



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/9**

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

Contratto Thetis-CORILA n. 132000442

Documento **MACROATTIVITÀ: LIVELLI DI FALDA
I RAPPORTO DI VALUTAZIONE
PERIODO DI RIFERIMENTO: DA MAGGIO AD
AGOSTO 2013**

Versione **1.0**

Emissione **15 Settembre 2013**

Redazione

Verifica

Verifica

Approvazione

Ing. Alessandro Casasso
(POLITECNICO TORINO)

Ing. Rajandrea Sethi
(POLITECNICO TORINO)

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta Ing. Pierpaolo Campostrini

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	3
1.1	Descrizione delle attività di cantiere aventi impatto sulla matrice falda	3
2.	ANALISI DEI DATI	6
2.1	Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello	6
2.2	Descrizione delle forzanti naturali.....	6
	2.2.1 Precipitazioni.....	7
	2.2.2 Livello del mare.....	9
	2.2.3 Pressione atmosferica - h_b	11
2.3	Piezometro superficiale - primo livello acquifero (Strato A).....	13
	2.3.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl} (Fase A)	13
	2.3.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}	13
	2.3.3 Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione	16
2.4	Piezometro profondo - secondo livello acquifero (Strato C)	19
	2.4.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl} (Fase A)	19
	2.4.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}	19
	2.4.3 Effetti mareali e antropici.....	22
3.	CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE.....	25
4.	ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA	26
4.1	Il calcolo della densità dell'acqua	26
	4.1.1 Profili verticali di densità.....	26
5.	VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE.....	31
5.1	Misure di mitigazione.....	32
6.	CONCLUSIONI.....	36

1. INTRODUZIONE

Questo documento descrive l'analisi dei dati derivanti dai rapporti mensili di monitoraggio nel periodo 1 maggio 2012 - 31 agosto 2013 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/9 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2013).

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.

1.1 Descrizione delle attività di cantiere aventi impatto sulla matrice falda

La realizzazione del porto rifugio di Ca' Roman ha richiesto la realizzazione di un bacino (tura) in un'area precedentemente occupata dal mare, al fine di rendere agibile ai lavori un'area di cantiere posta alla quota di -11 m s.l.m. e attualmente utilizzata per il getto dei cassoni di alloggiamento delle barriere mobili. La realizzazione della tura ha previsto l'esecuzione di reinterri, la realizzazione di una cinturazione (costituita da diaframmi plastici lato terra, completato nel mese di gennaio 2008, e da palancolati lato mare) e l'installazione di un sistema di pozzi e pompe per il *dewatering*.

Completata l'infissione del palancolato di conterminazione della tura, nel mese di aprile 2008 è iniziato lo svuotamento, accompagnato dall'effetto indotto dall'emungimento dei pozzi agenti sul primo acquifero confinato. L'aggottamento del bacino è terminato a fine luglio 2008 ed il sistema a regime si è attestato con portate giornaliere pari a 4000 mc/d (fonte: Consorzio Venezia Nuova, comunicazione avvenuta in data 28/06/2012).

Nel periodo agosto 2008 - gennaio 2009 la Direzione Lavori ha proceduto ad ottimizzare la portata di emungimento riducendola a 3500 mc/d. Per mitigare ulteriormente l'effetto indotto dall'emungimento, nel febbraio del 2010 è stato realizzato un diaframma jet grouting (Fig. 1.1) che ha consentito di ridurre la portata da 3000 a 2100 mc /d, salvo occasionali incrementi necessari a contrastare gli effetti indotti da forzanti naturali o da problemi tecnici di cantiere, quali le attività manutentive programmate o imprevisti mal funzionamenti.

In tali condizioni è stato possibile realizzare, alla quota -12 metri, i 6 cassoni di barriera.

Le successive lavorazioni dei cassoni di spalla hanno introdotto la necessità di impostare lo strato di ripartizione del complesso fondazionale alla quota di - 13 metri, rendendo pertanto necessario l'aumento delle quantità emunte da 2100 a 3600 mc/d, portate a regime nel mese di ottobre 2011 a 3000 mc/d.

Dal 1 novembre 2011 la portata è stata mantenuta costante con regolazioni tali da non creare ulteriori perturbazioni.

A fine dicembre 2011 la configurazione del sistema di emungimento vede funzionanti tutti i pozzi

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

inferiori ed i soli pozzi P2, P4, P5, P6, P10 e P11 posti al coronamento.

In Fig. 1.2 sono riportate le serie temporali dei carichi idraulici misurati nei piezometri interni alla tura e le portate di emungimento del sistema di dewatering della tura di Ca' Roman.

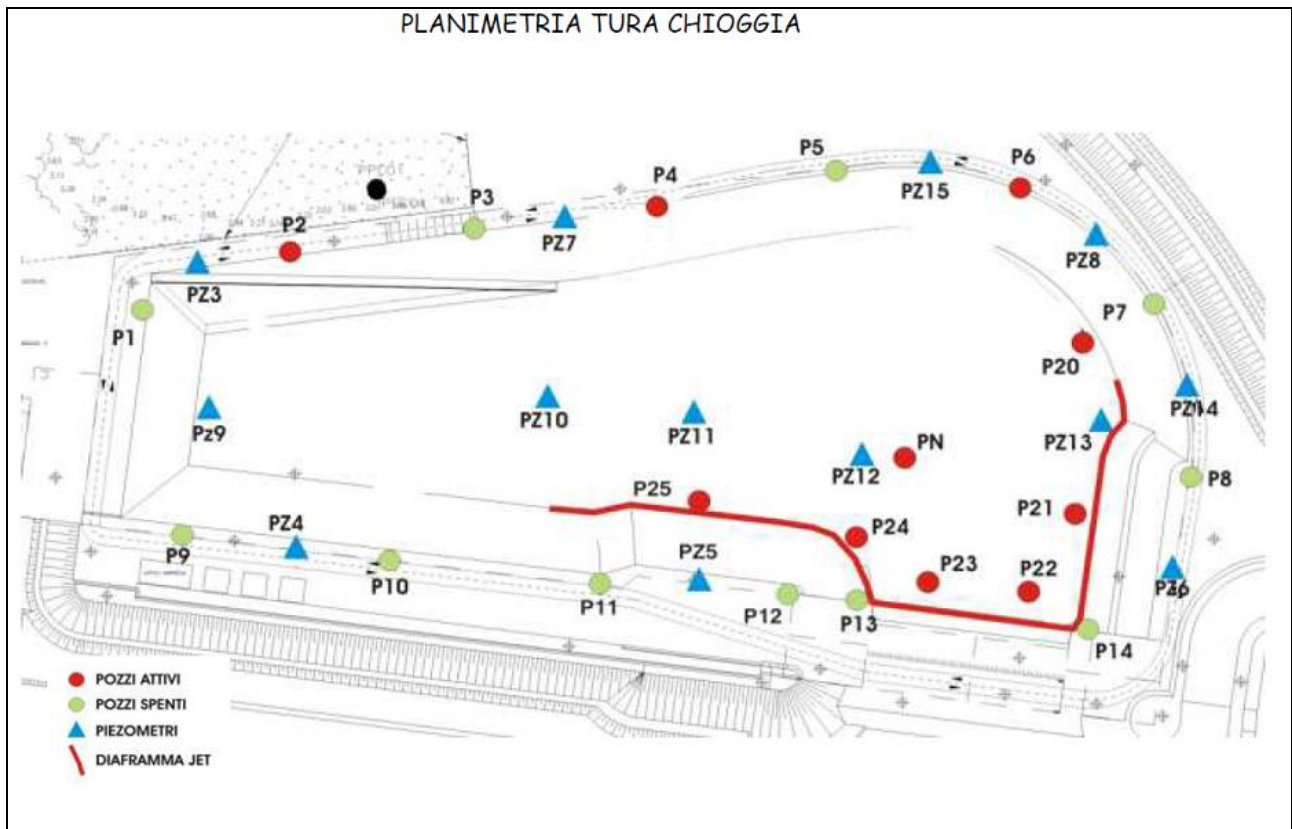


Fig. 1.1 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

Chioggia - Livelli piezometrici e valori portata emunta

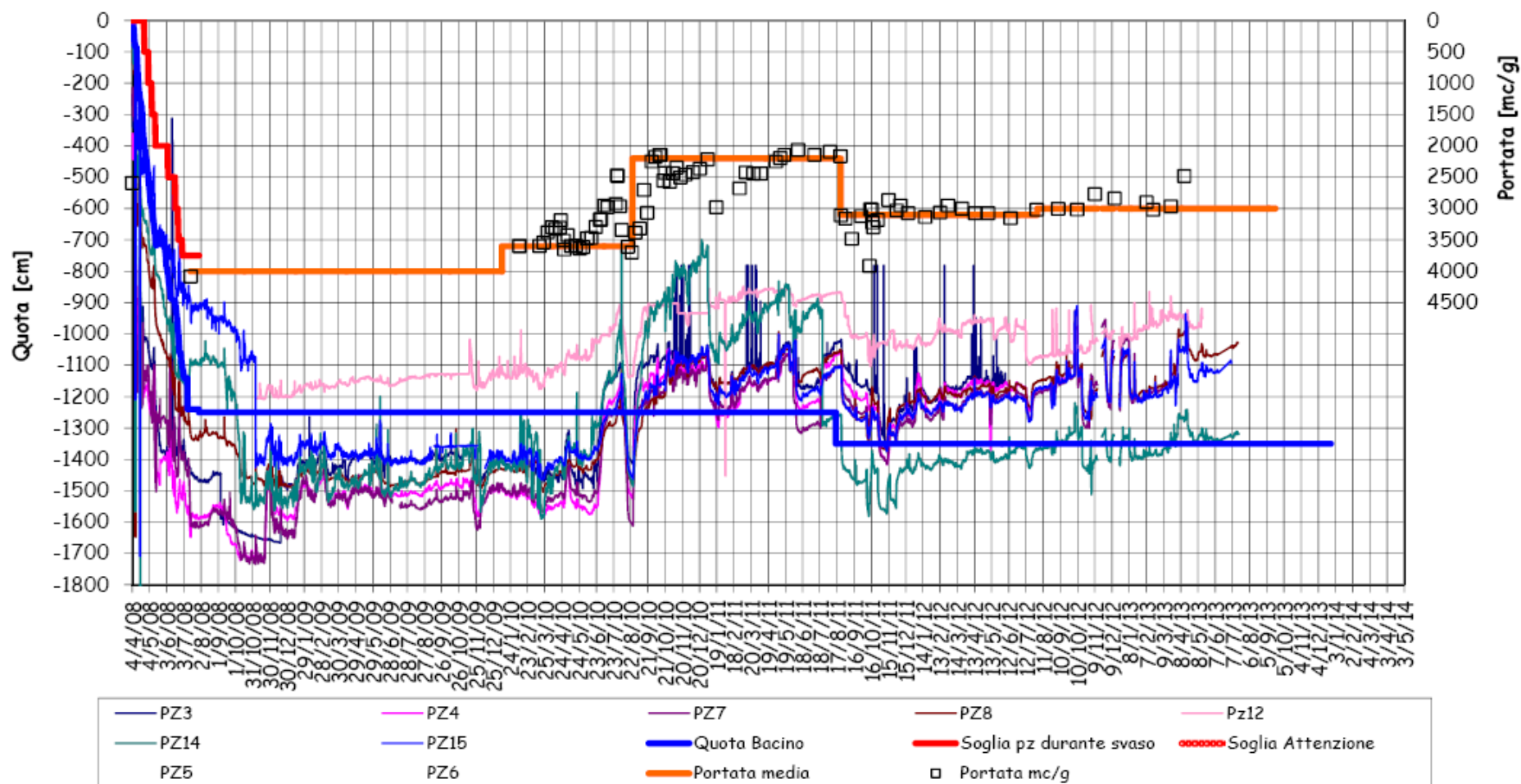


Fig. 1.2 - Portate di emungimento e carichi idraulici misurati all'interno della tura di Ca' Roman (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

2. 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. 2.1), nel periodo compreso tra il 01/05/2013 e il 31/08/2013.

