



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/8**

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

Contratto Thetis-CORILA n. 122000551

Documento **MACROATTIVITÀ: LIVELLI DI FALDA
III RAPPORTO DI VALUTAZIONE
PERIODO DI RIFERIMENTO: DA GENNAIO AD
APRILE 2013**

Versione **1.0**

Emissione **15 Maggio 2013**

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
1.1 Descrizione delle attività di cantiere aventi impatto sulla matrice falda.....	5
1.2 Descrizione della rete e delle attività di monitoraggio.....	9
2. ANALISI DEI DATI.....	10
2.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello.....	11
2.2 Descrizione delle forzanti naturali	12
2.2.1 <i>Precipitazioni</i>	12
2.2.2 <i>Livello del mare</i>	15
2.2.3 <i>Pressione atmosferica - h_b</i>	17
2.3 Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A).....	19
2.3.1 <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}</i>	19
2.3.2 <i>Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione</i>	21
2.3.3 <i>Effetti delle oscillazioni mareali</i>	25
2.4 Piezometri profondi – secondo livello acquifero (Strato C).....	27
2.4.1 <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}</i>	27
2.4.2 <i>Effetti mareali</i>	29
2.4.3 <i>Effetti barometrici</i>	31
2.4.4 <i>Effetti antropici</i>	33
3. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE	35
4. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA.....	36
4.1 Il calcolo della densità dell'acqua.....	36
4.1.1 <i>Profili verticali di densità</i>	36
5. STUDIO PIEZOMETRICO.....	45
5.1.1 <i>Piezometria superficiale</i>	47
5.1.2 <i>Piezometria profonda</i>	53
6. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE	59
7. CONCLUSIONI	69
PARTE SECONDA: MONITORAGGIO CANTIERE DI CA' ROMAN	70
8. INTRODUZIONE.....	71
8.1 Descrizione delle attività di cantiere aventi impatto sulla matrice falda.....	71
9. ANALISI DEI DATI.....	74
9.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello.....	75
9.2 Descrizione delle forzanti naturali	75

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

9.2.1	<i>Precipitazioni</i>	75
9.2.2	<i>Livello del mare</i>	78
9.2.3	<i>Pressione atmosferica - hb</i>	80
9.3	Piezometro superficiale – primo livello acquifero (Strato A)	82
9.3.1	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl (Fase A)</i>	82
9.3.2	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl</i>	82
9.3.3	<i>Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione</i>	85
9.4	Piezometro profondo – secondo livello acquifero (Strato C)	88
9.4.1	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl (Fase A)</i>	88
9.4.2	<i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl</i>	88
9.4.3	<i>Effetti mareali e antropici</i>	91
10.	CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE	94
11.	ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA	95
11.1	Il calcolo della densità dell'acqua.....	95
11.1.1	<i>Profili verticali di densità</i>	95
12.	VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE	100
12.1	Misure di mitigazione	101
13.	CONCLUSIONI	105

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

1. INTRODUZIONE

La prima parte di questo documento descrive l'analisi dei dati acquisiti nel quadrimestre di monitoraggio 01/01/13 - 30/04/13, 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/8 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2012) ed illustrato nel "Rapporto di Pianificazione Operativa" (Studio B 6.72 B/1).

Nel presente rapporto sono riportati i tracciati relativi ai livelli piezometrici in corrispondenza delle 11 postazioni doppie (P01÷11) e delle 3 postazioni singole (P12,13,14) di monitoraggio. I dati registrati sono stati, quindi, messi in relazione alle forzanti naturali (precipitazioni, oscillazioni mareali e pressione atmosferica) che concorrono alla determinazione dei livelli piezometrici in corrispondenza dei due acquiferi monitorati. I livelli piezometrici misurati nelle postazioni di monitoraggio sono stati confrontati con quelli registrati durante la Fase A, relativa agli andamenti dei livelli nella situazione *ante operam*. Inoltre, essi sono stati confrontati con le soglie di alto e basso livello, allo scopo di evidenziarne eventuali superamenti. Vengono infine presentati i risultati delle analisi di densità elaborati a partire dai profili di conduttanza specifica lungo la verticale di ogni piezometro.

Di seguito si dà una breve descrizione delle attività di cantiere aventi impatto sulla matrice falda, delle attività di monitoraggio effettuate e della loro frequenza.

1.1 Descrizione delle attività di cantiere aventi impatto sulla matrice falda

La realizzazione del porto rifugio di Treporti 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 di circa 50000 m² posta alla quota di -8.70 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, realizzato tra marzo e ottobre 2006, e da palancoati lato mare) e l'installazione di un sistema di pozzi e pompe per il *dewatering* (Fig. 1.1).

L'emungimento dal sottosuolo, iniziato il 03/01/2007, è stato interrotto in data 03/03/2012. In Fig. 1.2 sono riportati i carichi idraulici misurati nei piezometri interni alla tura dalla Direzione Lavori. Si fornisce inoltre il diagramma delle portate medie (Fig. 1.3) e, di seguito, si riporta la descrizione di alcune misure intraprese dalla Direzione Lavori al fine di ottimizzare il sistema di emungimento (come da comunicazione del Consorzio Venezia Nuova).

Dopo una prima fase di svuotamento durata 7 mesi circa (Fig. 1.3), le portate di emungimento sono state ridotte e sono state mantenute in un intervallo più ristretto (450÷600 mc/d) nei successivi 6 anni, periodo necessario al completamento dei 7 cassoni di barriera e 2 di spalla.

L'andamento dei carichi idraulici misurati dai piezometri interni alla tura nell'acquifero confinato indicano una diminuzione di circa 14 metri, condizione necessaria a garanzia delle prestazioni richieste.

Le operazioni sono proseguite con il pompaggio pressoché costante di circa 500÷600 mc/d salvo alcune eccezioni connesse a forzanti naturali (principalmente legate ad eventi meteorici significativi) o a temporanei fuori servizio di alcuni presidi di pompaggio, a cui ha fatto seguito un aumento dell'emungimento per ristabilire le condizioni di esercizio.

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

Messo a regime il sistema sono state intraprese alcune misure di mitigazione quali la variazione della quota della soglia di attenzione dei livelli di falda (misurati nei piezometri all'interno della tura) da -11 metri a -10 metri nel giugno 2009, che comporta una riduzione delle portate giornaliere che, da fine ottobre 2009, sono passate da 650 mc a 550 mc al giorno. A tale variazione è corrisposto nel periodo giugno 2009 - gennaio 2010 un aumento del carico idraulico di 45 cm nel piezometro PP04, il più vicino alla tura e quindi il più influenzato dal pompaggio di dewatering.

A partire dal settembre 2011 un ulteriore affinamento del sistema è stato apportato riducendo progressivamente la portata a 450 mc/d, ottenuto con lo spegnimento dei pozzi S5 ed S1 ed alla manutenzione straordinaria dei pozzi collocati nella porzione inferiore della tura.

Tenuto conto delle dimensioni dell'intervento si è ritenuto opportuno privilegiare il controllo automatico e continuo dei dati piezometrici in luogo di ripetute misure della portata, considerata peraltro l'uniformità delle informazioni acquisite.

In data 03/03/2012, il pompaggio di dewatering è stato interrotto (comunicazione della Direzione Lavori). Nel quadrimestre maggio-agosto 2012 si è completato il recupero dei carichi idraulici nel secondo livello acquifero.

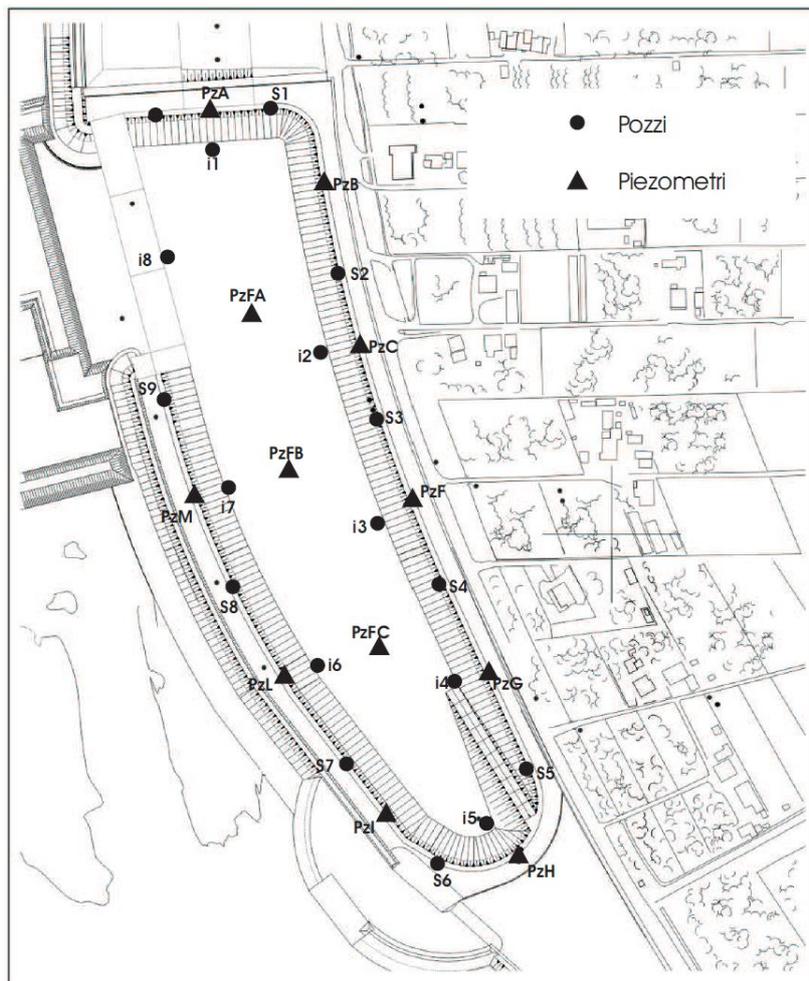


Fig. 1.1 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

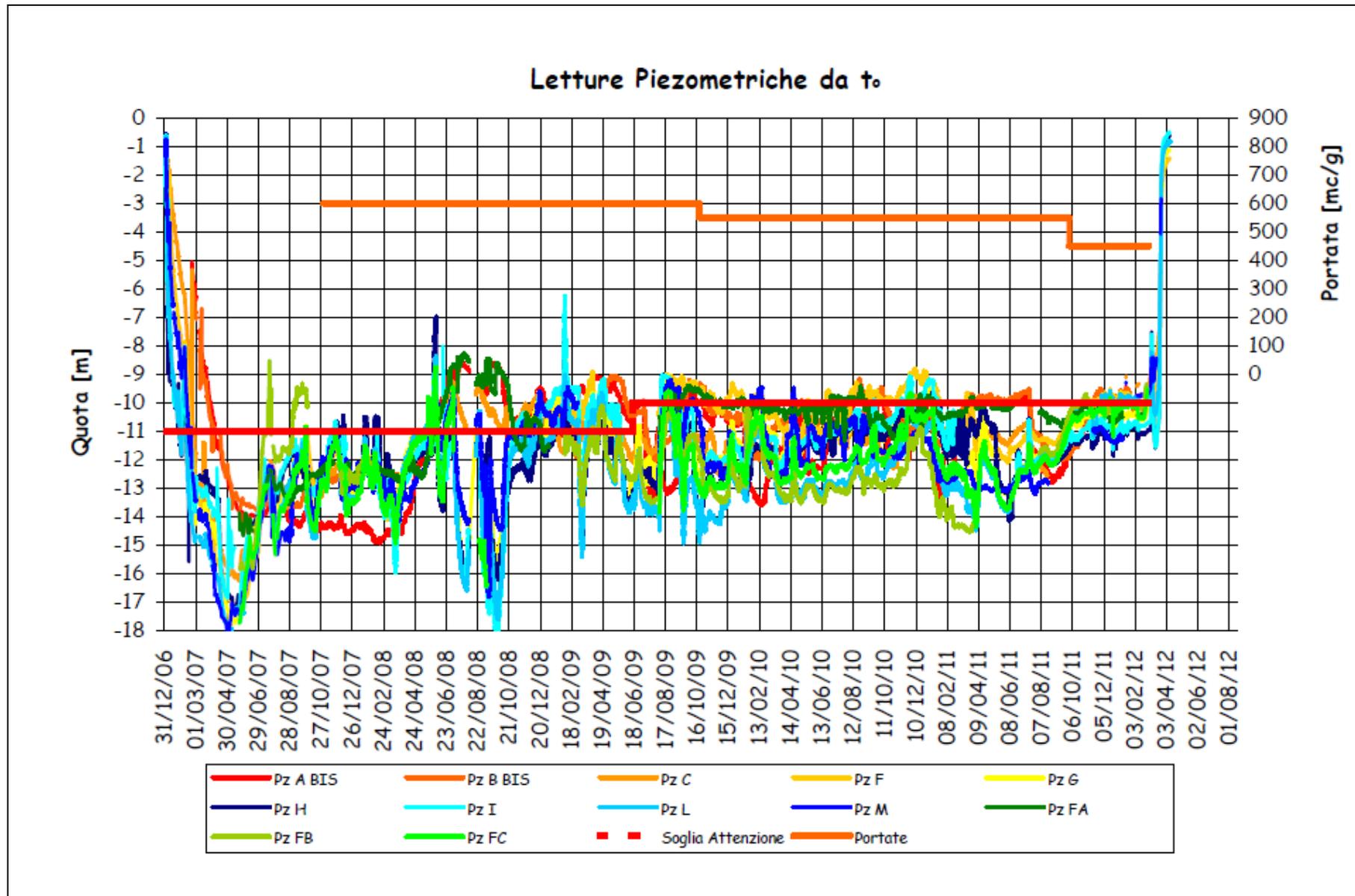


Fig. 1.2 - Andamento temporale dei carichi idraulici misurati all'interno della tura di Punta Sabbioni (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

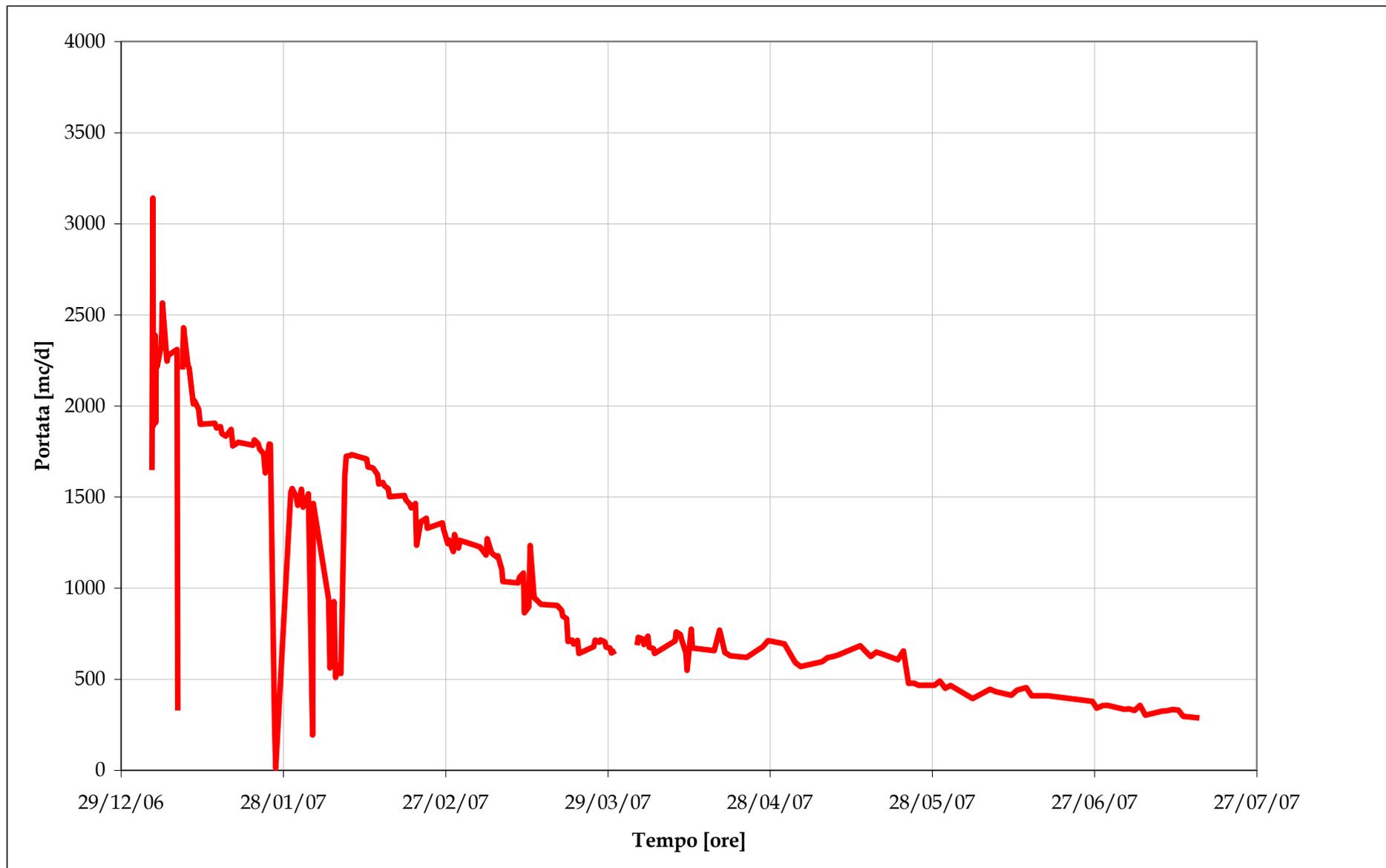


Fig. 1.3 - Portate di emungimento del sistema di dewatering durante l'aggottamento della tura di Punta Sabbioni (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

1.2 Descrizione della rete e delle attività di monitoraggio

La rete di monitoraggio installata nel mese di luglio 2005 è composta da 11 postazioni doppie di monitoraggio (piezometro superficiale e profondo) per la misura dei livelli di falda nell'acquifero superficiale (denominato strato A) e nel sottostante livello acquifero in pressione (strato C); i due corpi idrici sotterranei sono intervallati da un livello argilloso (strato B). La descrizione dettagliata della rete di monitoraggio è contenuta nel "Rapporto di Pianificazione Operativa" (Studio B.6.72 B/1, Dicembre 2005). Nel mese di novembre 2008 la rete è stata integrata con 3 nuovi piezometri profondi al fine di ricostruire con miglior precisione gli effetti del pompaggio di cantiere (Studio B.6.72 B/4, II Rapporto di Valutazione, gennaio 2009).

Ciascun piezometro è dotato di un trasduttore automatico di pressione per la misura dei livelli di falda, posto a circa 7.5 m dal piano campagna, con frequenza di acquisizione oraria. Sono installati anche due trasduttori di pressione dell'aria per la compensazione barometrica dei carichi misurati in falda.

I dati acquisiti dai trasduttori vengono scaricati nel corso di sopralluoghi mensili, durante i quali si effettuano misure della conduttanza elettrica specifica dell'acqua di falda lungo la verticale all'interno dei piezometri superficiali PS01÷11 e PP01÷11, con l'utilizzo di una sonda manuale, al fine di ricavare, tramite relazioni empiriche, i profili verticali della densità dell'acqua (Studio B.6.72 B/2, II Rapporto di Valutazione, maggio 2007).

Il monitoraggio della falda, iniziato nell'ottobre 2005, è stato condotto in parallelo all'esecuzione delle attività di realizzazione della tura al fine di monitorare gli eventuali effetti sui livelli di falda. In Tab. 1.1 sono riassunte le attività di monitoraggio di falda attualmente svolte a Punta Sabbioni.

Tab. 1.1 - Riassunto delle attività di monitoraggio di falda presso il cantiere di Punta Sabbioni.

Parametro	Punto di monitoraggio		Frequenza di acquisizione	Scaricamento
Carico idraulico non compensato	Postazioni P01-P14	Postazioni superficiali PS01-PS11	1 ora	Mensile
Carico idraulico non compensato		Postazioni profonde PP01-PP14	1 ora	Mensile
Conduttanza specifica lungo la verticale	Postazioni Bilivello P01-P11	Postazioni superficiali PS01-PS11	Mensile	Manuale
Conduttanza specifica lungo la verticale		Postazioni profonde PP01-PP11	Mensile	Manuale
Pressione atmosferica	Postazione P03 e P10		1 ora	Mensile

2. ANALISI DEI DATI

In questo capitolo vengono analizzate le risposte del sistema dinamico registrate dai trasduttori di livello disposti nelle 11 postazioni doppie (P01÷11) e nelle 3 postazioni singole (P12÷14) di monitoraggio (Fig. 2.1 e Tab. 2.1) nel periodo compreso tra il 01/01/2013 e il 30/04/2013.

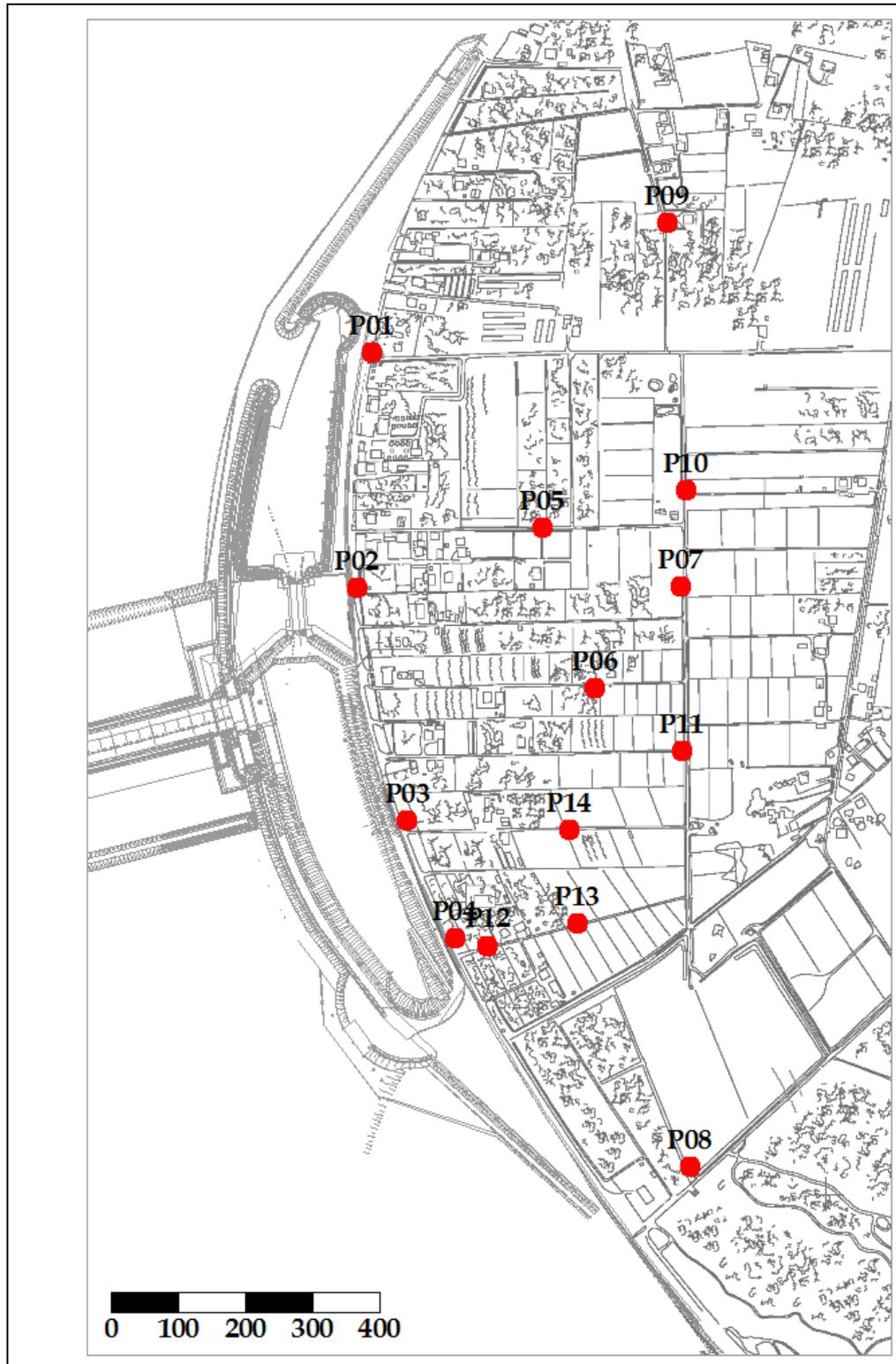


Fig. 2.1 - Ubicazione delle postazioni di monitoraggio.

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

Tab. 2.1 - Coordinate dei piezometri della rete di monitoraggio.

NOME	H geoid	N GB Fuso Est	E GB Fuso Est	N ED50 33N	E ED50 33N	N WGS84 33N	E WGS84 33N
PP01	1.801	5035252.10	2318325.44	5035423.85	298390.00	5035231.79	298321.30
PP02	1.681	5034898.36	2318303.40	5035070.12	298367.97	5034878.06	298299.27
PP03	1.431	5034550.49	2318378.37	5034722.26	298442.93	5034530.20	298374.23
PP04	1.416	5034374.67	2318448.54	5034546.44	298513.10	5034354.38	298444.40
PP05	1.718	5034989.68	2318579.81	5035161.43	298644.37	5034969.37	298575.67
PP06	1.636	5034748.80	2318658.29	5034920.56	298722.85	5034728.50	298654.15
PP07	1.318	5034900.50	2318786.12	5035072.25	298850.68	5034880.19	298781.97
PP08	0.747	5034031.14	2318800.26	5034202.91	298864.81	5034010.85	298796.11
PP09	2.255	5035445.93	2318765.07	5035617.67	298829.64	5035425.62	298760.93
PP10	2.086	5035045.83	2318793.08	5035217.58	298857.64	5035025.53	298788.93
PP11	1.149	5034652.23	2318787.28	5034823.99	298851.84	5034631.93	298783.14
PP12	1.071	5034363.43	2318498.26	5034535.18	298562.84	5034343.12	298494.15
PP13	1.169	5034397.36	2318631.11	5034569.11	298695.69	5034377.05	298627.00
PP14	1.502	5034536.86	2318619.38	5034708.61	298683.96	5034516.54	298615.27
PS01	1.790	5035253.68	2318325.88	5035425.43	298390.44	5035233.37	298321.74
PS02	1.687	5034900.48	2318303.30	5035072.24	298367.86	5034880.18	298299.17
PS03	1.459	5034552.61	2318377.62	5034724.38	298442.18	5034532.32	298373.48
PS04	1.344	5034373.27	2318449.34	5034545.04	298513.89	5034352.98	298445.20
PS05	1.816	5034989.80	2318582.01	5035161.55	298646.57	5034969.49	298577.87
PS06	1.664	5034750.84	2318658.27	5034922.60	298722.83	5034730.54	298654.13
PS07	1.403	5034898.62	2318785.95	5035070.37	298850.51	5034878.32	298781.81
PS08	0.623	5034032.43	2318799.69	5034204.20	298864.24	5034012.15	298795.55
PS09	2.248	5035448.00	2318764.67	5035619.73	298829.24	5035427.68	298760.53
PS10	2.003	5035043.94	2318792.99	5035215.69	298857.55	5035023.63	298788.85
PS11	1.086	5034654.31	2318787.40	5034826.06	298851.96	5034634.01	298783.26

2.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello

La risposta del sistema è misurata dal carico idraulico h_{tl} , registrato dai 25 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 stazione meteorologica “ARPAV - Cavallino Treporti”, posta a una distanza di circa 5.5 km a nord-est dal cantiere di Punta Sabbioni;
- **oscillazioni mareali**, registrate dal mareografo “Diga Sud Lido”;
- **pressione atmosferica**, registrata da 2 Barologger.

2.2.1 *Precipitazioni*

I dati di precipitazione sono stati acquisiti dalla centralina “ARPAV - Cavallino Treporti” (Fig.2.2), gestita da ARPA Veneto e posta a circa 5.5 km a nord-est dall’area di cantiere, e hanno cadenza giornaliera. In Fig. 2.3 è riportato l’andamento delle precipitazioni registrate durante i quattro mesi di monitoraggio. La Tab. 2.2 riporta gli eventi piovosi più significativi, caratterizzati da un’altezza di pioggia superiore a 5 mm.

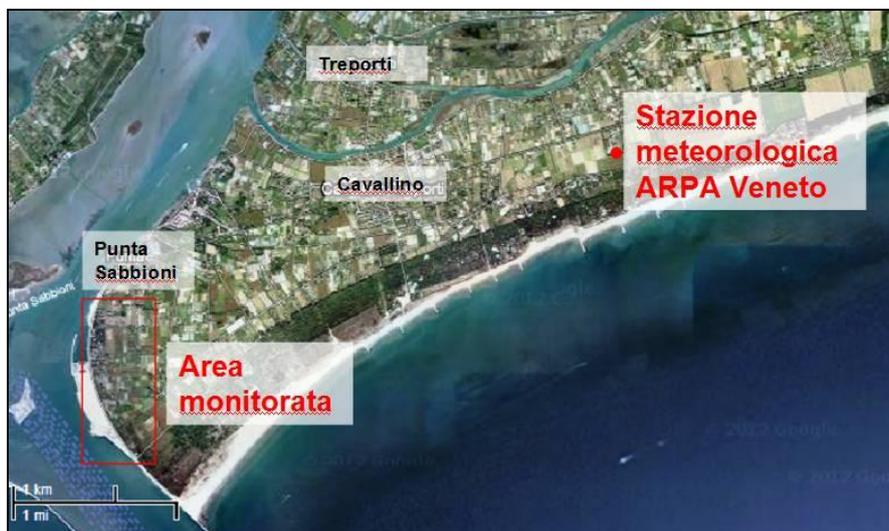


Fig. 2.2 - Posizione della centralina meteo “ARPAV - Cavallino Treporti” rispetto all’area monitorata.

