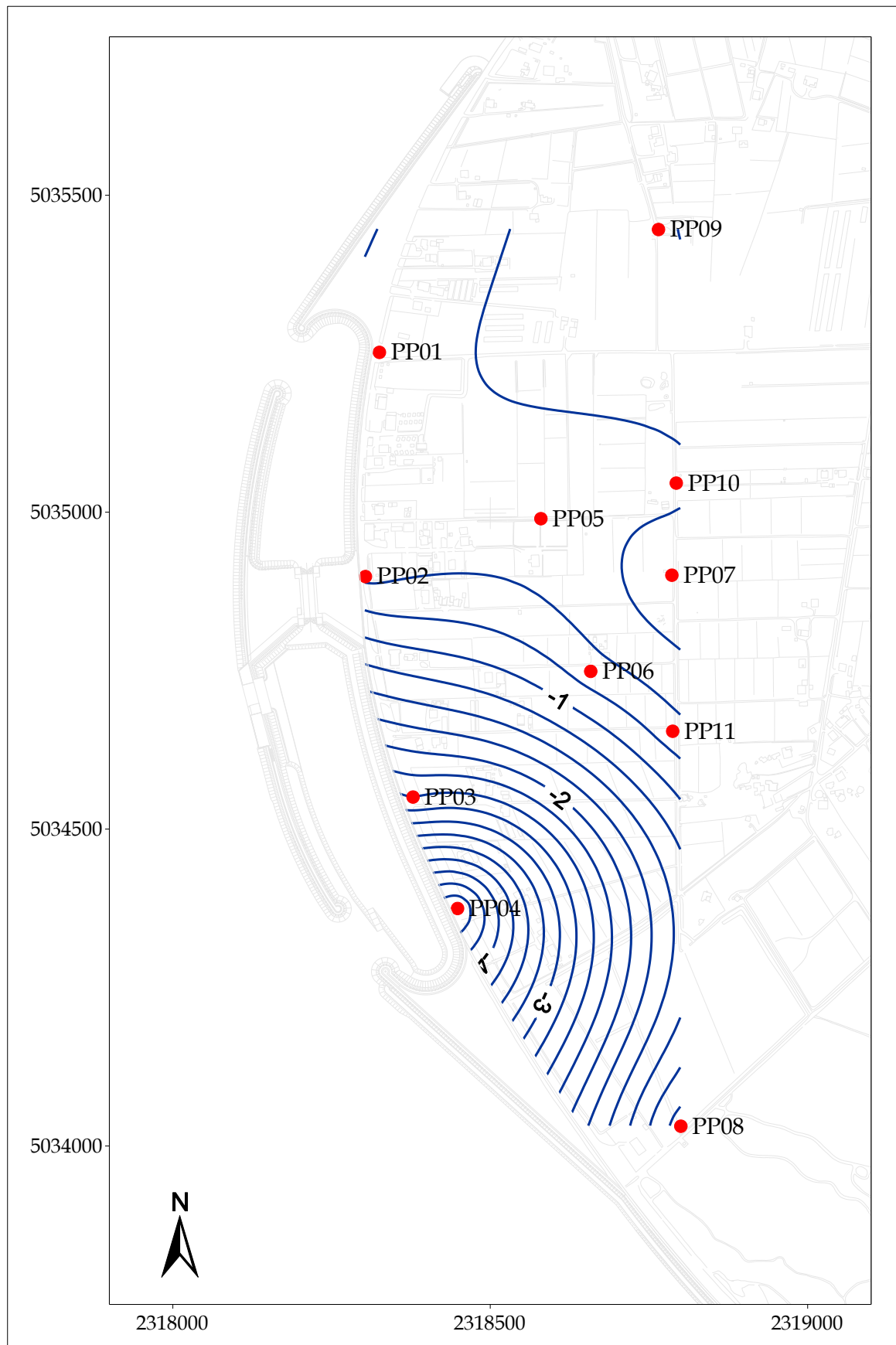


Fig. 5.10 - Piezometria profonda - giugno 2008 (h_{tl} - m s.l.m.)

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

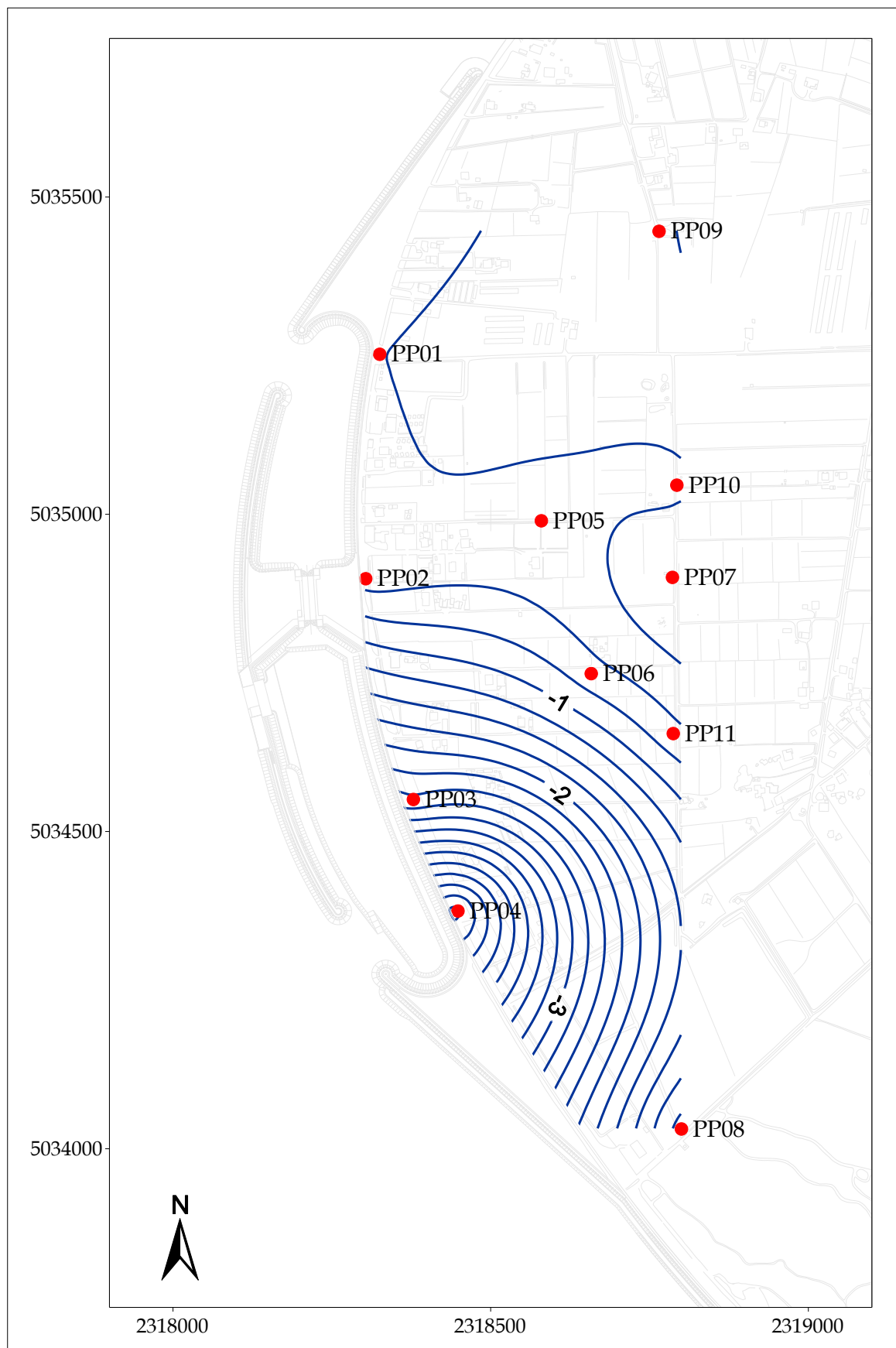


Fig. 5.11 - Piezometria profonda - luglio 2008 (h_{il} - m s.l.m.)

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

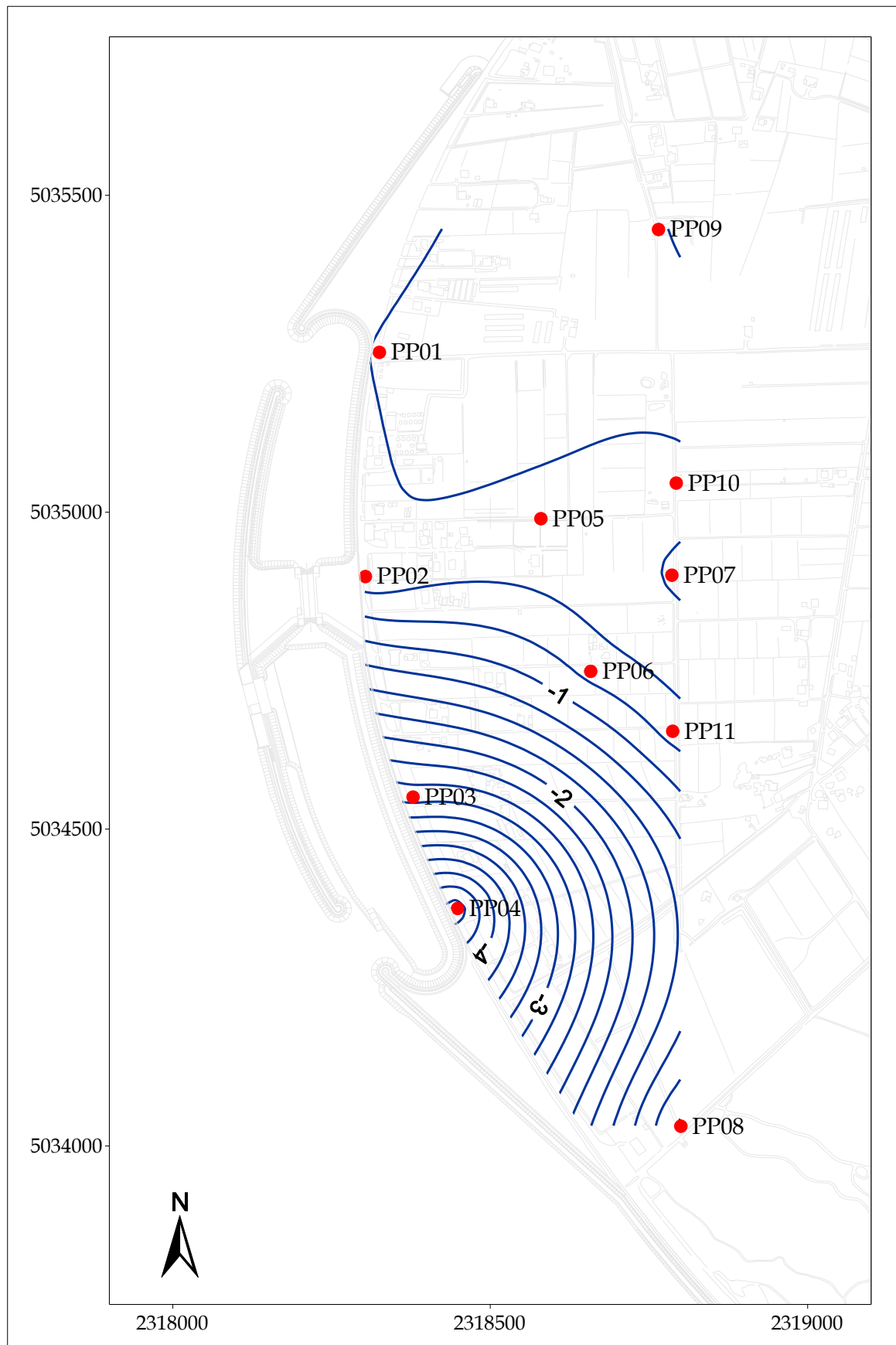


Fig. 5.12 - Piezometria profonda - agosto 2008 (h_{hl} - m s.l.m.)

6. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE

Le soglie identificate nel “Rapporto di Variabilità Attesa” (Studio B.6.72 B/1, dicembre 2005) prendono in considerazione eventi quali il basso o l’alto livello piezometrico, valutati sui valori istantanei dei carichi idraulici e sui valori mediati su 24 ore, come definito dalle seguenti relazioni (vedasi Tab. 6.1):

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

Tab. 6.1- Identificazione preliminare delle soglie ed azioni correttive

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

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

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

Nel corso del quadrimestre di monitoraggio maggio – agosto 2008 è stato verificato il rispetto delle soglie indicate in Tab. 6.1. Nel seguito sono indicati i superamenti:

- le soglie di Alto Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate per tutti i piezometri superficiali e profondi;
- le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate per tutti i piezometri superficiali e nel piezometro profondo PP09;
- la soglia di Basso Livello Istantaneo non è stata rispettata nei piezometri profondi PP03 e PP04 durante l'intero periodo monitorato; in occasione di alcuni massimi mareali sono stati registrati superamenti nei piezometri profondi PP01, PP05, PP10; nei piezometri PP02, PP06, PP08 e PP11 sono stati riscontrati frequenti superamenti della soglia di BLI; in data 16/08/08 è stato registrato un superamento della soglia di BLI nel piezometro PP07, in corrispondenza di un picco mareale;
- la soglia di Basso Livello Medio non è stata rispettata nei piezometri profondi PP04 e PP03 durante tutto il periodo monitorato; sono stati registrati occasionali superamenti della soglia di Basso Livello Medio nei piezometri PP06, PP08 e PP11; il superamento della soglia di Basso Livello Medio nel piezometro PP10, registrato in data 10/05/08, è dovuto ad un'anomalia causata dall'estrazione del trasduttore di livello;

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.