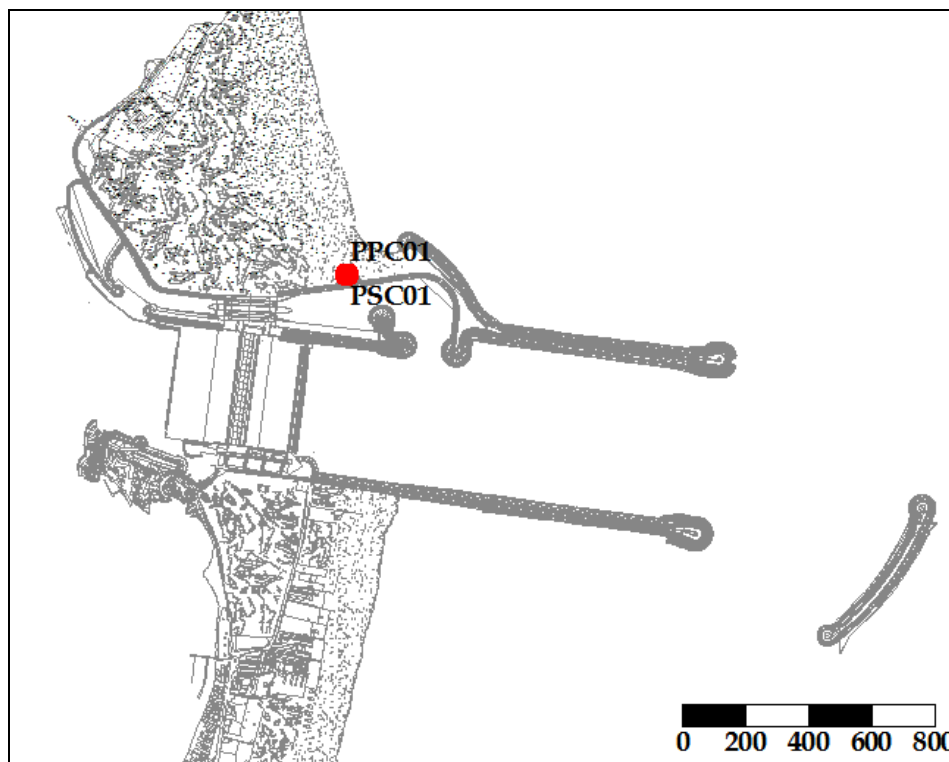


Fig. 2.1 - Ubicazione dei piezometri.

Tab. 2.1- Coordinate plano-altimetriche dei piezometri di monitoraggio.

NOME	H geoid	N GB Fuso Est	E GB Fuso Est
PSC01	2.065	5012706.063	2308002.906
PPC01	2.072	5012707.515	2308002.753

2.1 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).

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 meteo "Chioggia loc. Sant'Anna" gestita da ARPA Veneto, posta a circa 12 km a sud rispetto al cantiere di Ca' Roman;

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

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

2.2.1 *Precipitazioni*

I dati delle precipitazioni sono registrati dalla stazione meteorologica “Chioggia loc. Sant’Anna” (Fig. 2.2), gestita da ARPA Veneto e posta a circa 10 km a sud-ovest rispetto all’area di cantiere, e hanno cadenza giornaliera. In Fig. 2.3 è riportato il grafico dell’andamento temporale delle precipitazioni, mentre in Tab. 2.2 riporta gli eventi piovosi più significativi, caratterizzati da un’altezza di pioggia superiore a 5 mm.



Fig. 2.2- Posizione della centralina meteo “ARPAV – Chioggia loc. Sant’Anna” rispetto all’area monitorata.

Tab. 2.2- Eventi piovosi significativi verificatisi nel periodo di monitoraggio.

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
05-06/05/13	48	18.8
10/05/13	24	12.0
16/05/13	24	12.0
24-26/05/13	72	38.4
09/06/13	24	5.2
26/06/13	24	6.8
28/06/13	24	17.4
11/07/13	24	16.8
29/07/13	24	6.0
14/08/13	24	10.6
19-20/08/13	48	18.2
25/08/13	24	22.0
27/08/13	24	26.0

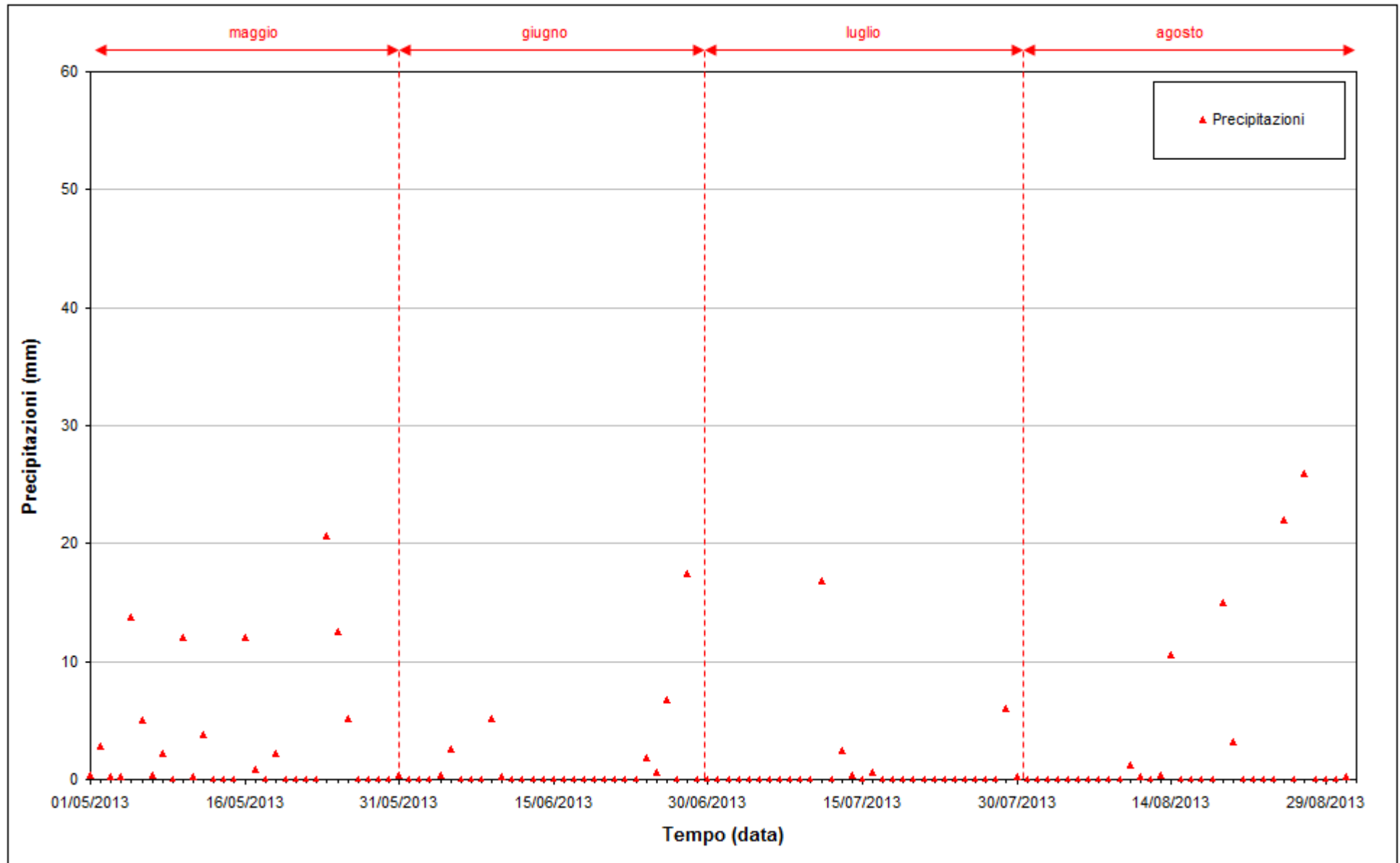


Fig. 2.3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/05/2013 - 31/08/2013.

2.2.2 Livello del mare

In Fig. 2.4 è tracciato l'andamento del livello del mare registrato dal mareografo "Diga Sud Chioggia". 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.