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

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

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
02/01/13	24	9.4
13-17/01/13	120	61.2
19-21/01/13	72	21.6
23/01/13	24	6.8
28/01/13	24	8.2
02/02/13	24	56.0
11-12/02/13	48	58.4
20-21/02/13	48	14.4
23/02/13	24	5.0
06-15/03/13	240	80.2
17-18/03/13	48	72.2
20-21/03/13	48	7.8
23-25/03/13	72	52.4
28-31/03/13	96	96.0
04-06/04/13	72	26.8
08-09/04/13	48	11.0
20-22/04/13	72	16.0

2.2.2 *Livello del mare*

In Fig. 2.4 è riportata la serie temporale relativa ai livelli marini registrati dal mareografo Diga Sud Lido, gestito dall'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.

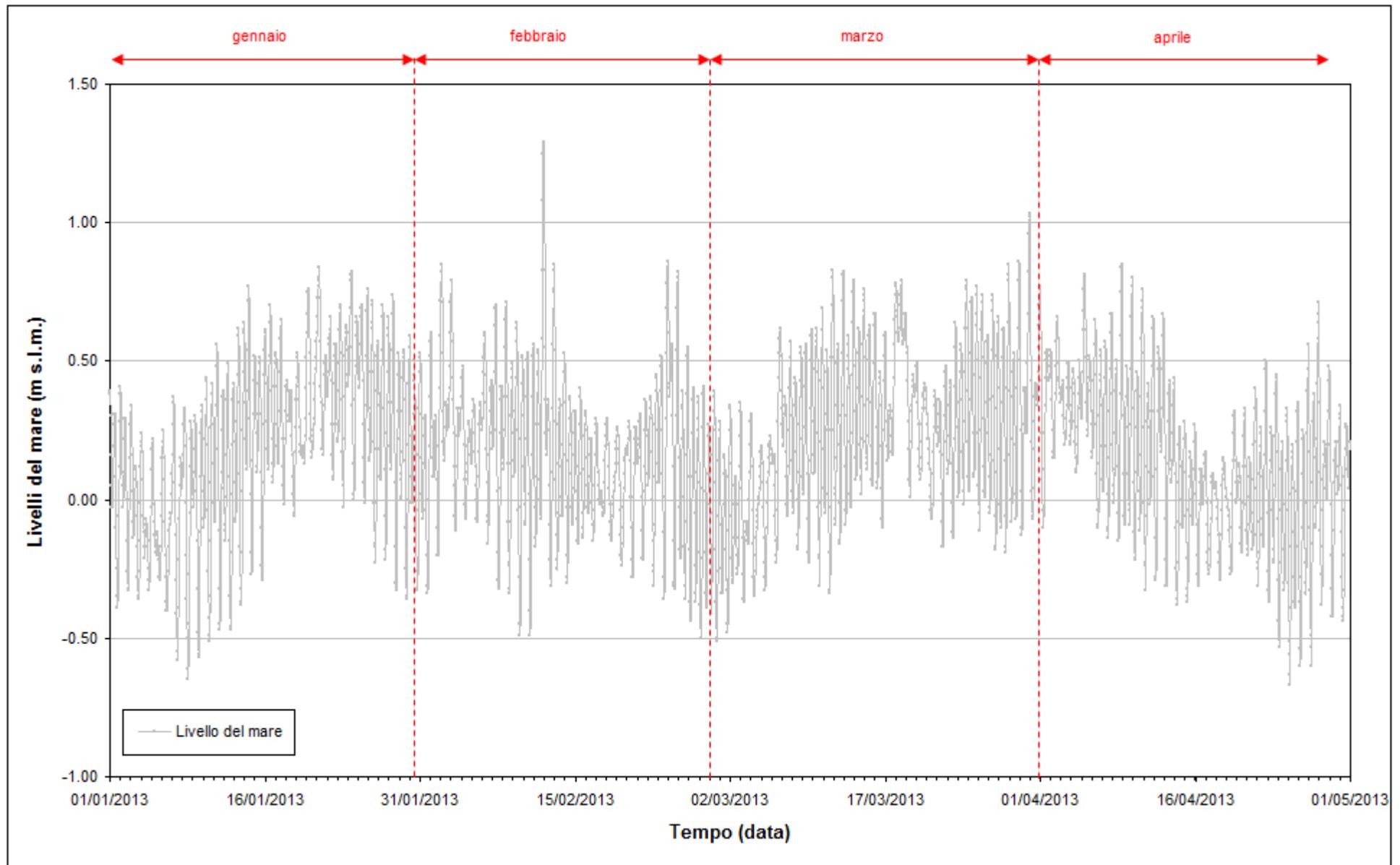


Fig. 2.4 - Livello del mare misurato dal mareografo "Diga Sud Lido". I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

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 Monte Grappa (Fig. 2.5).

In Fig. 2.6 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, con uno scarto medio di circa 6 cm.

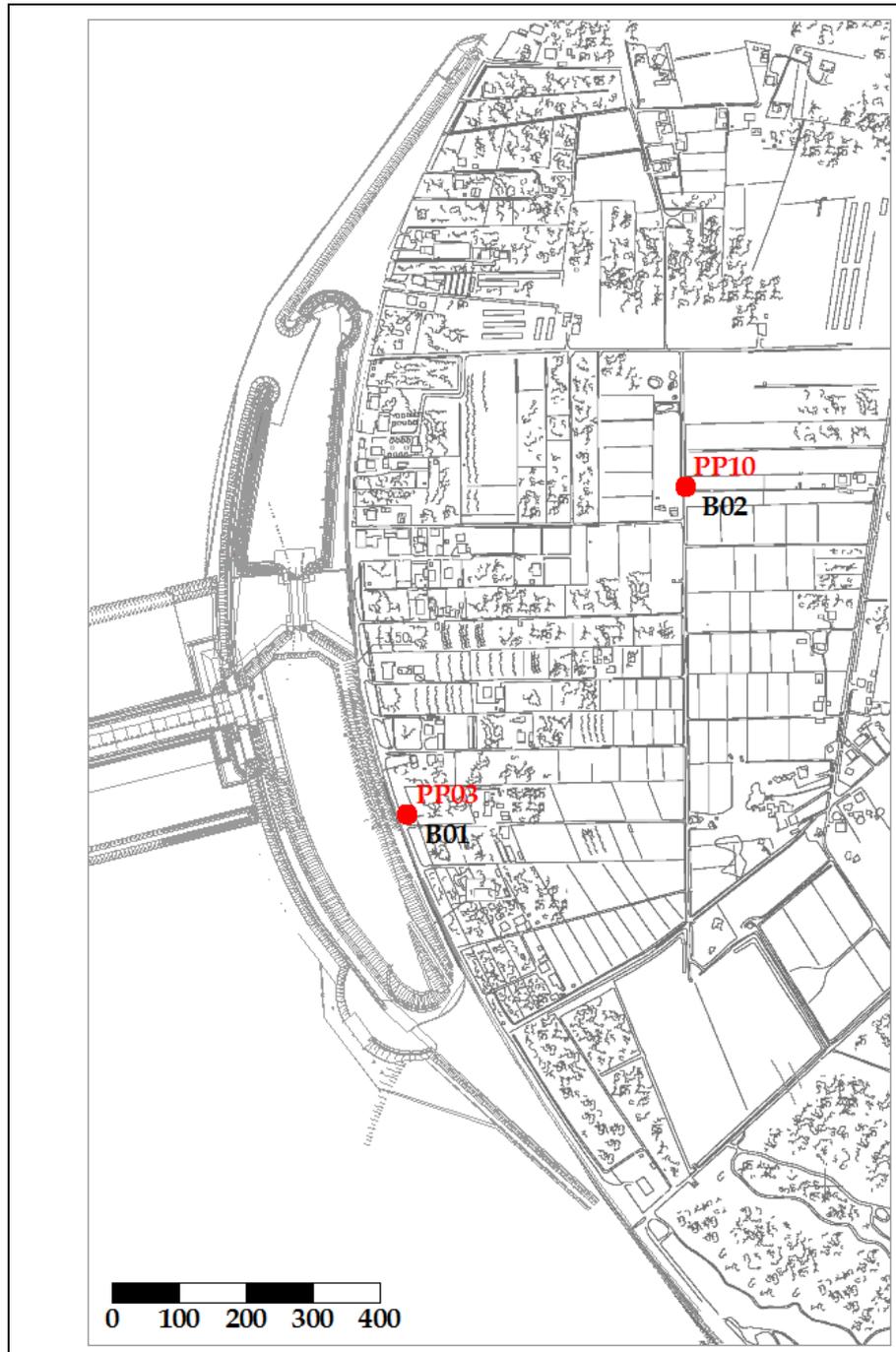
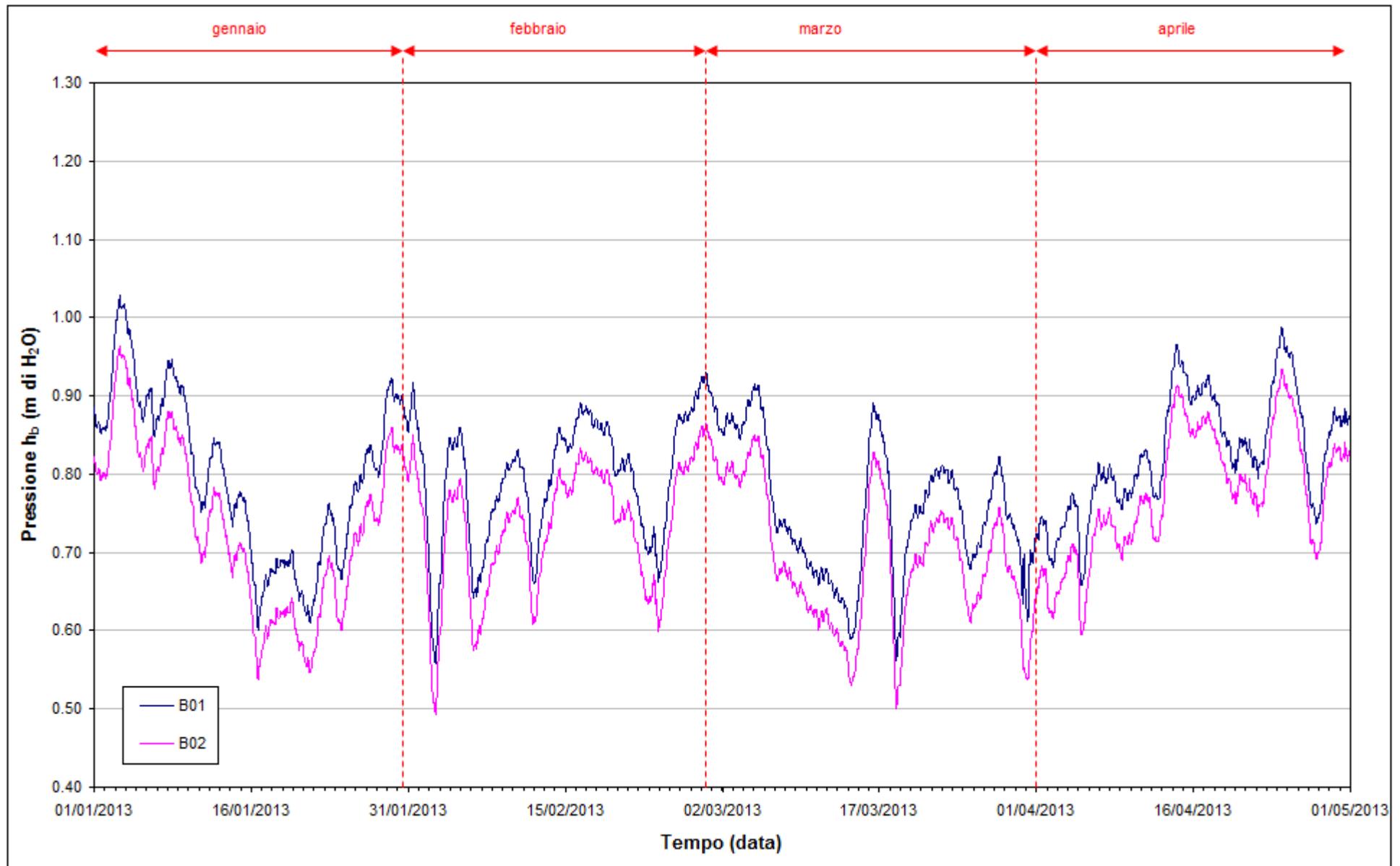


Fig. 2.5 - Ubicazione dei Barologger B01 e B02.

Fig. 2.6 - 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. 2.7 sono riferiti ai quattro mesi di monitoraggio di Fase B (01/01/13 - 30/04/13).

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

- i piezometri PS01 e PS02, posti sul Lungomare Dante Alighieri, sono caratterizzati da un andamento sinusoidale correlato alle dinamiche mareali;
- nei piezometri PS05, PS06, PS07, PS08, PS09, PS10 e PS11, collocati nella porzione più interna dell'area di monitoraggio e quindi più distanti dal mare, e nei piezometri PS03 e PS04 (che mostrano una dinamica simile a quella dei piezometri interni, in seguito alla costruzione del diaframma impermeabile della tura), il livello di falda è influenzato principalmente dalle precipitazioni e dall'evapotraspirazione. Tra l'inizio e la fine del periodo monitorato (01/01/13 - 30/04/13) non si registrano variazioni apprezzabili dei livelli di falda superficiale. Si sono però verificate ampie escursioni di livello, comprese tra circa 70 e 100 cm, a causa delle intense precipitazioni piovose (616.4 mm nel quadrimestre gennaio-aprile 2013, a fronte di una media di 204.8 mm nello stesso periodo, calcolata tra gli anni 1992 e 2012. Fonte: stazione meteorologica "ARPAV Cavallino Treponti") e del loro successivo deflusso verso mare.

A causa di un guasto del trasduttore di pressione, i dati del piezometro PS01 presentano delle anomalie nei mesi di marzo e aprile 2013; inoltre non sono disponibili i dati nel periodo 07-30/04/13.

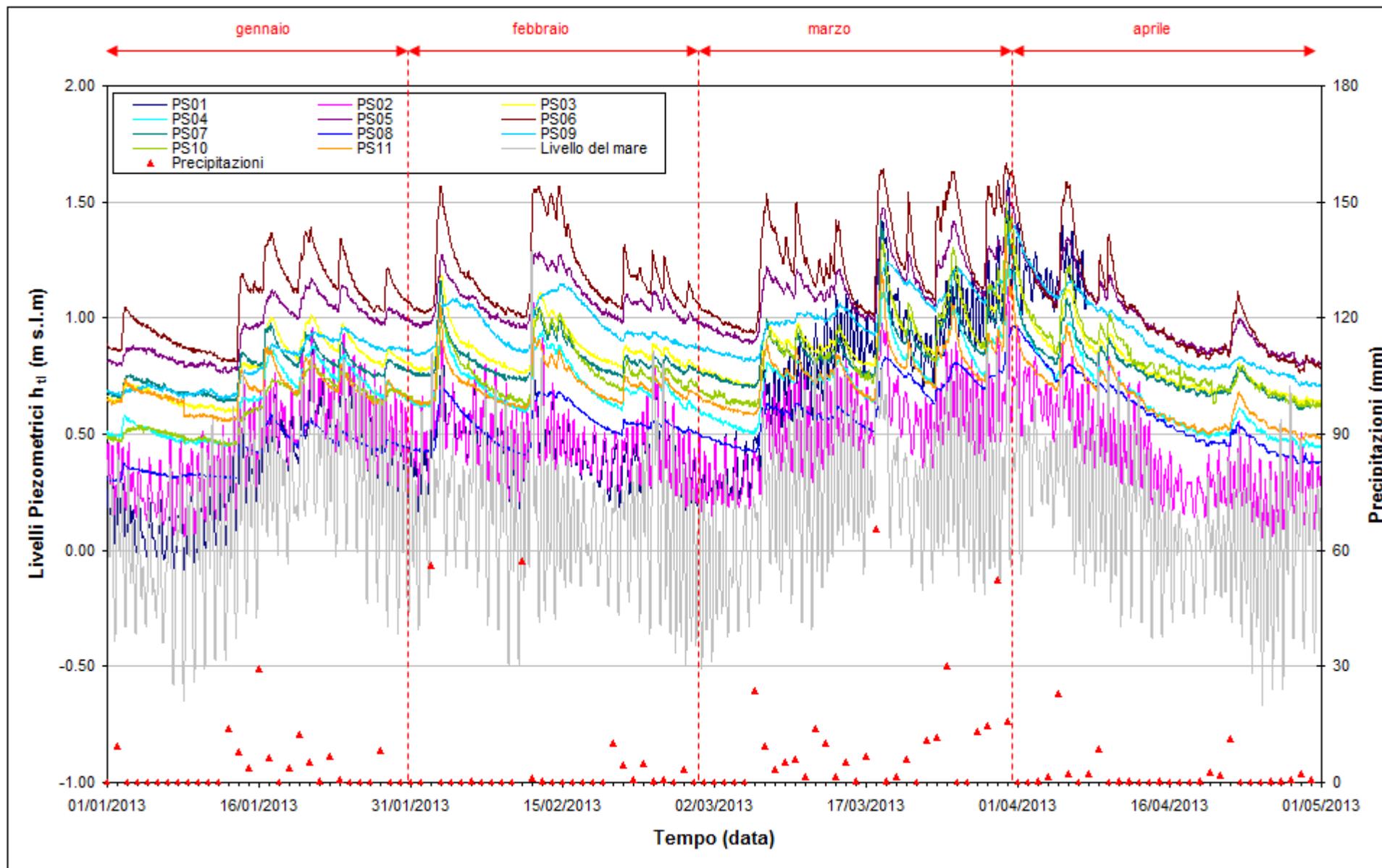


Fig. 2.7 - Livelli piezometrici (h_u) relativi ai piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/01/2013 - 30/04/2013.

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

2.3.2 Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione

In Fig. 2.8 è visualizzato l'andamento dei livelli piezometrici in corrispondenza dei piezometri superficiali maggiormente sensibili all'infiltrazione delle piogge (i piezometri interni e i due piezometri PS03 e PS04), raffrontato con l'andamento delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione, calcolata con il metodo di Blaney-Criddle (Tab. 2.3):

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

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	P	c	ETP [mm/d]	Precipitazioni [mm]
Gennaio	4.7	31	9.2	0.45	1.4	108.4
Febbraio	5.2	28	10.4	0.45	1.8	139.4
Marzo	8.7	31	11.9	0.45	2.1	309.2
Aprile	15.2	30	13.6	0.45	3.1	59.4
TOTALE	8.5	120			248.7 mm	616.4 mm

Il periodo monitorato (01/01/13 - 30/04/13) è stato caratterizzato da intense precipitazioni piovose (616.4 mm nel quadrimestre gennaio-aprile 2013, a fronte di una media di 204.8 mm nello stesso periodo, calcolata tra gli anni 1992 e 2012. Fonte: stazione meteorologica "ARPAV Cavallino Treporti"), molto superiori all'evapotraspirazione potenziale stimata a partire dai dati climatici (totale: 248.7 mm, vedi Tab. 2.3). Non si sono però verificati incrementi apprezzabili dei livelli di falda superficiale tra l'inizio e la fine del quadrimestre di monitoraggio: tale comportamento è attribuibile al rapido deflusso sotterraneo verso il mare, indotto dai forti gradienti di livello di falda (circa 3÷4‰ tra PS06-PS06 e la linea di costa).

Dai confronti in Fig. 2.9 e Fig. 2.10 tra i livelli nel quadrimestre gennaio - aprile, si osserva che i livelli del 2013 sono i più elevati tra quelli registrati dall'inizio del monitoraggio. In particolare, rispetto al 2006 (situazione *ante operam*), i livelli di falda superficiale sono più alti di 30÷50 cm; rispetto al 2012, quando si registrarono i livelli più bassi nella falda superficiale, l'aumento dei livelli medi di falda è pari a 45÷100 cm. Tale differenza è attribuibile alle intense precipitazioni piovose: il valore totale (616.4 mm) è il più alto per il periodo gennaio-aprile a partire dall'inizio del monitoraggio.

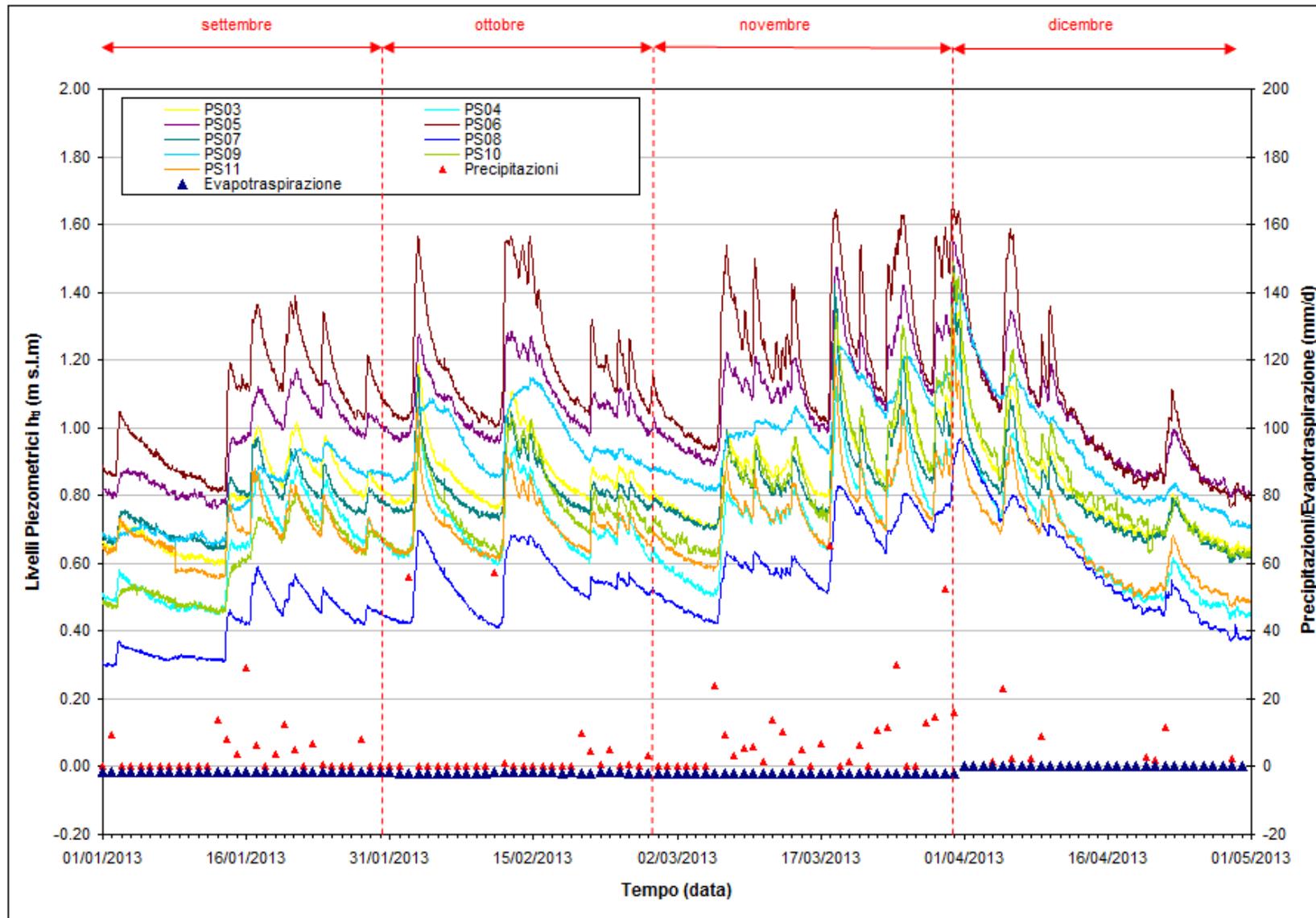


Fig. 2.8 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali maggiormente sensibili alle precipitazioni e all'evapotraspirazione.

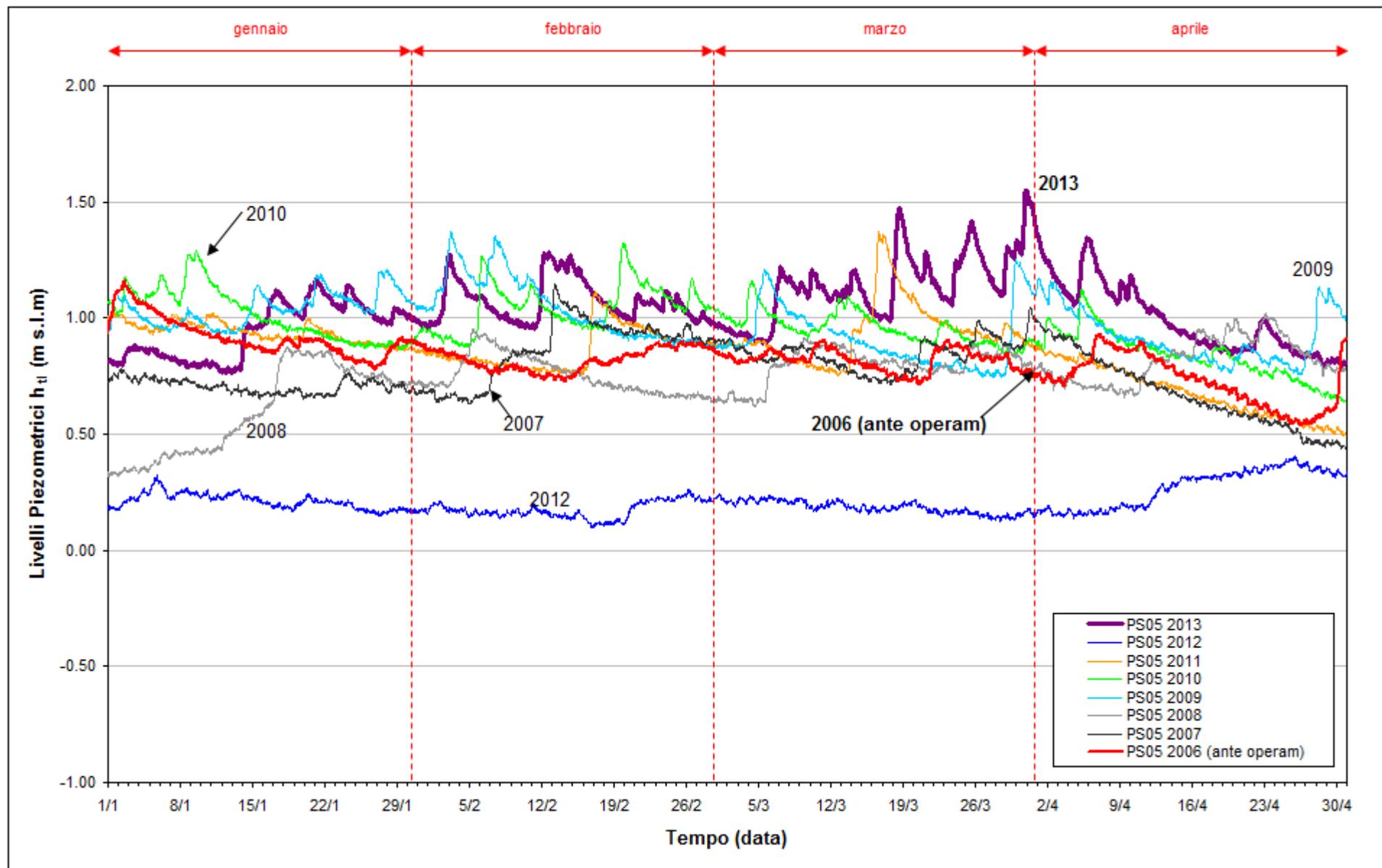
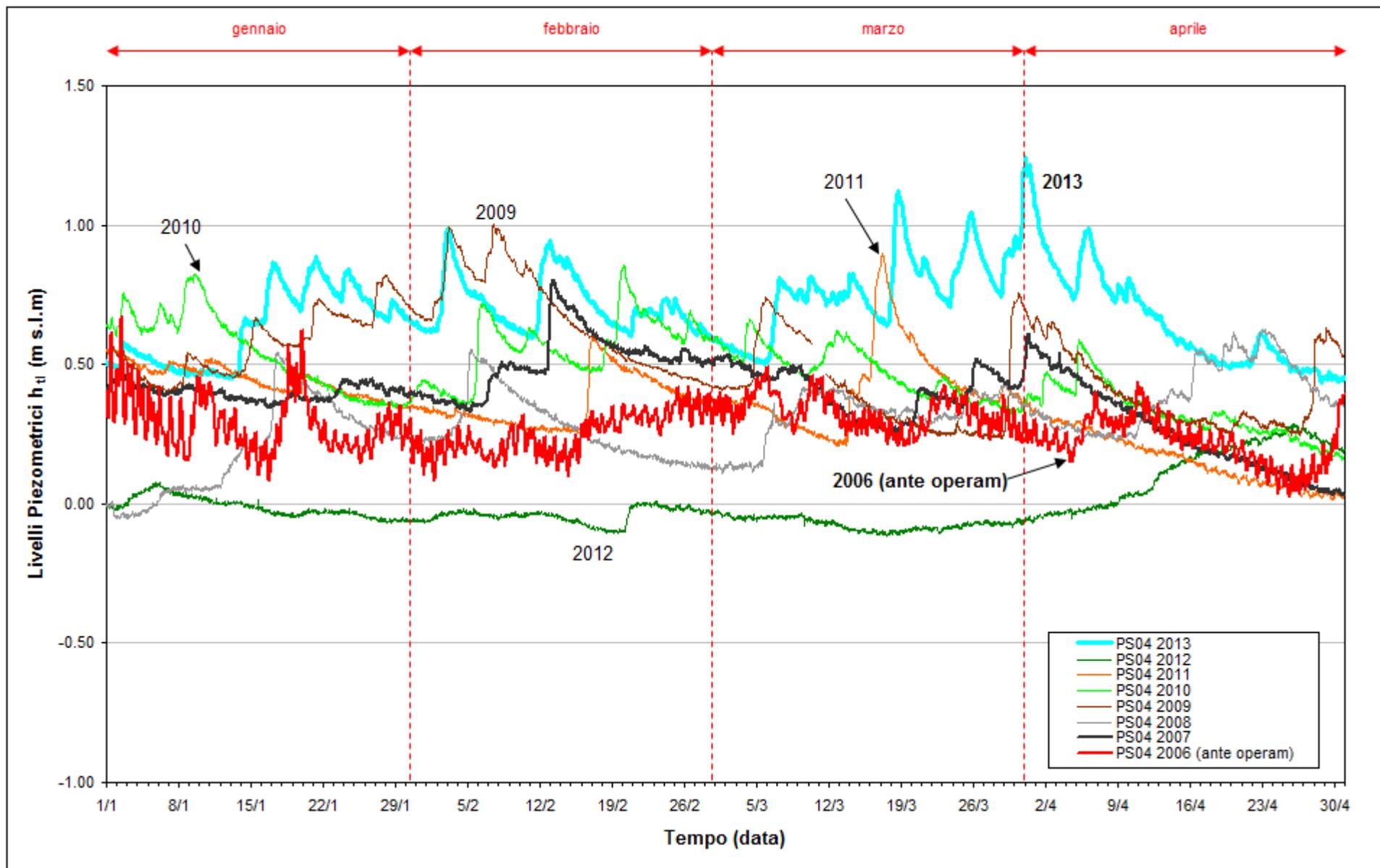


Fig. 2.9 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_t) nel piezometro PS05 nel periodo gennaio - aprile degli anni 2006÷2013.