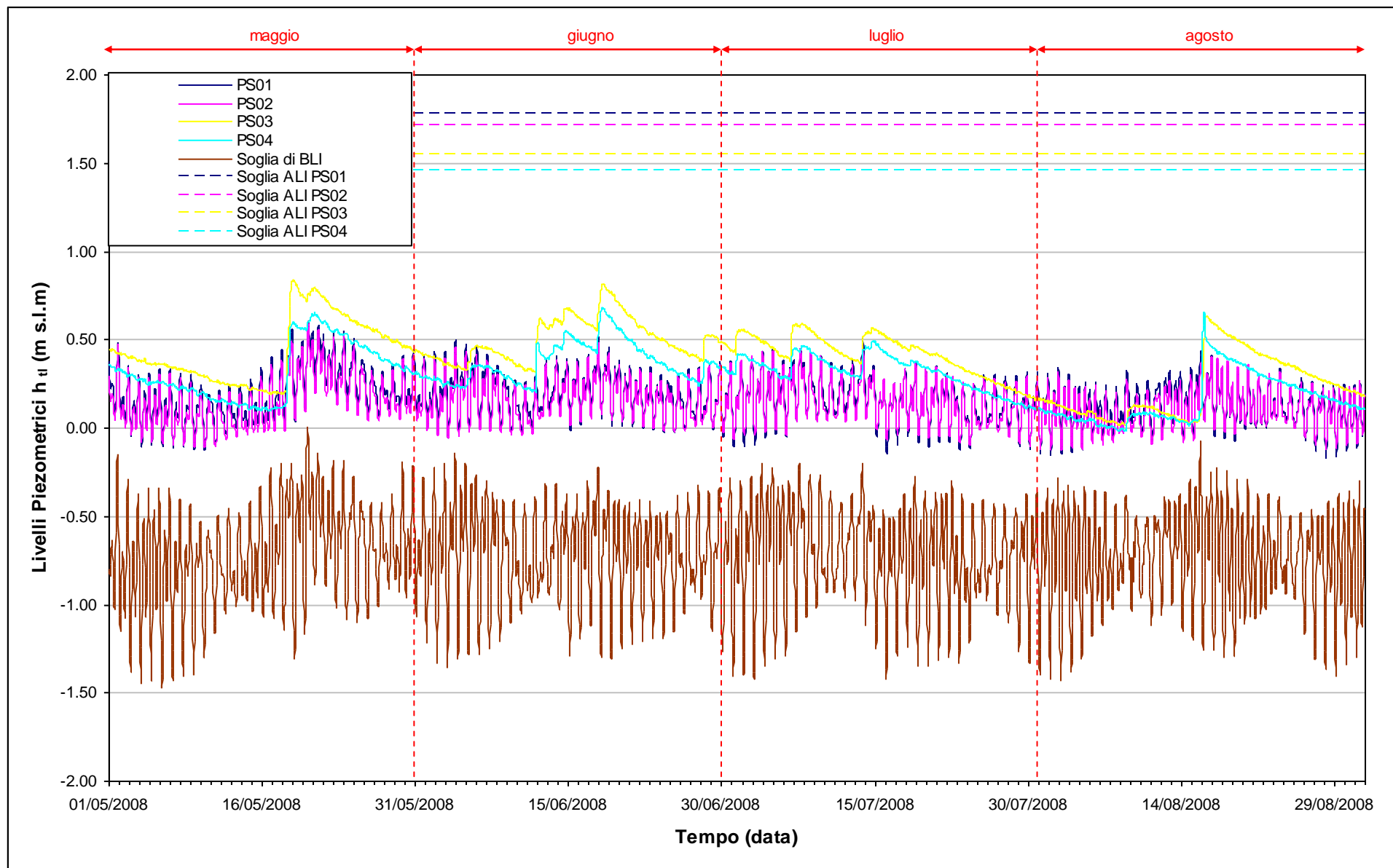


Fig. 6.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS01, PS02, PS03, PS04

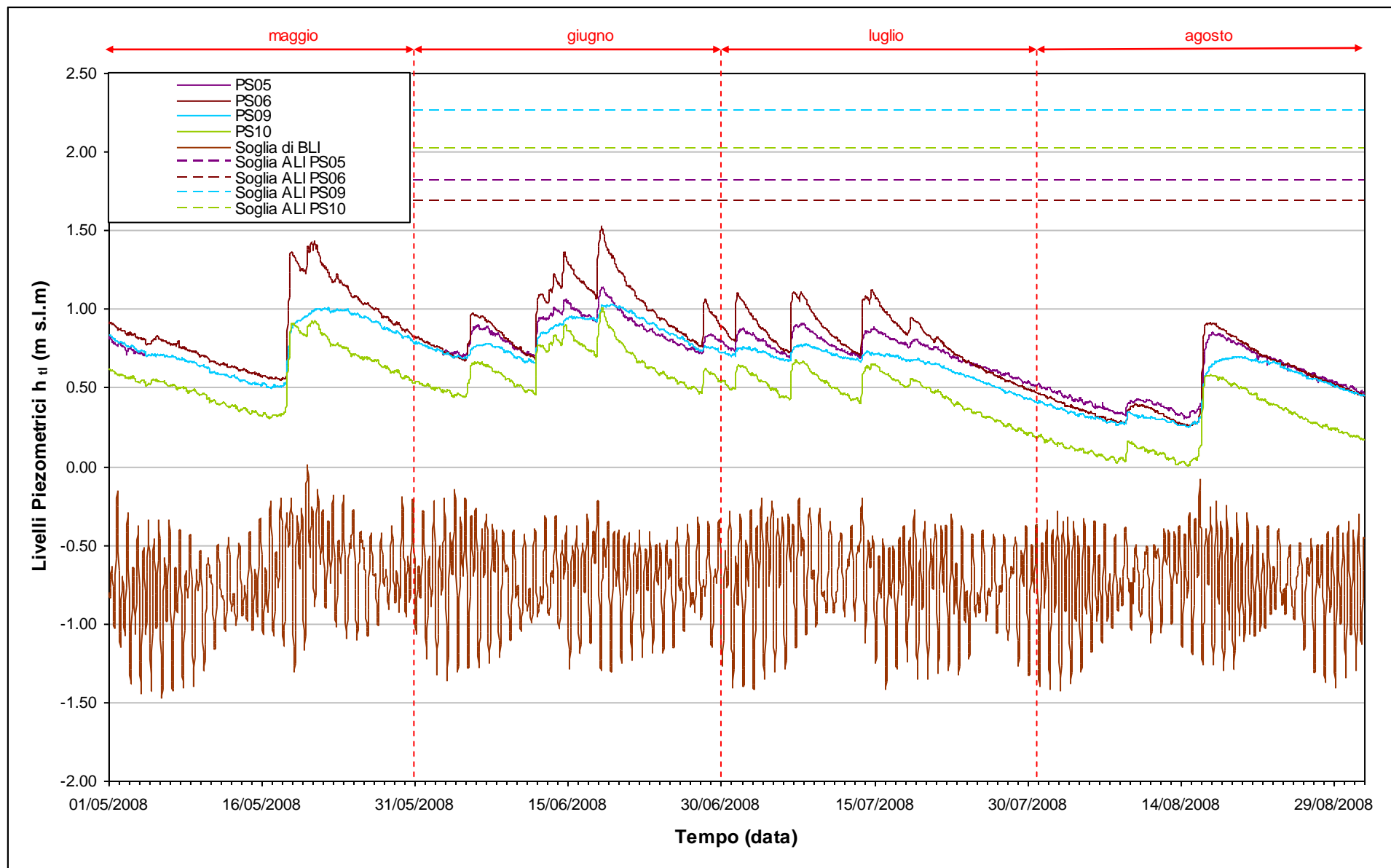


Fig.6.2 – Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS05, PS06, PS09, PS10

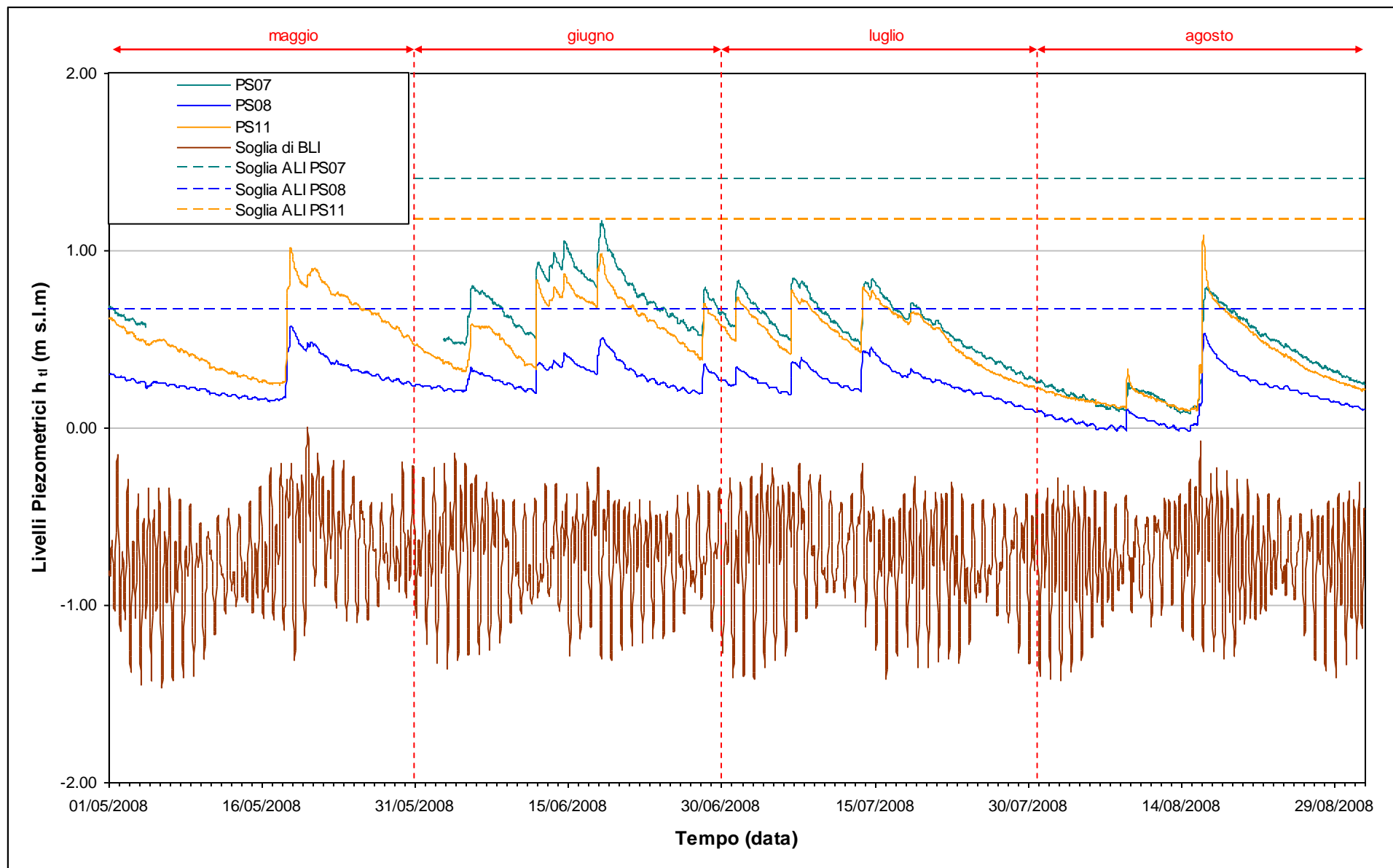


Fig.6.3 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS07, PS08, PS11

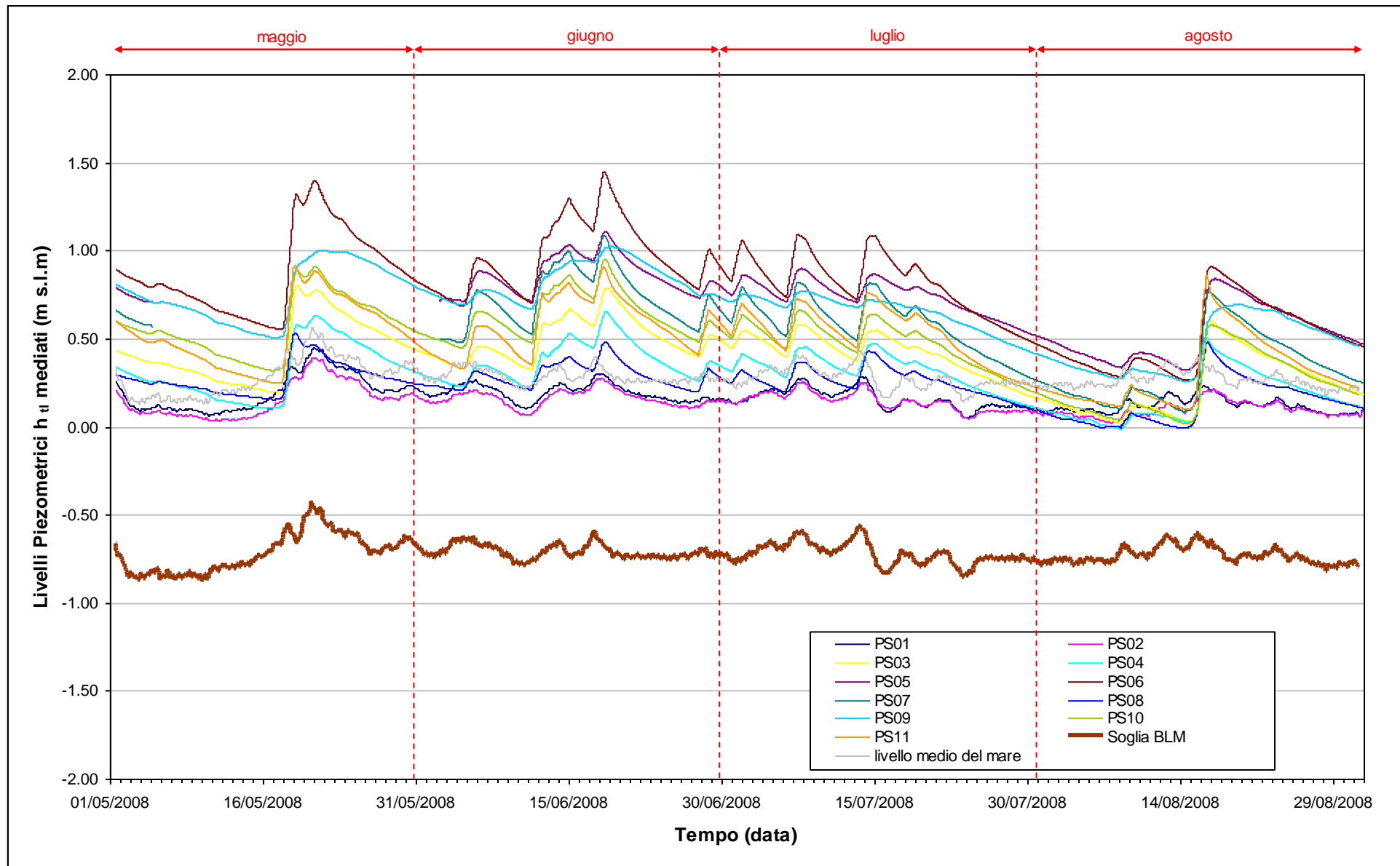


Fig. 6.4 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri superficiali e soglia di Basso Livello Medio