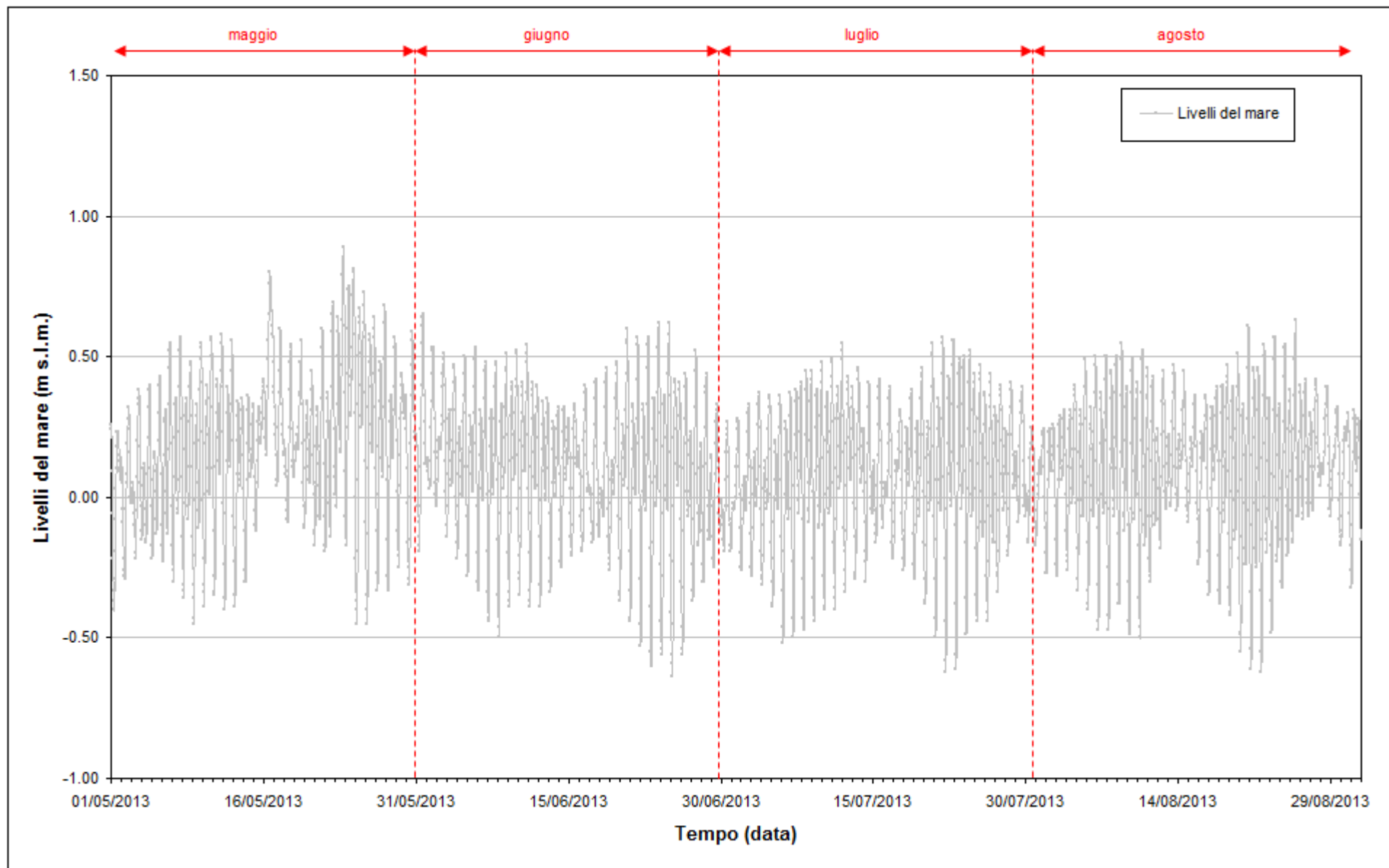
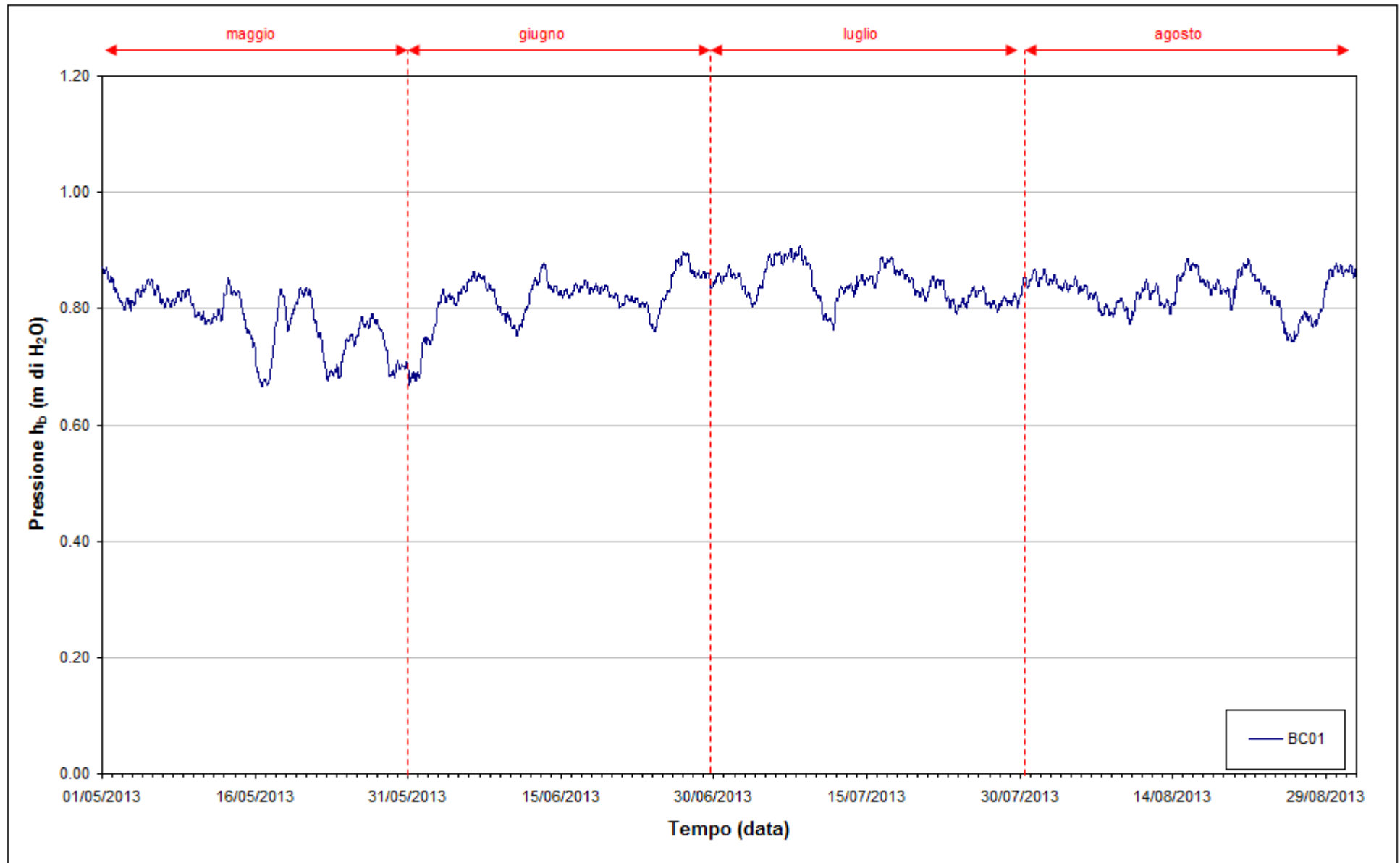


Fig. 2.4 - Livello del mare misurato dal mareografo "Diga Sud Chioggia". I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

2.2.3 *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. 2.5 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. 2.5- Tracciato di misura del Barologger BC01 (h_b).

2.3 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.

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

In Fig. 2.6 sono riportati i dati relativi ai livelli del piezometro PSC01 durante la Fase A (febbraio - marzo 2007).

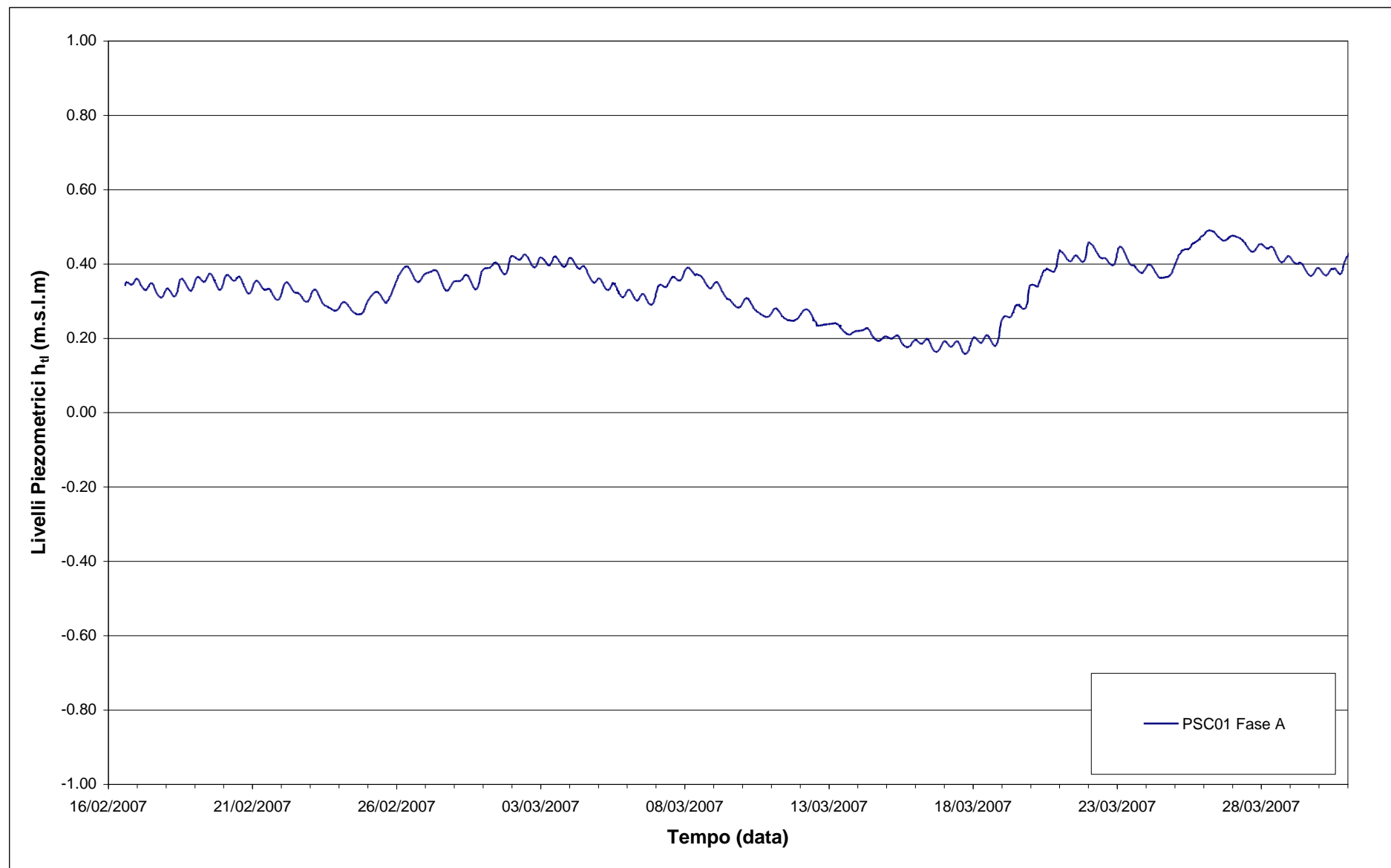
2.3.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}

I dati riportati in Fig. 2.7 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio 01/05/13 - 31/08/13.

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

Tra l'inizio e la fine del periodo di monitoraggio (01/05/13 - 31/08/13) si osserva una diminuzione del livello di falda superficiale nel piezometro PSC01, pari a circa 15 cm e dovuta alla forte evapotraspirazione nella stagione estiva.

Le precipitazioni piovose misurate nel periodo sono in linea con le medie stagionali (totale: 235 mm, a fronte di una media di 252.1 mm nel periodo maggio - agosto negli anni 1992÷2012. Fonte: stazione meteorologica "Chioggia - loc. S. Anna" di ARPA Veneto).

Fig. 2.6 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale durante la Fase A.

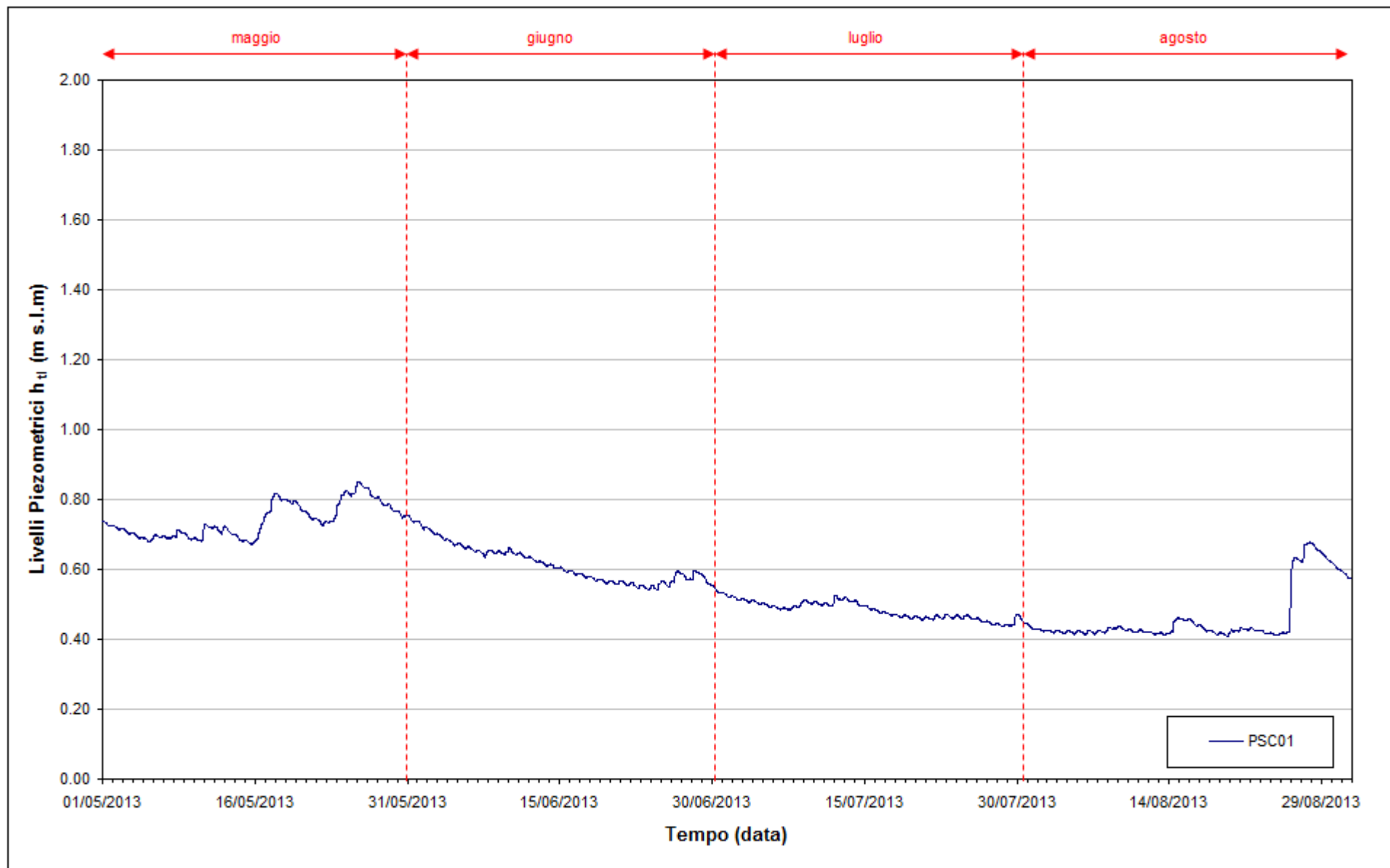


Fig. 2.7- Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PSC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2013 - 31/08/2013.