Fig. 2.10 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_u) nel piezometro PS04 nel periodo gennaio - aprile degli anni 2006+2013.

2.3.3 *Effetti delle oscillazioni mareali*

In Fig. 2.11 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 dal mareografo Diga Sud Lido.

Le due serie temporali seguono andamenti caratterizzati da una ciclicità che è tipica delle evoluzioni mareali. Si verificano, infatti, incrementi di ampiezza e frequenza del fenomeno oscillatorio in corrispondenza del plenilunio e del novilunio. In corrispondenza dei quarti di luna, invece, le oscillazioni sono meno frequenti e più smorzate. Il periodo di oscillazione dei livelli nei piezometri varia da 12 h (novilunio e plenilunio) a 24 h (durante le fasi di quadratura lunare). Da un'analisi dei dati è possibile riscontrare uno sfasamento 1 - 2 ore tra le oscillazioni mareali e quelle piezometriche.

A causa di un guasto del trasduttore di pressione, i dati del piezometro PS01 presentano delle anomalie nei mesi di marzo e aprile 2013, inoltre non sono disponibili i dati nel periodo 07-30/04/13.

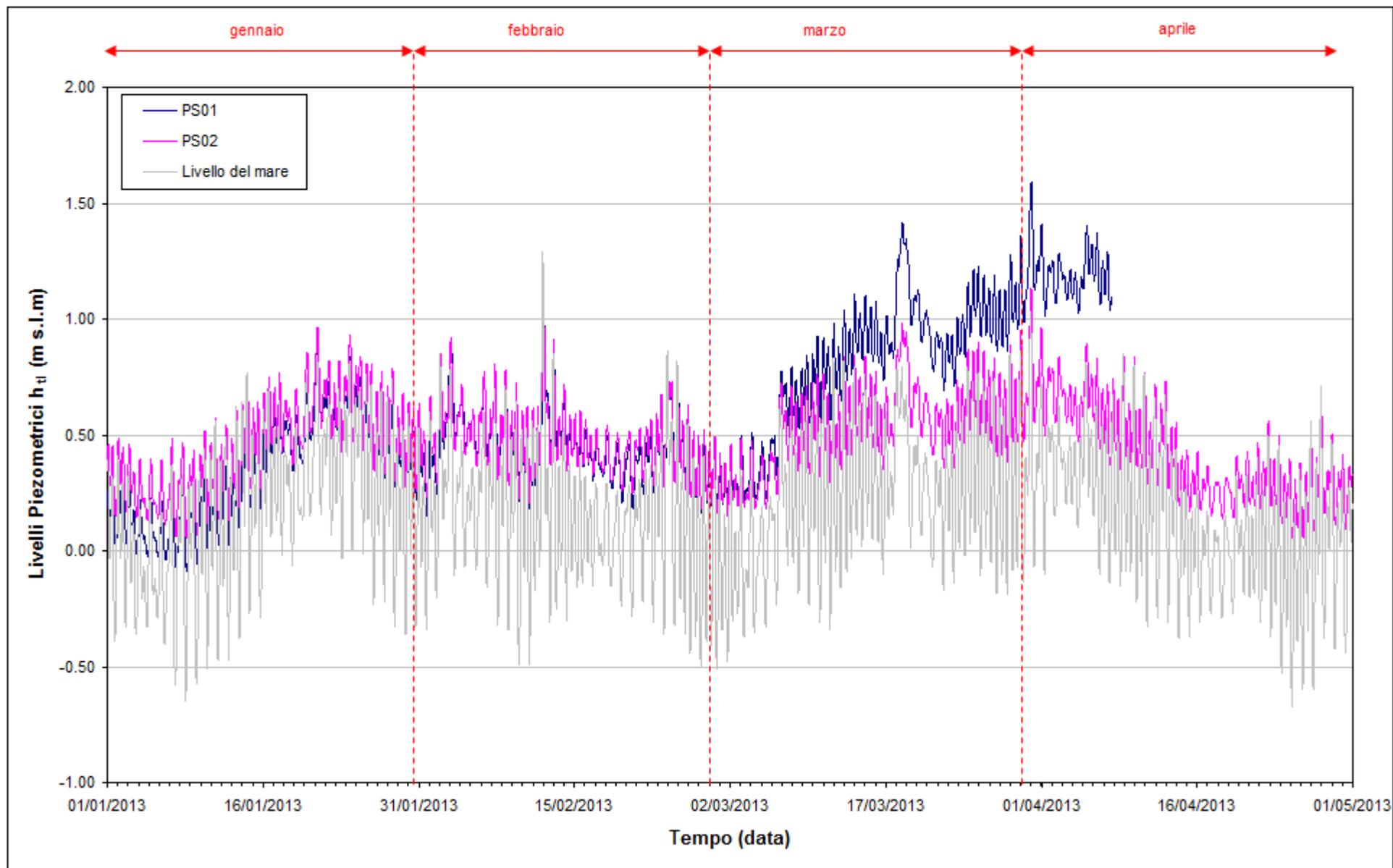


Fig. 2.11 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali PS01, PS02 e livelli del mare.

2.4 Piezometri profondi - secondo livello acquifero (Strato C)

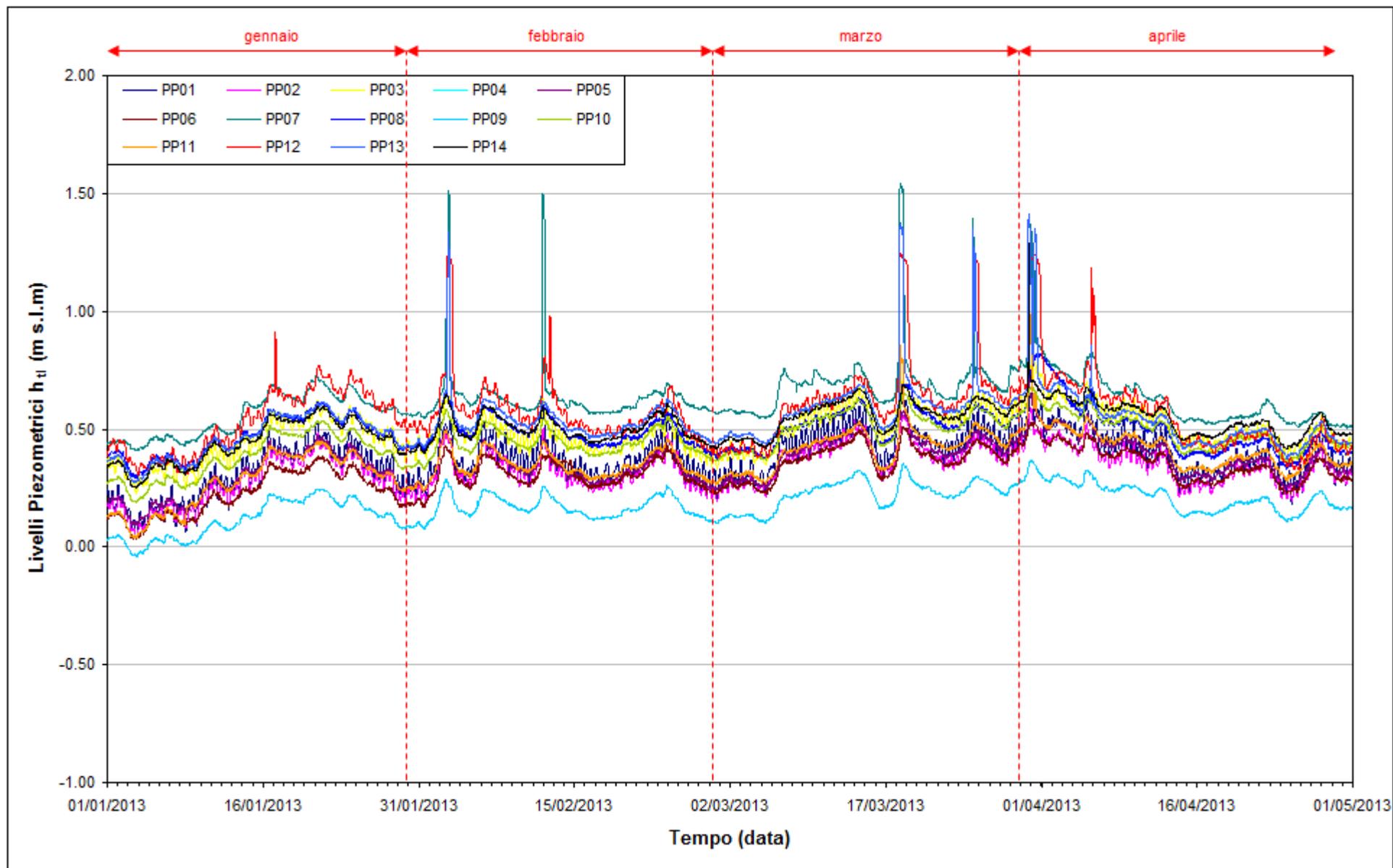
Di seguito verranno presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti nei 14 piezometri profondi finestrati in corrispondenza del secondo livello acquifero (Strato C), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

2.4.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_H

I dati riportati in Fig. 2.12 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio gennaio - aprile 2013.

Il pompaggio di dewatering è stato interrotto nel mese di marzo 2012 e il recupero della configurazione *ante operam* si è completato nel mese di agosto 2012. L'andamento dei livelli di falda profonda è ora influenzato dalle variazioni di pressione atmosferica e del livello medio del mare, come è possibile osservare in Fig.2.14.

Tra l'inizio e la fine del periodo monitorato (01/01/13 - 30/04/13) non si osservano variazioni apprezzabili del carico idraulico nei piezometri profondi.

Fig. 2.12 - Livelli piezometrici (h_u) relativi ai piezometri profondi.

2.4.2 *Effetti mareali*

In Fig. 2.13 è possibile confrontare i tracciati di misura dei trasduttori posizionati in corrispondenza dei piezometri PP01÷PP04, 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÷04 è più ridotta rispetto a quella registrata nei piezometri superficiali PS01 e PS02 (mentre i piezometri PS03 e PS04 non risentono delle oscillazioni mareali, a causa dell'isolamento prodotto dal diaframma impermeabile della tura).

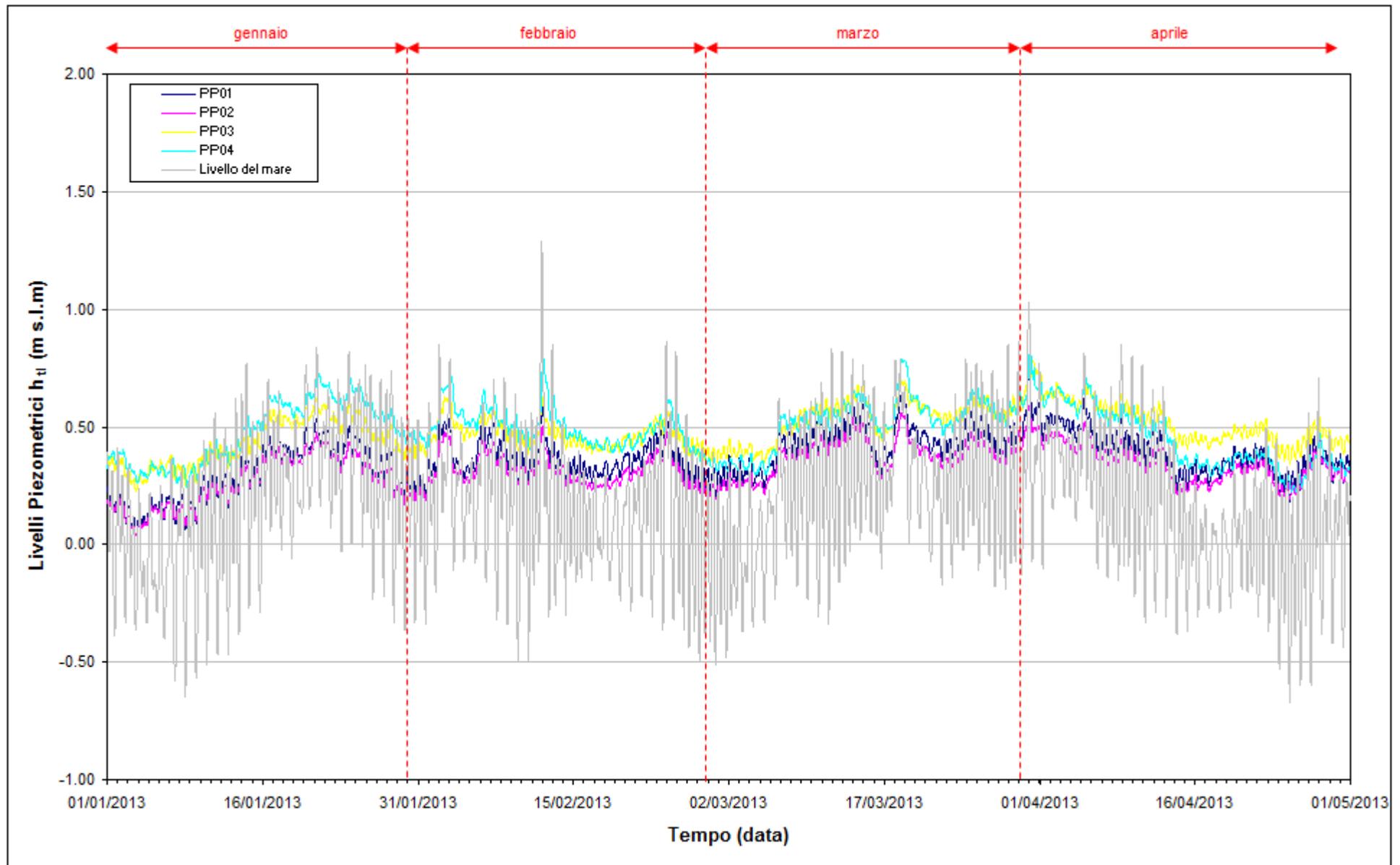


Fig. 2.13- Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP04 e livelli del mare.

2.4.3 *Effetti barometrici*

In Fig. 2.14, dove sono riportati i tracciati piezometrici associati al livello medio del mare e al tracciato barometrico del trasduttore 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 i periodi 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.

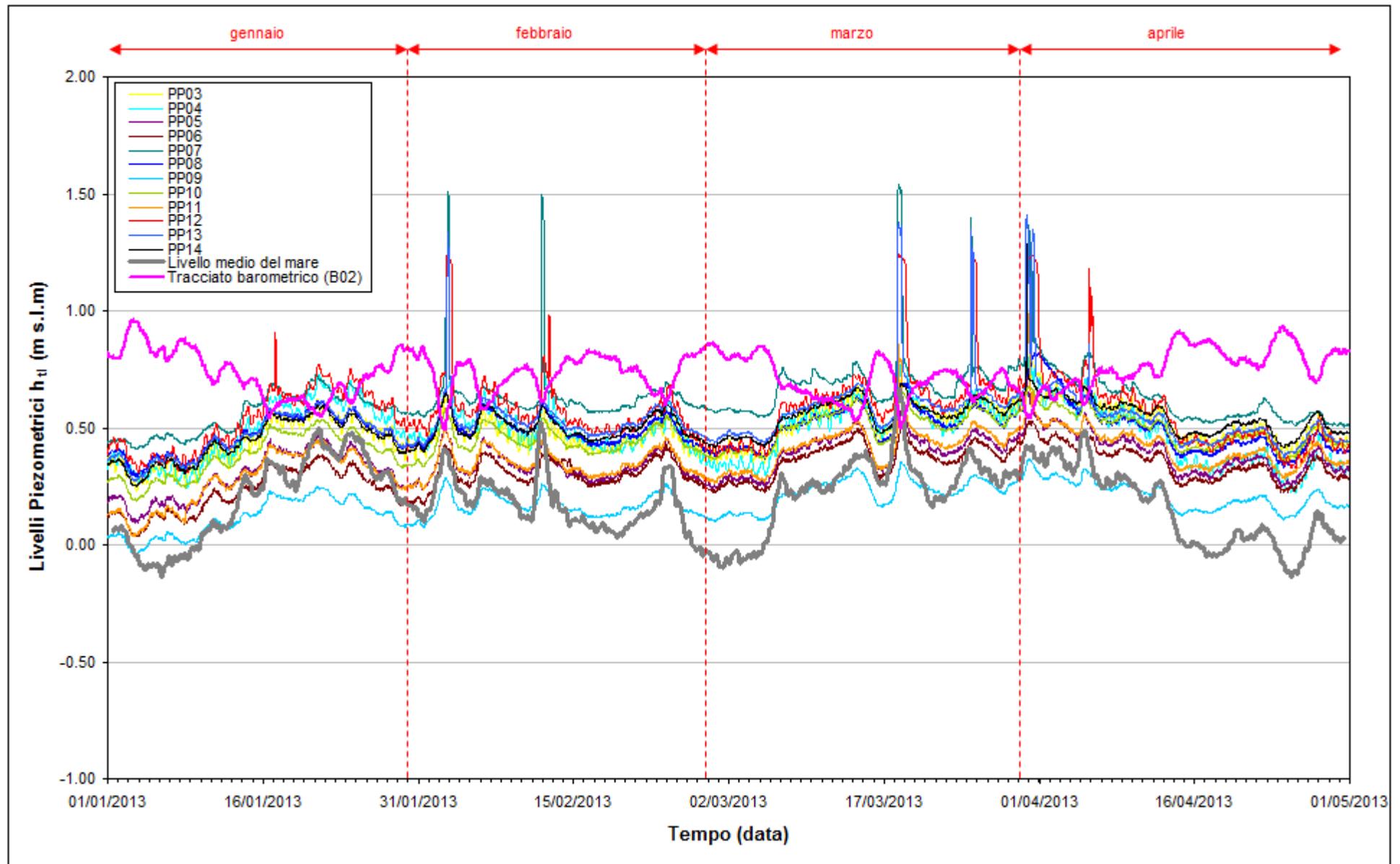


Fig. 2.14 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10, PP11, livelli medi del mare e tracciato barometrico.

2.4.4 Effetti antropici

Nel mese di marzo 2012, essendo terminata la prefabbricazione dei cassoni di alloggiamento delle barriere mobili, la Direzione Lavori ha comunicato l'interruzione di pompaggio in corrispondenza della tura. Di conseguenza, si è verificata una risalita dei carichi idraulici, che si sono riportati su valori simili a quelli della configurazione *ante operam*, come si può osservare in Fig. 2.15 dal confronto tra le serie temporali del piezometro PP04 nel periodo gennaio - aprile negli anni tra il 2006 (condizione *ante operam*) e il 2013.

Allo stato attuale, quindi, l'acquifero profondo non risente più in modo apprezzabile delle operazioni di cantiere.

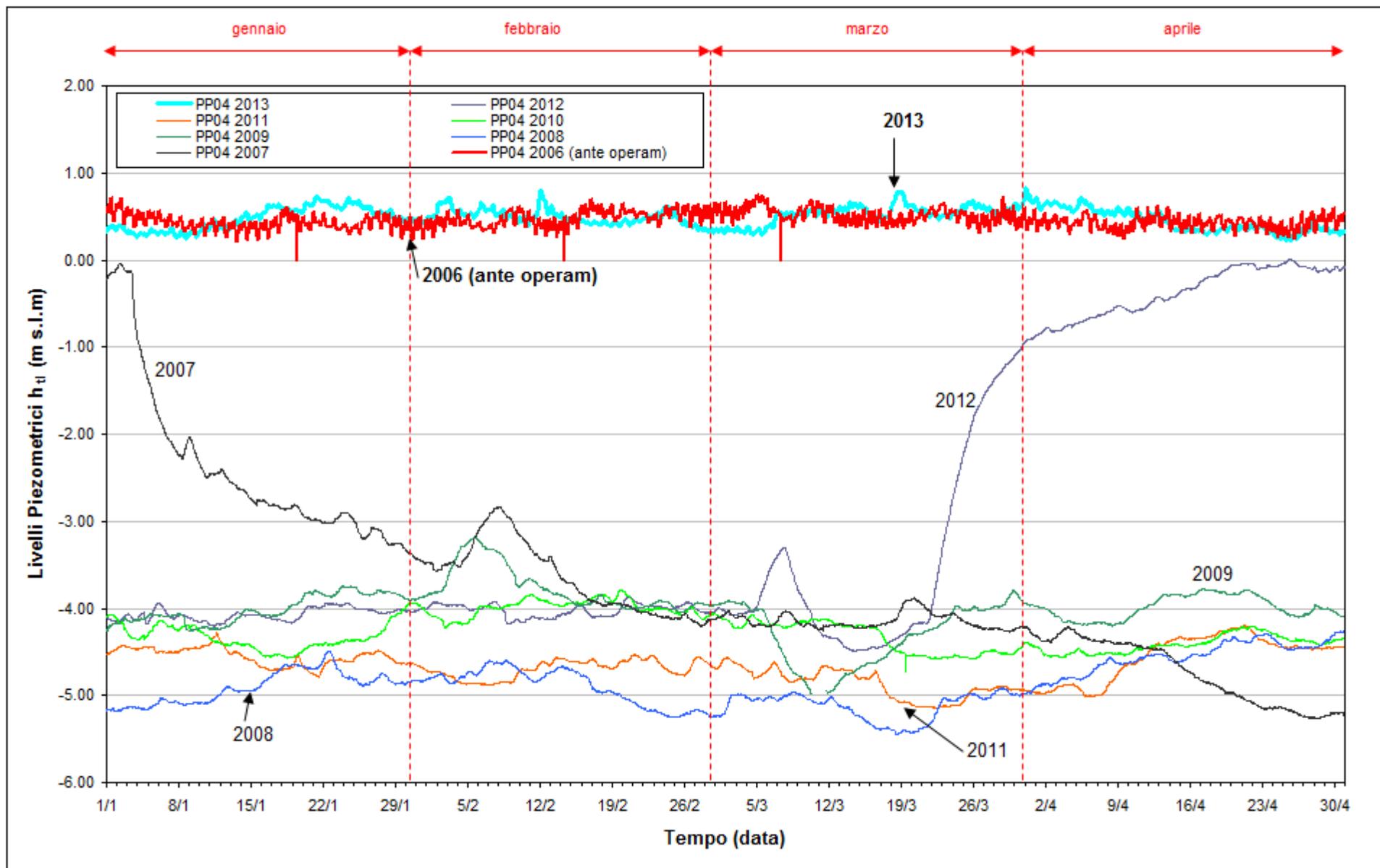


Fig. 2.15 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_u) nel piezometro PP04 nel periodo gennaio - aprile degli anni 2006÷2013.

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.

A causa di un guasto del trasduttore di pressione, i dati del piezometro PS01 presentano delle anomalie nei mesi di marzo e aprile 2013, inoltre non sono disponibili i dati nel periodo 07-30/04/13.

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 dell'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:

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

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.

Nel periodo monitorato, si osserva una diminuzione della densità dell'acqua di falda nei piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP05, PP06, PP07, PP09, PP11 e nei piezometri superficiali PS02, PS03, PS04, PS05, PS07, PS08, PS11. Tale variazione è attribuibile alle intense precipitazioni avvenute nel quadrimestre monitorato.

Nei piezometri PP08, PS01, PS06 e PS10 si osserva un incremento della densità dell'acqua di falda, mentre nelle altre postazioni (PP10, PS09) non si osservano variazioni apprezzabili.

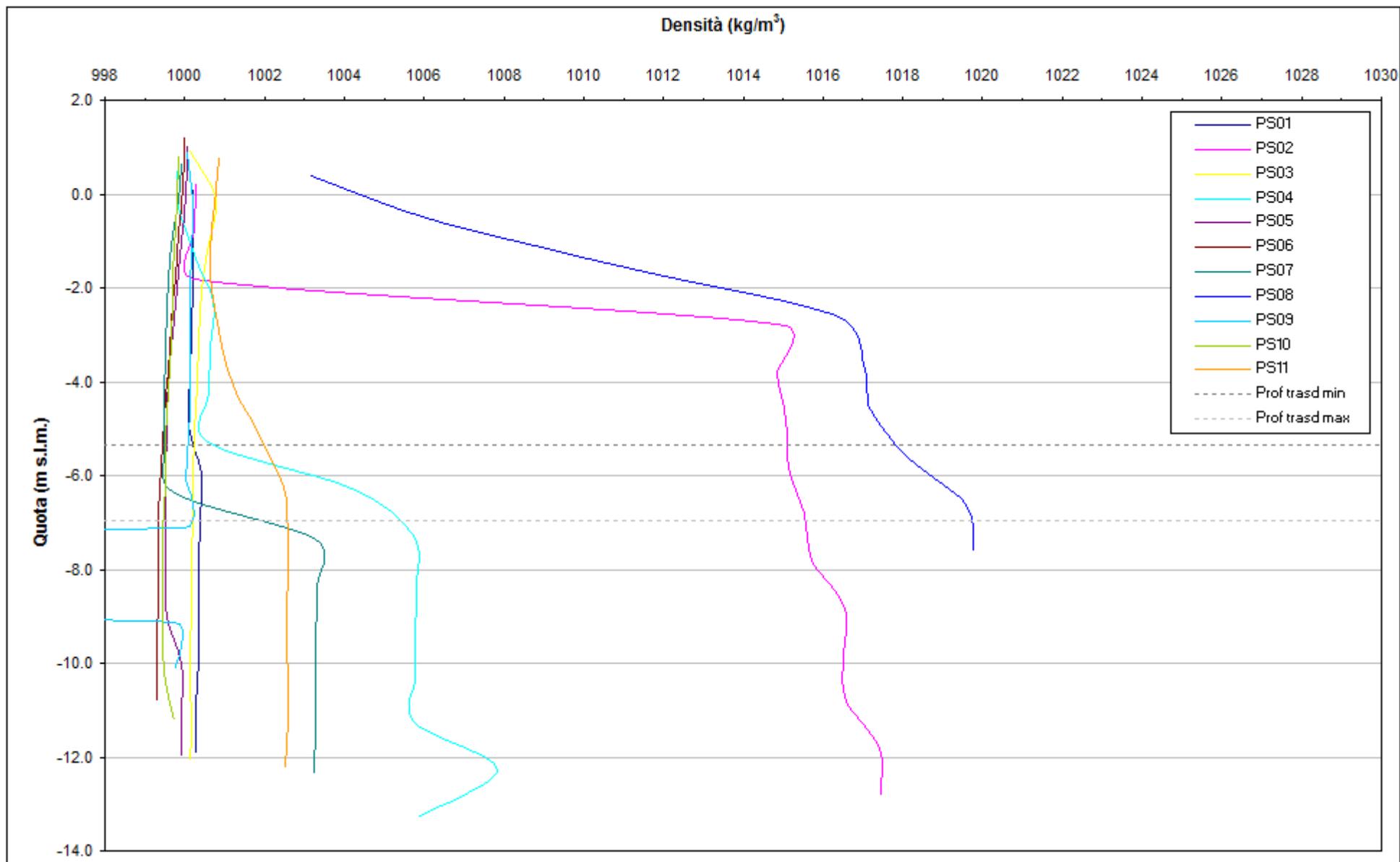


Fig. 4.1- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 05/02/2013.