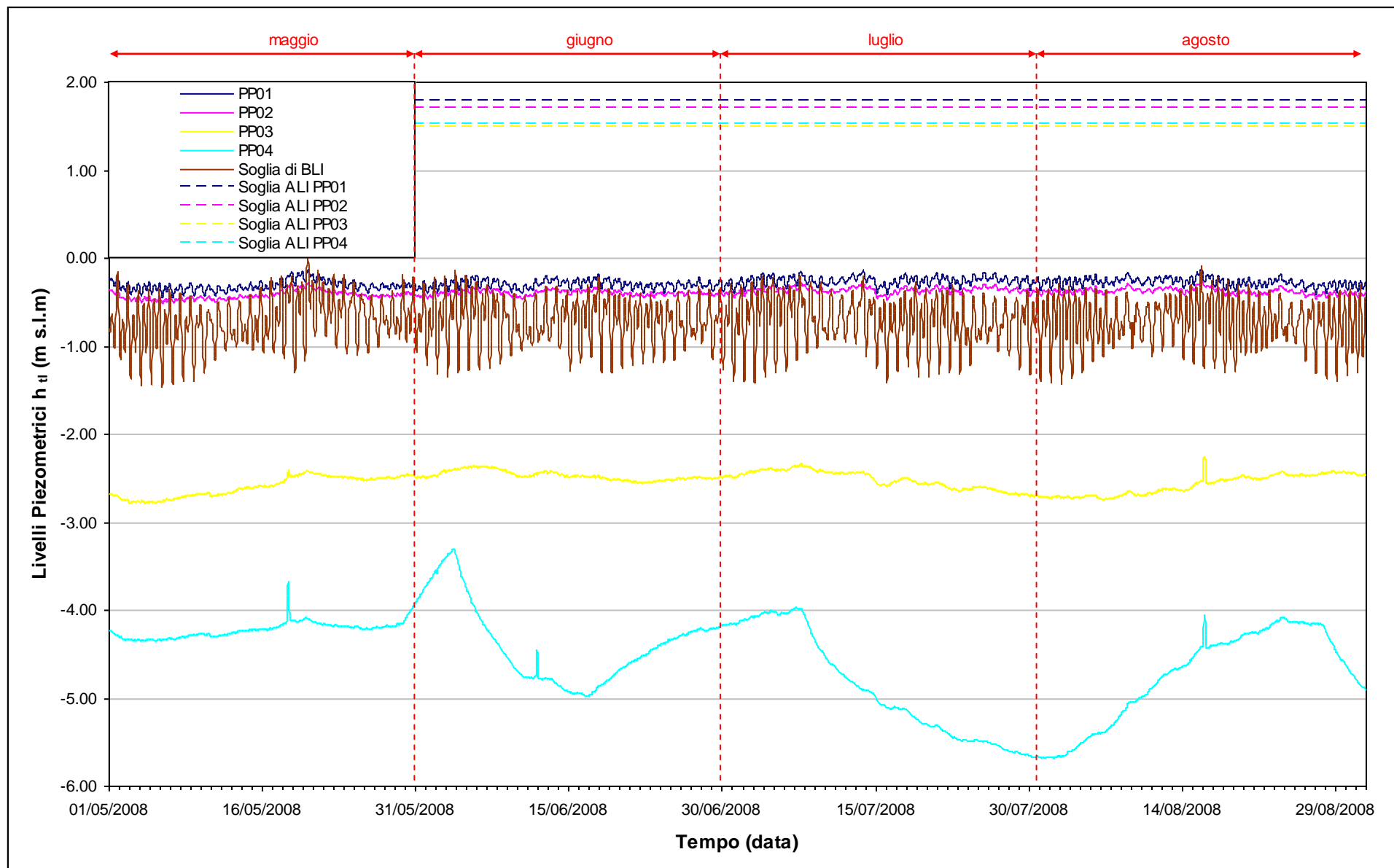


Fig. 6.5 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP04

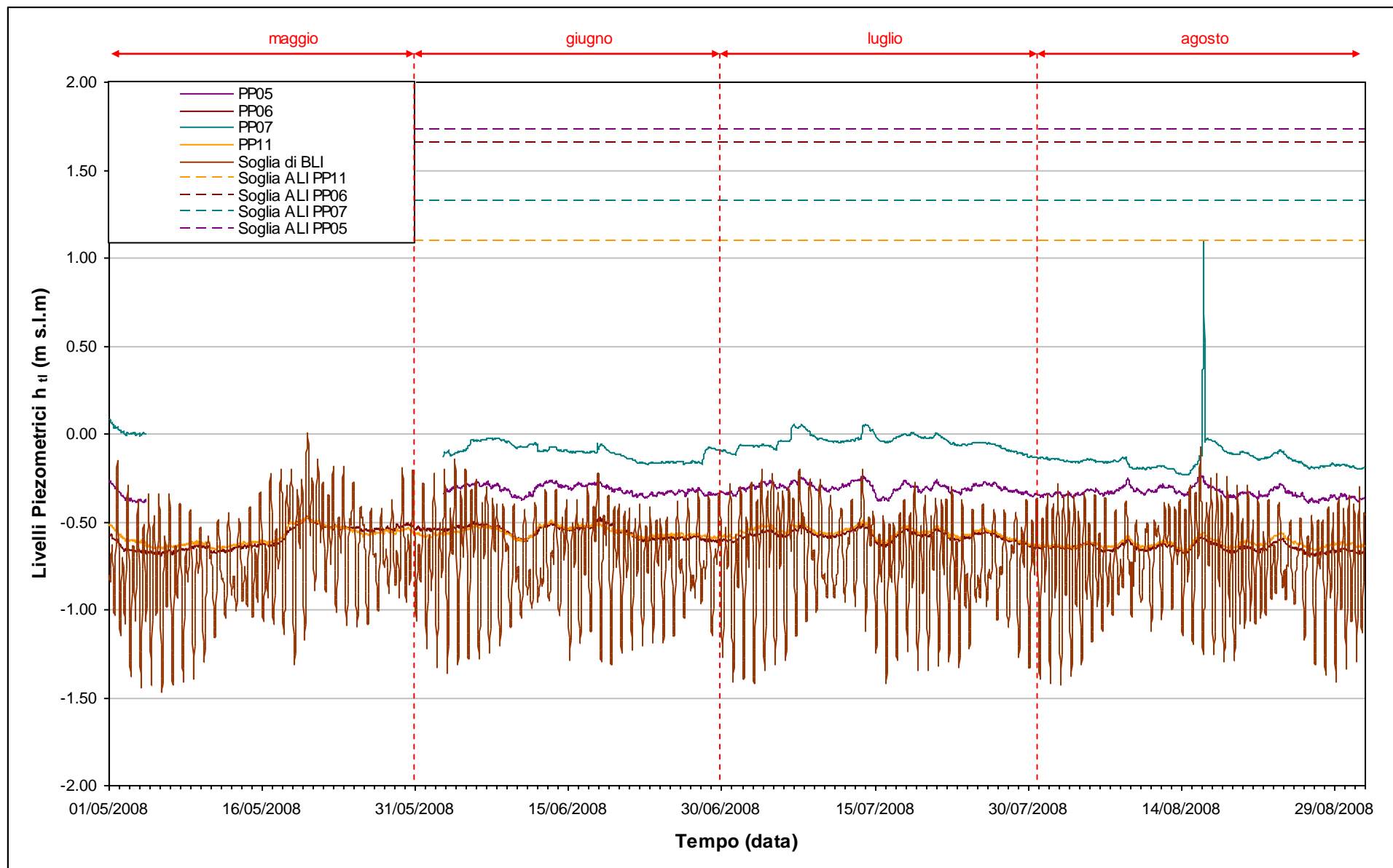


Fig. 6.6 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP11

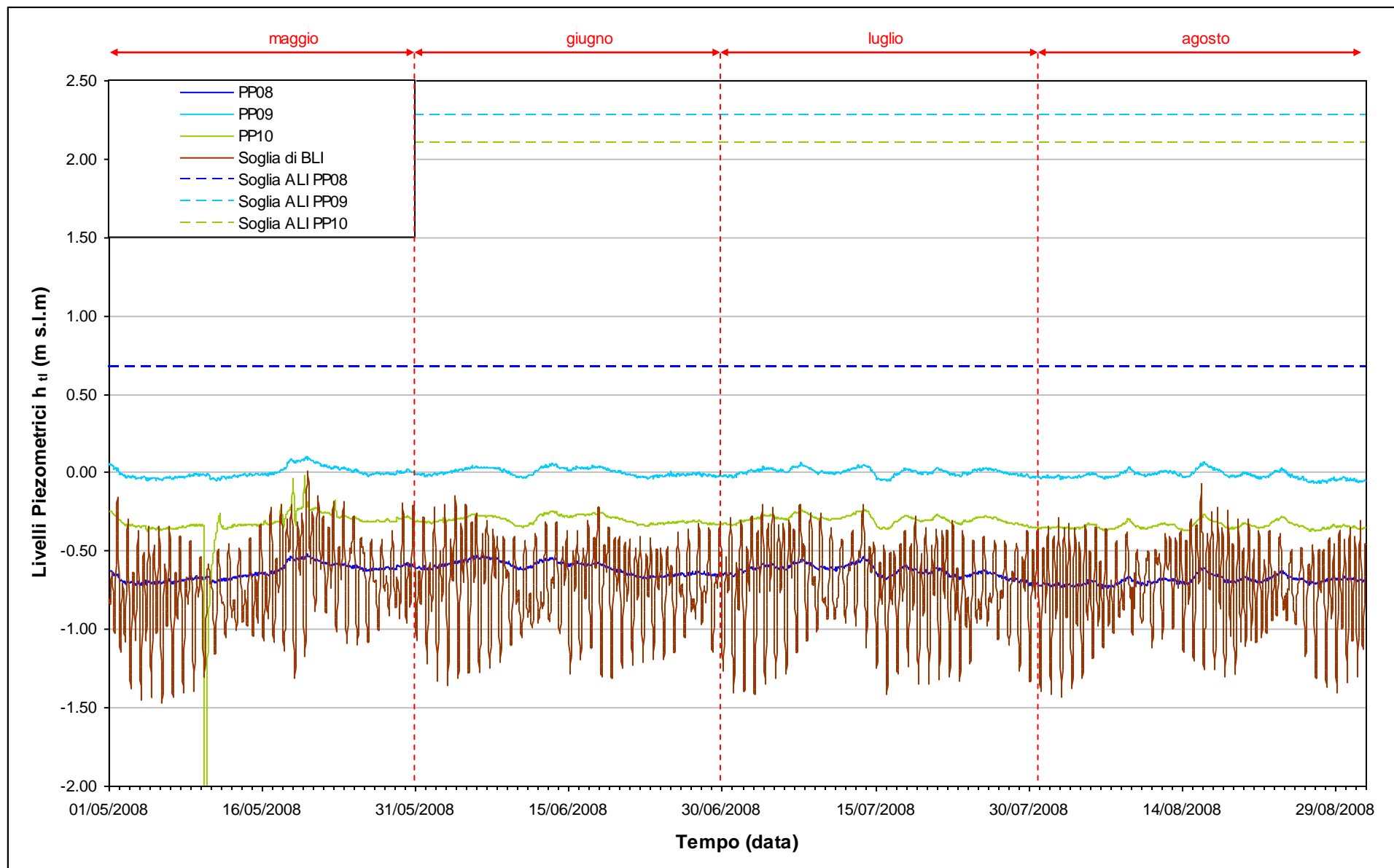


Fig. 6.7 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP08, PP09, PP10

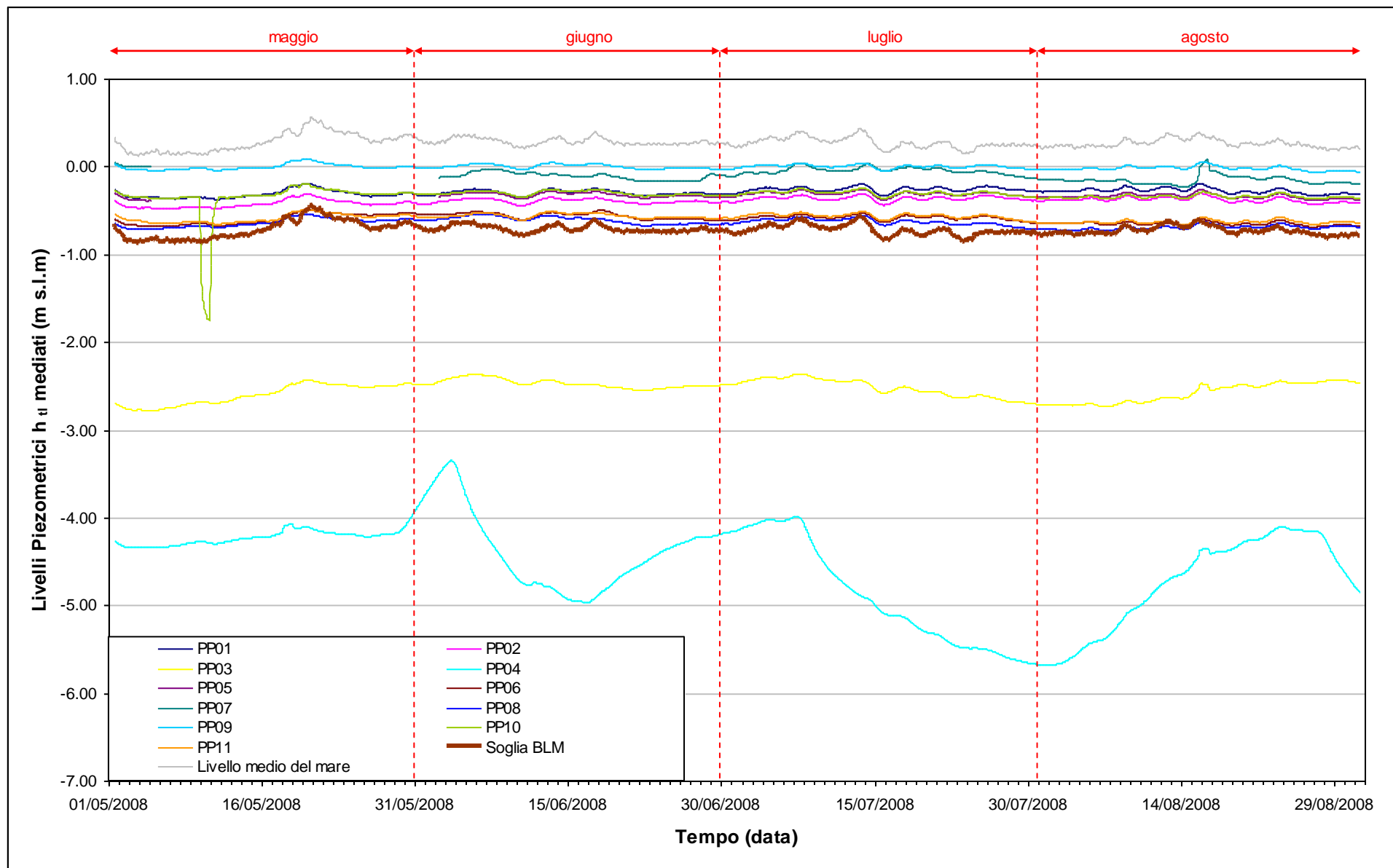


Fig. 6.8 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri profondi e soglia di Basso Livello Medio

7. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/05/2008 e il 31/08/2008, sono stati valutati gli andamenti dei livelli piezometrici all'interno del primo e secondo livello acquifero. Sono, inoltre, state analizzate le influenze delle forzanti naturali ed antropiche agenti sul sistema dinamico ed è stato effettuato uno studio sulla variazione spazio-temporale della densità dell'acqua di falda.