2.3.3 Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione

In Fig. 2.8 è possibile confrontare i tracciati di misura del trasduttore posizionato in corrispondenza del piezometro PSC01 con le escursioni mareali registrate del mareografo "Diga Sud Chioggia", con le precipitazioni piovose, rilevate dalla stazione meteorologica "ARPAV - Chioggia loc. S. Anna" e con l'evapotraspirazione, stimata con la formula di Blaney-Criddle:

$$ETP = c \cdot p \cdot (0.46 \cdot T + 8)$$

dove:

- ETP è l'evapotraspirazione media mensile [mm/mese]
- T è la temperatura media mensile [°C];
- p è il numero medio mensile di ore di sole al giorno (vedi Tab. 2.3);
- c è un coefficiente (posto pari a 0.45) che tiene conto della vegetazione, dell'umidità, della velocità del vento, ecc.

Tab. 2.3 - Valori di evapotraspirazione media mensile stimati con la formula di Blaney - Criddle.

Mese	T media [°C]	gg	c	ETP [mm/d]	Precipitazioni [mm]
Maggio	20.0	31	0.45	3.7	94.8
Giugno	26.6	30	0.45	5.0	35.0
Luglio	30.6	31	0.45	4.9	26.4
Agosto	28.1	31	0.45	4.4	78.8
TOTALE	26.3	123	-	557.0	235.0

Il grafico in Fig. 2.7 evidenzia come il livello nell'acquifero superficiale, in corrispondenza del piezometro PSC01, non risenta più delle oscillazioni mareali, in seguito all'infissione dei palancolati della tura avvenuta nel gennaio 2008.

Tra l'inizio e la fine del periodo monitorato (01/05/13 - 31/08/13) si osserva una diminuzione del livello di falda superficiale nel piezometro PSC01 pari a circa 15 cm e attribuibile all'evapotraspirazione. Dalla Tab. 2.3 si osserva che l'altezza totale di pioggia è stata molto inferiore all'evapotraspirazione potenziale stimata; tuttavia è necessario tener conto della soggiacenza della falda, compresa tra circa 110 cm e 160 cm, che contribuisce a ridurre il valore dell'evapotraspirazione reale.

In Fig. 2.9 è riportato il confronto dei livelli nel piezometro PSC01 nel periodo maggio - agosto per gli anni dal 2007 al 2013. Il livello medio nel quadrimestre maggio - agosto 2013 è superiore di circa 10 cm rispetto a quello misurato nello stesso periodo del 2012, in linea con quello del 2008, 2009 e 2011, e inferiore di circa 15 cm rispetto ai livelli del periodo maggio - agosto 2010. Rispetto alla situazione ante *ante operam* (maggio - agosto 2007), il livello medio è superiore di circa 25 cm. Tale variazione è attribuibile all'effetto isolante del diaframma impermeabile della tura, che rallenta il deflusso delle precipitazioni verso il mare.

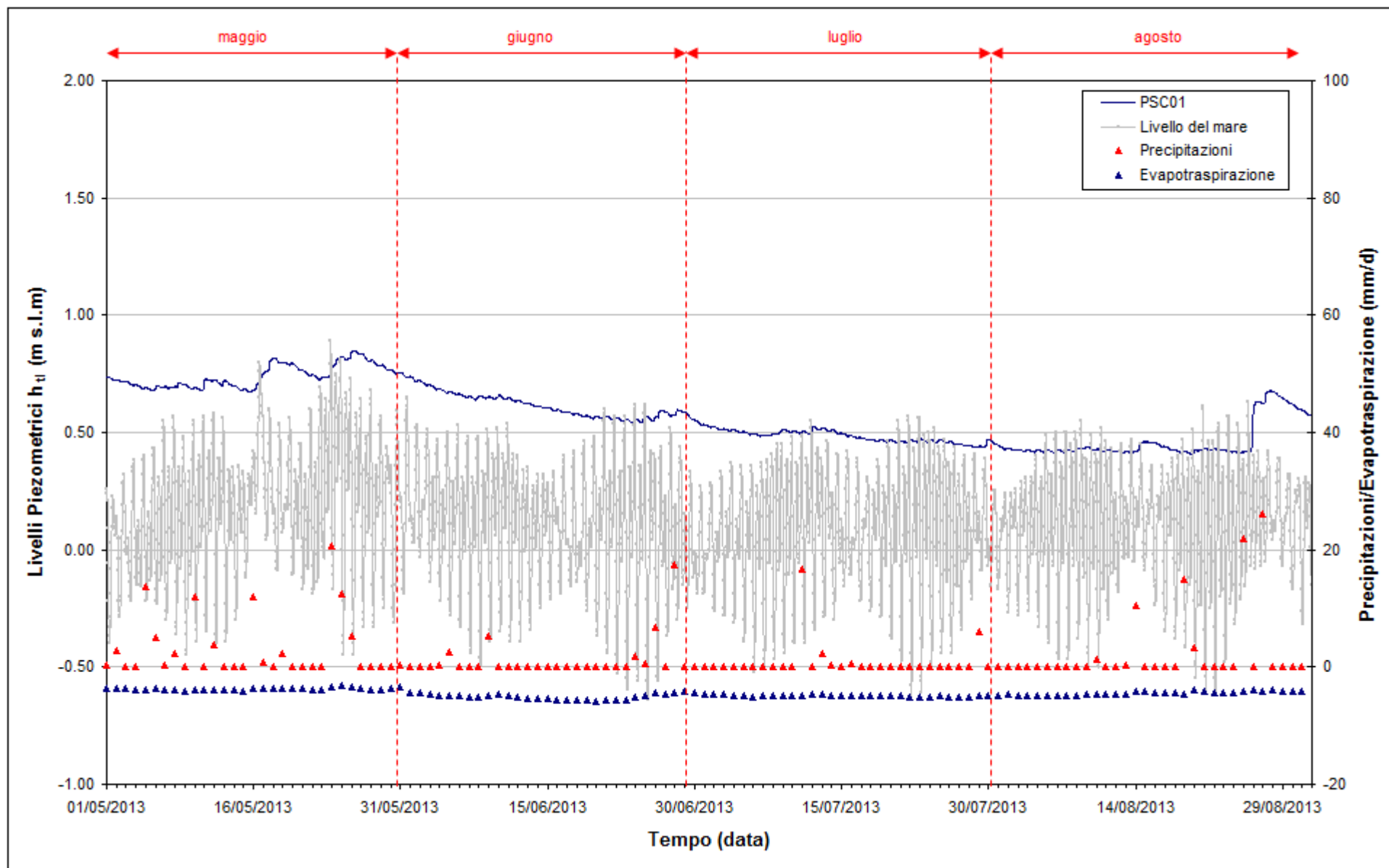
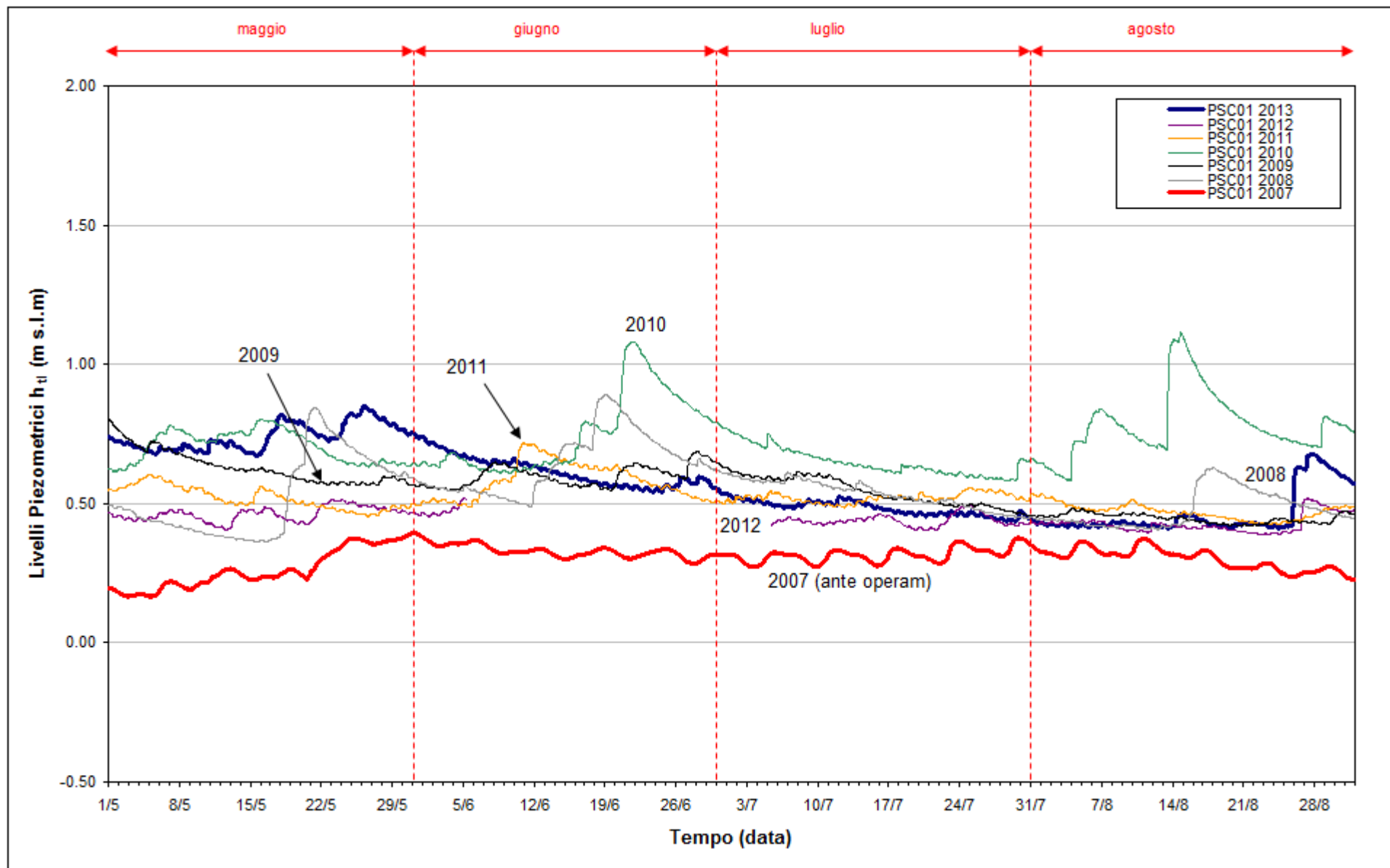


Fig. 2.8 - Livelli piezometrici del piezometro superficiale PSC01 e livelli del mare.

Fig. 2.9 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_u) nel piezometro PSC01 nel periodo maggio - agosto degli anni 2007÷2013.

2.4 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.