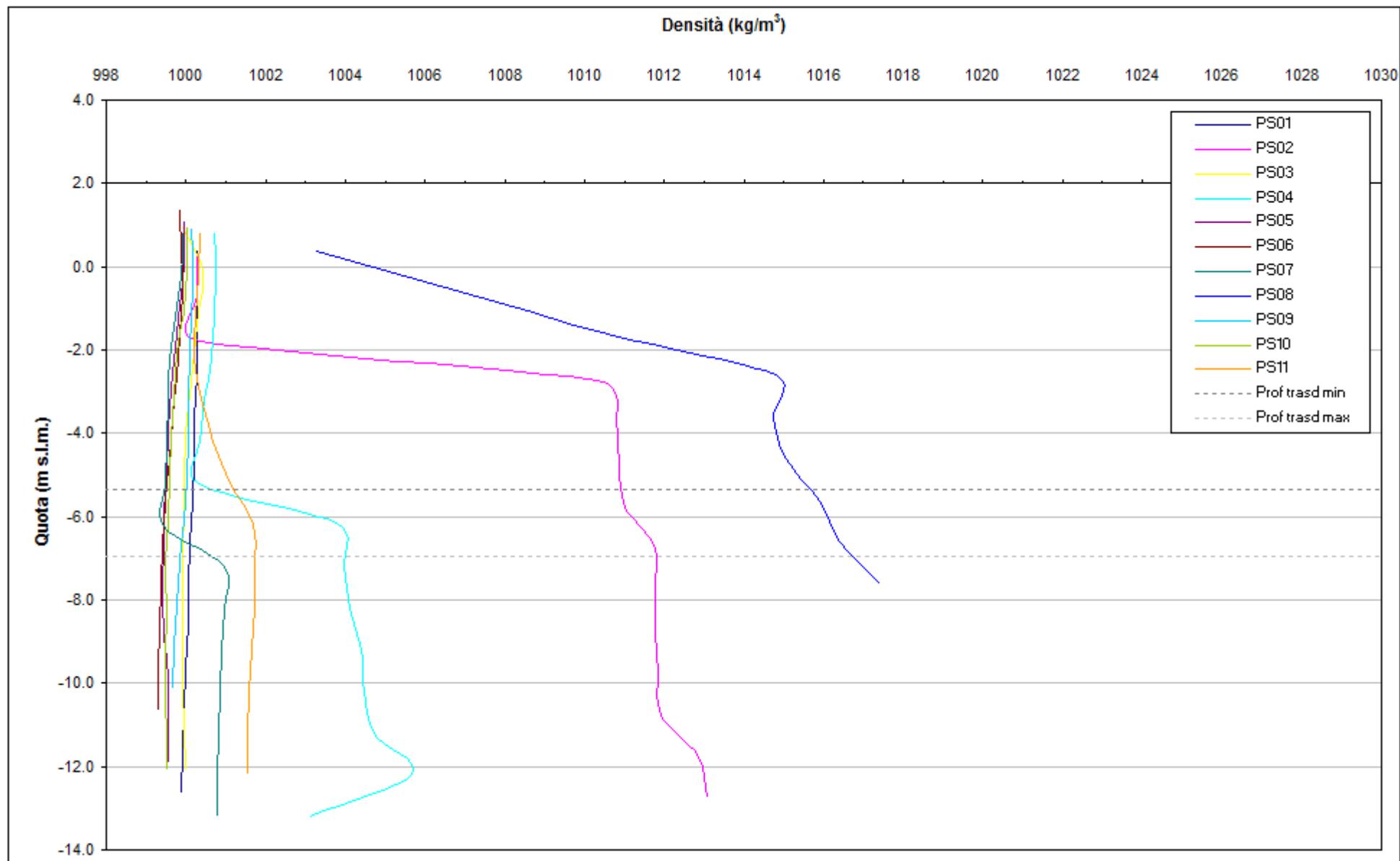


Fig. 4.2- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 08/03/2013.

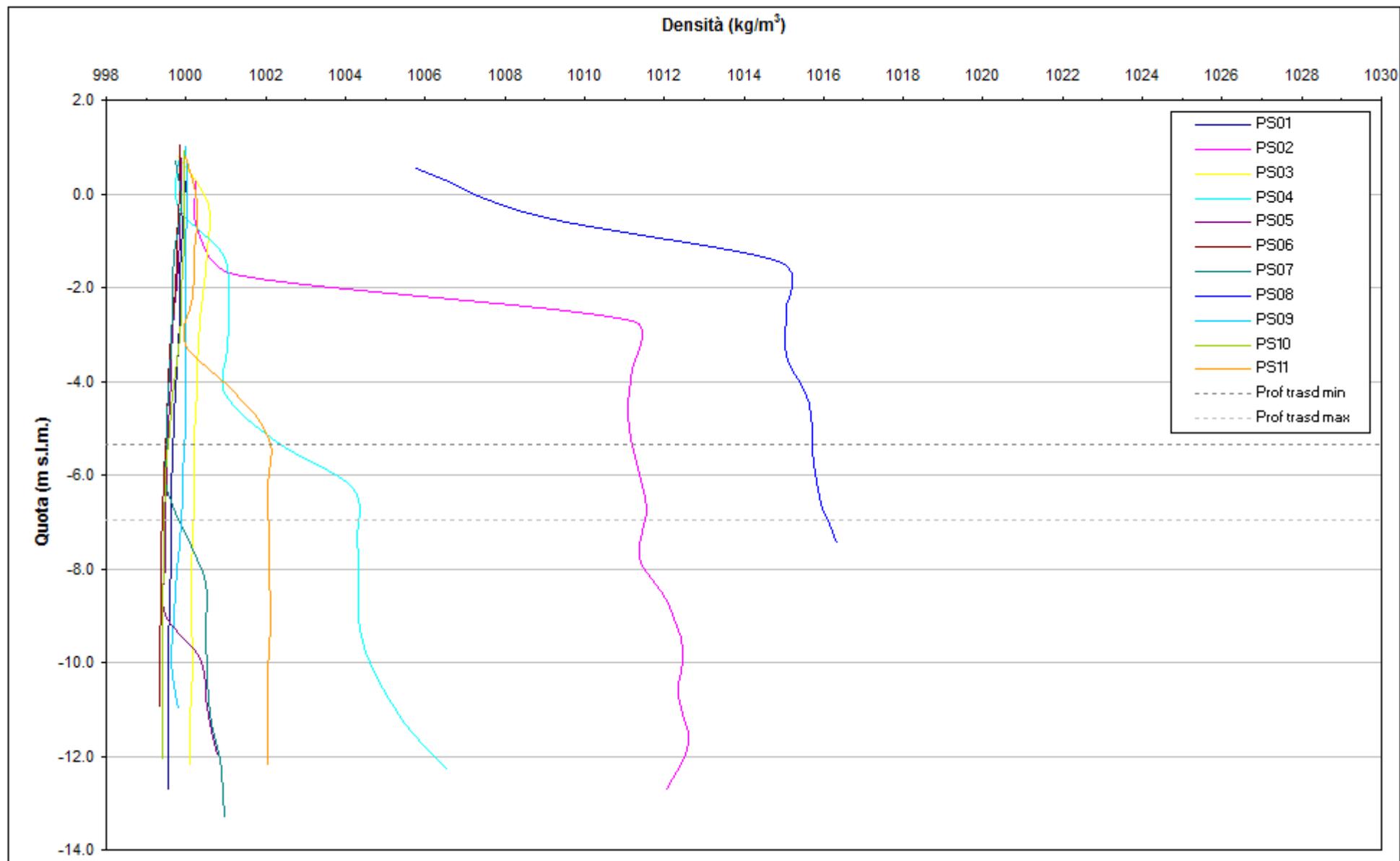


Fig. 4.3 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 04/04/2013.

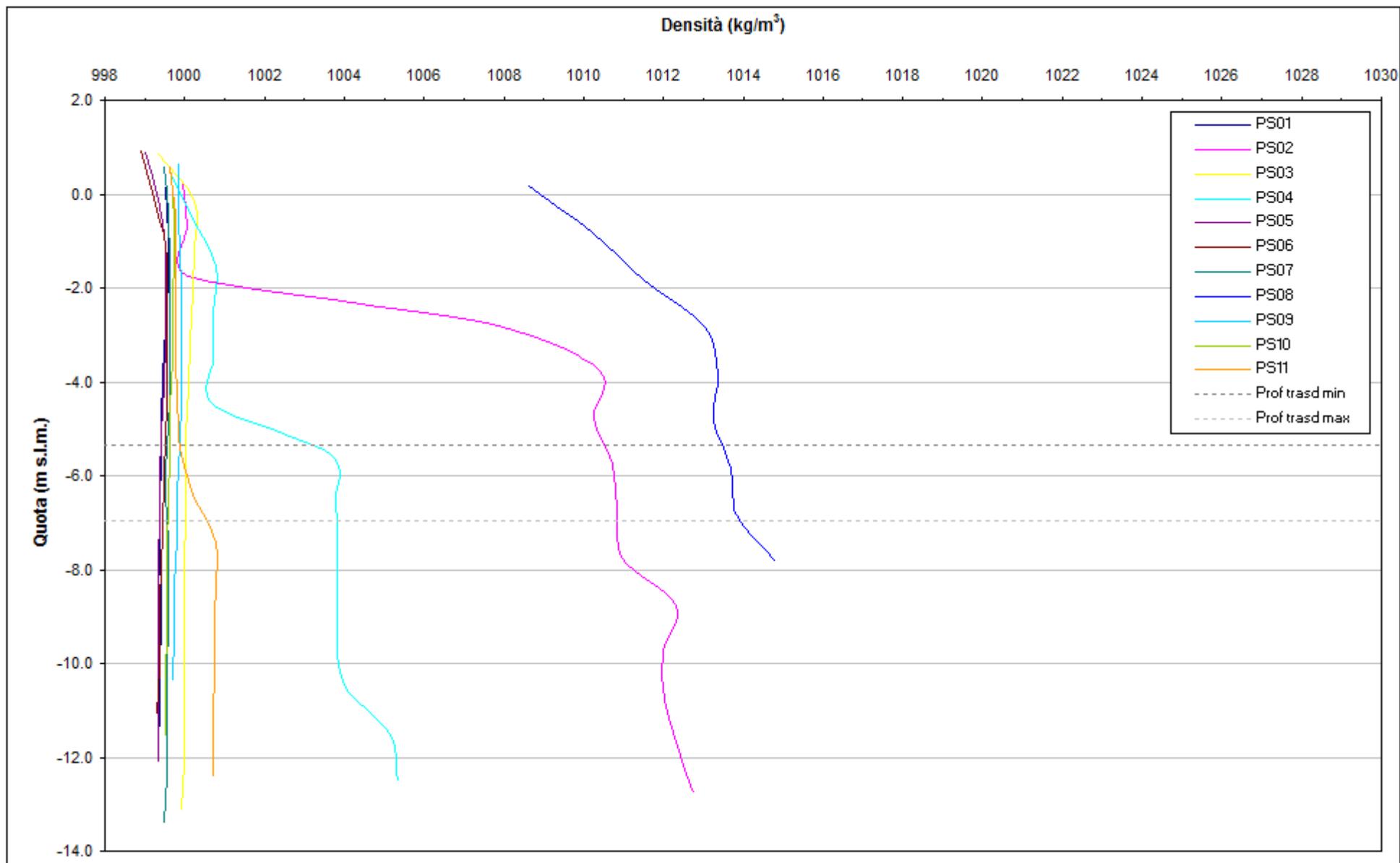


Fig. 4.4 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 07-08/05/2013.

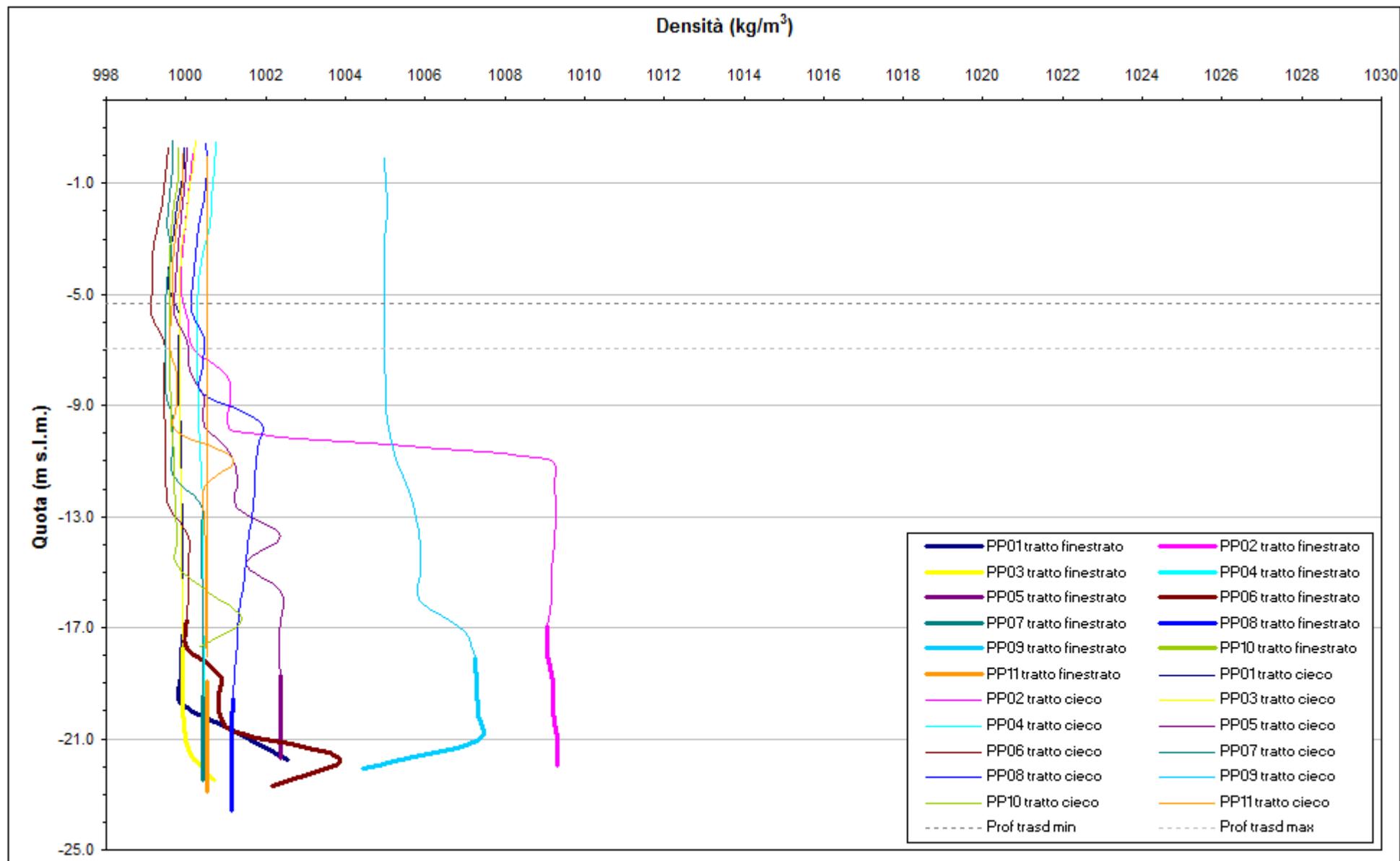


Fig. 4.5 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 05/02/2013.

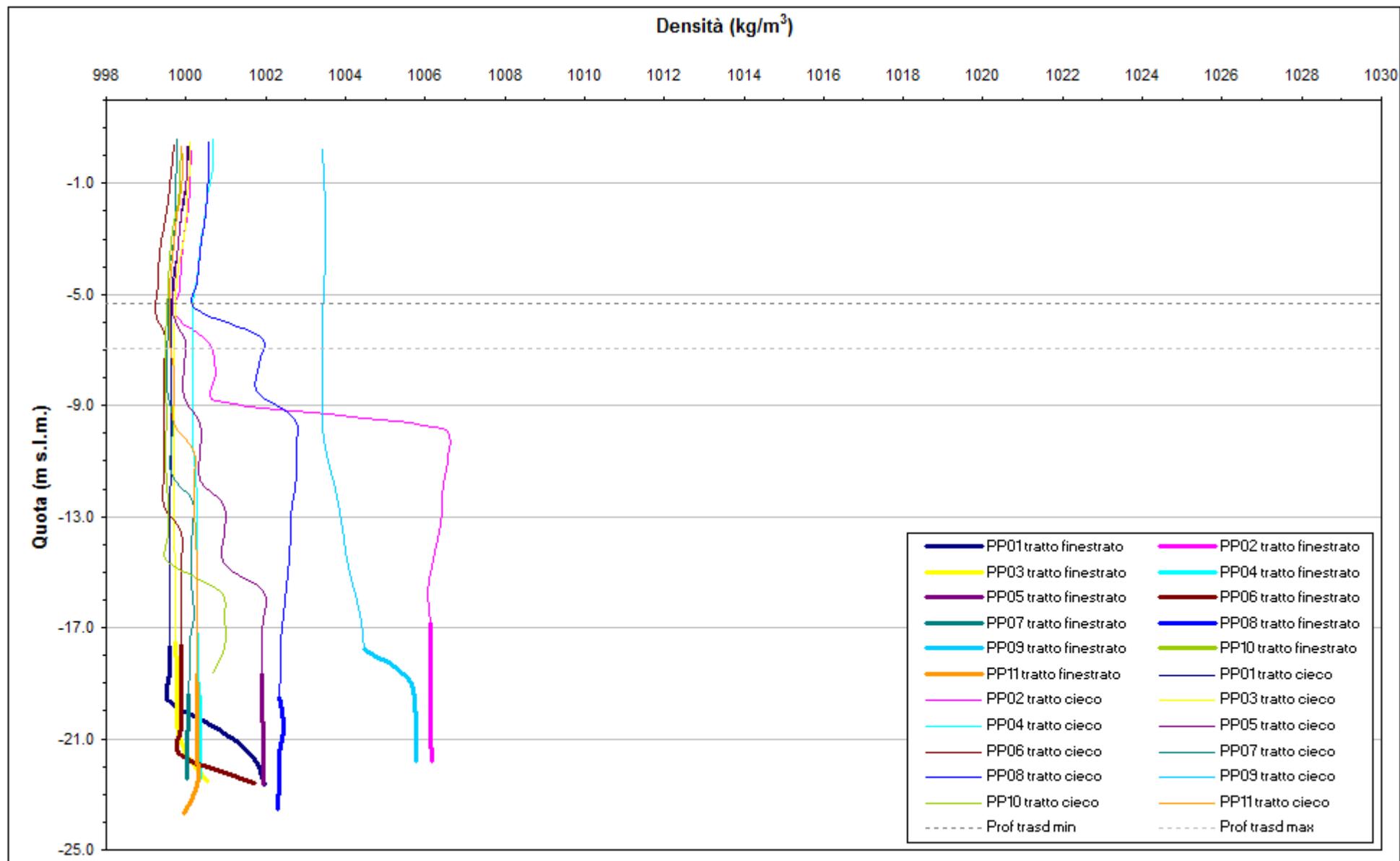


Fig. 4.6- Profili verticali di densità piezometri profondi - 08/03/2013.

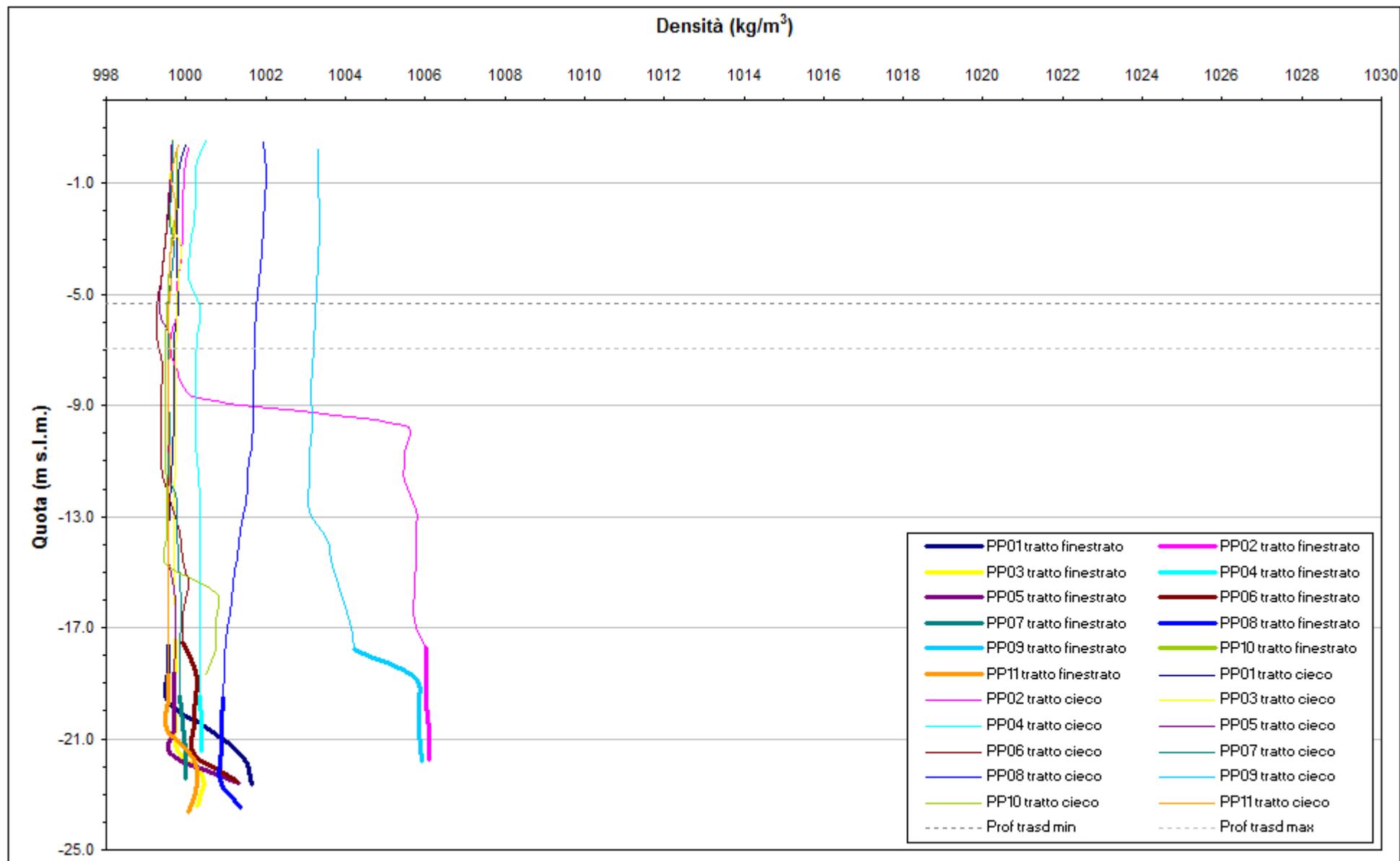


Fig. 4.7 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 04/04/2013.

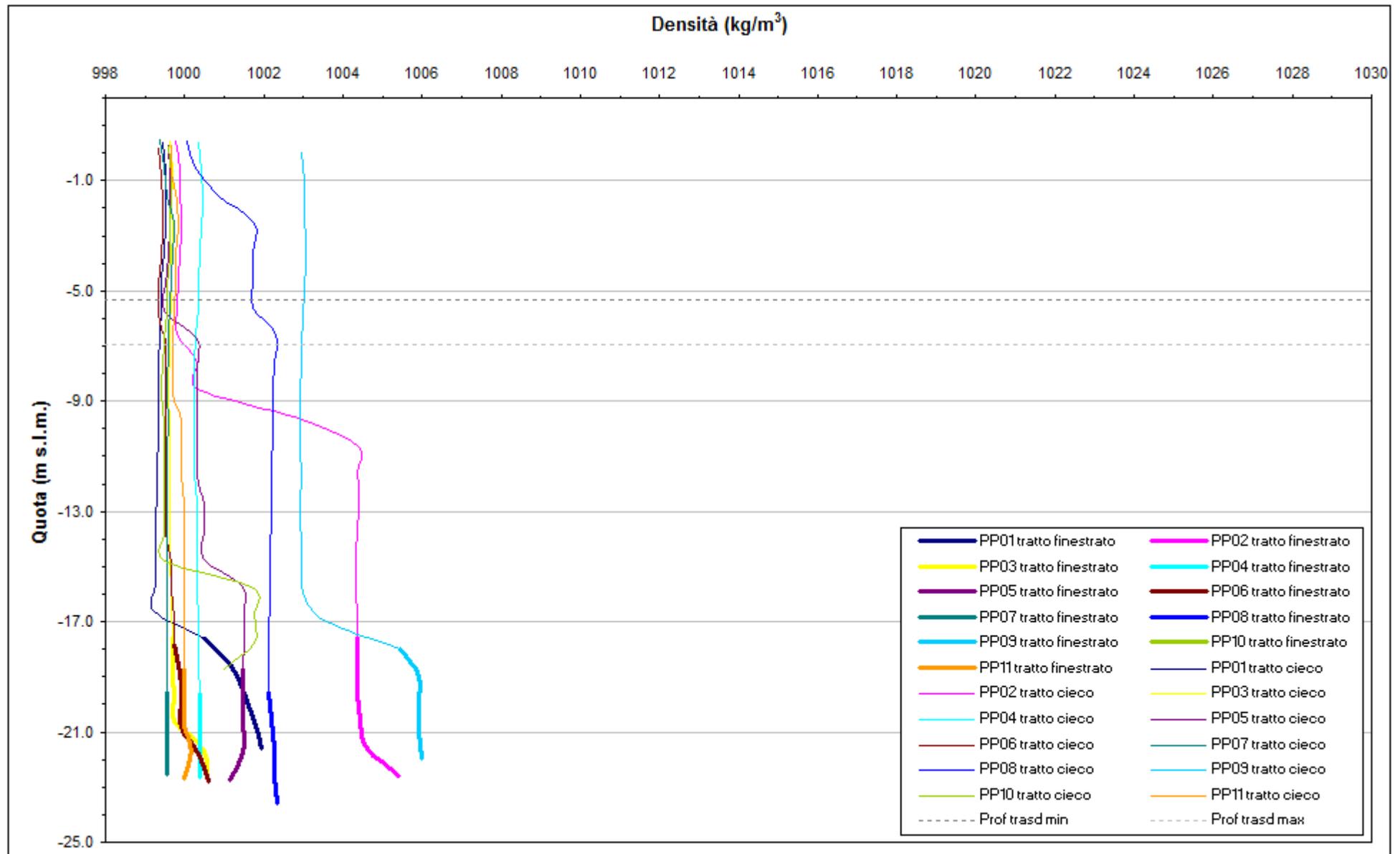


Fig. 4.8 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 07-08/05/2013.