In tutti i piezometri dell'acquifero superficiale, ad eccezione delle postazioni PS01 e PS02 (i cui livelli sono legati alle oscillazioni mareali), si è assistito ad una diminuzione dei livelli piezometrici di 20-50 cm circa, attribuibile alla forte evapotraspirazione tipica della stagione estiva. Dalle elaborazioni piezometriche tali livelli risultano inferiori rispetto a quelli registrati durante il monitoraggio di Fase A.

La configurazione piezometrica in corrispondenza del secondo livello acquifero non risulta essere compatibile con quanto registrato durante la Fase A, risentendo delle operazioni di pompaggio della tura lato mare. Nei piezometri profondi il livello è rimasto sostanzialmente stabile (rispetto ai mesi precedenti), se si esclude il PP04 dove si è verificata una diminuzione del livello piezometrico di circa 65 cm nel periodo 01/05/08 - 31/08/08. Durante il periodo di monitoraggio nel piezometro PP04 sono state registrate alcune oscillazioni di livello attribuibili a modificazioni nella portata di emungimento dei pozzi di cantiere.

**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 maggio 2008 - 31 agosto 2008 relativi all'osservazione degli effetti delle attività del cantiere alla Bocca di Chioggia sulla falda idrica sotterranea in località Ca' Roman, come previsto dal Disciplinare Tecnico (Studio B.6.72 B/4 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2008).

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 01/05/2008 e il 31/08/2008.

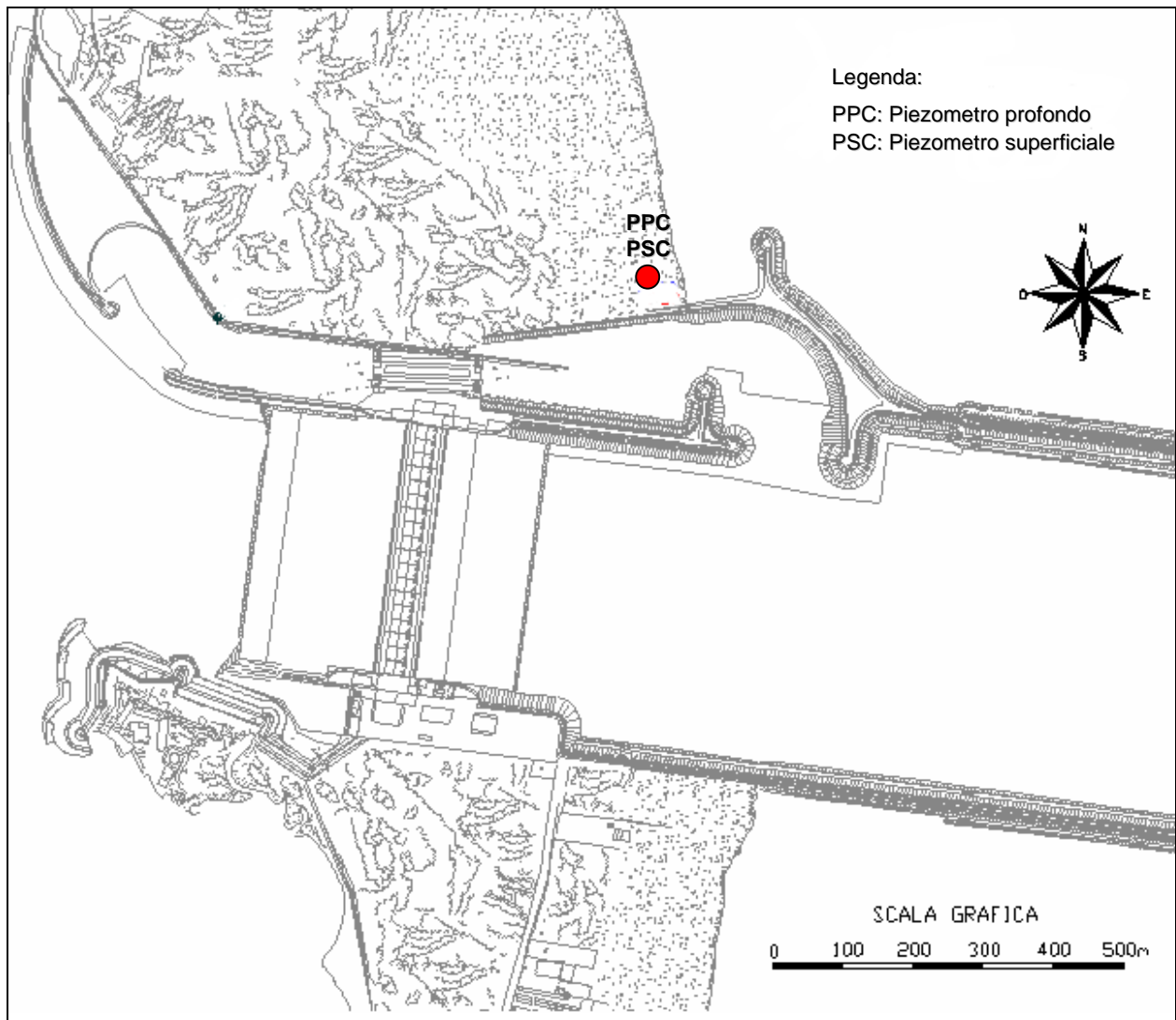


Fig. 9.1 - Ubicazione dei piezometri

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", Studio B.6.72 B/1, dicembre 2005).

9.2 Descrizione delle forzanti naturali

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

- **precipitazioni**, registrate dalle stazioni meteorologiche MAV-CVN "Ceppe" e "ARPA Veneto - Chioggia (VE)";
- **oscillazioni mareali** registrate dal mareografo "Diga Sud Chioggia";
- **pressione atmosferica** registrata dal barologger BC01, installato in corrispondenza piezometro superficiale PSC01.

9.2.1 Precipitazioni

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. A causa di un malfunzionamento del pluviometro della stazione "Ceppe", per il mese di maggio sono stati utilizzati i dati rilevati dalla centralina "ARPA Veneto - Chioggia (VE)", ubicata a Punta Sabbioni.

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

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
18/05/08	24	17,6
20/05/08	24	17,6
30/05/08	24	15
04/06/08	2	9,5
13/06/08	11	15,4
14/06/08	8	13,3
17-18/06/08	11	15,1
28/06/08	4	6,8
01/07/08	3	19,7
06/07/08	2	10,4
13/07/08	3	36,9
22/07/08	7	9
08/08/08	7	9,5
15-16/08/08	16	48,3

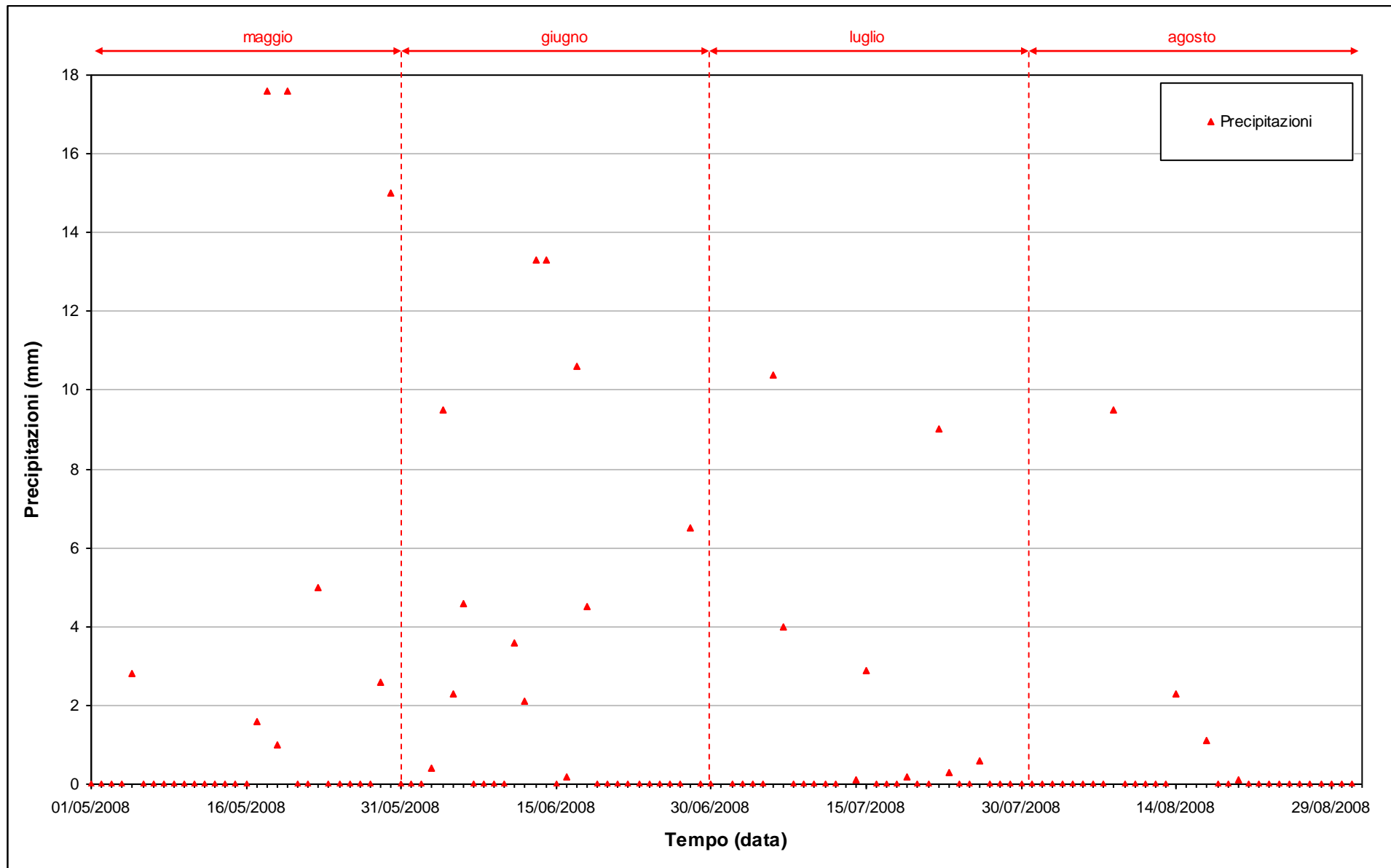


Fig. 9.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio

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 mese di monitoraggio. I dati riportati sono riferiti alla Rete Altimetrica dello Stato "Genova 1942" e sono caratterizzati da una frequenza di acquisizione oraria nell'intero periodo monitorato.