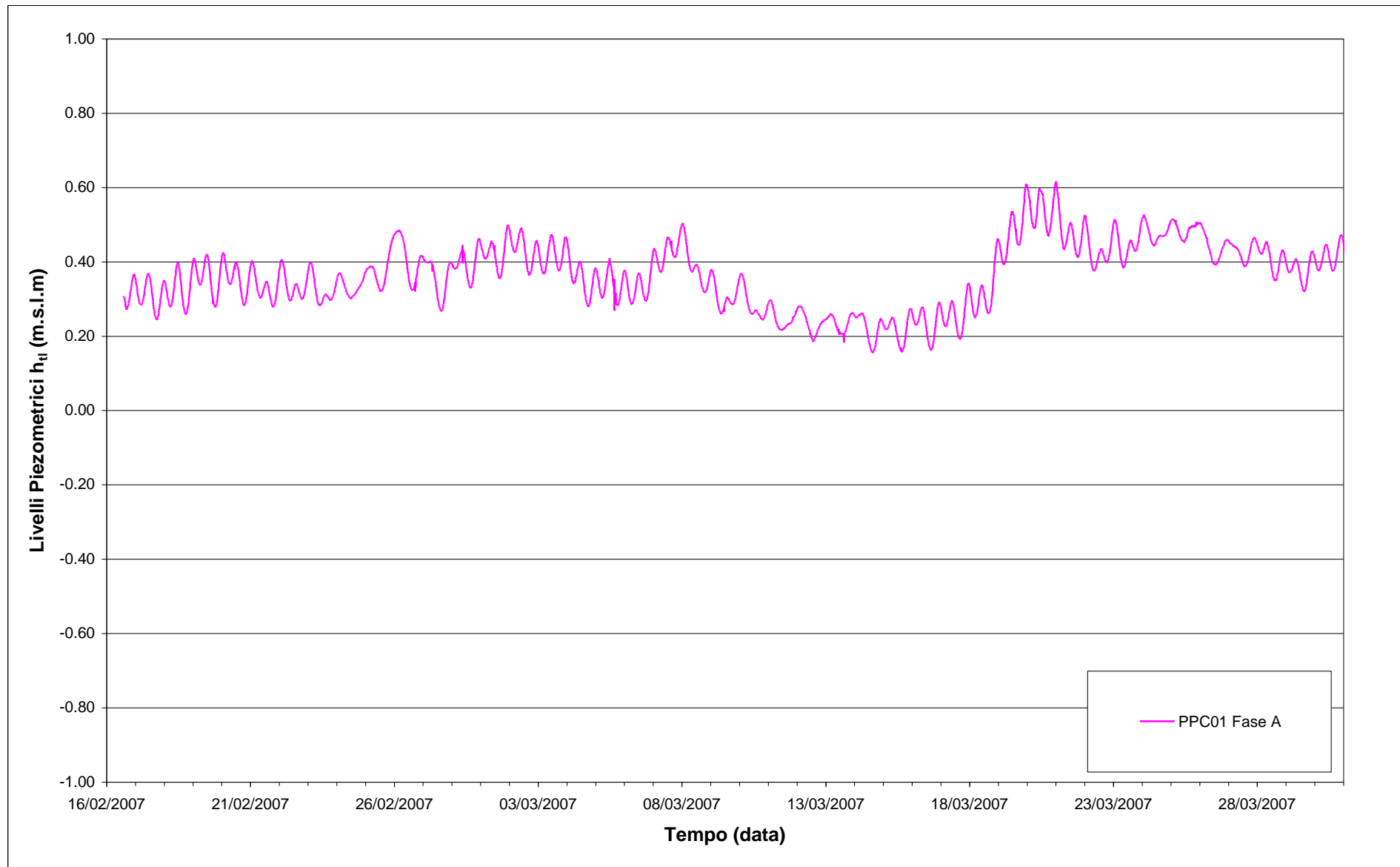
2.4.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_H (Fase A)

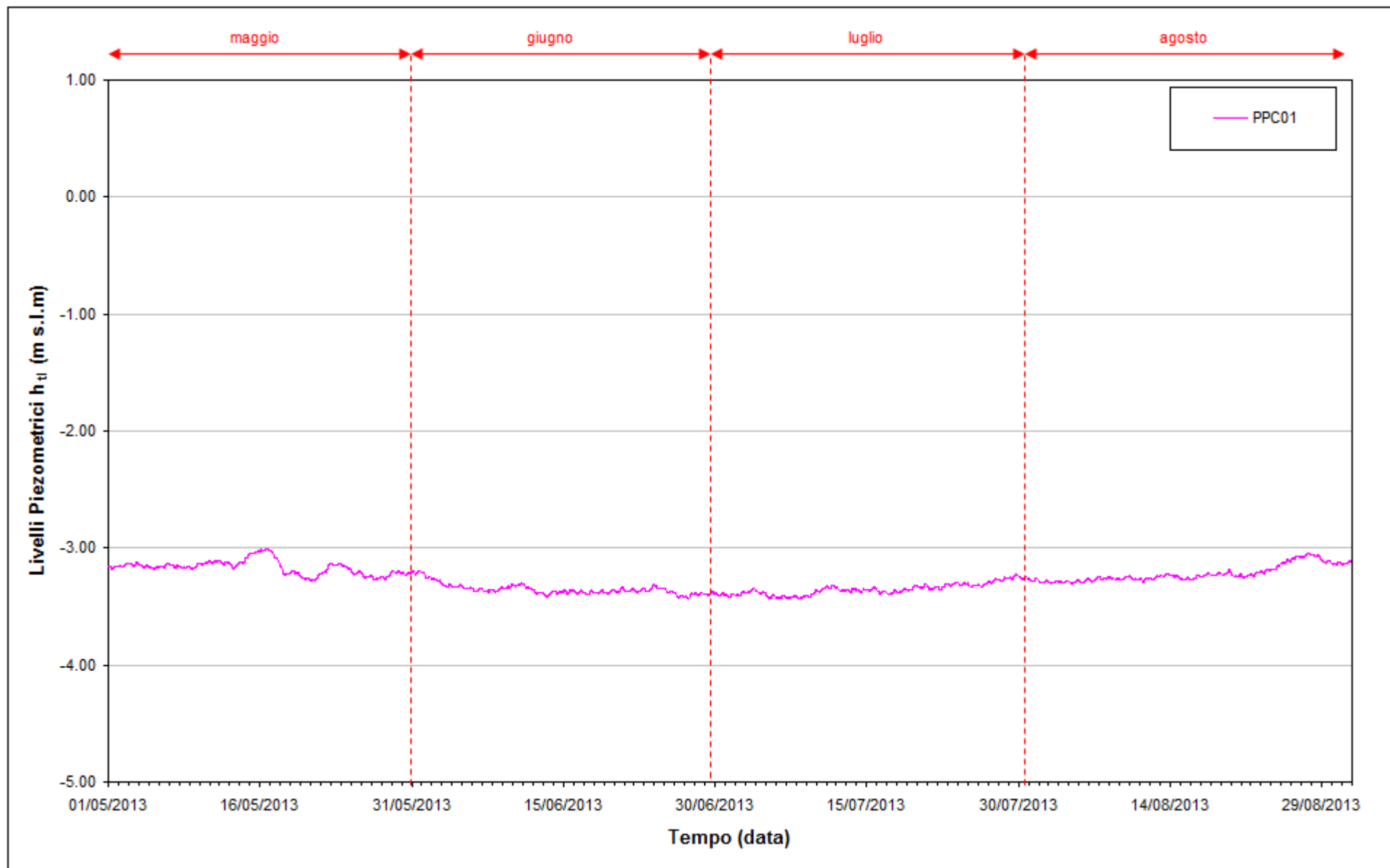
I dati riportati in Fig. 2.10 si riferiscono ai livelli piezometrici assoluti misurati in corrispondenza del piezometro profondo PPC01 nel periodo febbraio - marzo 2007 (Fase A).

2.4.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_H

I dati riportati in Fig. 2.11 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio maggio - agosto 2013.

Tra l'inizio e la fine del periodo di monitoraggio (01/05/13 - 31/08/13) non si osservano variazioni apprezzabili del carico idraulico nel piezometro profondo PPC01.

Fig. 2.10- Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo durante la Fase A.

Fig. 2.11 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo nel periodo di monitoraggio 01/05/2013 - 31/08/2013.

2.4.3 Effetti mareali e antropici

In Fig. 2.12 è possibile confrontare i tracciati di misura del trasduttore posizionato in corrispondenza del piezometro PPC01 con le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia.

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

In Fig. 2.13 è riportato il confronto tra i quadrimestri maggio - agosto, dal 2007 al 2013:

- rispetto al 2007 (situazione *ante operam*), il carico idraulico medio nel secondo livello acquifero è diminuito di circa 330 cm a causa dell'emungimento nella tura;
- rispetto agli anni precedenti, il carico idraulico nel periodo maggio - agosto 2013 è inferiore di circa 20 cm rispetto al 2011, mentre è superiore a quello registrato nel 2012 (di circa 15 cm);
- rispetto al 2009 e 2010, si osserva una consistente risalita del carico idraulico (rispettivamente pari a 105 cm e 170 cm), che è dovuta alla riduzione delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering (vedi Cap. 1.1).