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; Fig. 5.1 e Fig. 5.2). Dalle carte piezometriche dell'acquifero superficiale (Figg.5.3÷5.7) e dell'acquifero profondo (Figg.5.8÷5.12) 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
Gennaio	15 Gennaio 2013 - h. 6:00
Febbraio	15 Febbraio 2013 - h. 9:00
Marzo	19 Marzo 2013 - h. 6:00
Aprile	17 Aprile 2013 - h. 7:00

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

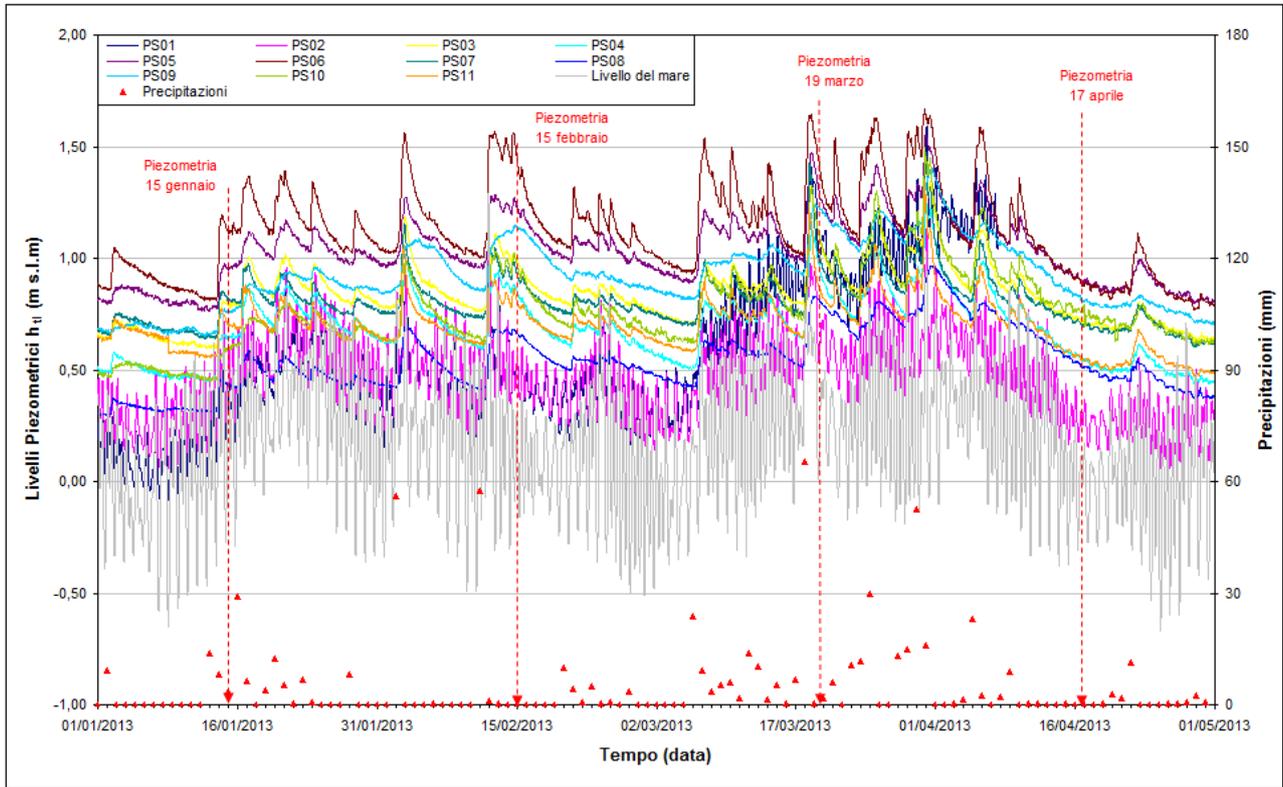


Fig. 5.1 - Elaborazione delle piezometrie superficiali.

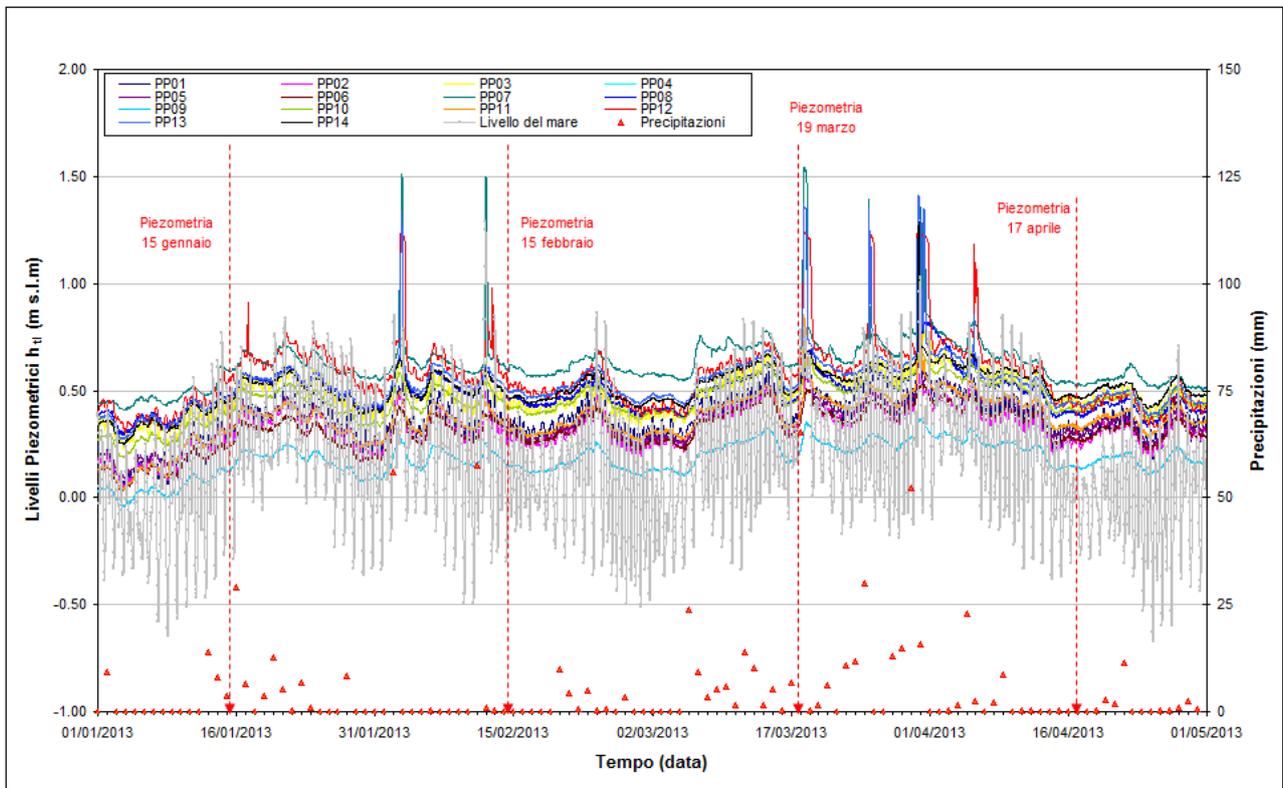


Fig. 5.2- Elaborazione delle piezometrie profonde.

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

5.1.1 *Piezometria superficiale*

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

Tab. 5.2- Livelli piezometrici h_{HI} relativi al Primo livello acquifero: Fase A e quattro date di riferimento.

	X (m)	Y (m)	Date				
			Fase A	15/01/13 h.6	15/02/13 h.9	19/03/13 h.6	17/04/13 h.7
PS01	2318325.88	5035253.68	0.271	0.347	0.368	n.d	n.d.
PS02	2318303.30	5034900.48	nd	0.433	0.378	0.734	0.182
PS03	2318377.62	5034552.61	0.331	0.799	0.956	1.147	0.709
PS04	2318449.34	5034373.27	0.147	0.653	0.821	1.023	0.543
PS05	2318582.01	5034989.80	0.799	0.961	1.189	1.350	0.895
PS06	2318658.27	5034750.84	0.843	1.121	1.354	1.475	0.882
PS07	2318785.95	5034898.62	0.654	0.808	0.885	1.051	0.706
PS08	2318799.69	5034032.43	0.345	0.431	0.647	0.821	0.513
PS09	2318764.67	5035448.00	0.638	0.765	1.130	1.232	0.814
PS10	2318792.99	5035043.94	0.634	0.607	0.911	1.138	0.742
PS11	2318787.28	5034652.23	0.673	0.698	0.774	0.899	0.547

Durante il quadrimestre di monitoraggio si osserva una crescita dei livelli di falda superficiale tra i mesi di gennaio e marzo 2013, attribuibile alle precipitazioni molto intense avvenute in questi mesi (in particolare durante marzo, con un totale di 309.2 mm a fronte di una media di 46.7 mm negli anni 1992÷2012. Fonte: stazione meteorologica "ARPAV - Cavallino Treporti"), mentre ad aprile si è verificata una diminuzione dei livelli, attribuibile al deflusso sotterraneo delle precipitazioni infiltratesi precedentemente.

Tra l'inizio e la fine del periodo di monitoraggio (01/01/13 - 30/04/13) non si osservano variazioni apprezzabili dei livelli di falda superficiale.

La distribuzione spaziale dei livelli di falda superficiale registrata alla fine del periodo monitorato (aprile 2013) è simile alla configurazione *ante operam* (fase A, novembre 2005), ad eccezione dei piezometri PS03 e PS04 nei quali il livello di falda è più elevato di circa 35 cm: tale variazione è attribuibile all'effetto-diga del bacino sud del porto rifugio, utilizzato tra il 2007 e il 2012 come tura provvisoria per la prefabbricazione dei cassoni di alloggiamento delle barriere mobili.

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

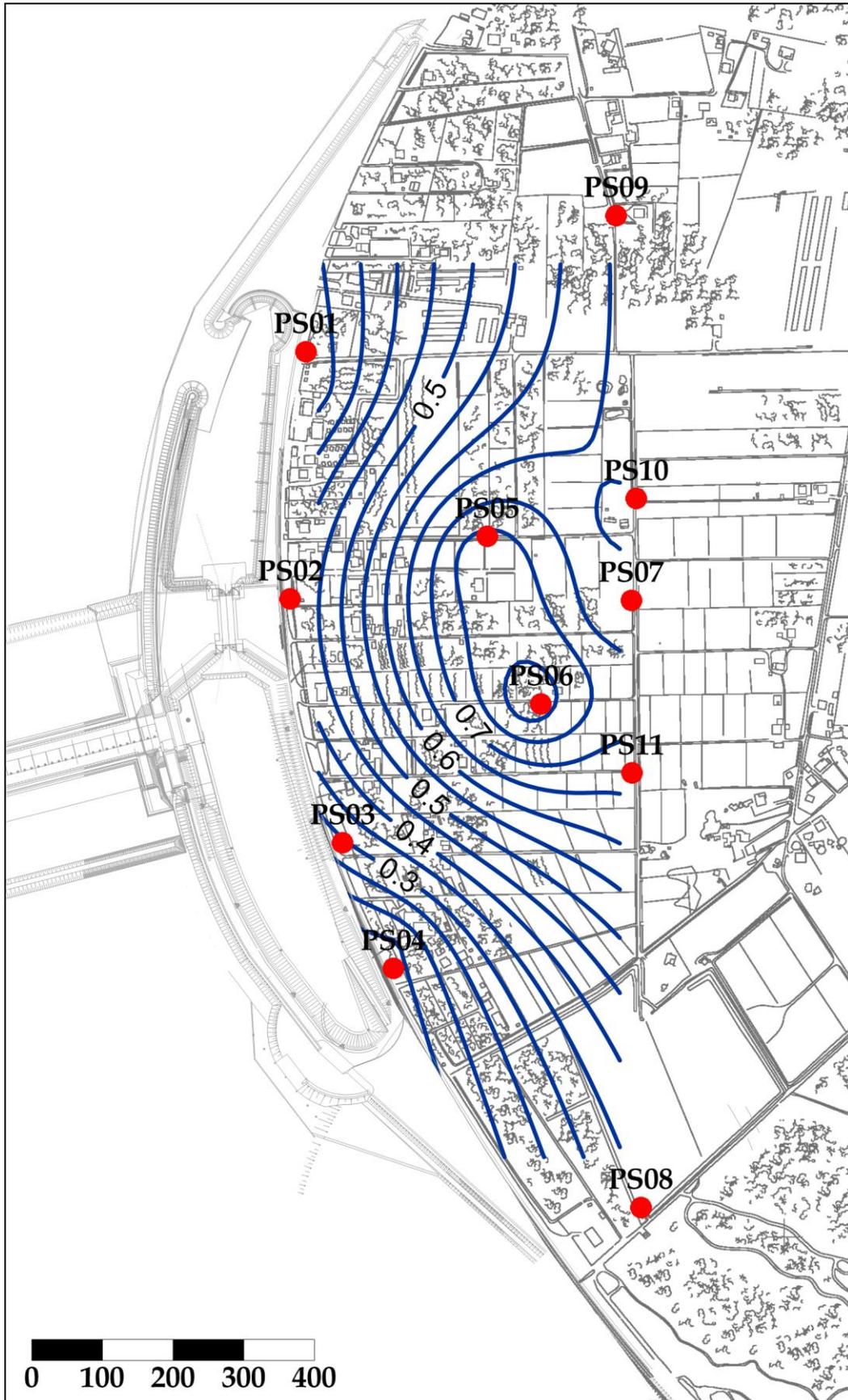


Fig. 5.3 - Piezometri superficiale Fase A - novembre 2005 (h_H - m s.l.m.).

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

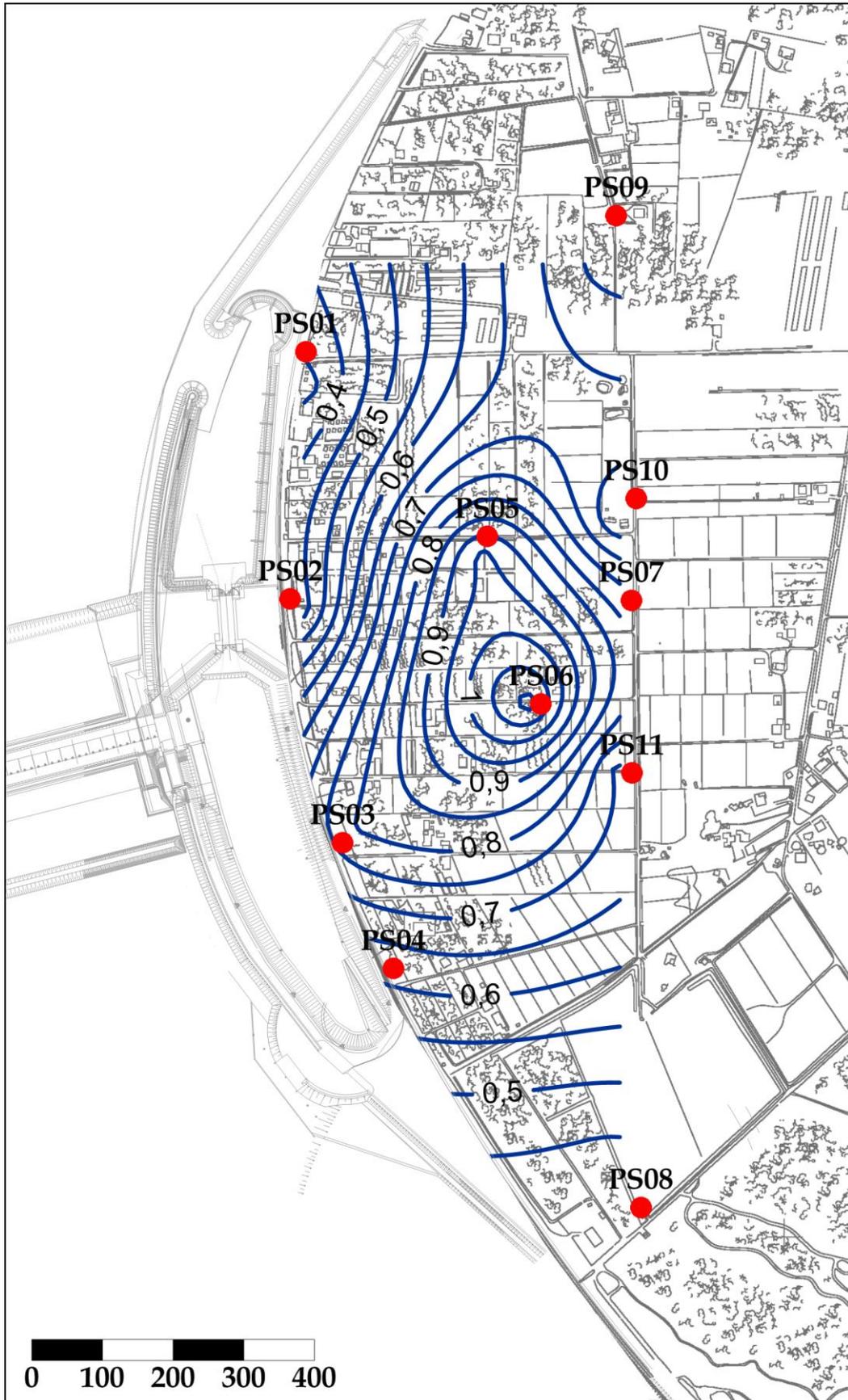


Fig. 5.4 - Piezometria superficiale - gennaio 2013 (h_H - m s.l.m.).

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

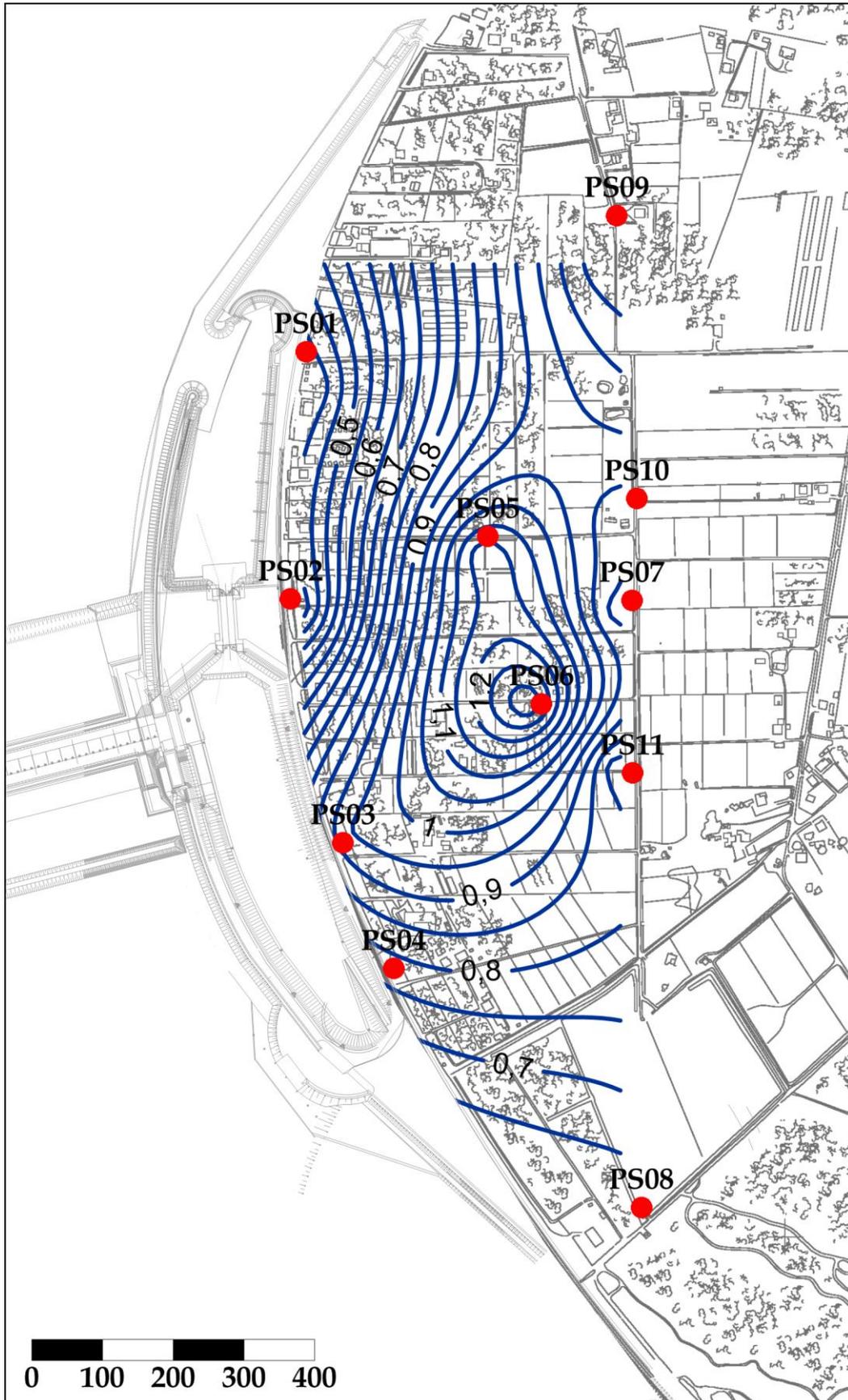


Fig. 5.5- Piezometria superficiale - febbraio 2013 (h_{el} - m s.l.m.).

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

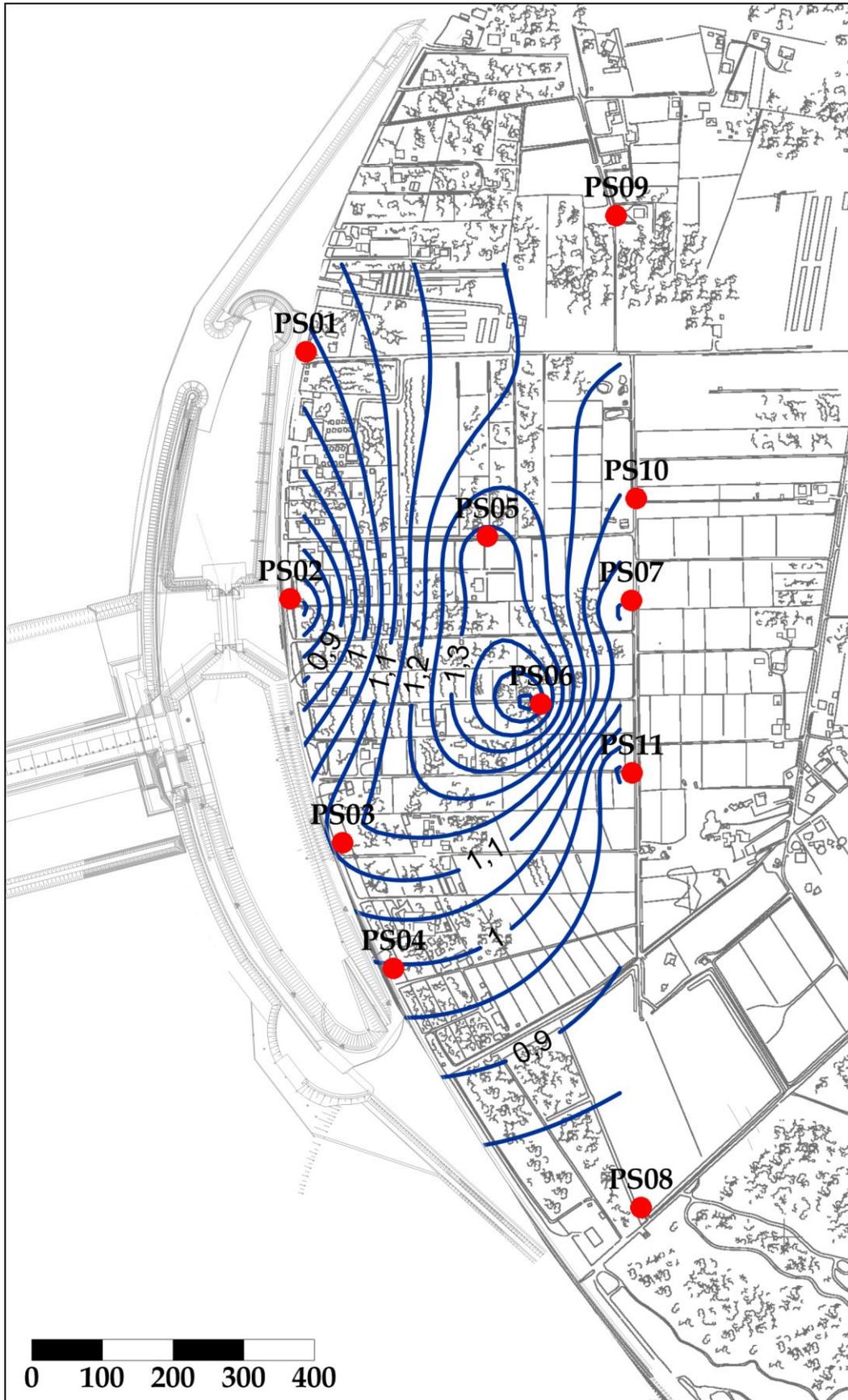


Fig. 5.6 - Piezometria superficiale - marzo 2013 (h_{el} - m s.l.m.).

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

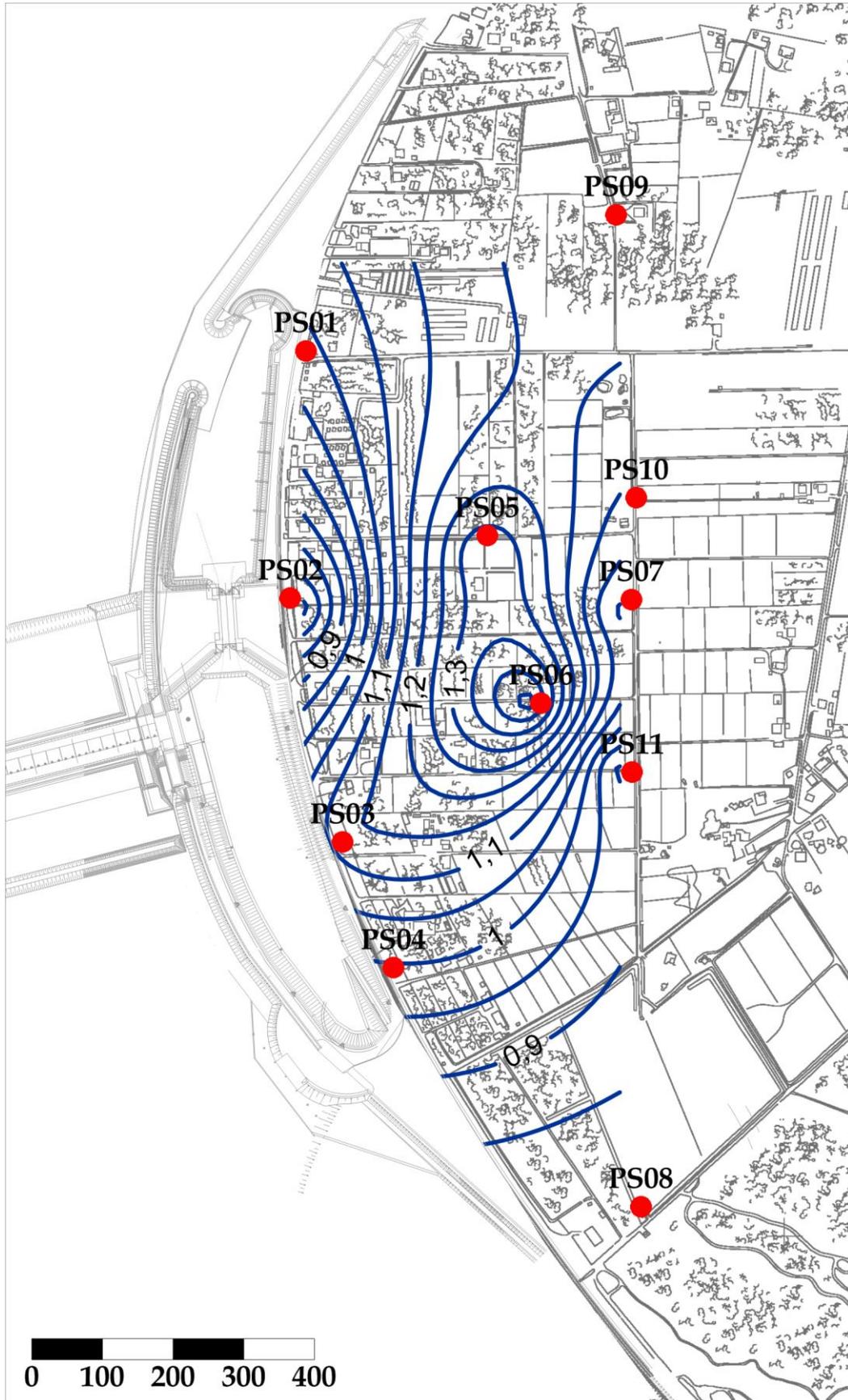


Fig. 5.7 - Piezometria superficiale - aprile 2013 (h_{dl} - m s.l.m.).

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

5.1.2 *Piezometria profonda*

La piezometria del Secondo livello acquifero (Strato C) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levellogger posizionati in corrispondenza di piezometri profondi. In Tab. 5.3 sono riportati i livelli piezometrici riferiti a quattro istanti temporali, uno per ognuno dei mesi monitorati ed uno appartenente alla Fase A. Nelle Figg. 5.8÷5.12 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab. 5.3- Livelli piezometrici h_{fl} relativi al Secondo livello acquifero: Fase A e quattro date di riferimento.

	X (m)	Y (m)	Date				
			Fase A	15/01/13 h.6	15/02/13 h.9	19/03/13 h.6	17/04/13 h.7
PP01	2318325.44	5035252.10	0.337	0.297	0.314	0.525	0.260
PP02	2318303.40	5034898.36	0.298	0.280	0.271	0.490	0.229
PP03	2318378.37	5034550.49	0.353	0.427	0.425	0.653	0.417
PP04	2318448.54	5034374.67	0.394	0.501	0.451	0.750	0.337
PP05	2318579.81	5034989.68	0.469	0.312	0.306	0.523	0.298
PP06	2318658.29	5034748.80	0.375	0.239	0.290	0.479	0.267
PP07	2318786.12	5034900.50	0.401	0.591	0.600	0.746	0.527
PP08	2318800.26	5034031.14	0.260	0.477	0.463	0.678	0.388
PP09	2318765.07	5035445.93	0.339	0.126	0.149	0.313	0.137
PP10	2318793.08	5035045.83	0.302	0.395	0.422	0.618	0.402
PP11	2318787.40	5034654.31	0.288	0.308	0.322	0.539	0.324
PP12	2318498.26	5034363.43	nd	0.550	0.517	0.868	0.435
PP13	2318631.11	5034397.36	nd	0.470	0.503	0.705	0.431
PP14	2318619.38	5034536.86	nd	0.448	0.476	0.651	0.463

In seguito all'interruzione del pompaggio, avvenuta nel mese di marzo 2012, nei mesi successivi è avvenuta la risalita dei carichi idraulici, che si sono riportati su livelli simili a quelli della configurazione *ante operam* (ottobre 2005).