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

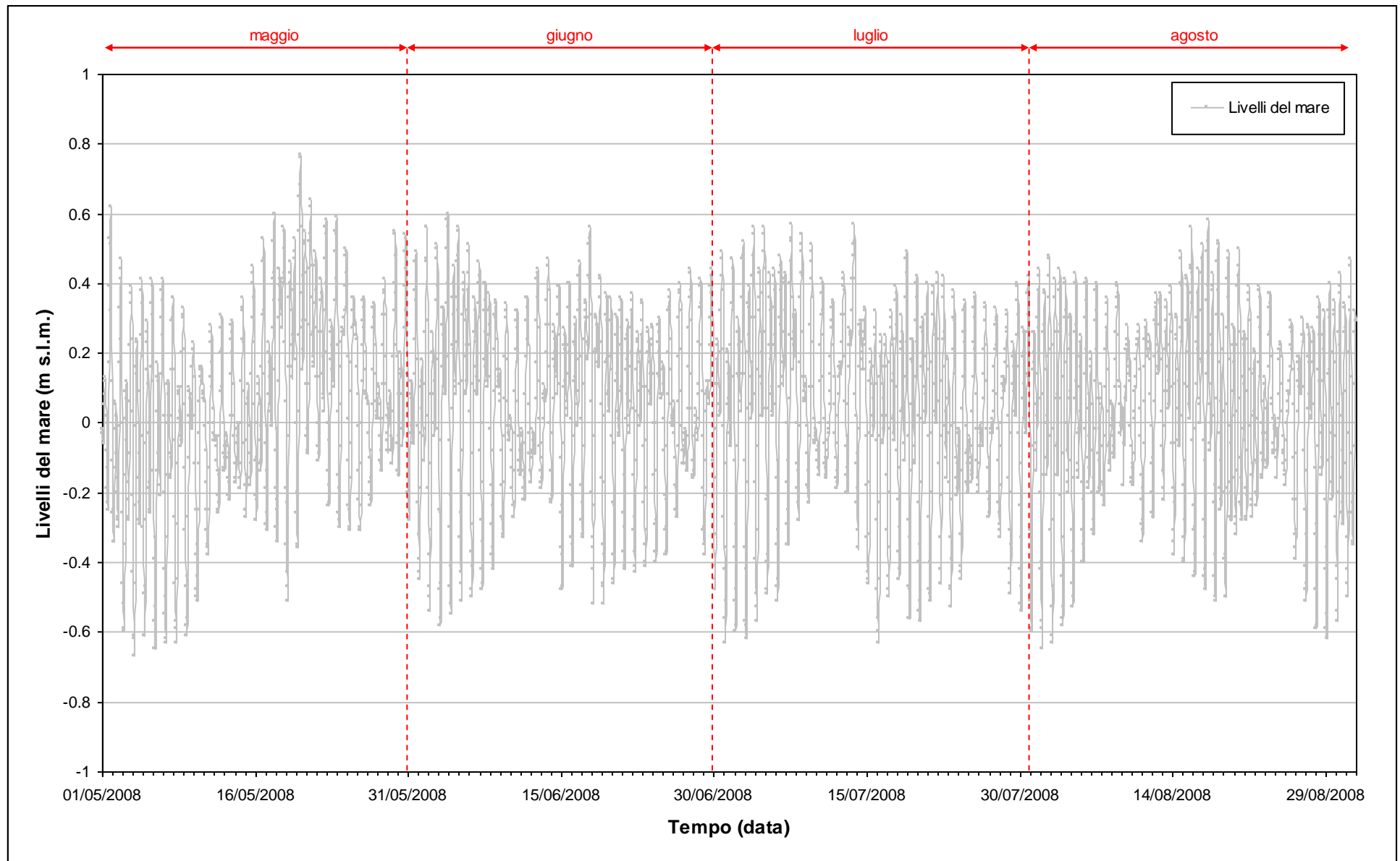
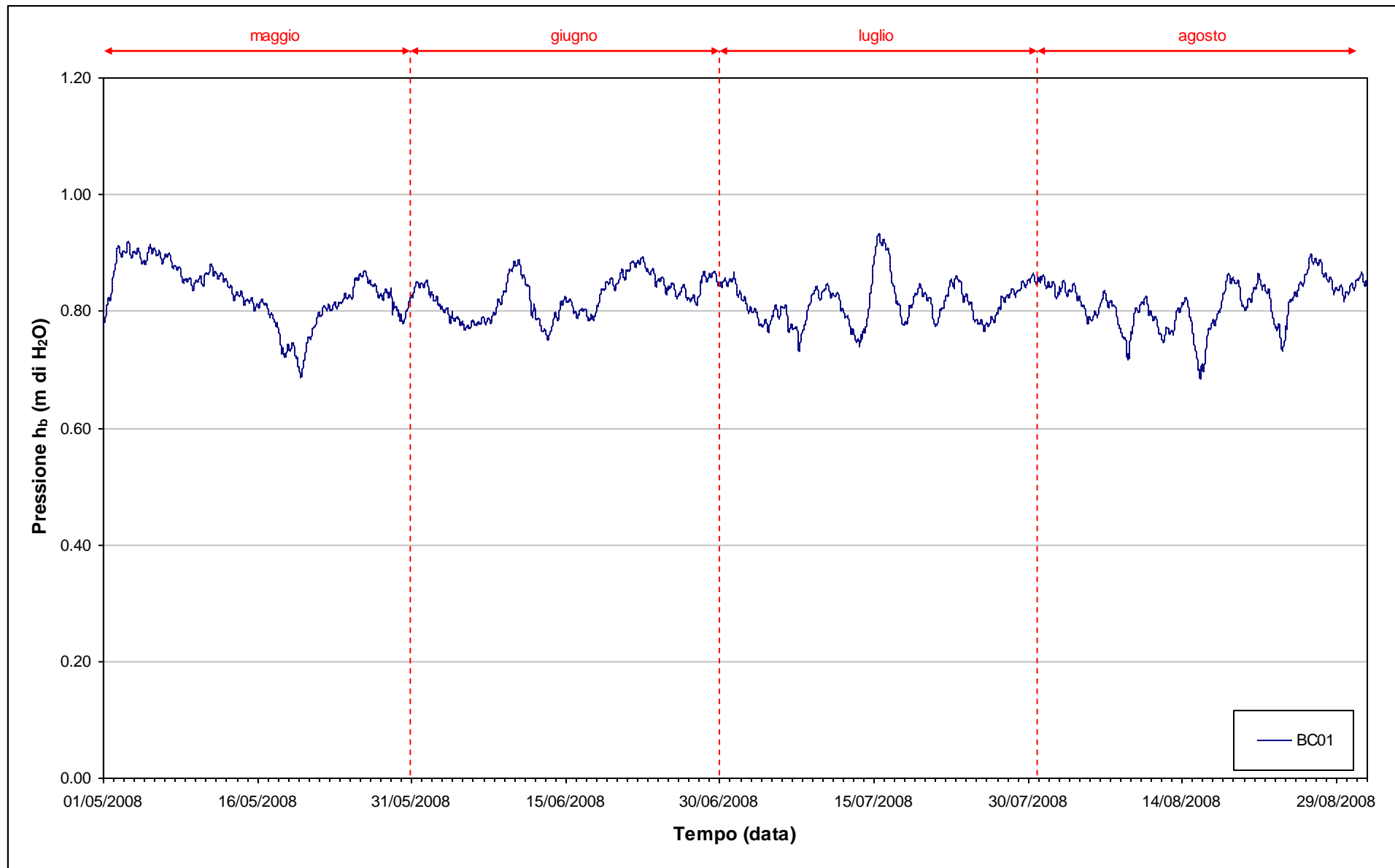


Fig. 9.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia. I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942"

9.2.3 *Pressione atmosferica - h_v*

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

In Fig. 9.4 è riportato l'andamento del tracciato di misura del Barologger nel periodo di osservazione. Tali dati sono stati usati per la compensazione dei valori di livello dei due Levelogger installati nei piezometri PSC01 e PPC01.

Fig. 9.4- Tracciato di misura del Barologger BC01 (h_b)

9.3 Piezometro superficiale - primo livello acquifero (Strato A)

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

9.3.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{H} (Fase A)

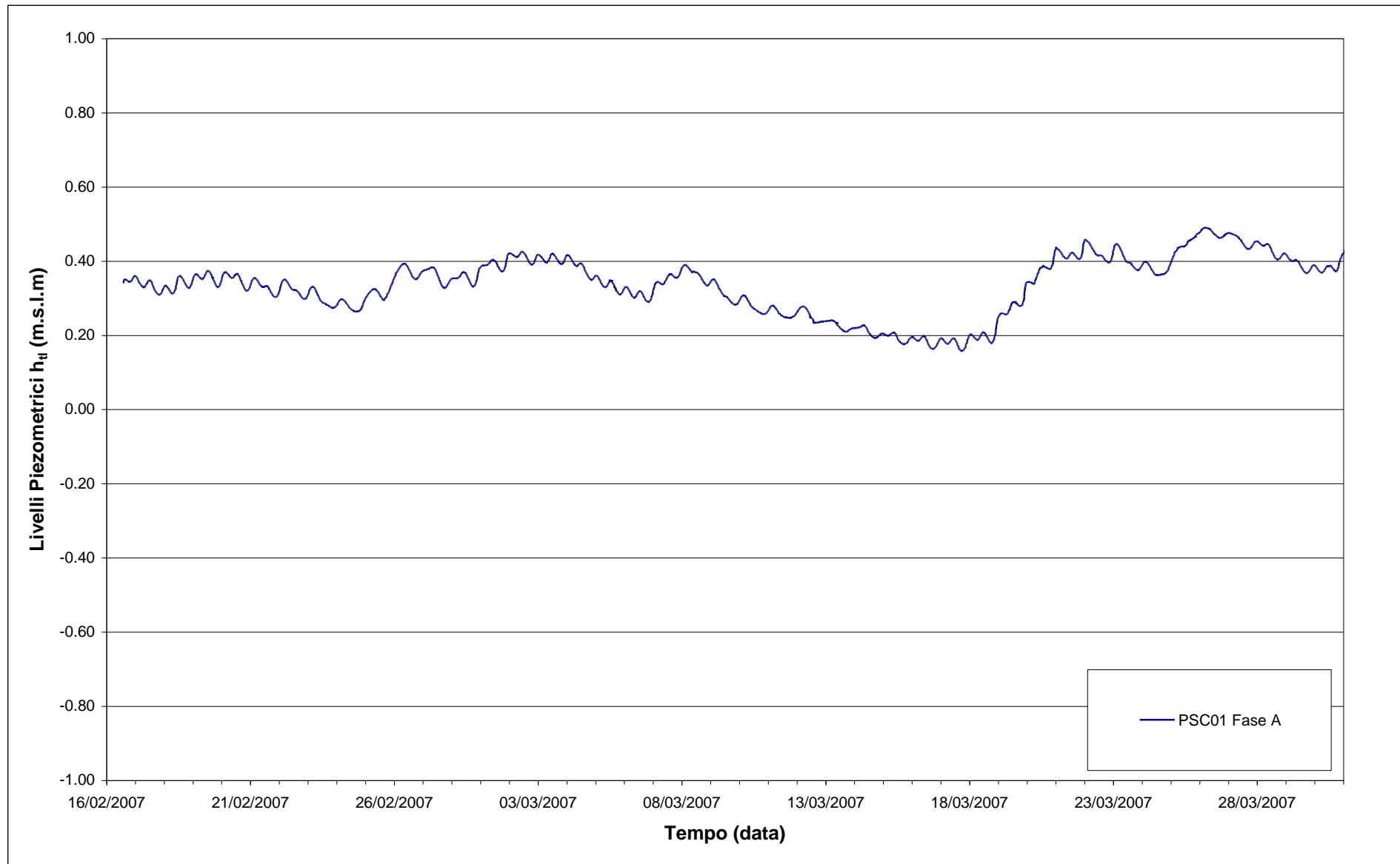
In Fig. 9.5 sono riportati i dati relativi ai livelli del piezometro PSC01 durante la Fase A (febbraio - marzo 2007).

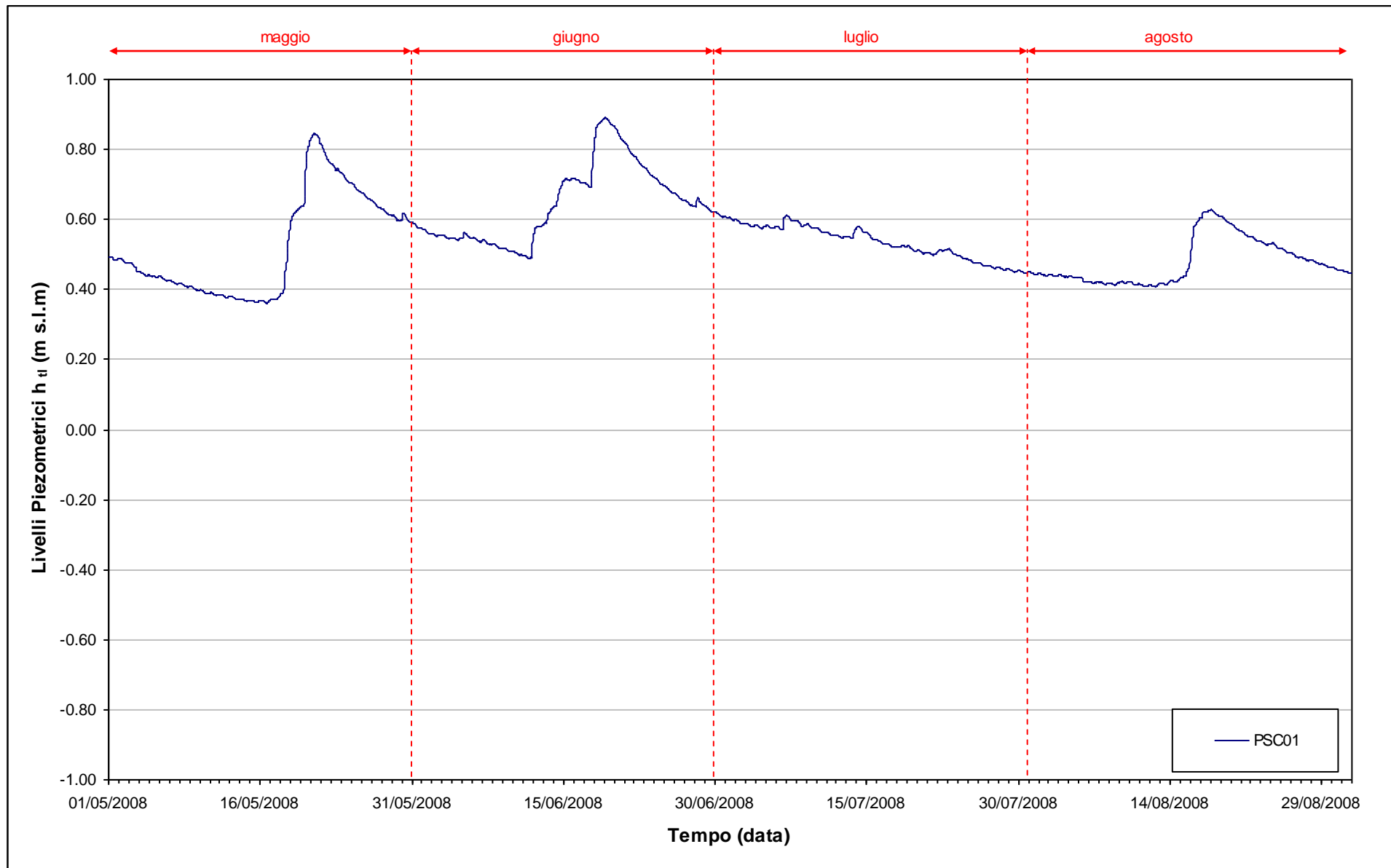
9.3.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}

I dati riportati in Fig. 9.6 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio 1 maggio 2008 - 31 agosto 2008.

Confrontando il tracciato del periodo maggio - agosto 2008 con quelli relativi alla situazione *ante operam* si evidenzia un netto cambiamento nella dinamica piezometrica: a seguito dell'infissione dei palancolati nella porzione perimetrale della tura (avvenuta nel mese di gennaio 2008), i livelli registrati nel piezometro superficiale non seguono più le oscillazioni mareali.

Durante il quadrimestre di monitoraggio (01/05/08 - 31/08/08) il tracciato del PSC01 risulta essere influenzato dagli eventi pluviometrici e dall'evapotraspirazione.

Fig. 9.5 - Livelli piezometrici (h_{pi}) 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 mareali, delle precipitazioni e antropici*

In Fig. 9.7 è possibile confrontare i tracciati di misura del trasduttore posizionato in corrispondenza del piezometro PSC01 con le escursioni mareali registrate del mareografo Diga Sud Lido e con le precipitazioni registrate dalla centralina “Ceppe”.

Il grafico evidenzia come il livello nell’acquifero superficiale, in corrispondenza del piezometro PSC01, non risenta delle oscillazioni mareali.