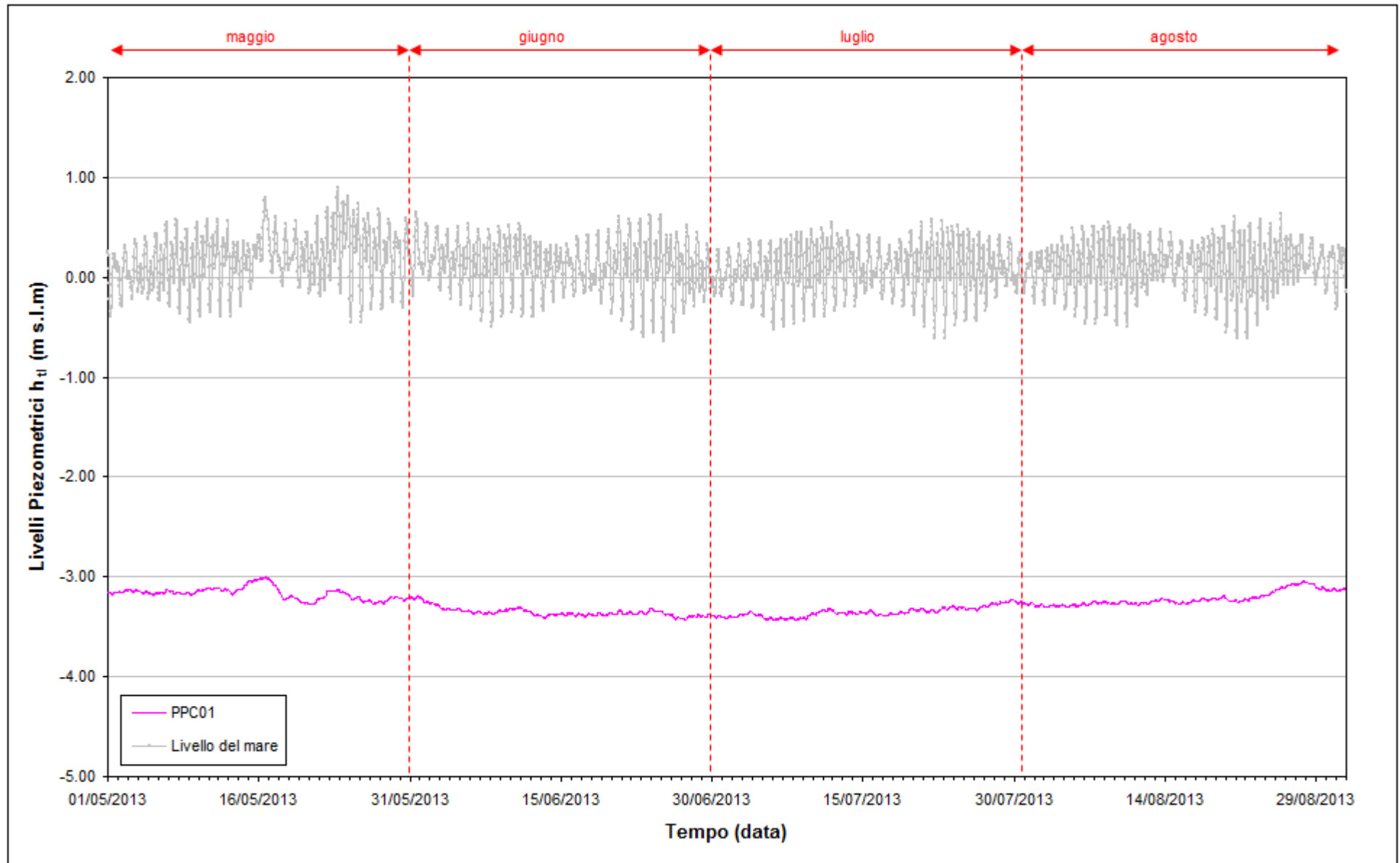
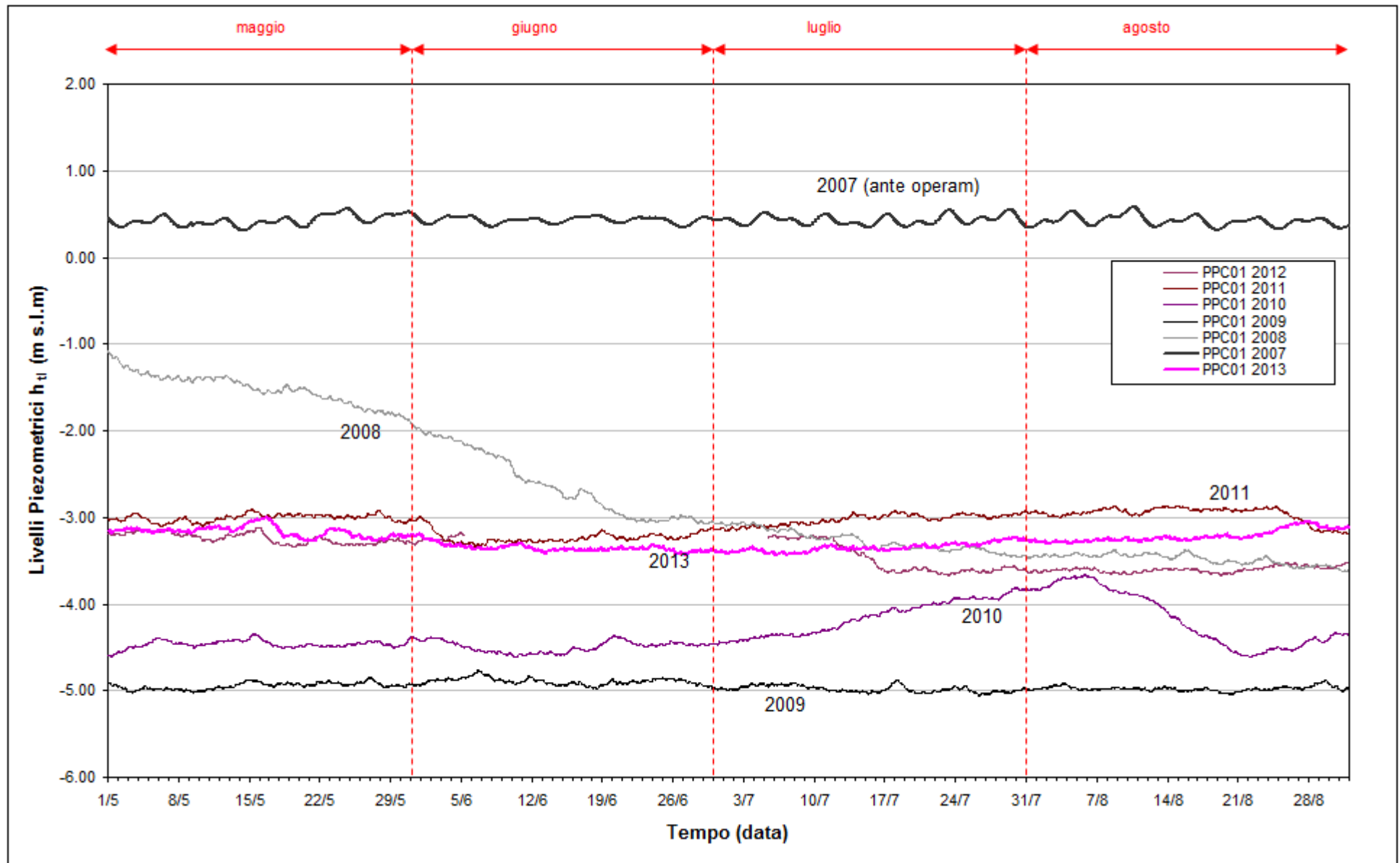


Fig. 2.12 - Livelli piezometrici del piezometro profondo PPC01 e livelli del mare nel periodo di monitoraggio 01/05/2013 - 31/08/2013.

Fig. 2.13 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_u) nel piezometro PPC01 nel periodo maggio - agosto degli anni 2007-2013.

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.

Salvo sporadiche anomalie di misurazione, non sono stati riscontrati guasti né discontinuità nelle serie temporali acquisite.

4. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA

4.1 Il calcolo della densità dell'acqua

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

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

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

dove:

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

4.1.1 Profili verticali di densità

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

Dall'analisi dei profili (Figg. 4.1÷4.4) si può notare che il piezometro profondo presenta una distribuzione quasi omogenea di densità lungo la verticale, mentre il piezometro superficiale manifesta un incremento di densità lungo la verticale.

Tra l'inizio e la fine del quadrimestre monitorato (maggio - agosto 2013) non si osservano variazioni apprezzabili della densità dell'acqua di falda nei piezometri PSC01 e PPC01.

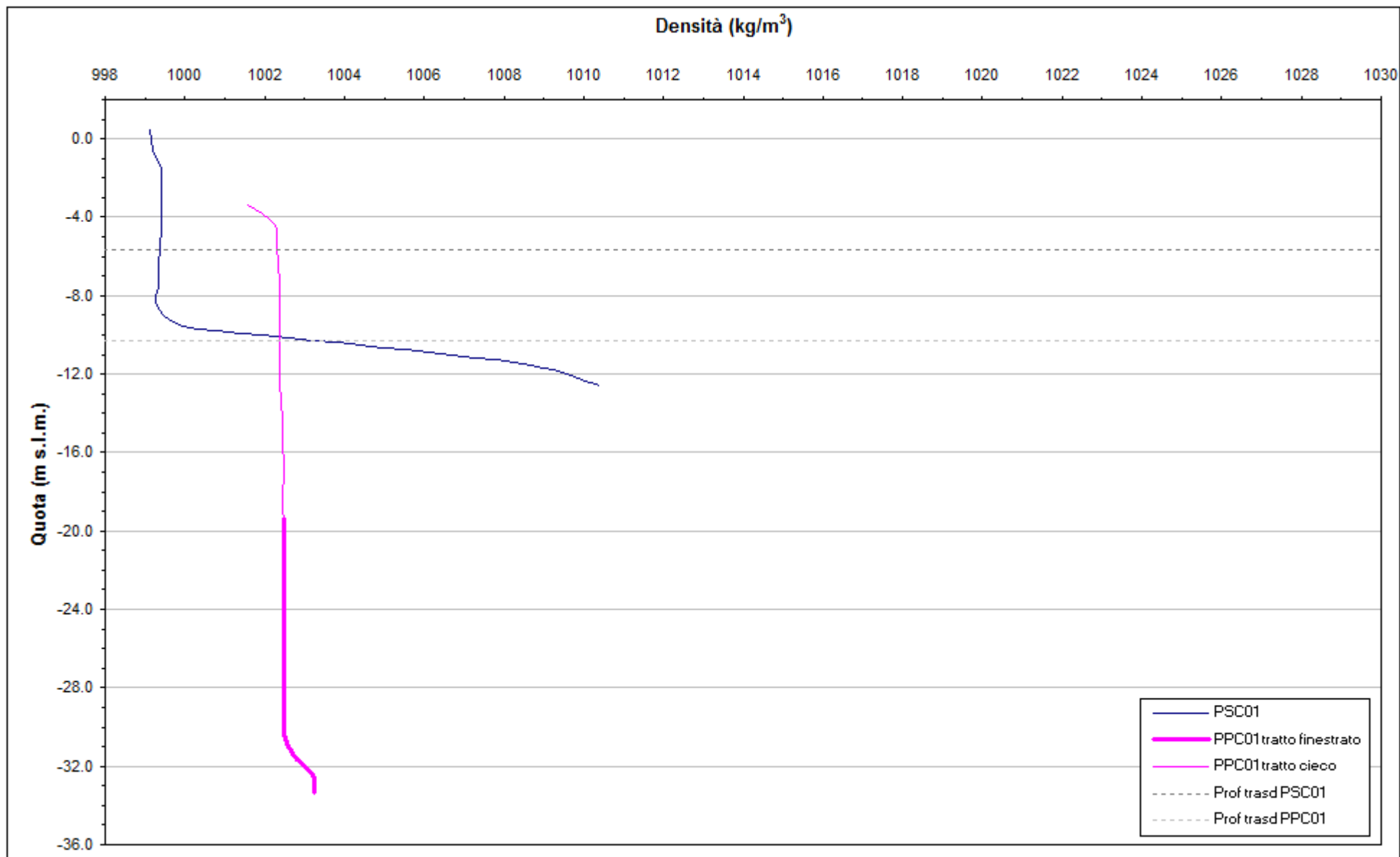


Fig. 4.1 Profili verticali di densità - 07/06/2013.

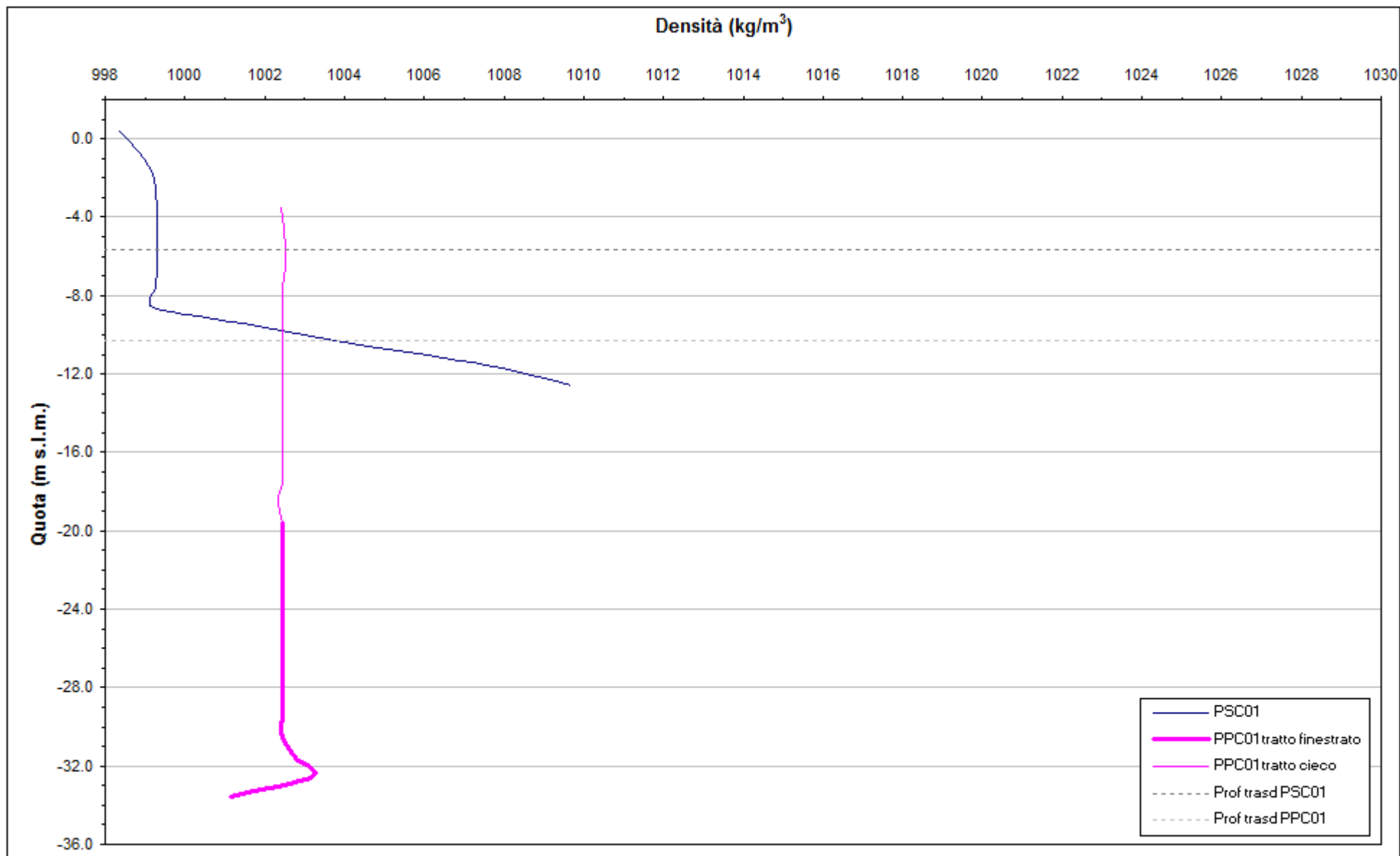


Fig. 4.2 - Profili verticali di densità - 08/07/2013.