Durante il quadrimestre monitorato (gennaio-aprile 2013) non si sono verificate variazioni significative dei carichi idraulici della falda profonda, ad eccezione di una temporanea risalita nel marzo 2013 dovuta a un incremento del livello del mare.

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

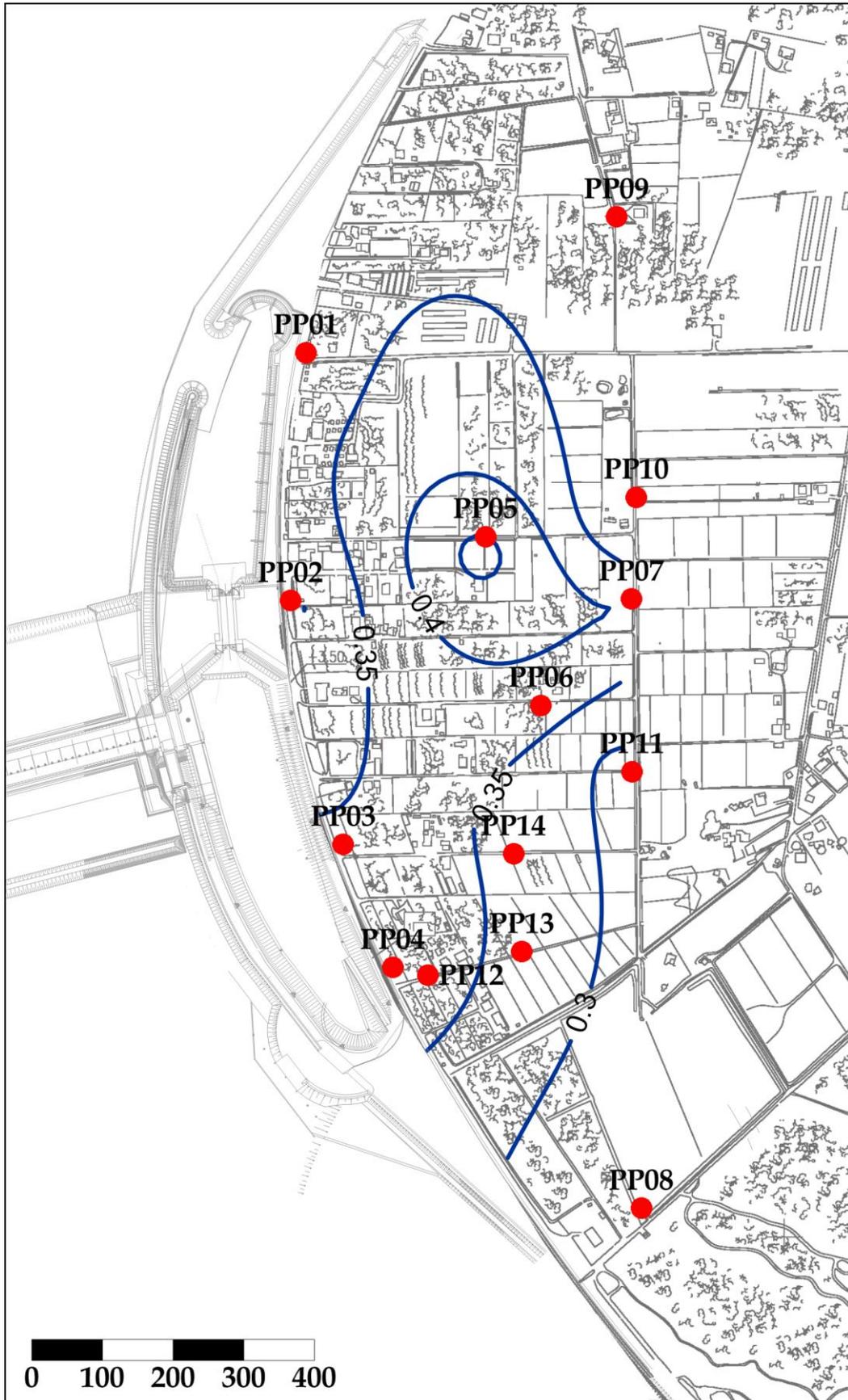


Fig. 5.8- Piezometria profonda Fase A - novembre 2005 (h_{PI} - m s.l.m.).

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

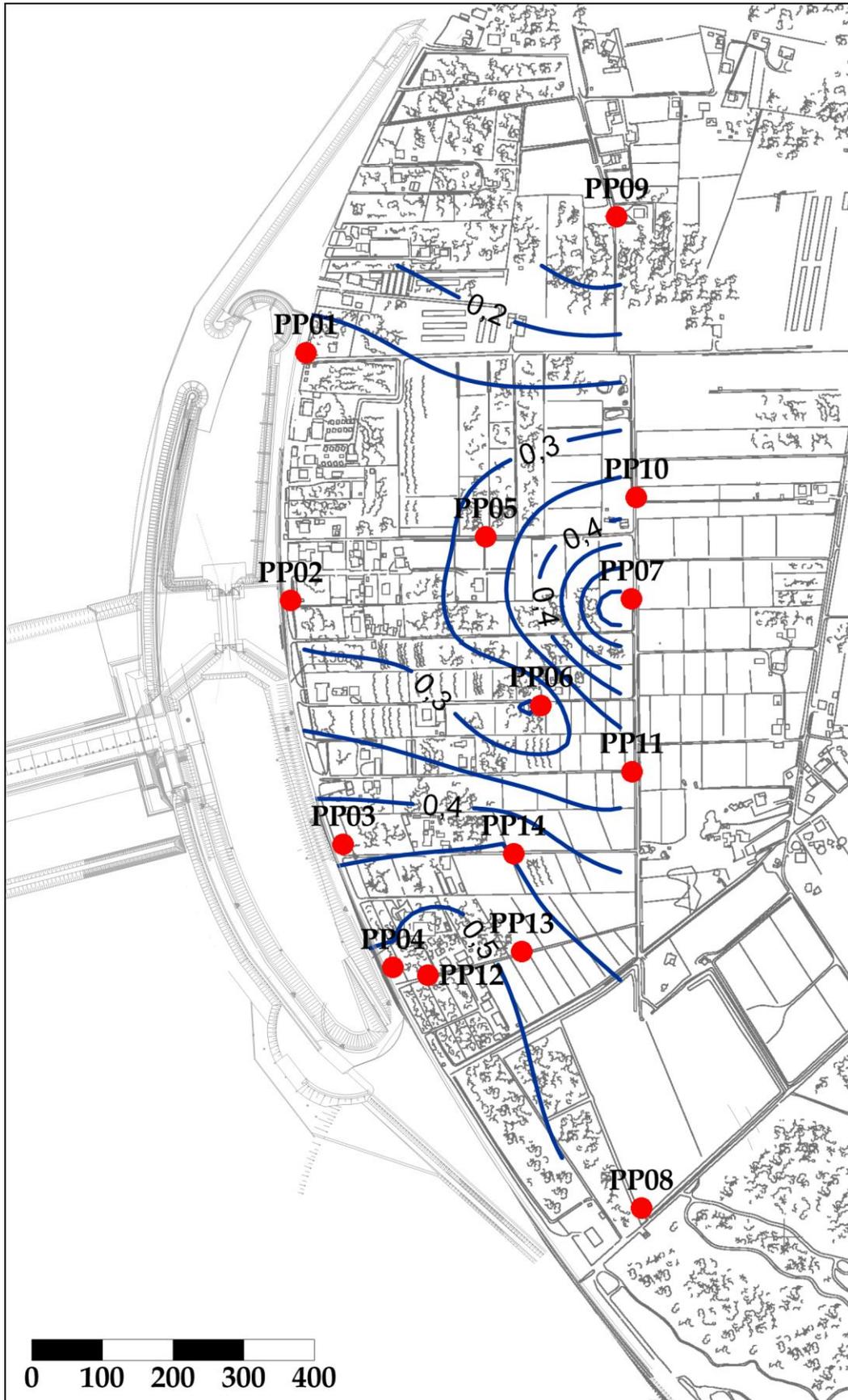


Fig. 5.9 - Piezometria profonda - gennaio 2013 (h_{PI} - m s.l.m.).

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

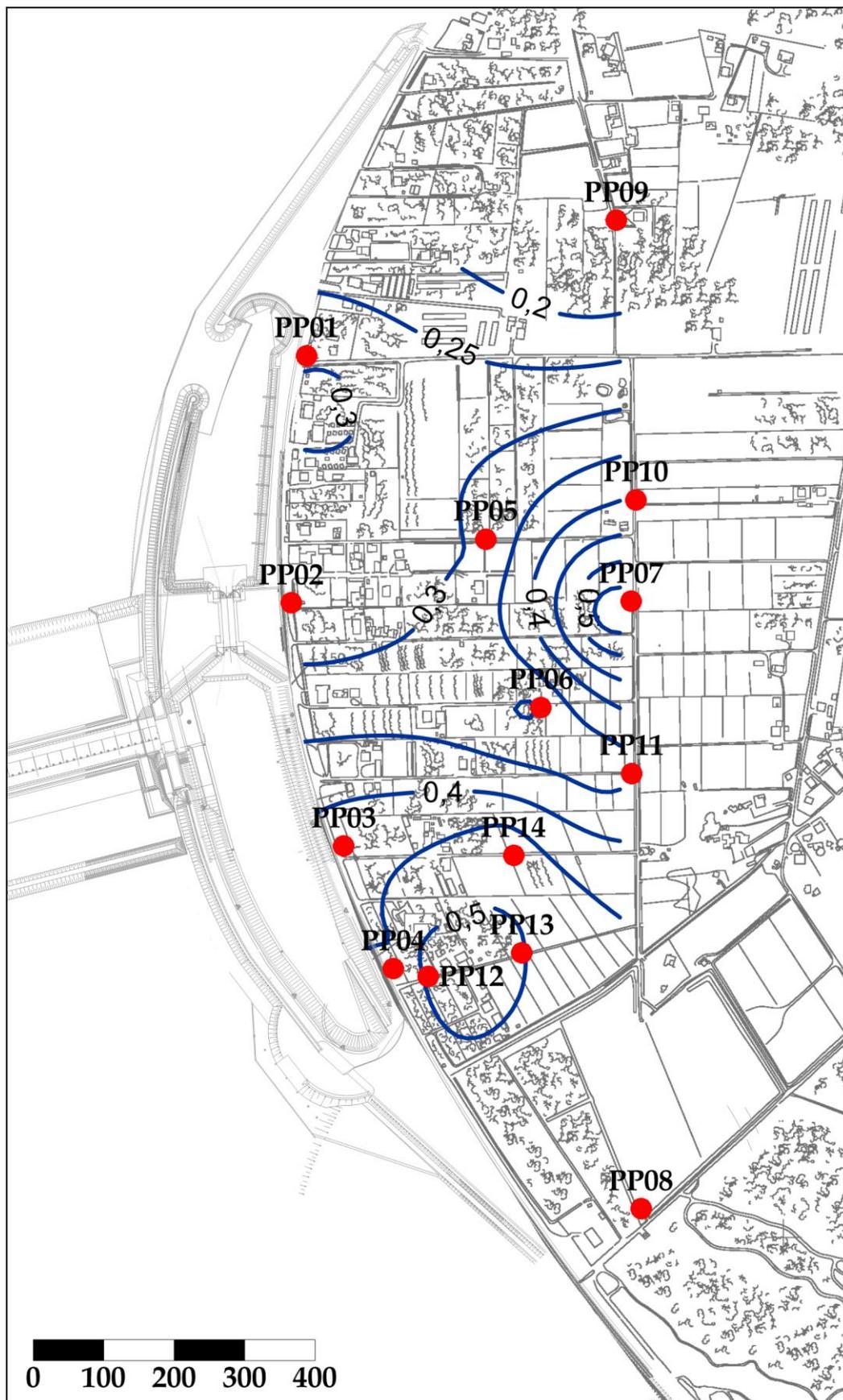


Fig. 5.10 - Piezometria profonda - febbraio 2013 (h_t - m s.l.m.).

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

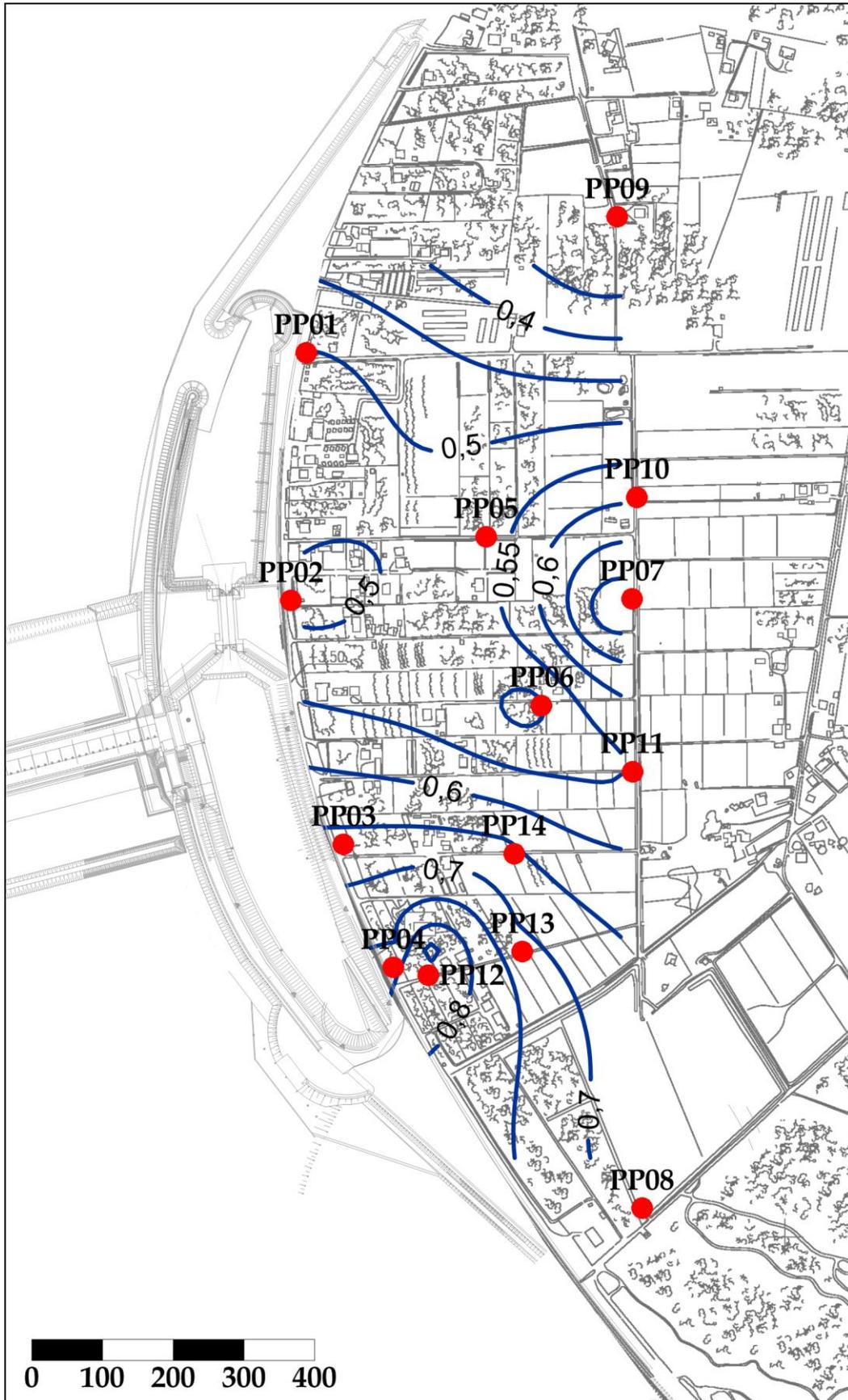


Fig. 5.11 - Piezometria profonda - marzo 2013 (h_H - m s.l.m.).

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

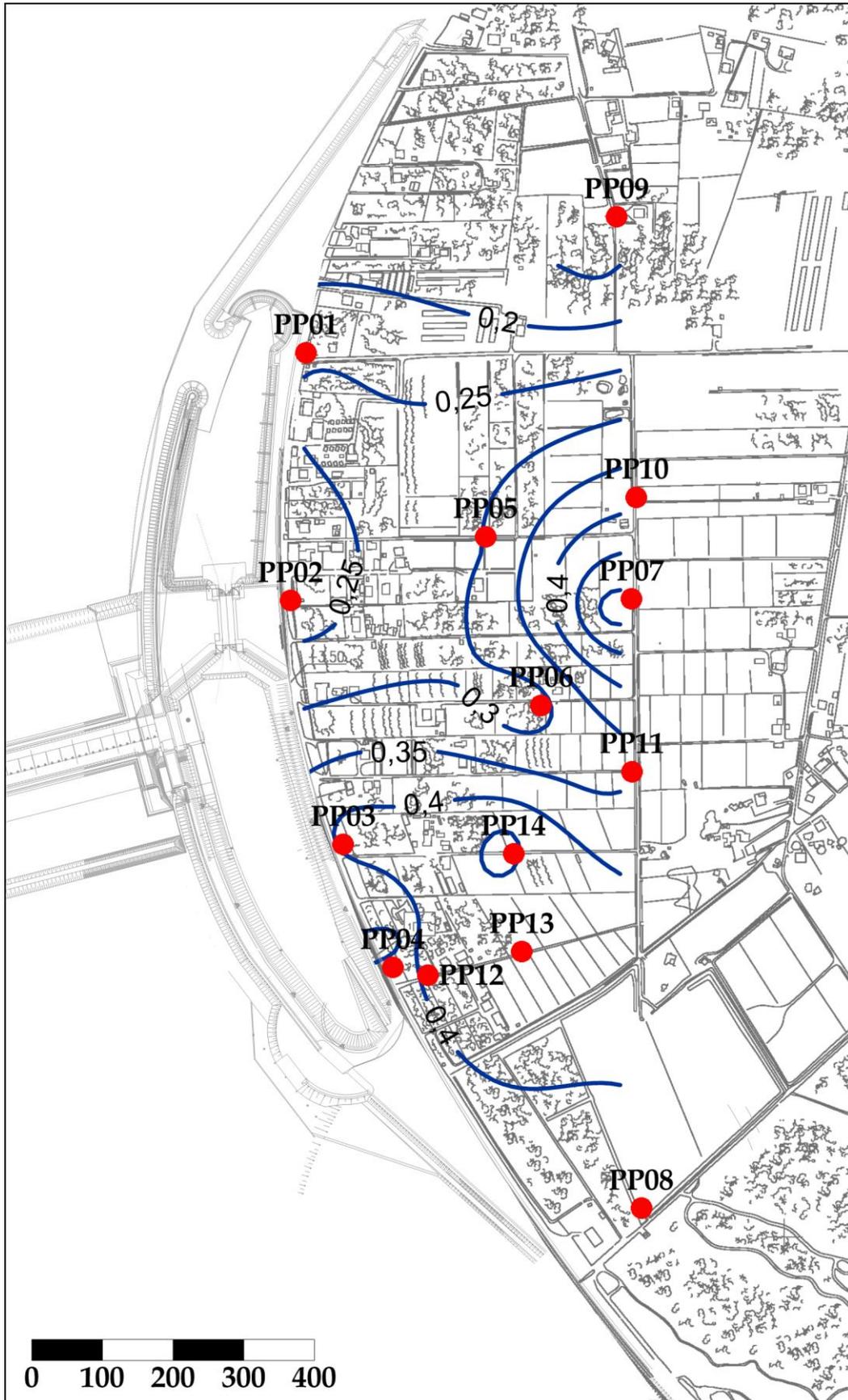


Fig. 5.12 - Piezometria profonda - aprile 2013 (h_u - m s.l.m.).

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: $h_{il} < h_M - 1$ (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 (fino a marzo 2012); valutare operazioni di cantiere effettuate nel periodo monitorato (da marzo 2012)

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

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

Nel corso del quadrimestre di monitoraggio gennaio - aprile 2013 è stato verificato il rispetto delle soglie indicate in Tab. 6.1. Nel seguito sono indicati i superamenti:

- la soglia di Alto Livello Istantaneo è stata superata nei piezometri PS07 (18/03/13, 30/03/13), PS08 (02-04/02/13, 12-16/02/13, 07/03/13, 10/03/13, 18/03/13 - 12/04/13), PS11 (18/03/13, 30-31/03/13), PP07 (12/02/13, 18/03/13, 30-31/03/13), PP08 (30/03/13 - 02/04/13), PP12 e PP13 (02/02/13, 18/03/13, 30-31/03/13). Tali superamenti sono attribuibili all'infiltrazione delle piogge, che in alcuni casi hanno provocato temporanei allagamenti dei pozzetti;
- la soglia di Alto Livello Medio è stata superata nei piezometri PS08 (12-17/02/13, 18/03/13 - 13/04/13), PS11 (30-31/03/13), PP08 (31/03/13 - 02/04/13), PP12 (18/03/13, 31/03/13). Tali superamenti sono attribuibili all'infiltrazione delle piogge, che in alcuni casi hanno provocato temporanei allagamenti dei pozzetti;
- la soglia di Basso Livello Medio è stata rispettata in tutti i piezometri profondi e superficiali;
- la soglia di Basso Livello Istantaneo è stata superata nel piezometro PP09, in data 11/02/13, in occasione di un picco di alta marea.

In Figg. 6.1, 6.2 e 6.3 sono visualizzate le soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali. In Figg. 6.5, 6.6 e 6.7 sono visualizzate le soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi. Nelle Figg. 6.4 e 6.8 sono riportati i tracciati dei livelli piezometrici mediati, rispettivamente dei piezometri superficiali e profondi, associati alla soglia di Basso Livello Medio.

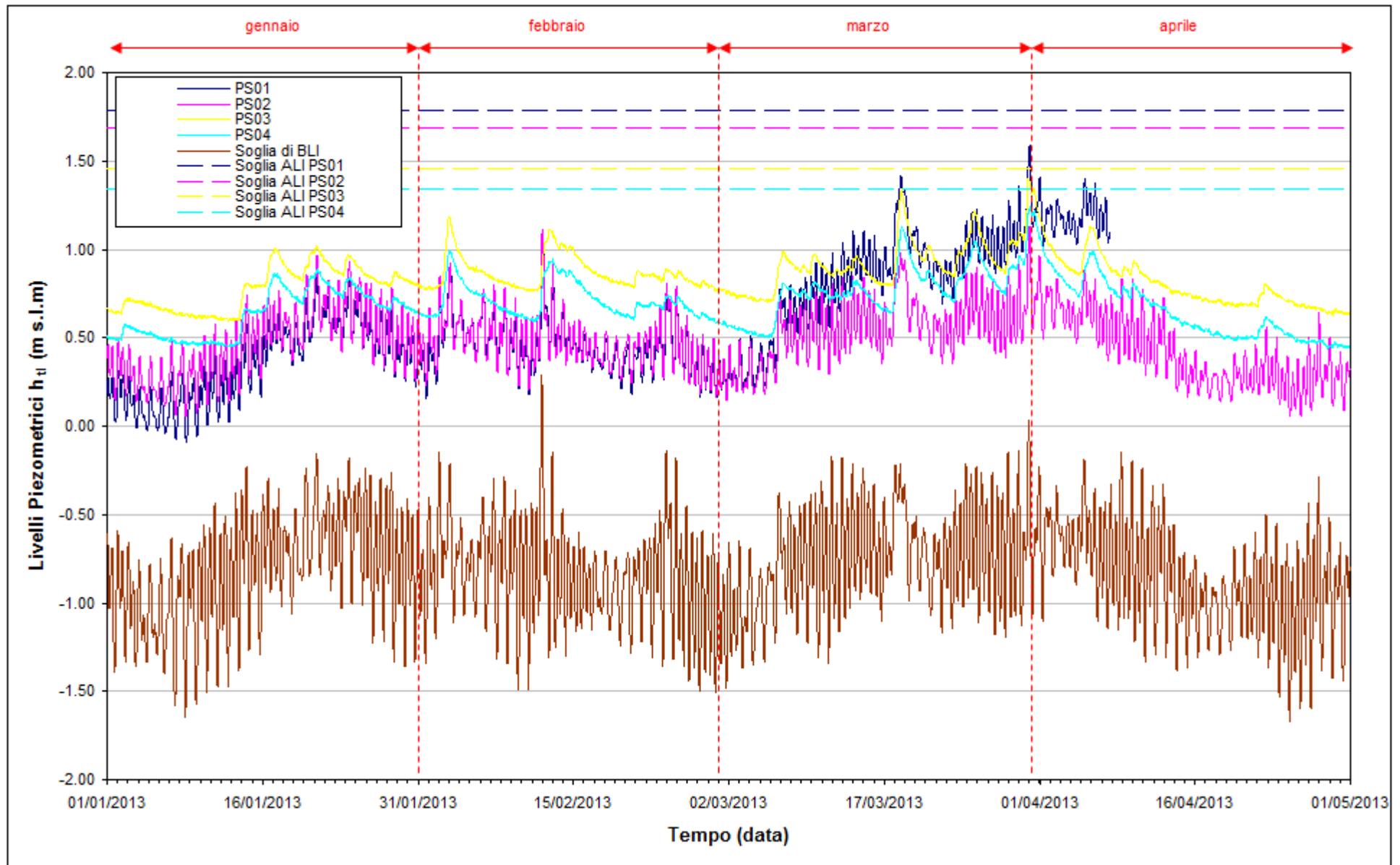


Fig. 6.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS01, PS02, PS03, PS04.

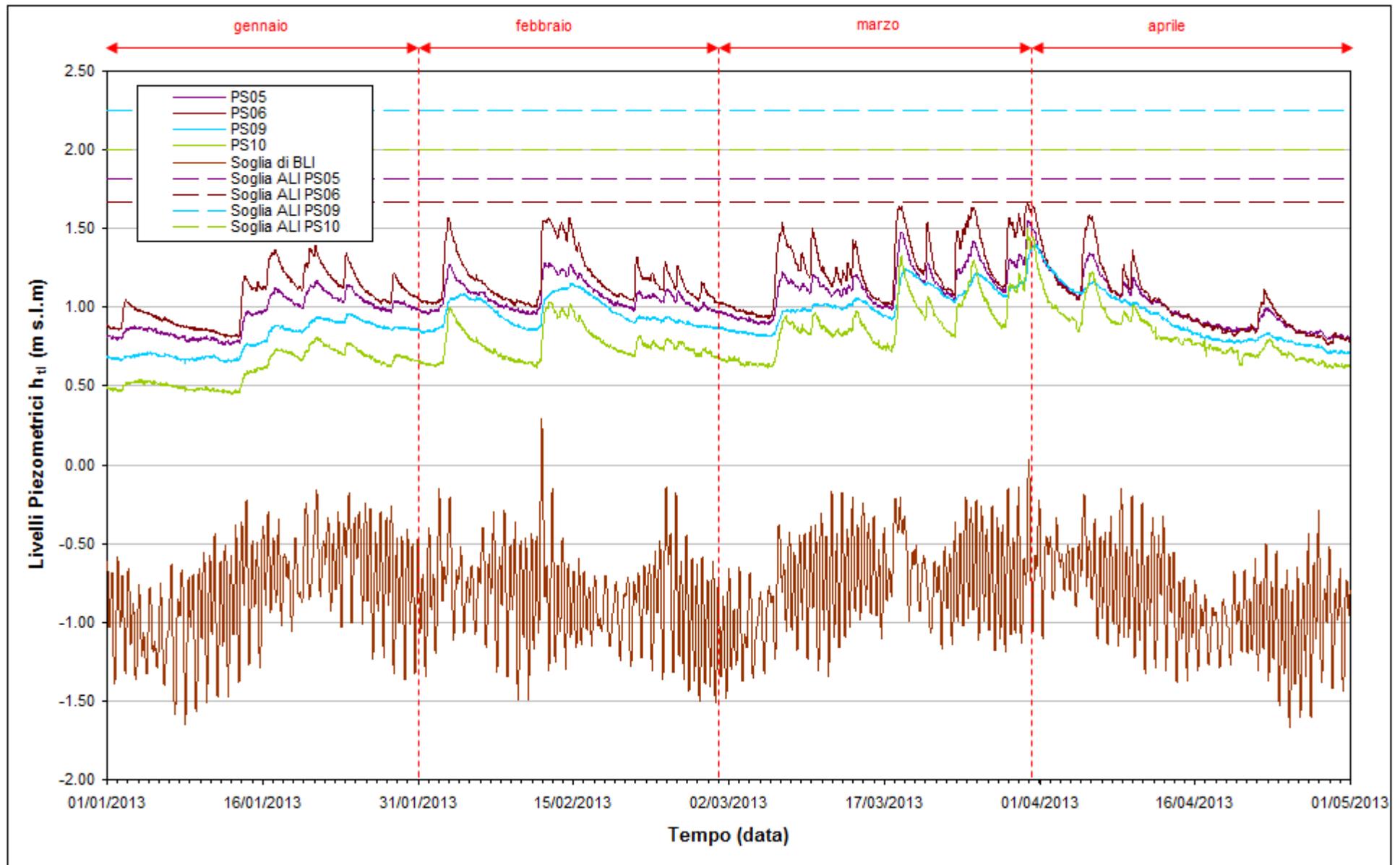


Fig.6.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS05, PS06, PS09, PS10.