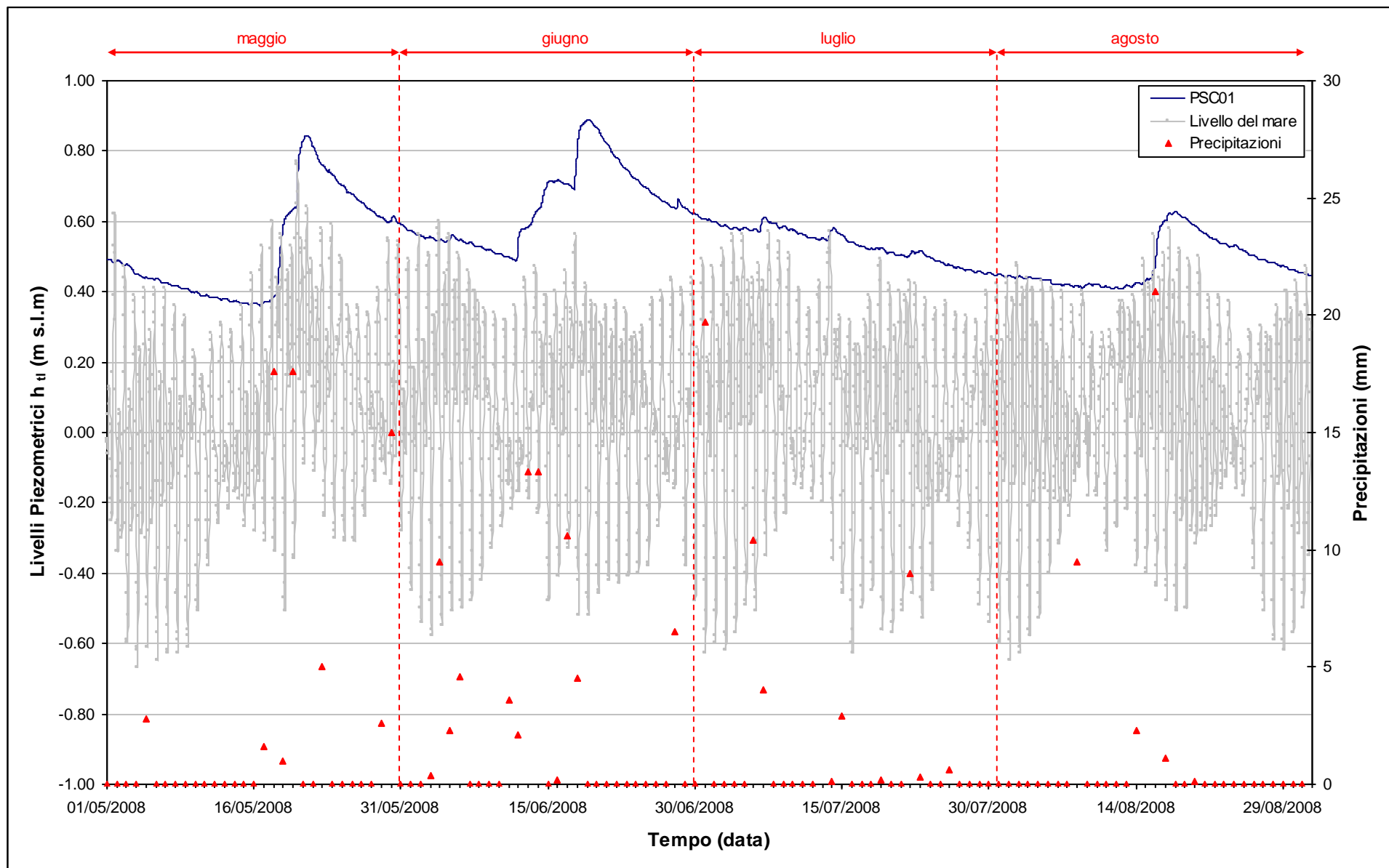


Fig. 9.7 - Livelli piezometrici del piezometro superficiale PSC01 e livelli del mare

9.4 Piezometro profondo - secondo livello acquifero (Strato C)

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

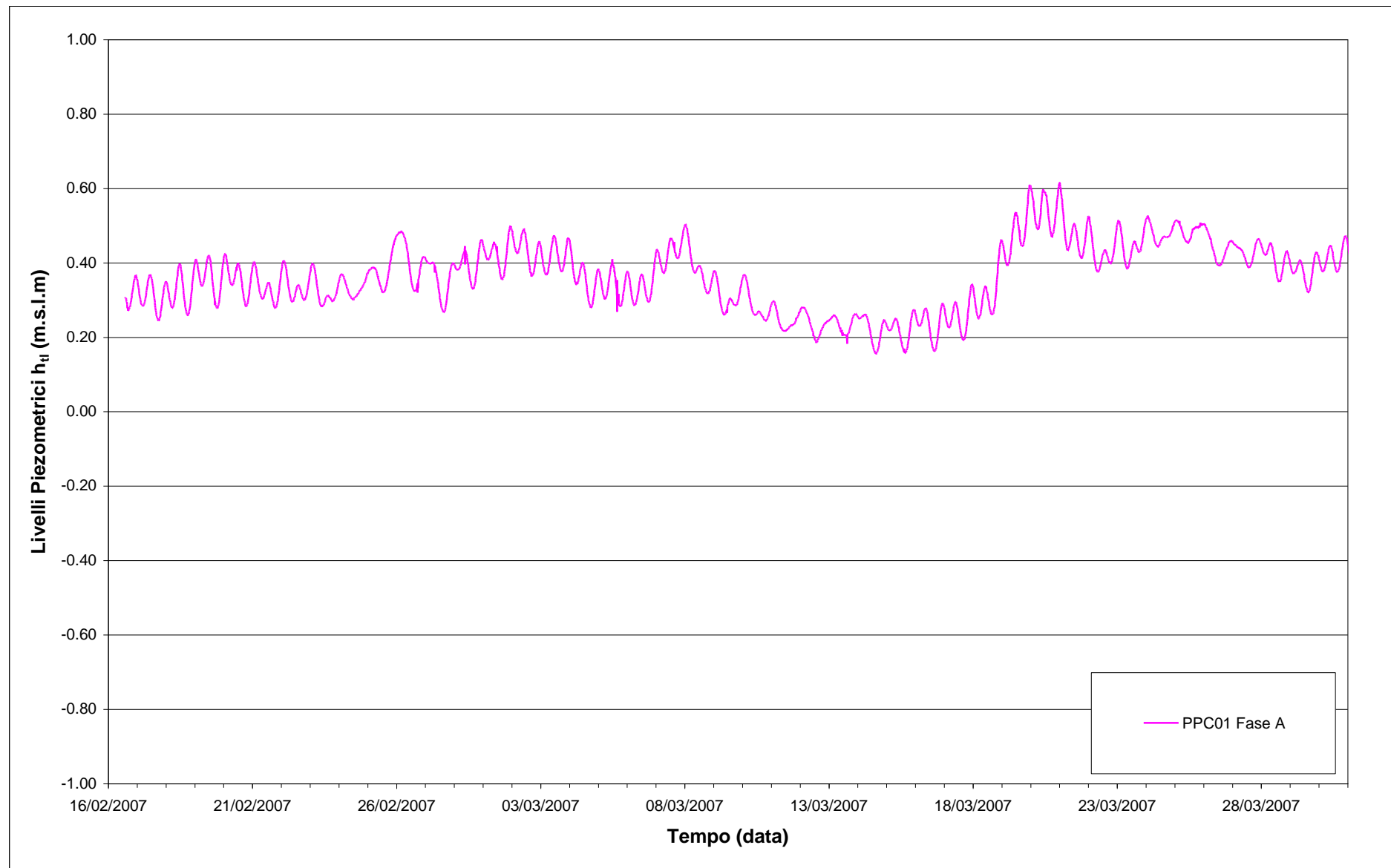
9.4.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_H (Fase A)

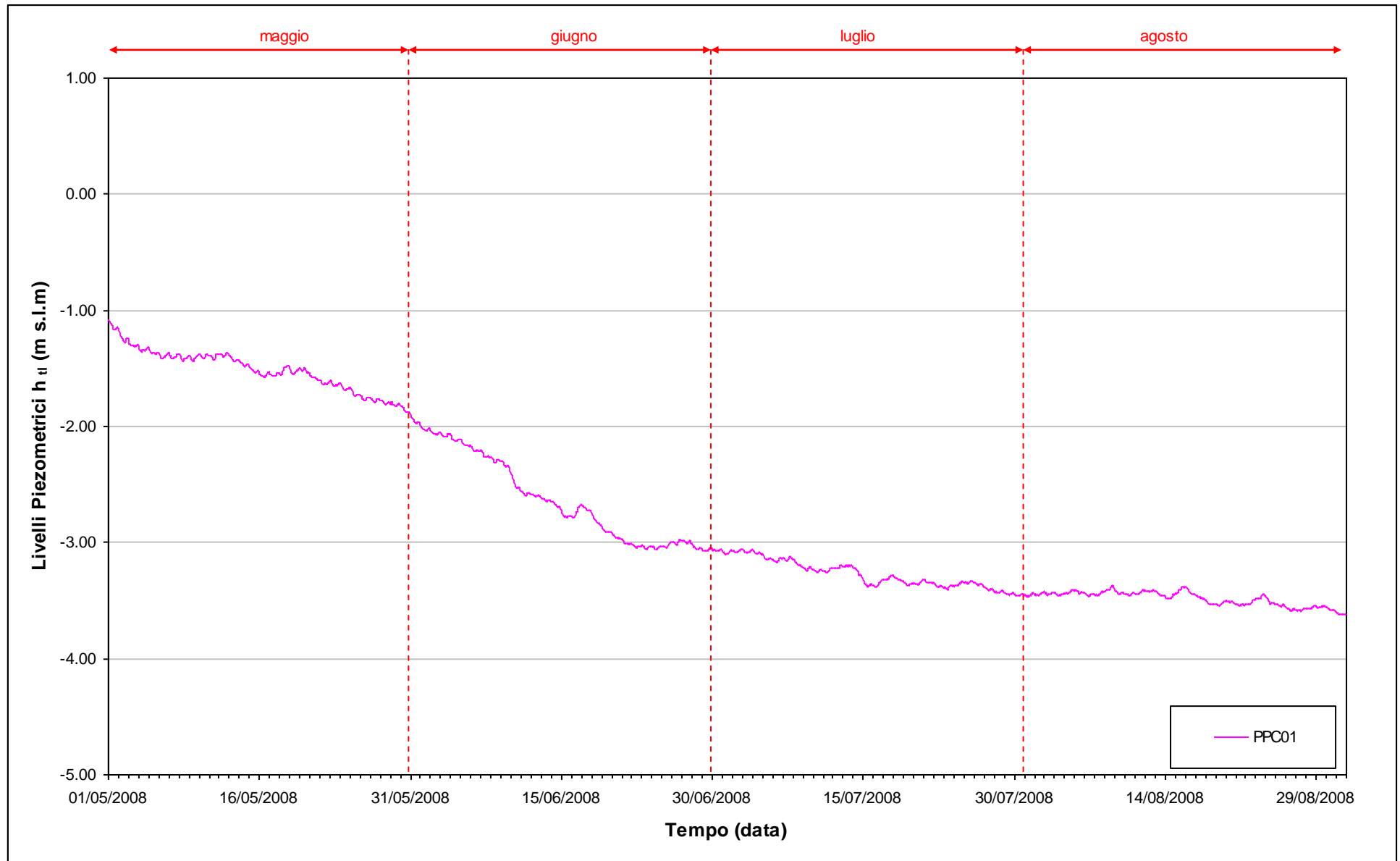
I dati riportati in Fig. 9.8 si riferiscono ai livelli piezometrici assoluti misurati in corrispondenza del piezometro profondo PPC01 nel periodo febbraio - marzo 2007 (Fase A).

9.4.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_H

I dati riportati in Fig. 9.9 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio maggio - agosto 2008.

Come risulta dal tracciato di Fig. 9.9, durante il periodo di monitoraggio si è verificato un netto declino del livello piezometrico del PPC01 (circa 2,5 m tra il 01/05/08 e il 31/08/08). Tale fenomeno è associato all'emungimento dei pozzi di dewatering della tura.

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

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

9.4.3 *Effetti mareali e antropici*

In Fig. 9.10 è possibile confrontare i tracciati di misura del trasduttore posizionato in corrispondenza del piezometro PPC01 con le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia.

Rispetto al quadrimestre precedente (gennaio - aprile 2008, III Rapporto di Valutazione), le oscillazioni di livello legate agli andamenti mareali hanno un'ampiezza minore. Tale fenomeno è attribuibile all'infissione dei palancoi perimetrali della tura.

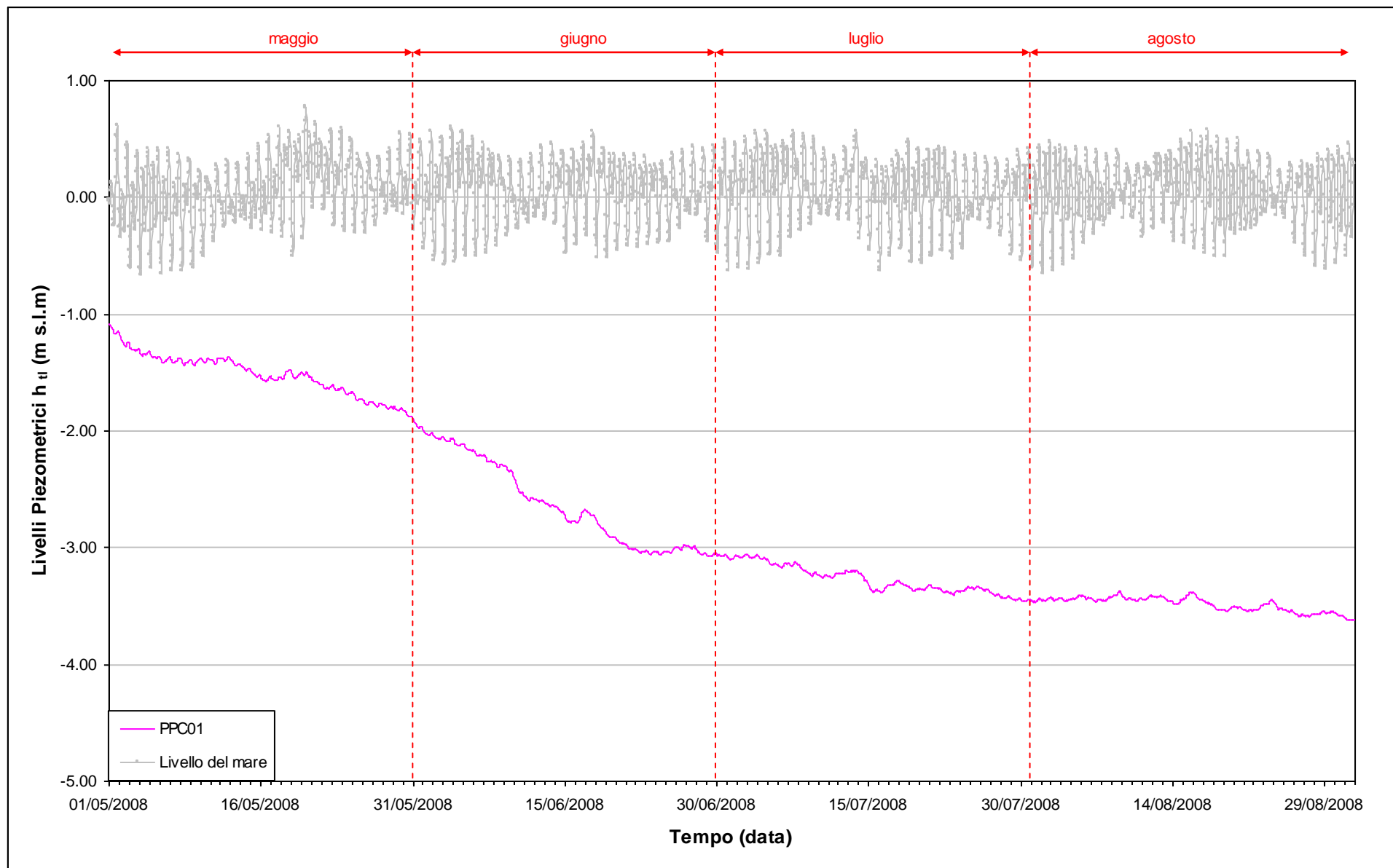


Fig. 9.10 - Livelli piezometrici del piezometro profondo PPC01 e livelli del mare

10. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE

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

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

11. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA

11.1 Il calcolo della densità dell'acqua

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

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

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

dove:

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

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

11.1.1 Profili verticali di densità

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

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

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

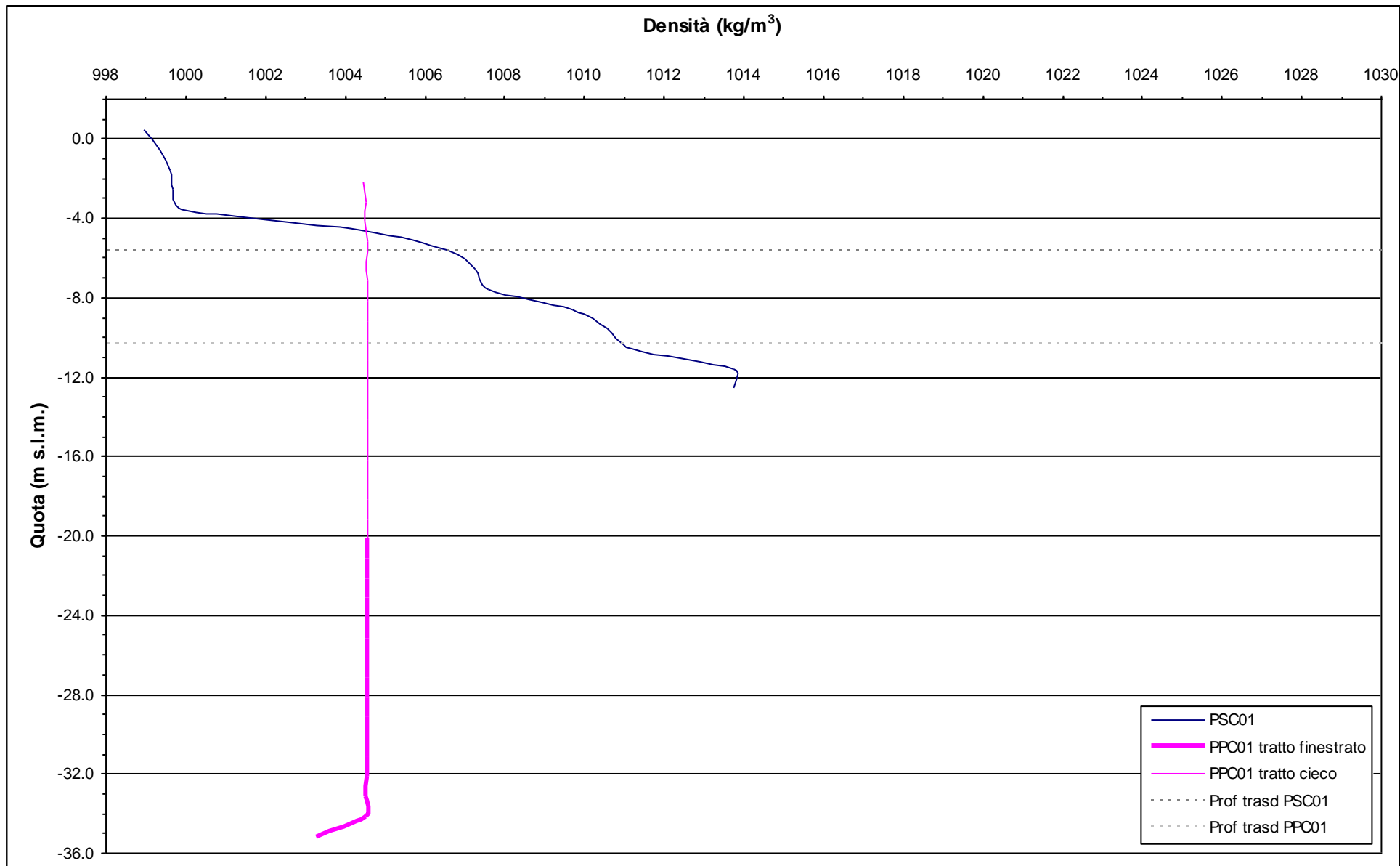


Fig. 11.1 Profili verticali di densità, 2 giugno 2008

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

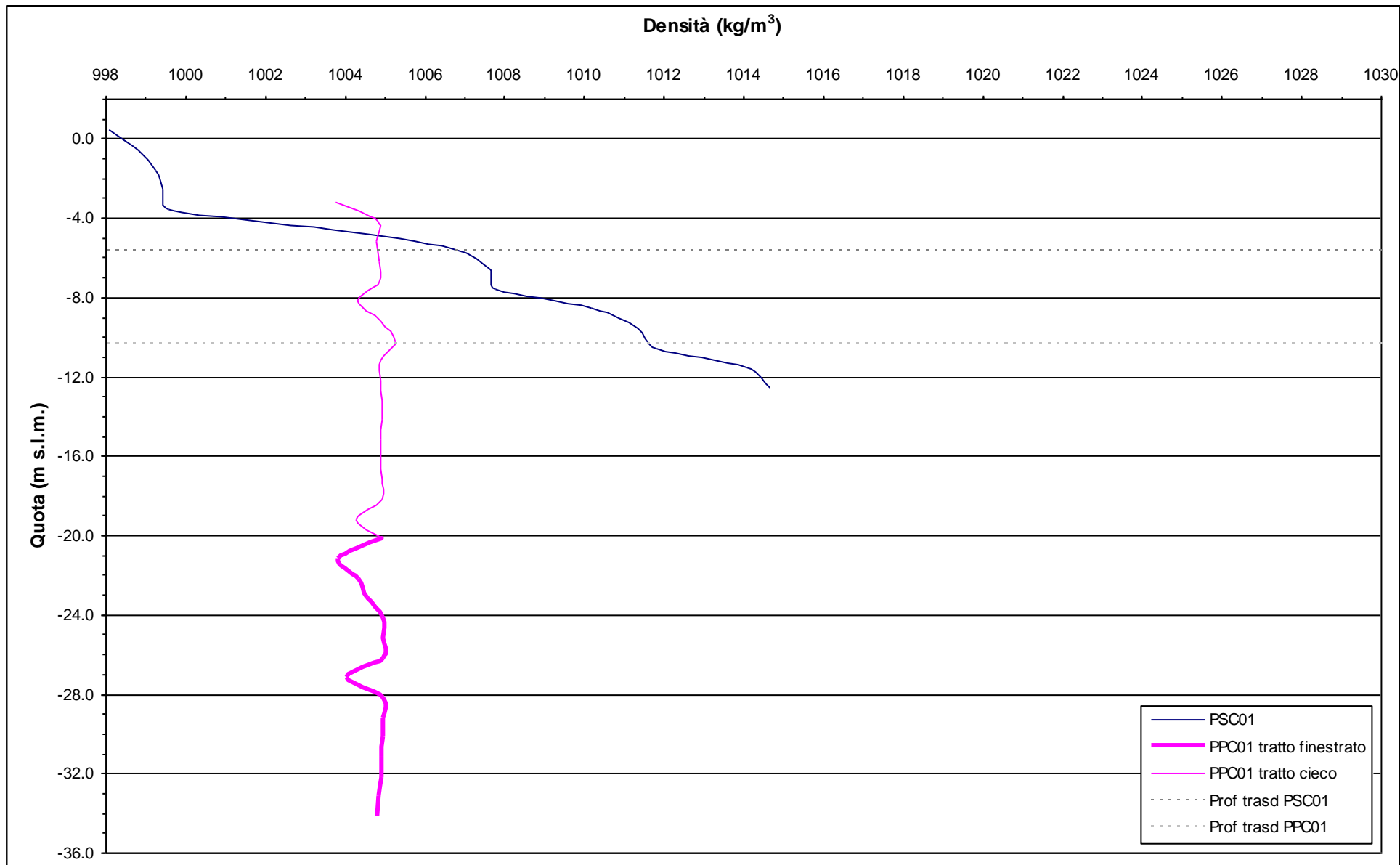


Fig. 11.2.- Profili verticali di densità, 4 luglio 2008

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

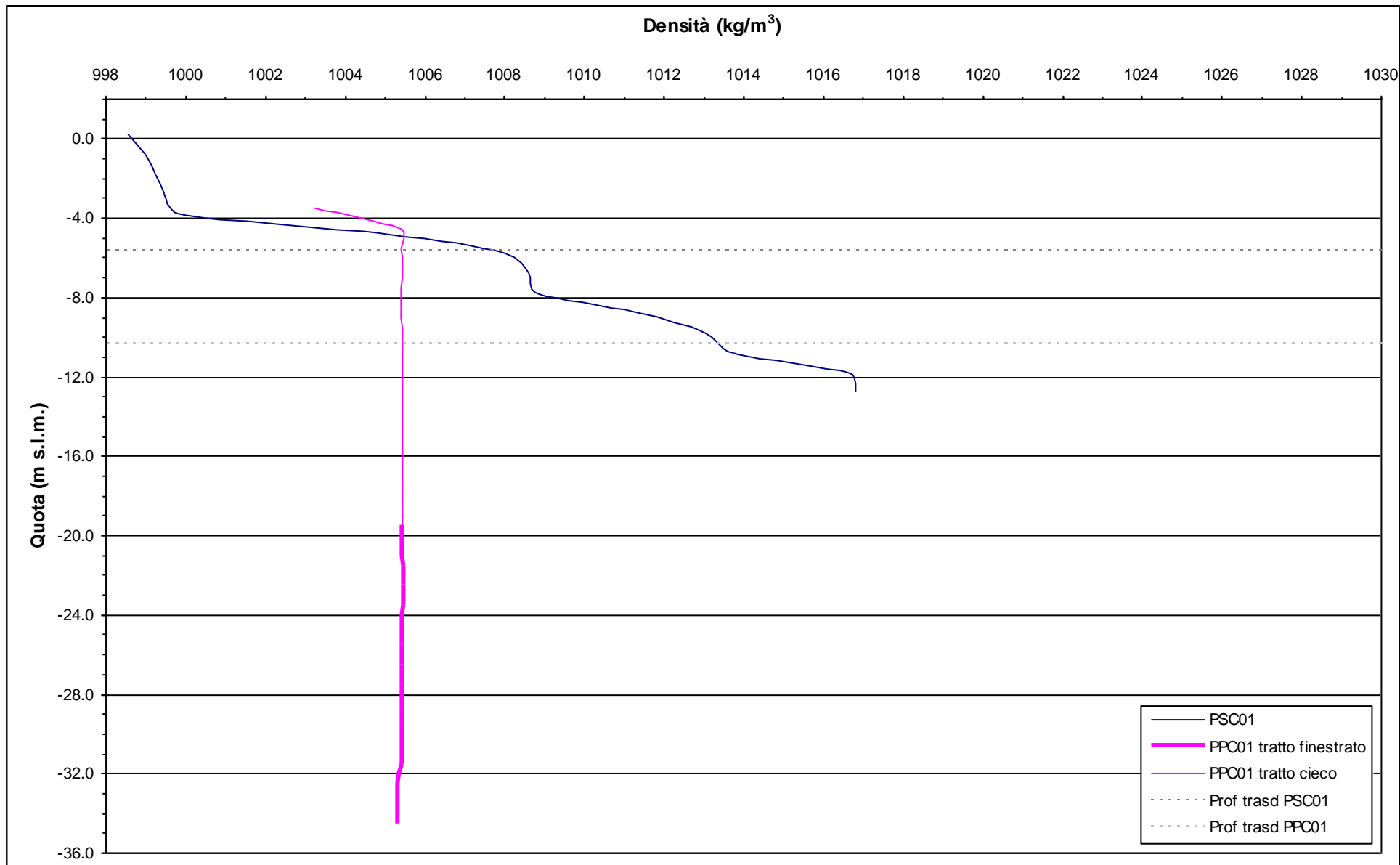


Fig. 11.3.- Profili verticali di densità, 5 agosto 2008

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

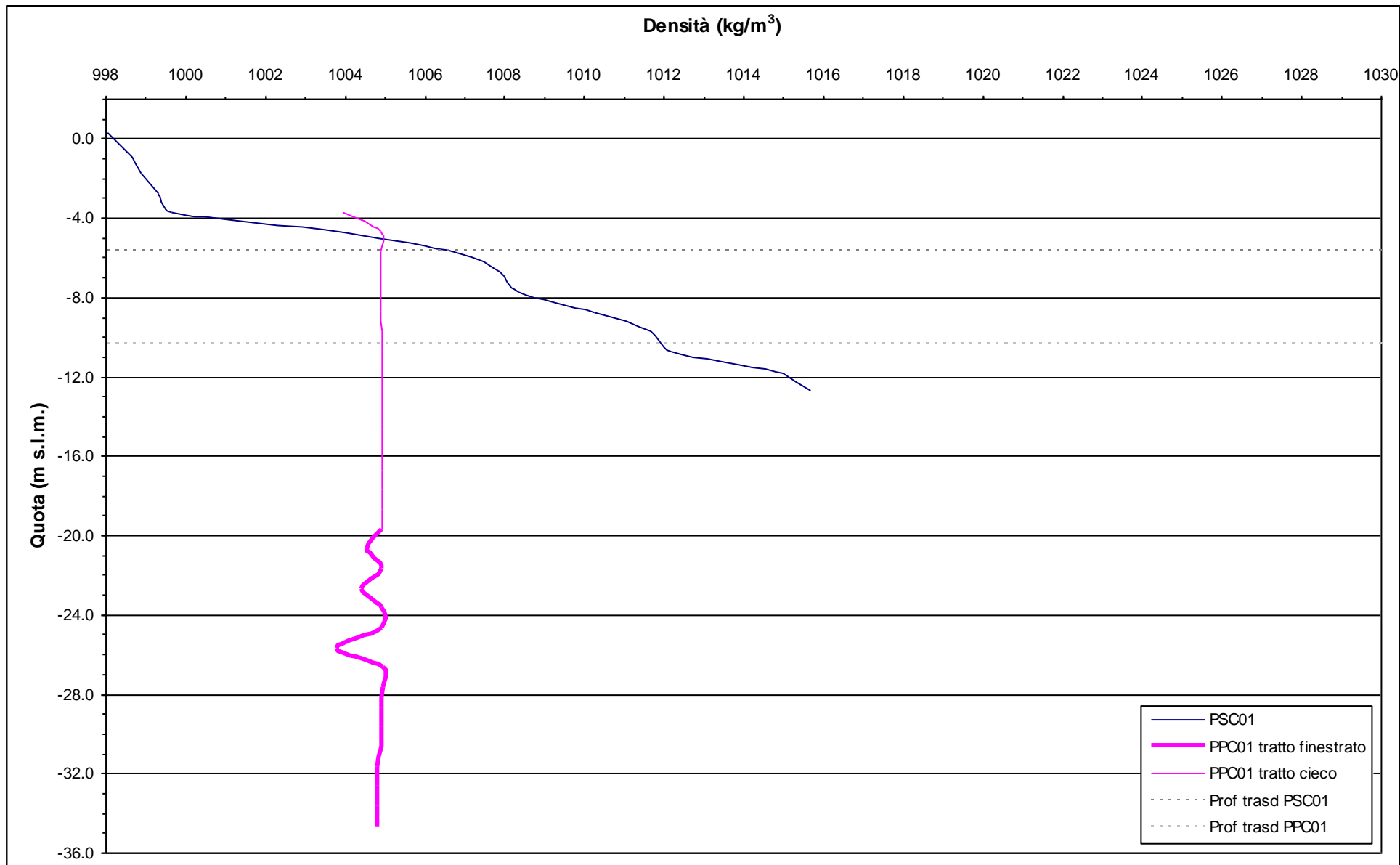


Fig. 11.4.- Profili verticali di densità, 4 settembre 2008

12. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE

Le soglie identificate nel “Rapporto di Variabilità Attesa” (Studio B.6.72 B/2, marzo 2007) prendono in considerazione eventi quali il basso o l’alto livello piezometrico, valutati sui valori istantanei dei carichi idraulici e sui valori mediati su 24 ore, come definito dalle seguenti relazioni (vedasi Tab. 12.1):