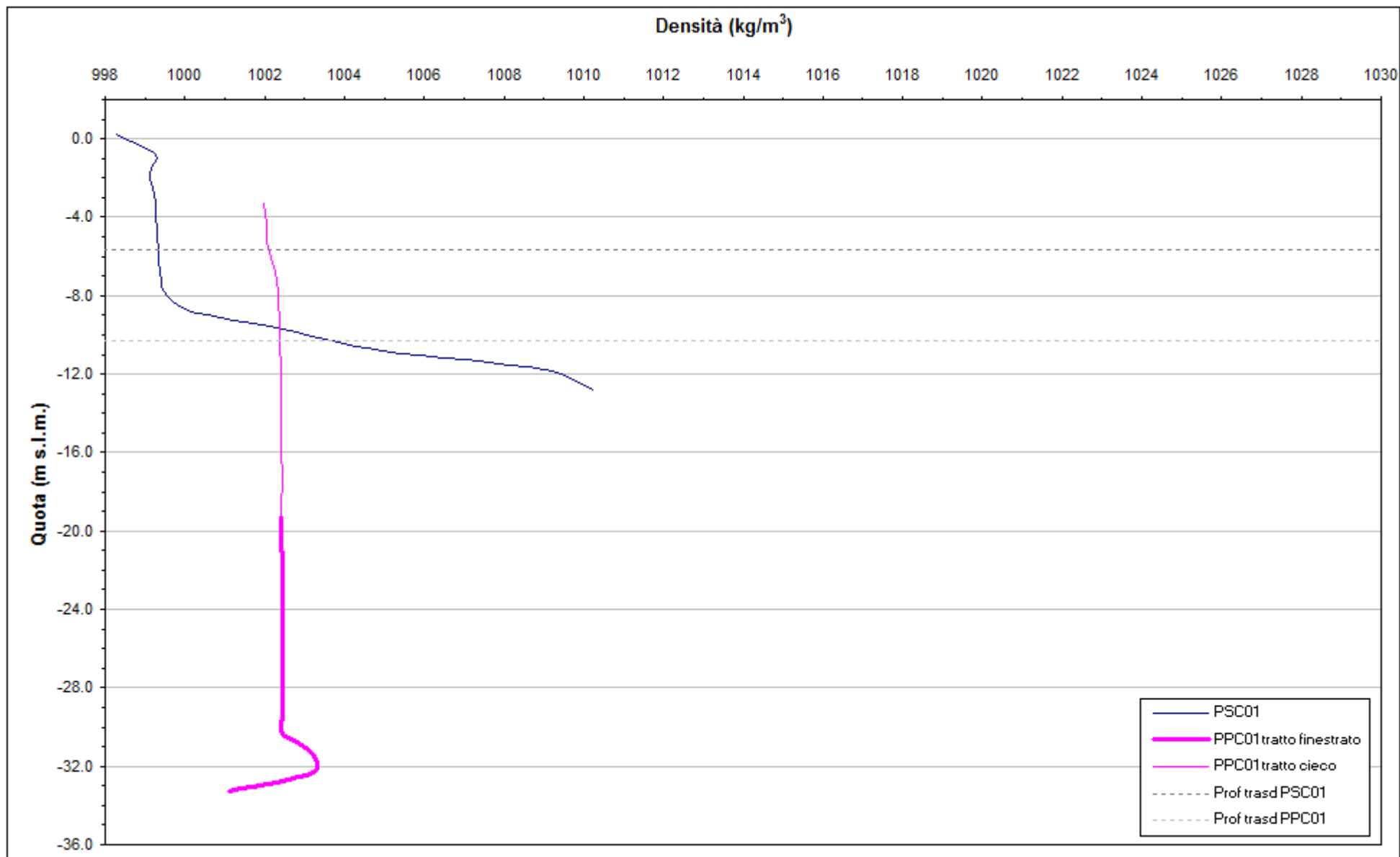


Fig. 4.3 - Profili verticali di densità - 07/08/2013.

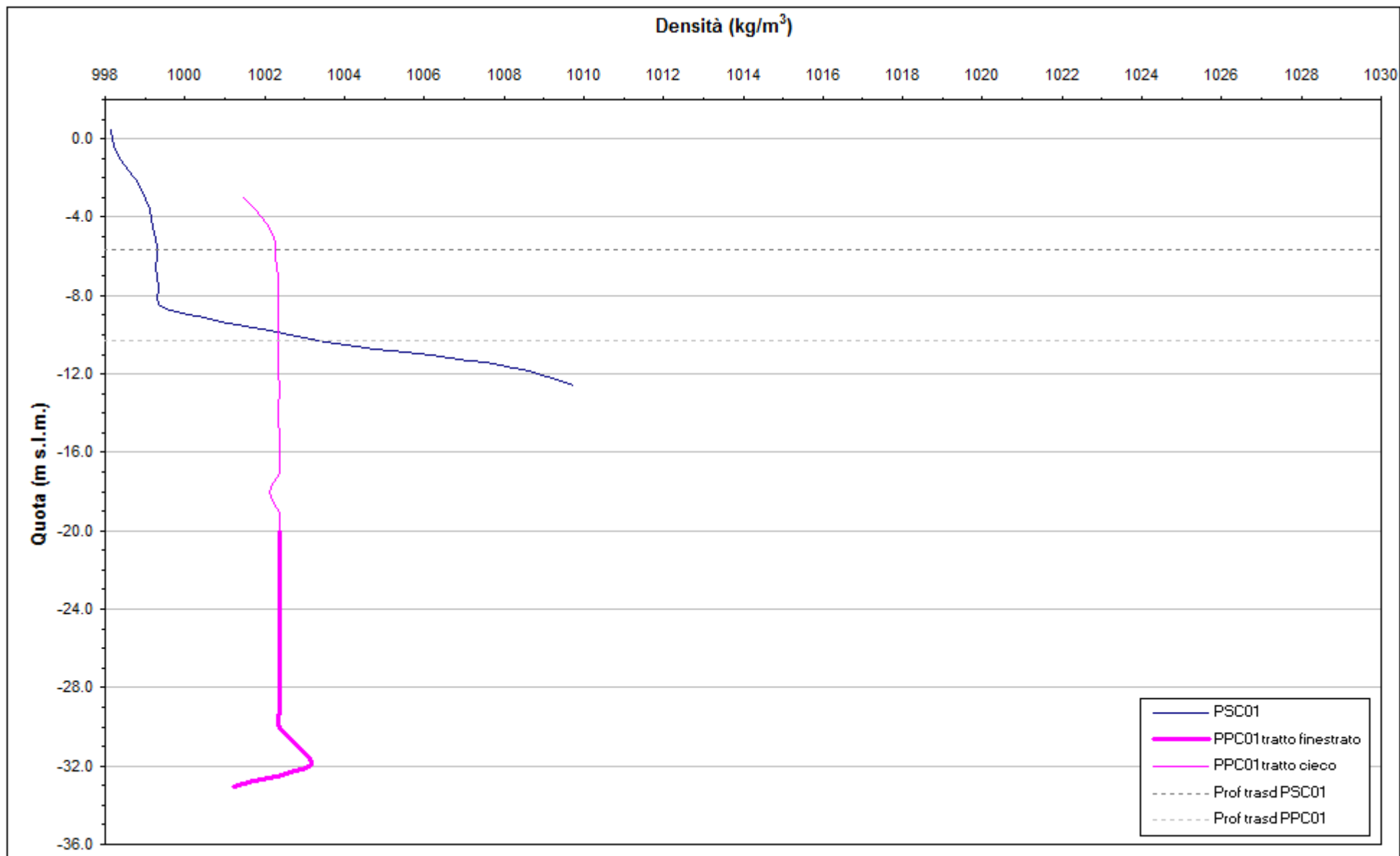


Fig. 4.4.- Profili verticali di densità - 09/09/2013.

5. 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. 5.1):

- 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. 5.1- 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 e Levelogger Avviso	Valutare affidabilità dati Barologger e Levelogger Avviso	-	Valutare affidabilità dati Barologger e Levelogger Avviso	Valutare affidabilità dati Barologger e Levelogger Avviso

Durante l'intero periodo di monitoraggio (maggio - agosto 2013) è stato verificato il rispetto delle soglie di livello (Figg. 5.1÷5.3):

- 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.

I superamenti delle soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio nel piezometro profondo sono dovuti al pompaggio di dewatering della tura.

5.1 Misure di mitigazione

La dinamica piezometrica in corrispondenza del livello acquifero profondo ha raggiunto una condizione di stabilità grazie agli interventi intrapresi nella gestione delle operazioni di pompaggio all'interno della tura, quali la riduzione della portata di emungimento a 3500 mc/giorno e la successiva realizzazione nel febbraio 2010 del diaframma jet grouting che ha consentito di ridurre ulteriormente la portata di emungimento a 2100 mc/giorno (fonte: comunicazione CVN).

Successivamente, nel mese di agosto 2011, si riscontra un aumento delle portate di emungimento a 3600 mc/giorno, che si è reso necessario per la realizzazione dei due cassoni di spalla a quota di imposta inferiore a quella dei cassoni di barriera (comunicazione della Direzione Lavori opere).

In seguito, a partire dal 1 novembre 2011, la portata è stata progressivamente diminuita a 3000 mc/giorno, valore minimo per la sicurezza del cantiere, a cui ha fatto seguito un significativo recupero della pressione nel piezometro profondo.

In corrispondenza di tale livello acquifero si continua tuttavia ad osservare un andamento del carico idraulico fortemente dissimile da quello registrato in fase A.

Per contenere ulteriormente l'abbassamento si suggerisce, come misura di mitigazione, la riduzione delle portate di pompaggio dei pozzi lato terra ancora attivi (P2, P4 e P6).