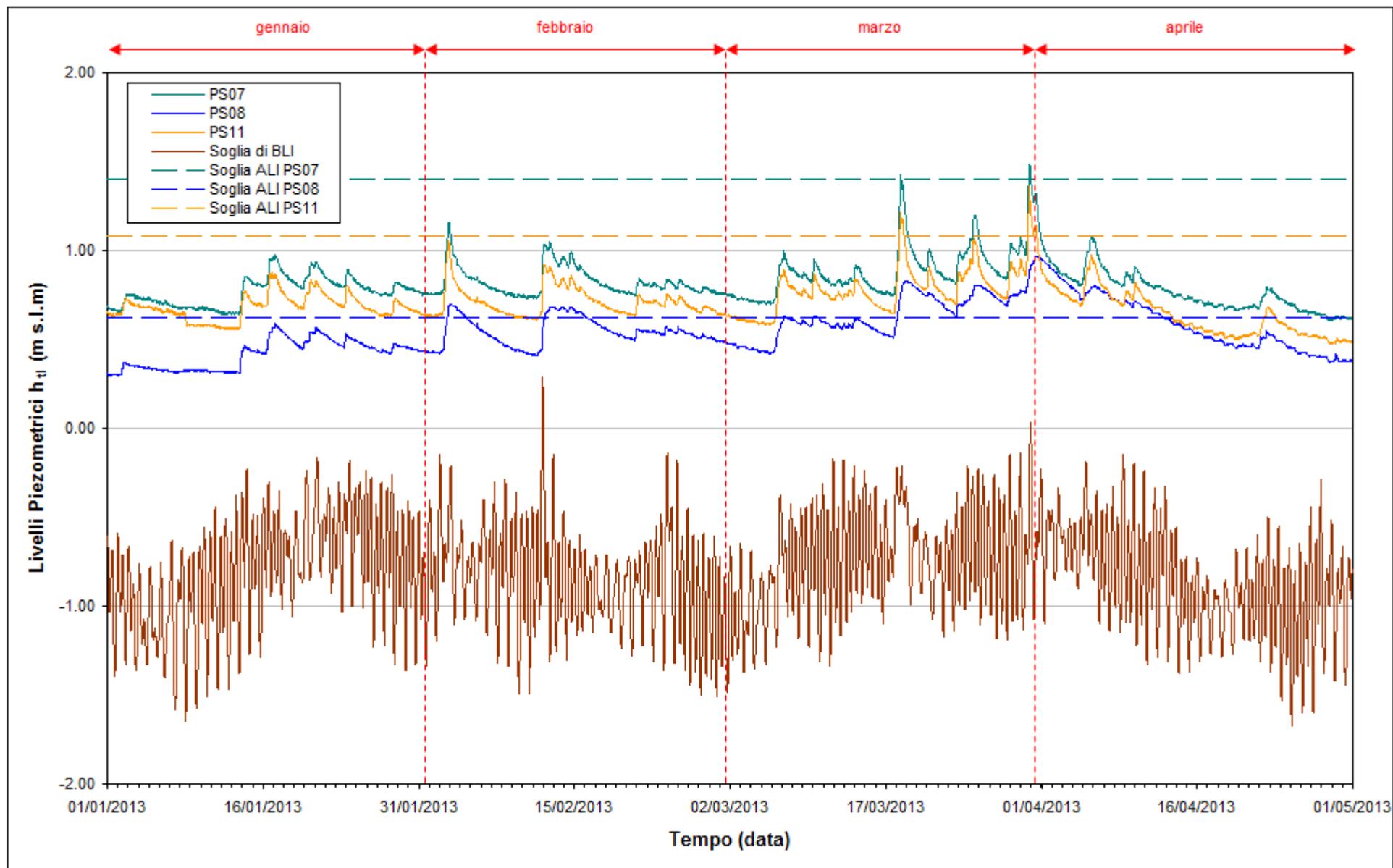


Fig.6.3 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS07, PS08, PS11.

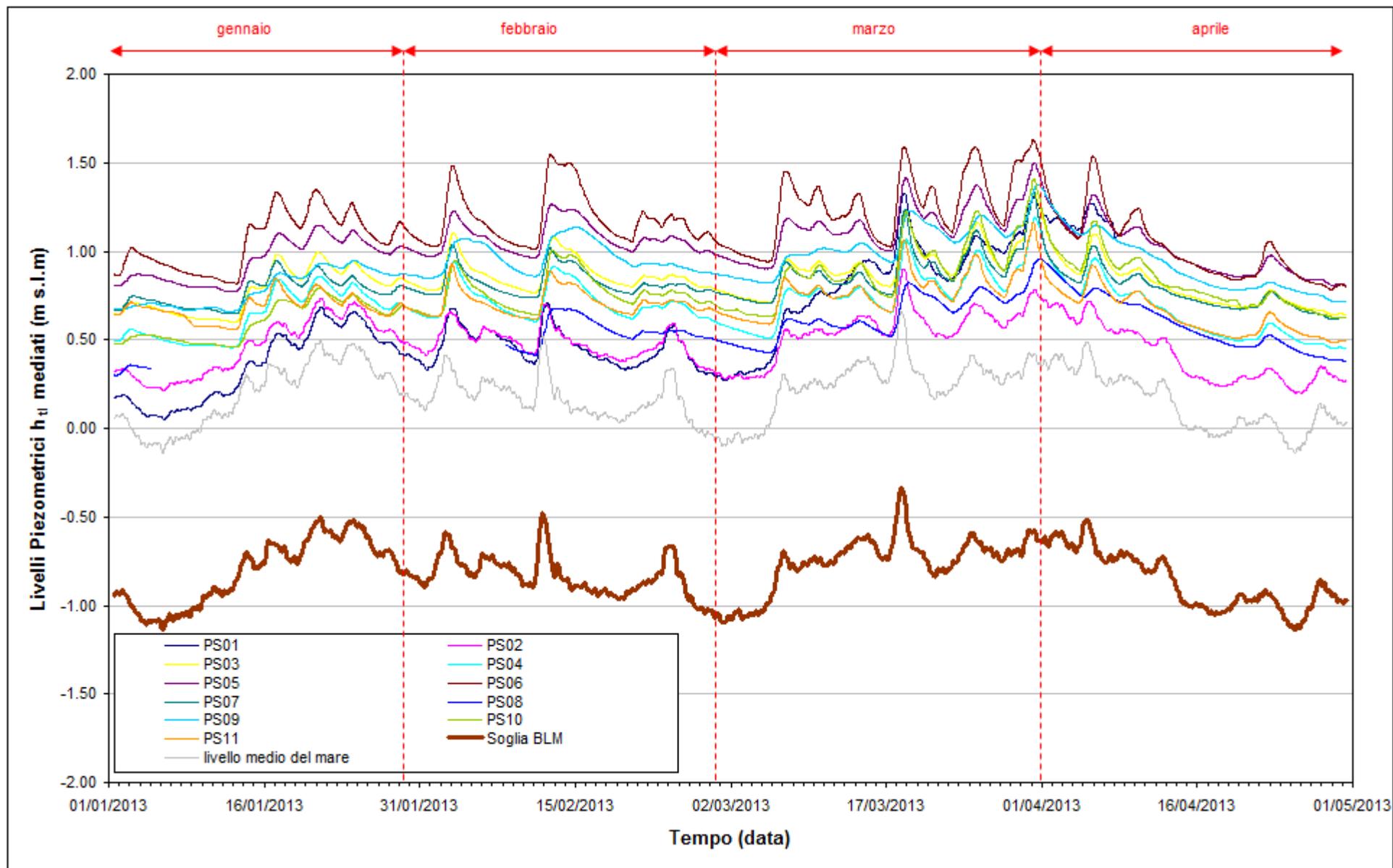


Fig. 6.4 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri superficiali e soglia di Basso Livello Medio.

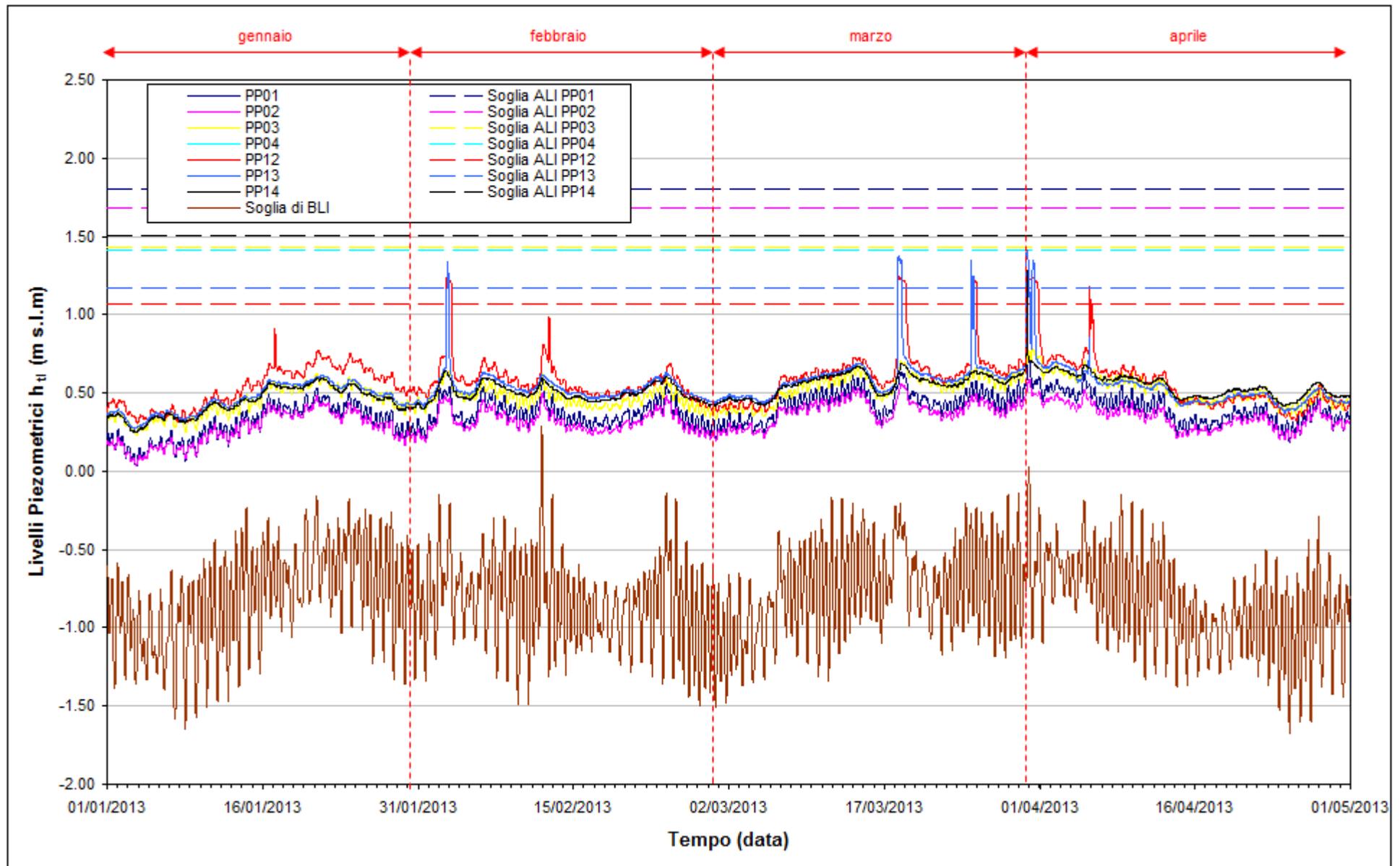


Fig. 6.5 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP04, PP12, PP13, PP14.

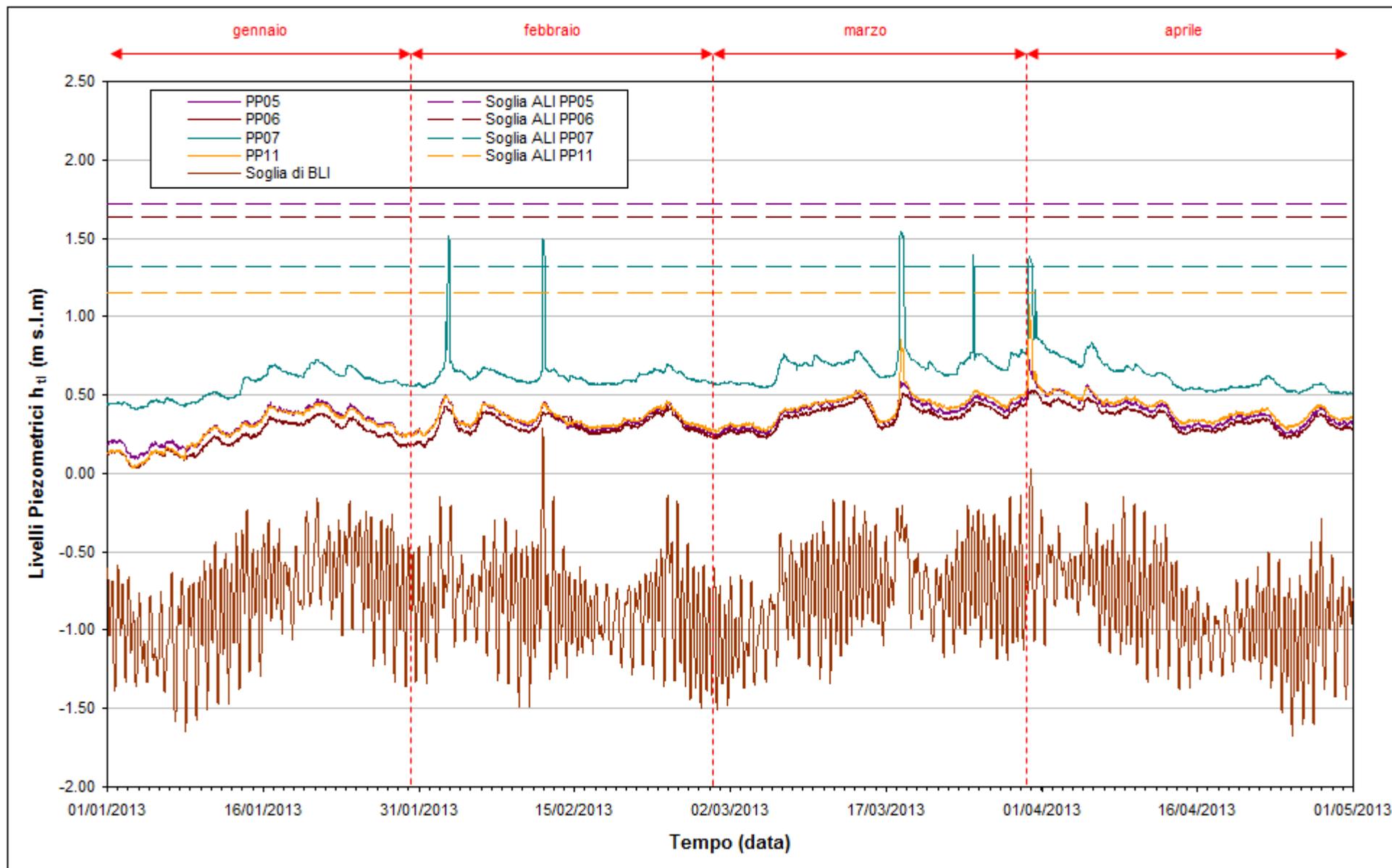


Fig. 6.6 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP11.

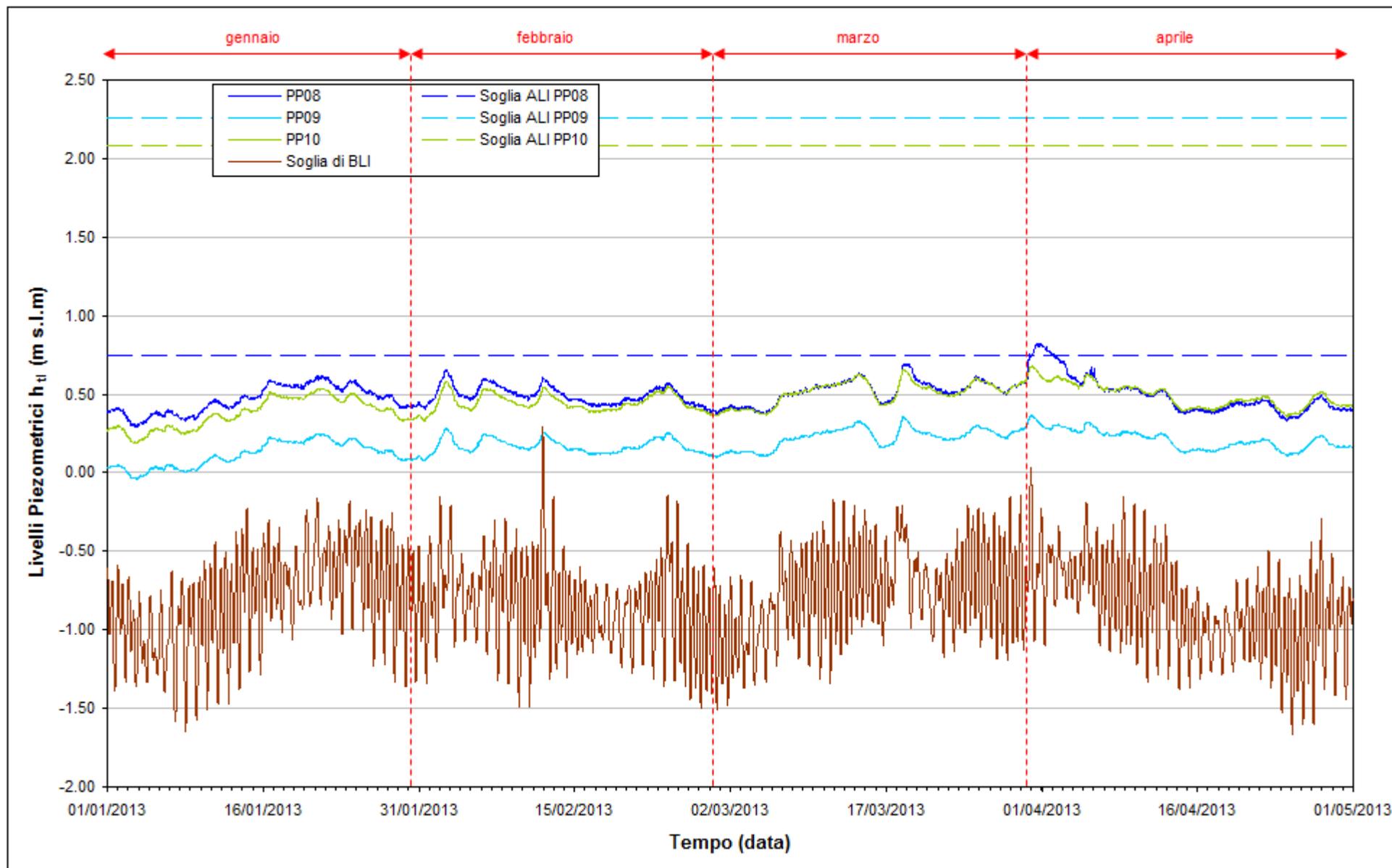


Fig. 6.7 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP08, PP09, PP10.

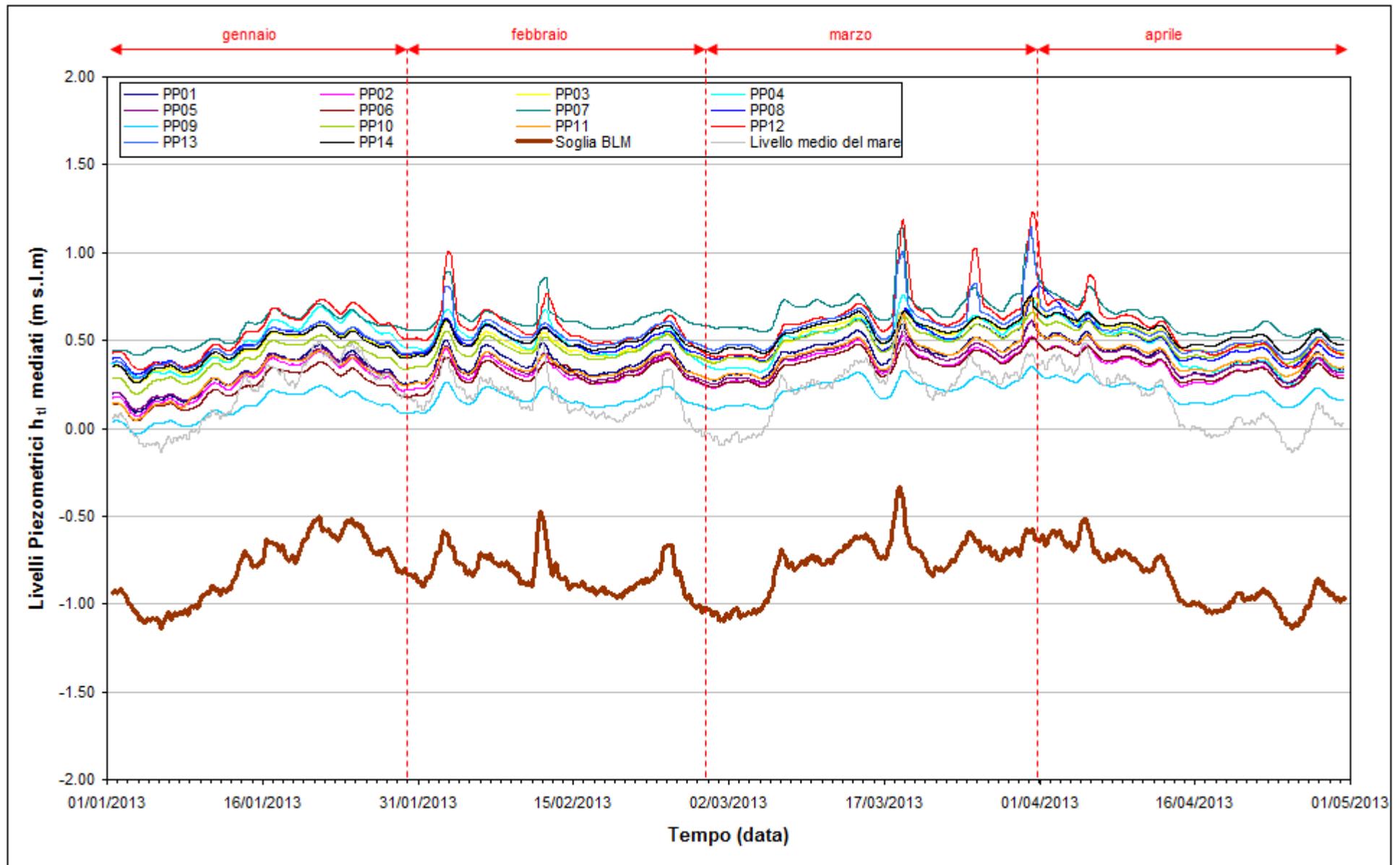


Fig. 6.8 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri profondi e soglia di Basso Livello Medio.

7. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/01/2013 e il 30/04/2013, 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.

Nei piezometri superficiali, ad eccezione delle postazioni PS01 e PS02 (i cui livelli sono legati alle oscillazioni mareali), tra l'inizio e la fine del periodo monitorato (01/01/13 - 30/04/13) non si registrano variazioni apprezzabili dei livelli di falda superficiale. Si sono però verificate ampie escursioni di livello, comprese tra circa 70 e 100 cm, a causa delle intense precipitazioni piovose (616.4 mm nel quadrimestre gennaio-aprile 2013, a fronte di una media di 204.8 mm nello stesso periodo, calcolata tra gli anni 1992 e 2012. Fonte: stazione meteorologica "ARPAV Cavallino Treporti") e del loro successivo deflusso verso mare.

Nei piezometri profondi, tra l'inizio e la fine del periodo monitorato (01/01/13 - 30/04/13) non si osservano variazioni apprezzabili dei carichi idraulici che, essendo terminato il pompaggio di dewatering (marzo 2012) ed essendosi completato il recupero delle condizioni *ante operam* (agosto 2012), sono condizionati principalmente dalla pressione atmosferica e dal livello medio del mare.

Nel quadrimestre monitorato si sono verificati frequenti superamenti delle soglie di Alto Livello Istantaneo e Medio, attribuibili alle intense precipitazioni piovose che, in alcuni casi, hanno provocato dei temporanei allagamenti dei pozzetti.

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

8. INTRODUZIONE

La seconda parte di questo documento descrive l'analisi 01/01/13 - 30/04/13 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/8 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2011).

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.

8.1 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).

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. 8.1) 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.

A fine aprile 2013 la configurazione del sistema di emungimento vede funzionanti tutti i pozzi inferiori ed i soli pozzi P2, P4, P5, P6, P10 e P11 posti al coronamento.

In Fig. 8.2 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.