- BLI, soglia di basso livello istantaneo: è raggiunta quando il livello piezometrico in corrispondenza di un piezometro di monitoraggio si trova almeno un metro al di sotto del livello del mare, secondo la relazione: $h_{it} < h_M - 1$ (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

Durante il periodo di monitoraggio:

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

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

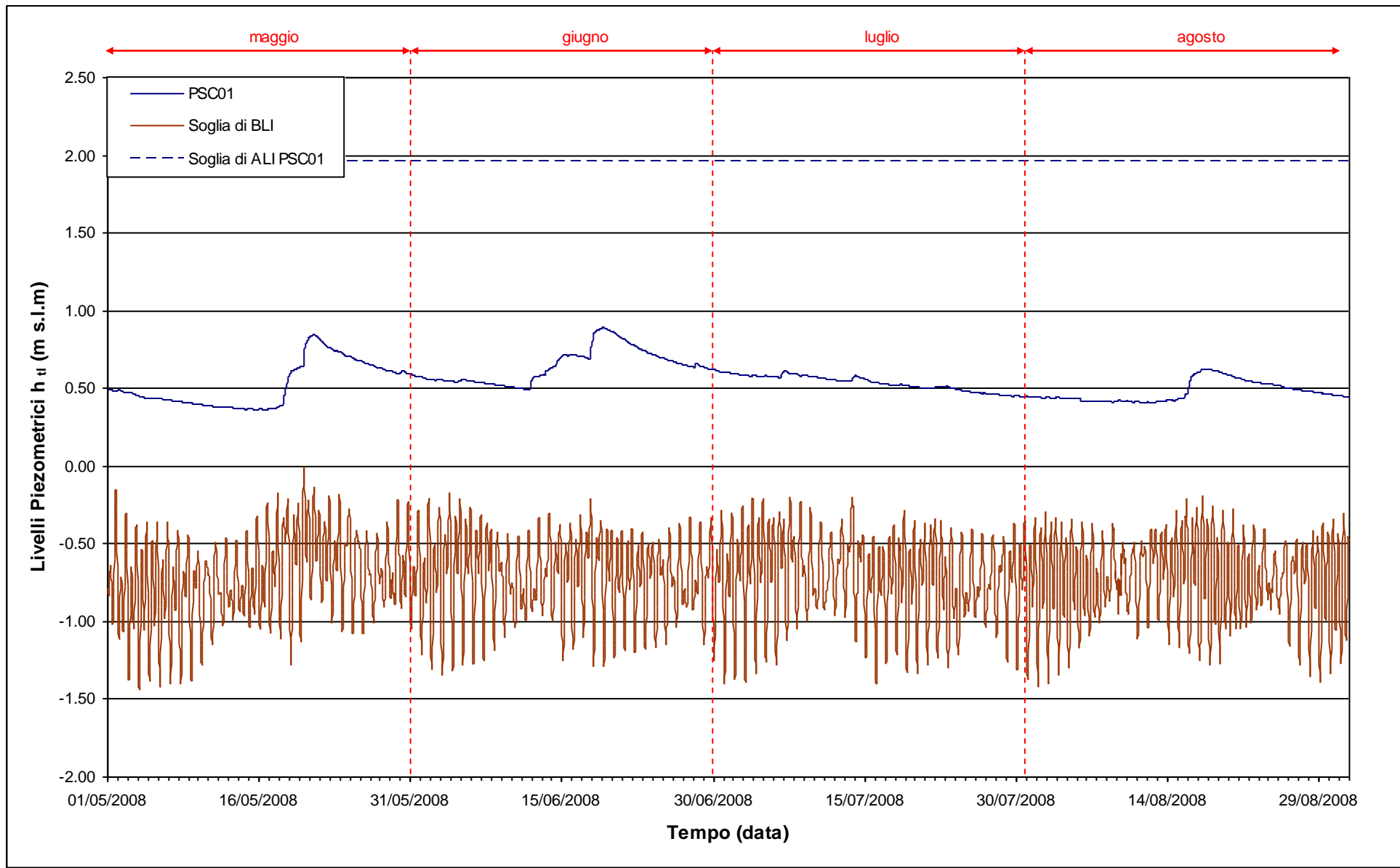


Fig. 12.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro superficiale PSC01

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

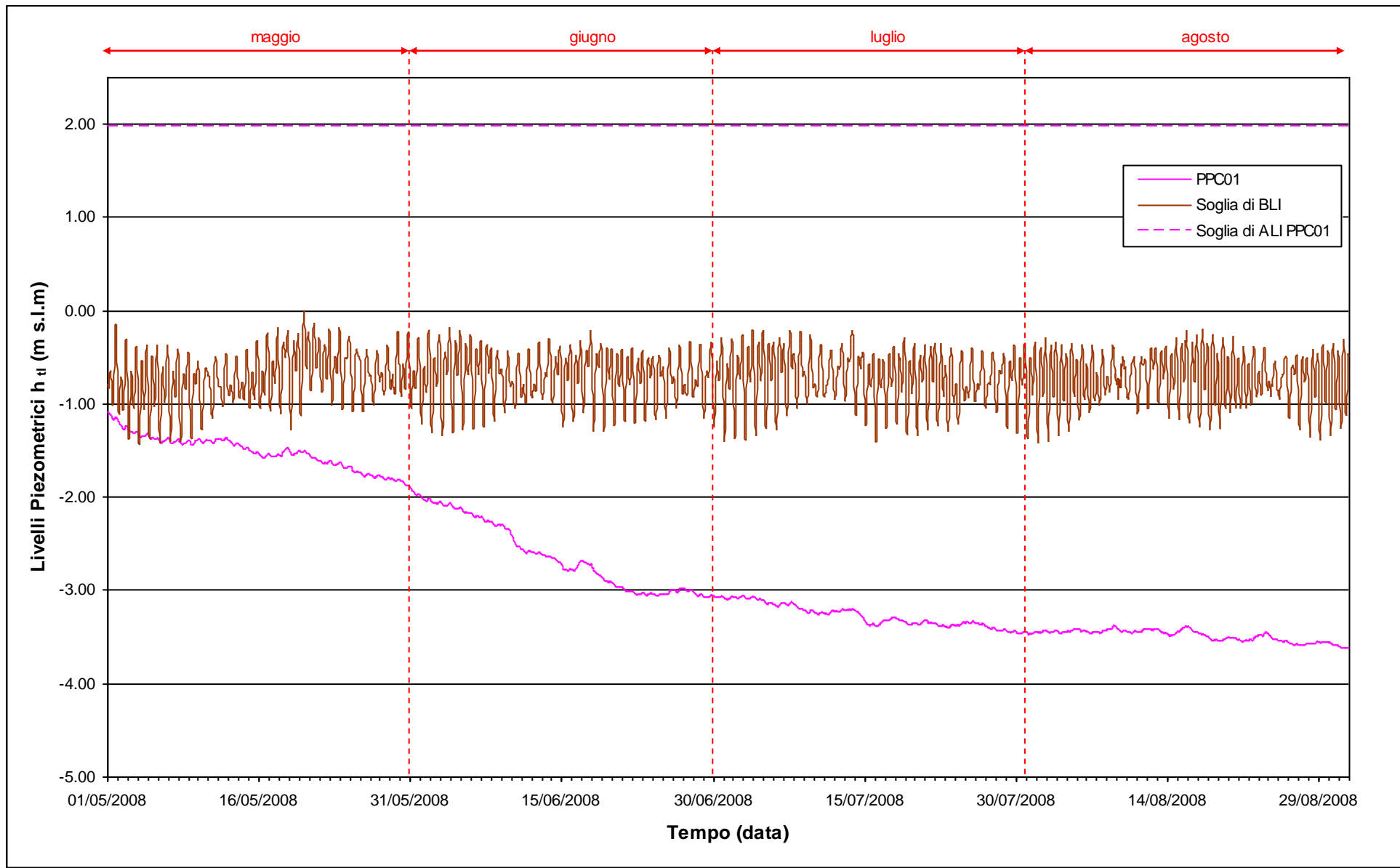


Fig. 12.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro profondo PPC01

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

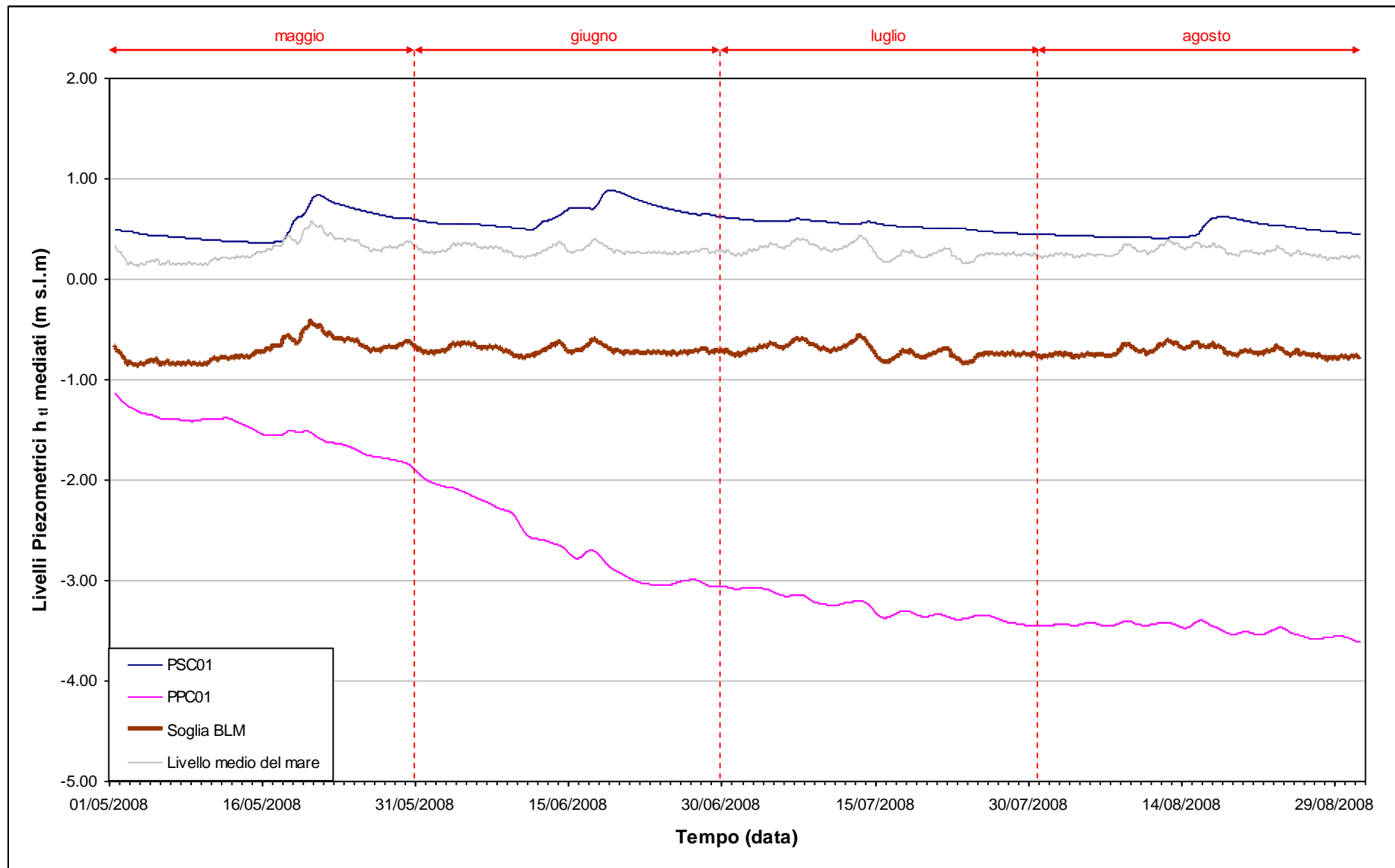


Fig. 12.3 - Soglia di Basso Livello Medio per i piezometri PSC01 e PPC01

13. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/05/2008 e il 31/08/2008, sono stati valutati gli andamenti dei livelli piezometrici all'interno del primo e secondo livello acquifero. Sono inoltre state analizzate le influenze delle forzanti naturali ed antropiche agenti sul sistema dinamico ed è stato effettuato uno studio sulla variazione spazio-temporale della densità dell'acqua di falda.

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

Nel piezometro profondo PPC01, rispetto al precedente quadrimestre di monitoraggio (gennaio - aprile 2008) le variazioni di livello legate alle oscillazioni mareali presentano un'ampiezza minore: tale fenomeno è attribuibile all'infissione dei palancolati della tura.

A seguito dell'inizio dell'emungimento da parte dei pozzi di dewatering, iniziato nel mese di aprile 2008, si è verificato un consistente abbassamento del livello nel piezometro PPC01 (circa 2,5 m nel periodo 01/05/08 - 31/08/08); tale abbassamento non ha per ora interessato il piezometro superficiale PSC01.

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.