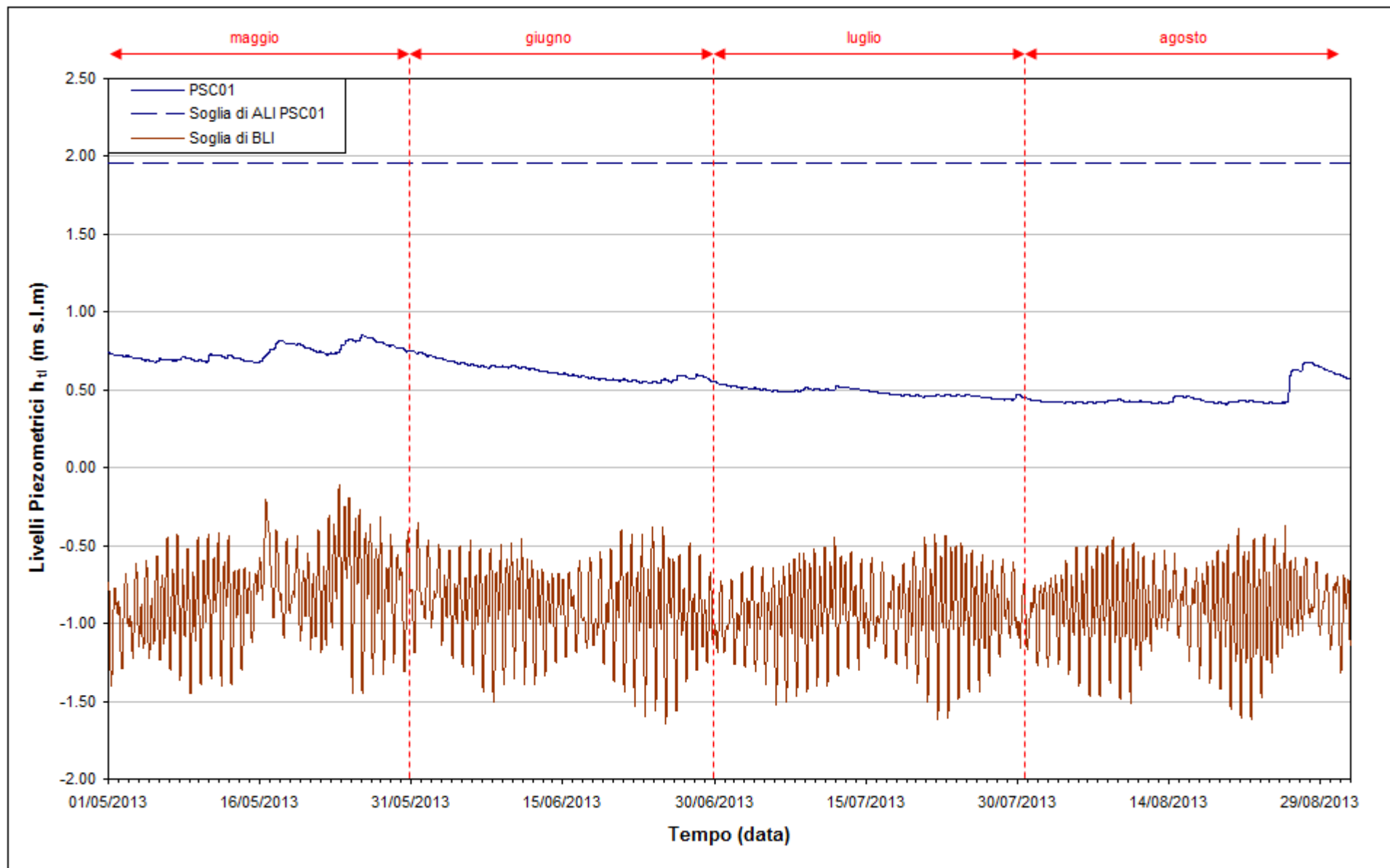


Fig. 5.1.- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro superficiale PSC01.

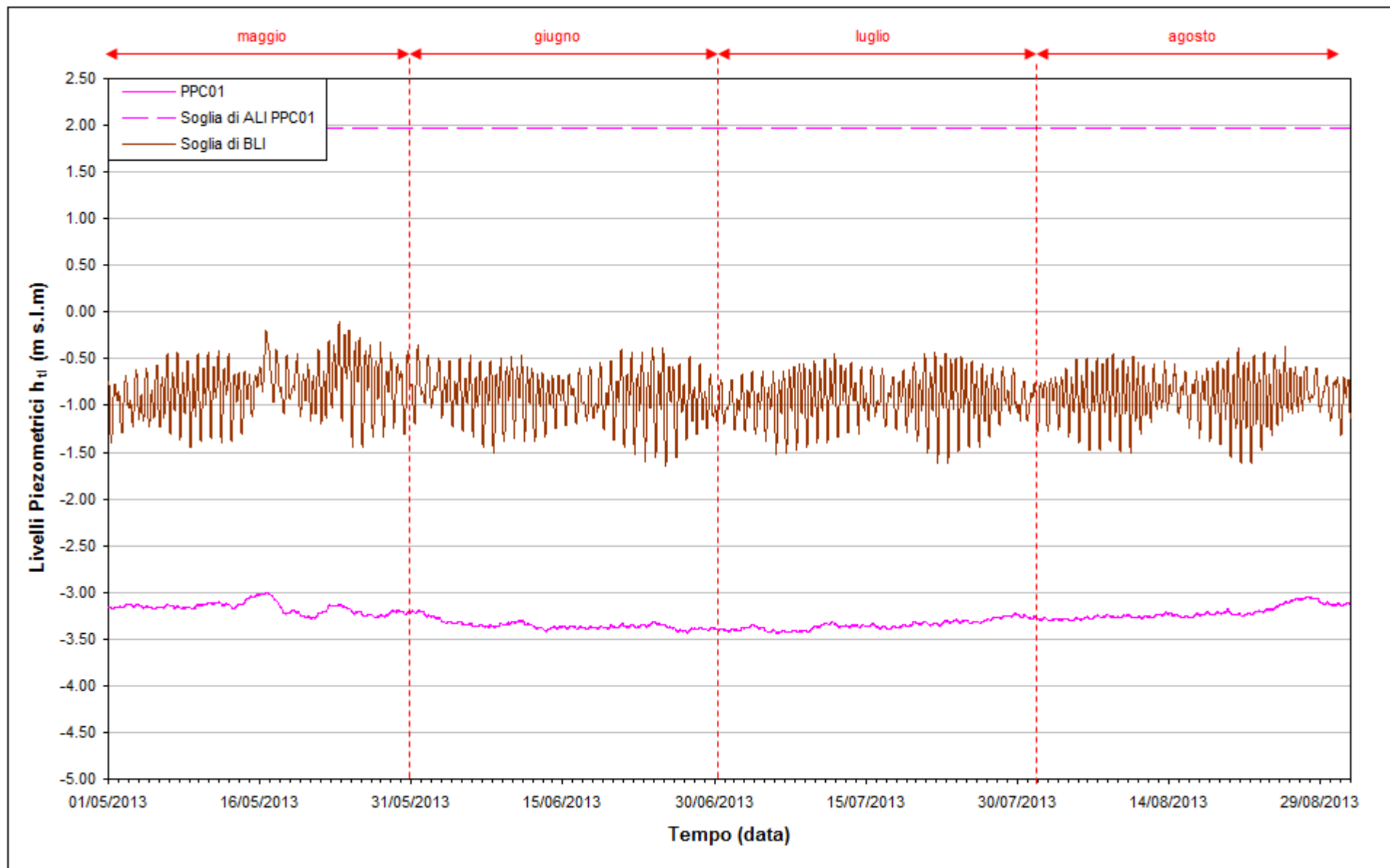


Fig. 5.2.- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro profondo PPC01.

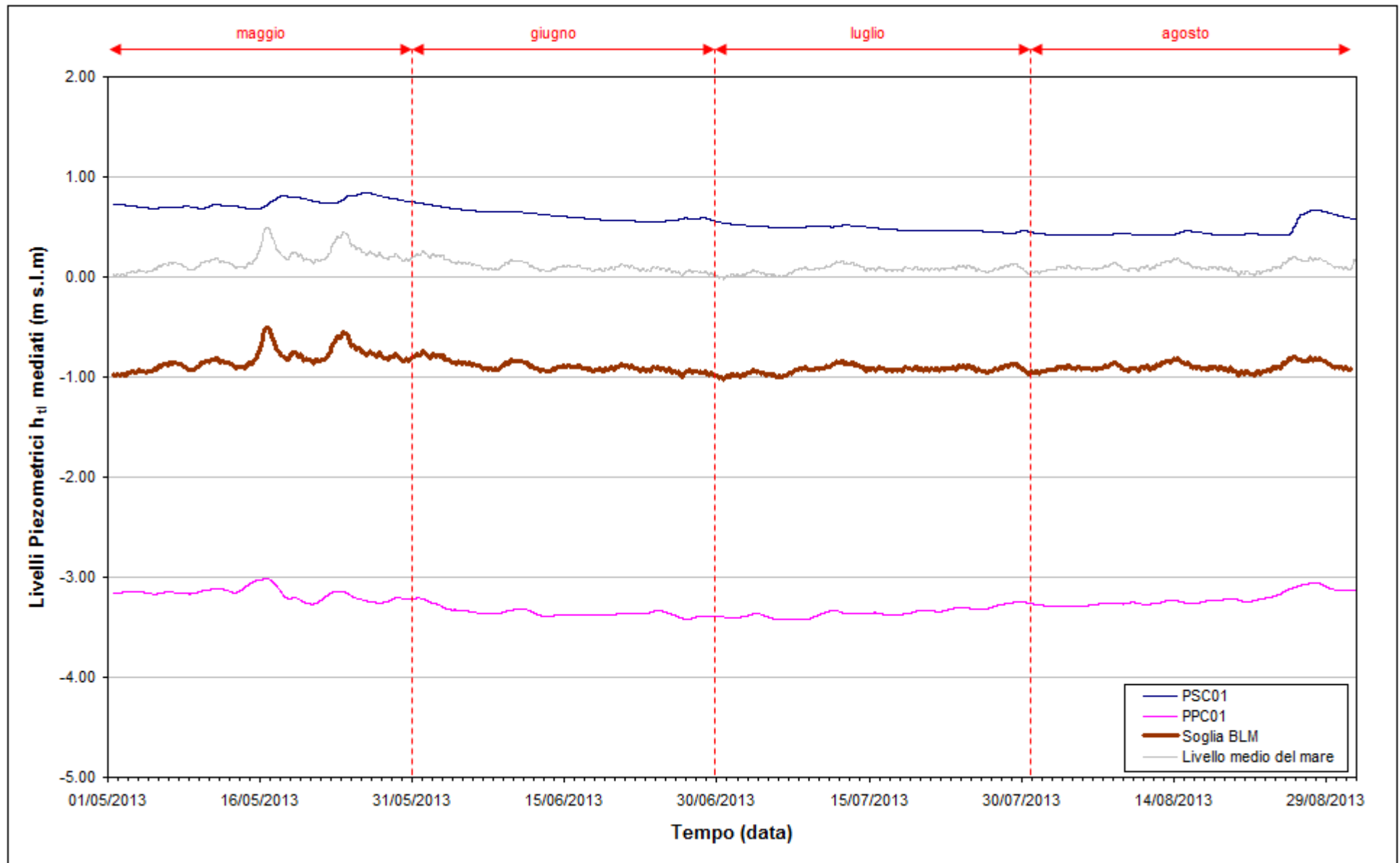


Fig. 5.3.- Soglia di Basso Livello Medio per i piezometri PSC01 e PPC01.

6. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/05/2013 e il 31/08/2013, sono stati valutati gli andamenti dei livelli piezometrici all'interno del primo e secondo livello acquifero. Sono inoltre state analizzate le influenze delle forzanti naturali ed antropiche agenti sul sistema dinamico ed è stato effettuato uno studio sulla variazione spazio-temporale della densità dell'acqua di falda.

Diversamente da quanto osservato durante la fase A, a seguito del completamento della cinturazione della tura, i livelli registrati nel piezometro superficiale PSC01 e nel piezometro profondo PPC01 non risentono più delle oscillazioni mareali.

Tra l'inizio e la fine del periodo di monitoraggio (01/05/13 - 31/08/13) si osserva una diminuzione del livello di falda superficiale nel piezometro PSC01, pari a circa 15 cm e dovuta alla forte evapotraspirazione nella stagione estiva.

Le precipitazioni piovose misurate nel periodo sono in linea con le medie stagionali (totale: 235 mm, a fronte di una media di 252.1 mm nel periodo maggio - agosto negli anni 1992÷2012. Fonte: stazione meteorologica "Chioggia - loc. S. Anna" di ARPA Veneto).

Tra l'inizio e la fine del quadrimestre monitorato (01/05/13 - 31/08/13) non si osservano variazioni apprezzabili della densità dell'acqua di falda nei piezometri PSC01 e PPC01.