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

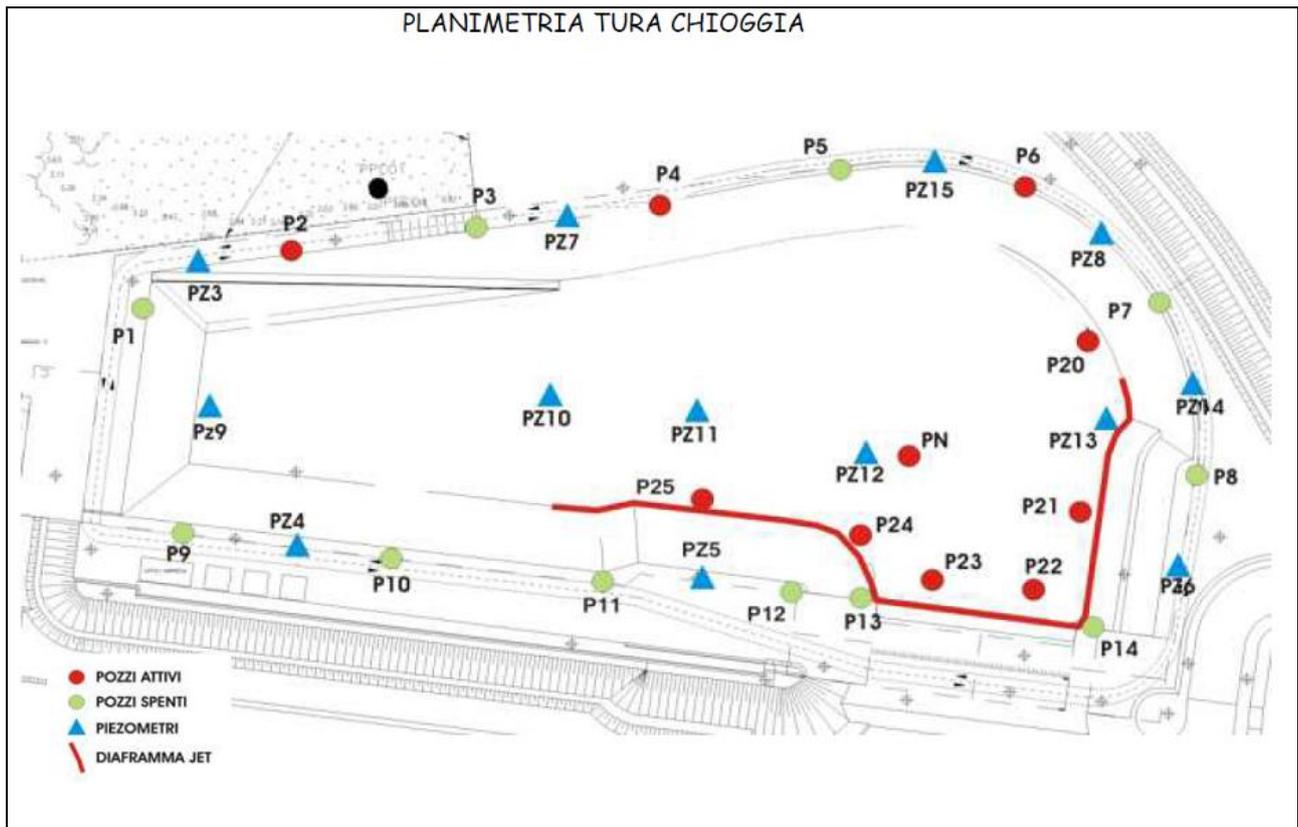


Fig. 8.1 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

Chioggia - Livelli piezometrici e valori portata emunta

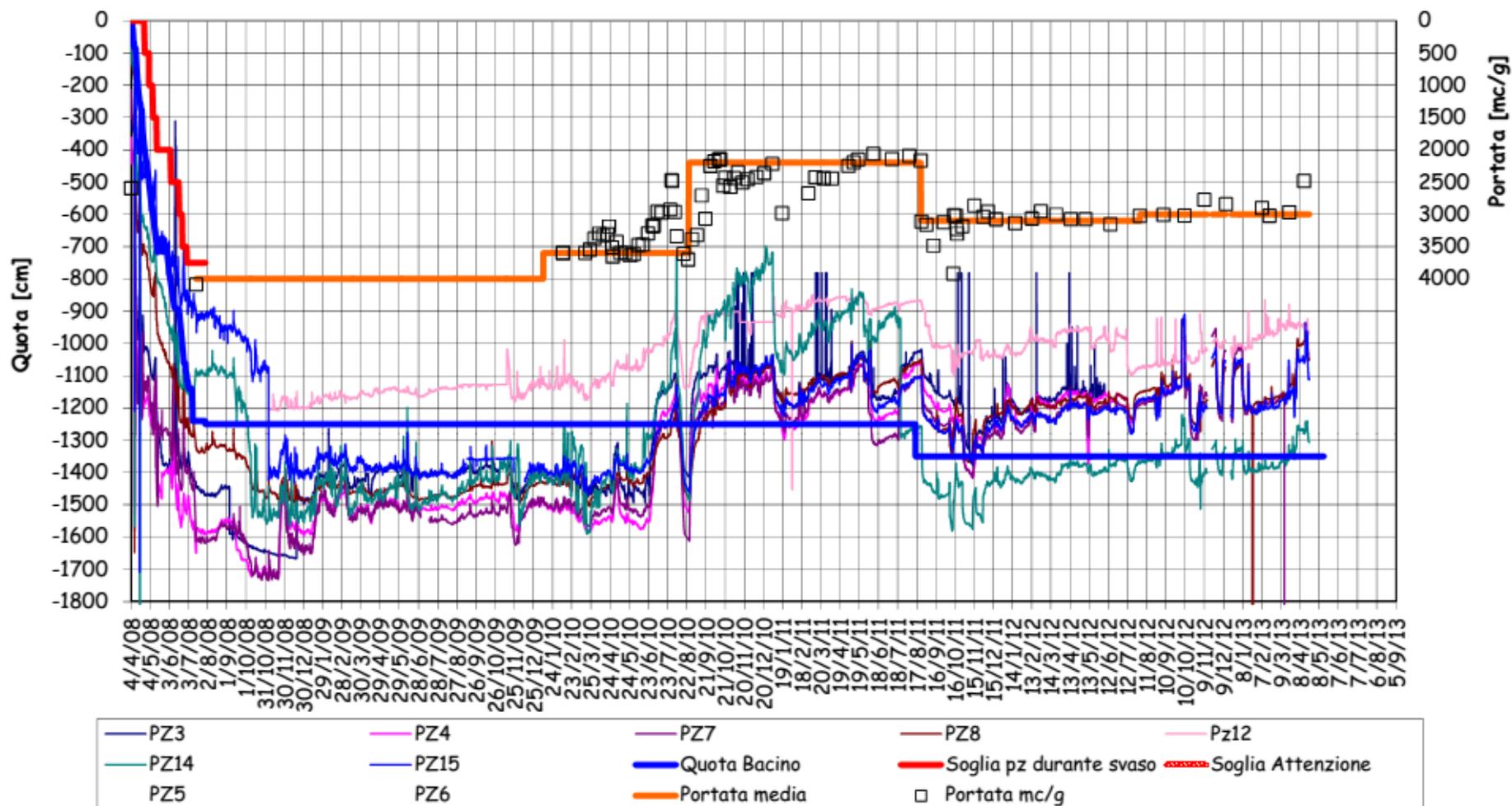


Fig. 8.2 - Portate di emungimento e carichi idraulici misurati all'interno della tura di Ca' Roman (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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 01/01/2013 e il 30/04/2013.

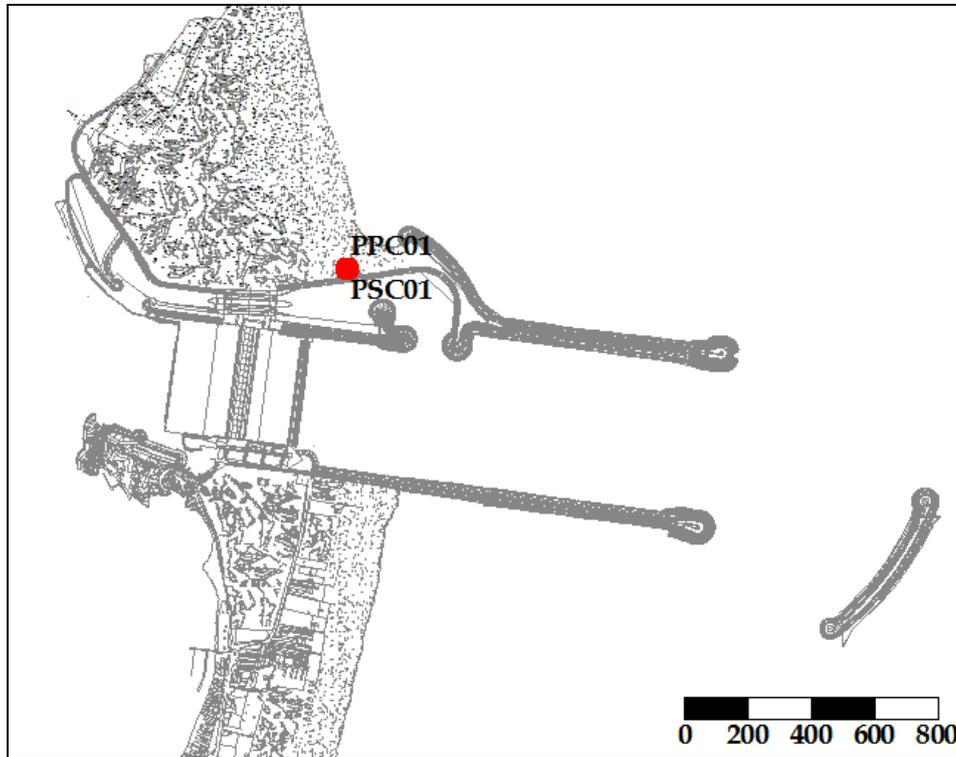


Fig. 9.1 - Ubicazione dei piezometri.

Tab. 9.1- 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

9.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello

La risposta del sistema è misurata dal carico idraulico h_{il} , registrato dai 2 trasduttori di livello e calcolabile mediante l'espressione mostrata nel paragrafo 2.1 (per ulteriori informazioni si veda "Rapporto di Pianificazione Operativa", Studio B.6.72 B/1, dicembre 2005).

9.2 Descrizione delle forzanti naturali

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

- **precipitazioni**, registrate dalla stazione meteo "Chioggia loc. Sant'Anna" gestita da ARPA Veneto, posta a circa 12 km a sud rispetto al cantiere di Ca' Roman;
- **oscillazioni mareali** registrate dal mareografo "Diga Sud Chioggia";
- **pressione atmosferica** registrata dal barologger BC01, installato in corrispondenza del piezometro superficiale PSC01.

9.2.1 Precipitazioni

I dati delle precipitazioni sono registrati dalla stazione meteorologica "Chioggia loc. Sant'Anna" (Fig. 9.2), gestita da ARPA Veneto e posta a circa 10 km a sud-ovest rispetto all'area di cantiere, e hanno cadenza giornaliera. In Fig. 9.3 è riportato il grafico dell'andamento temporale delle precipitazioni, mentre in Tab. 9.2 riporta gli eventi piovosi più significativi, caratterizzati da un'altezza di pioggia superiore a 5 mm.



Fig. 9.2- Posizione della centralina meteo "ARPAV - Chioggia loc. Sant'Anna" rispetto all'area monitorata.

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

Tab. 9.2- Eventi piovosi significativi verificatisi nel periodo di monitoraggio.

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
02/01/13	24	11.0
13-17/01/13	120	51.2
19-20/01/13	48	12.0
22-23/01/13	48	12.0
28/01/13	24	8.6
02/02/13	24	38.6
10-11/02/13	48	37.2
21-23/02/13	72	25.8
06-12/03/13	168	49.4
16-18/03/13	72	33.2
20-21/03/13	48	11.2
23-25/03/13	72	50.8
28-31/03/13	96	34.0
04-05/04/13	48	24.2
19-23/04/13	120	39.8

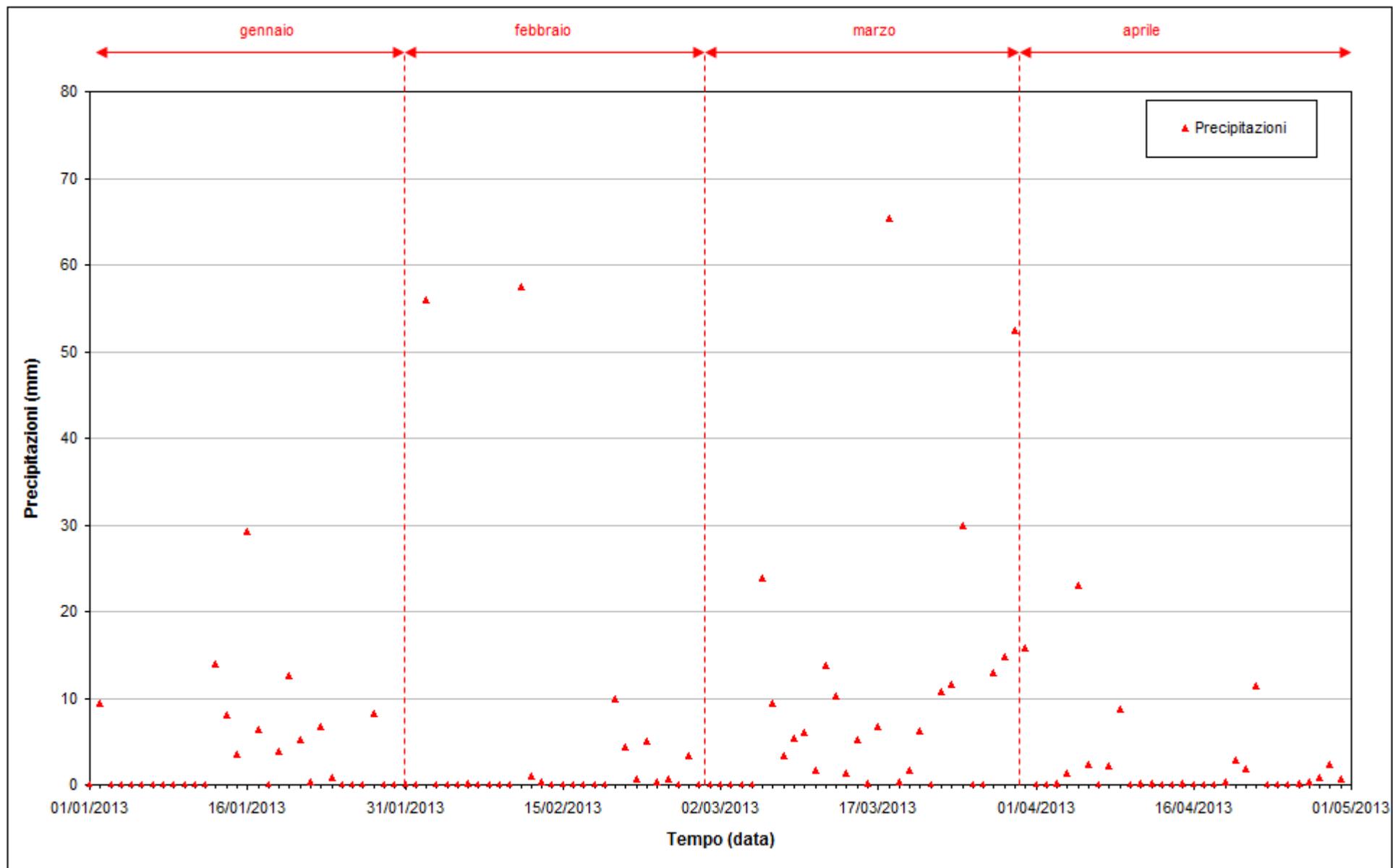


Fig. 9.3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/01/2013 - 30/04/2013.

9.2.2 Livello del mare

In Fig. 9.4 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.

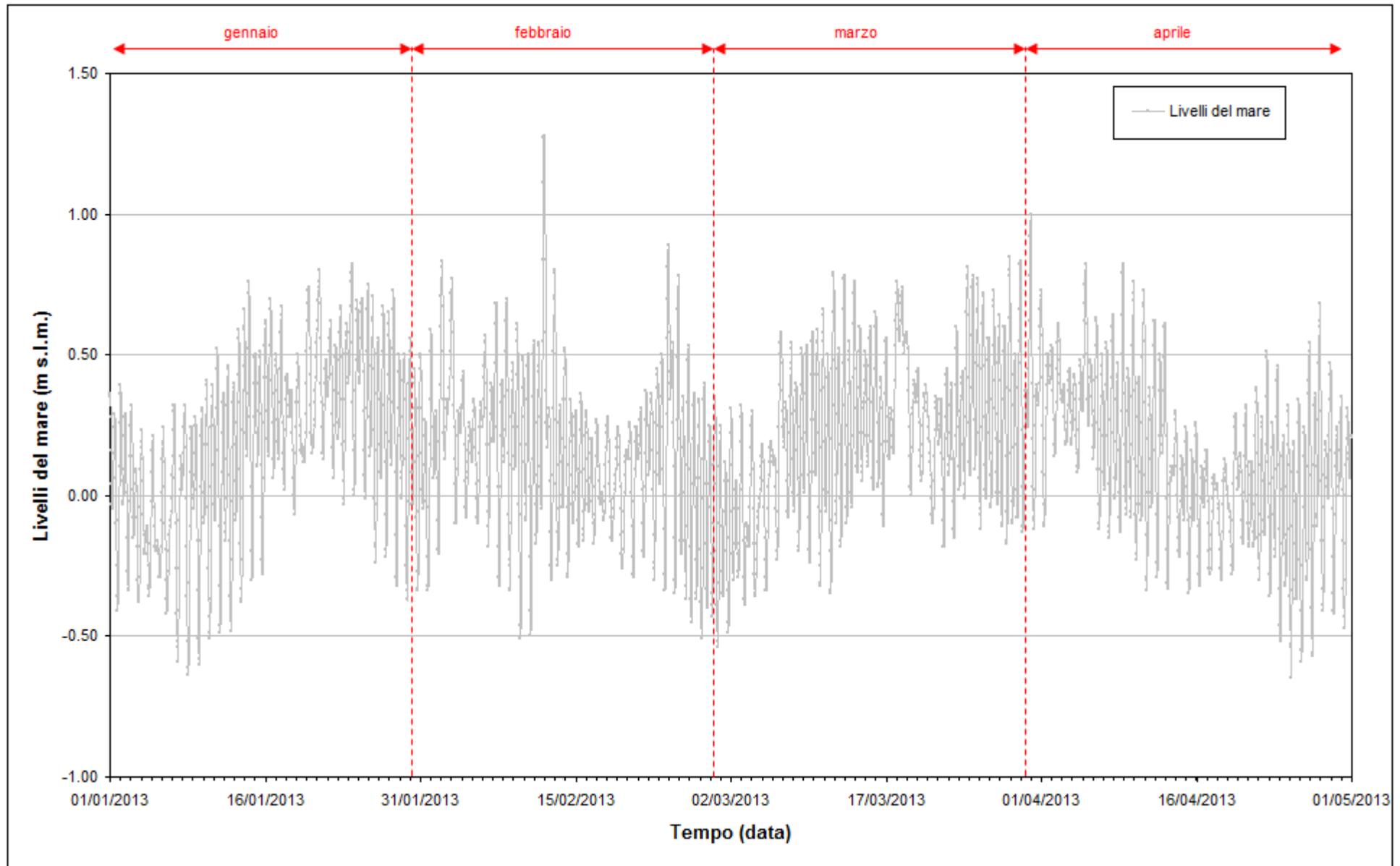
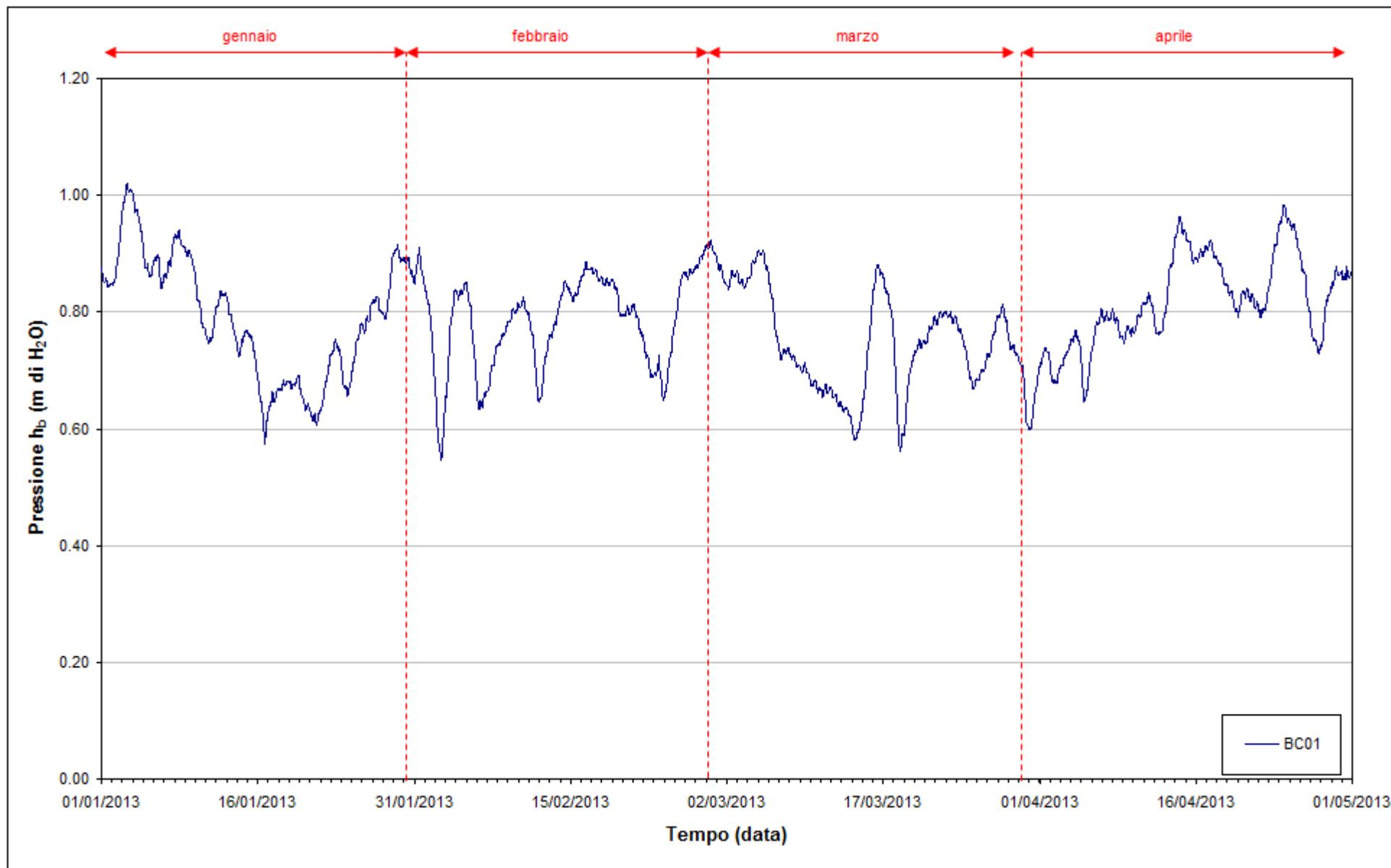


Fig. 9.4 - Livello del mare misurato dal mareografo "Diga Sud Chioggia". I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

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. 9.5 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. 9.5- 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)

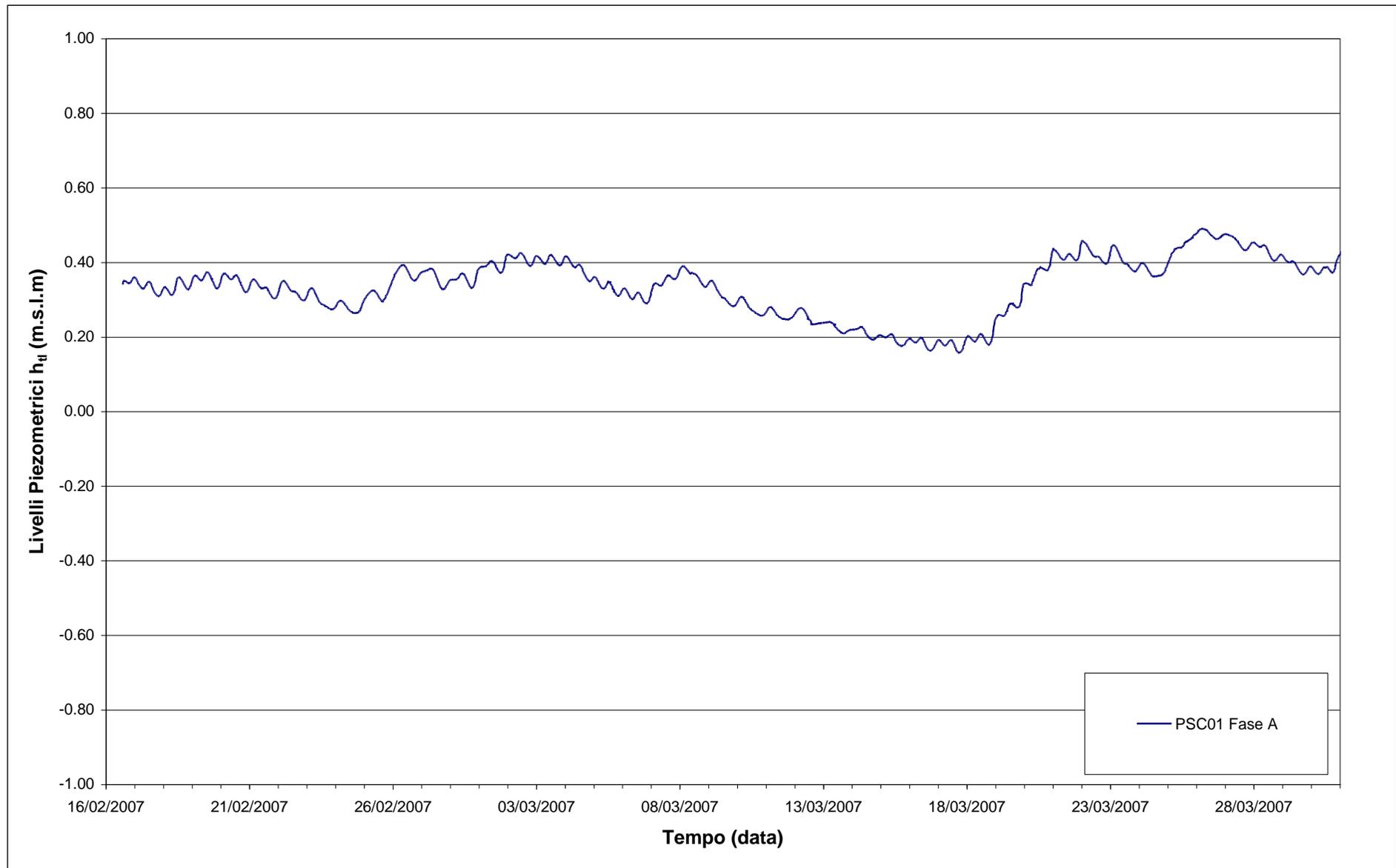
In Fig. 9.6 sono riportati i dati relativi ai livelli del piezometro PSC01 durante la Fase A (febbraio - marzo 2007).

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

I dati riportati in Fig. 9.7 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio 01/01/13 - 30/04/13.

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 (01/01/13 - 30/04/13) non si osservano variazioni apprezzabili del livello di falda nel piezometro superficiale PSC01, tuttavia si sono verificate ampie oscillazioni (circa 90 cm di escursione), dovute alle forti precipitazioni registrate (totale: 464.4 mm, a fronte di una media di 193.0 mm per lo stesso periodo negli anni 1992÷2012. Fonte: stazione meteorologica "ARPAV - Chioggia loc. S. Anna") e al successivo flusso di falda diretto verso il mare.

Fig. 9.6 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale durante la Fase A.

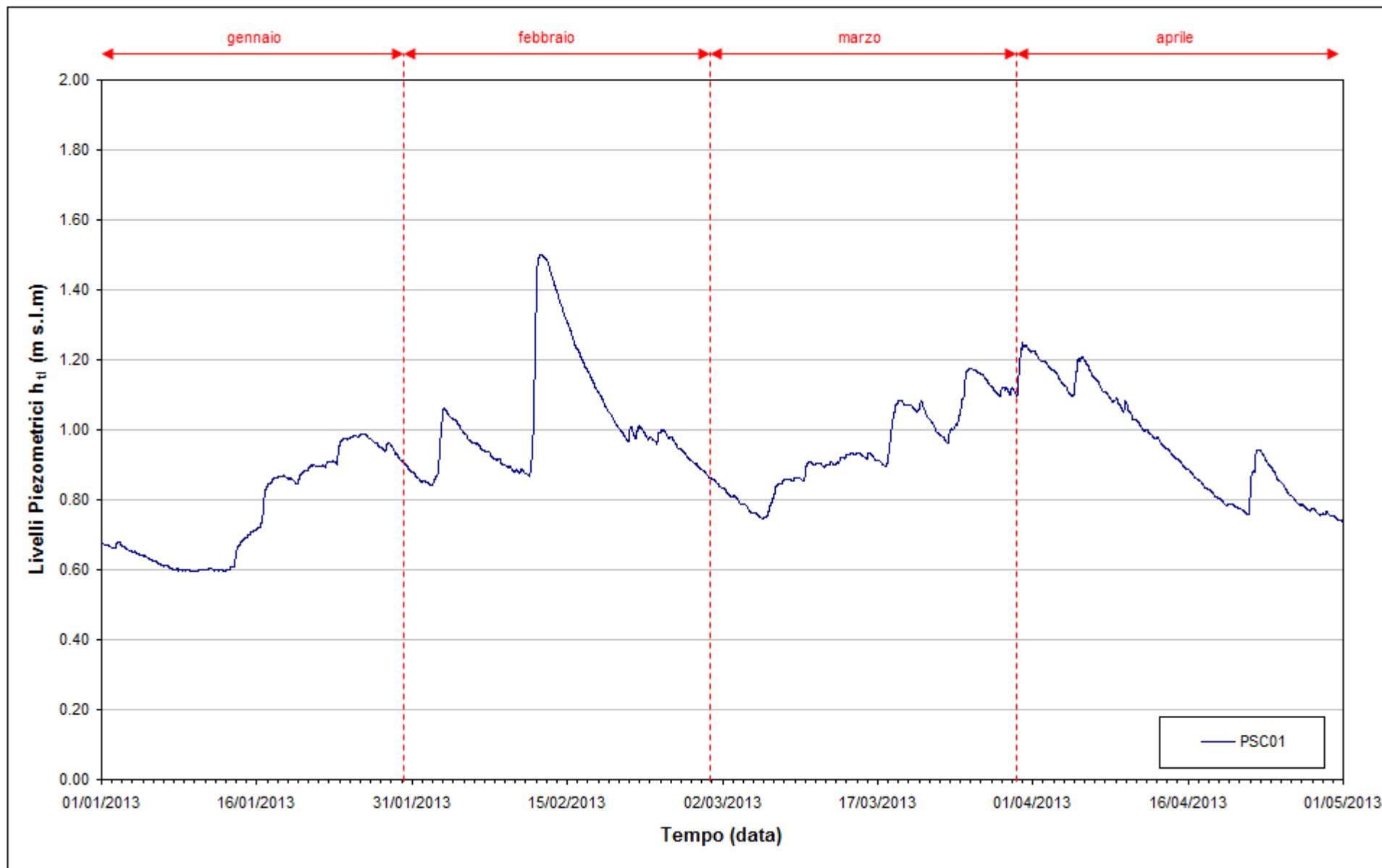


Fig. 9.7- Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PSC01 nel periodo di monitoraggio 01/01/2013 - 30/04/2013.

9.3.3 Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione

In Fig. 9.8 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. 9.3);
- c è un coefficiente (posto pari a 0.45) che tiene conto della vegetazione, dell'umidità, della velocità del vento, ecc.

Tab. 9.3 - Valori di evapotraspirazione media mensile stimati con la formula di Blaney - Criddle.

Mese	T media [°C]	gg	p	c	ETP [mm/d]	Precipitazioni [mm]
Gennaio	6.9	31	9.2	0.45	1.5	97.6
Febbraio	5.6	28	10.4	0.45	1.8	107.6
Marzo	8.2	31	11.9	0.45	2.1	181.8
Aprile	11.7	30	13.6	0.45	2.7	77.4
TOTALE	8.1	120	-	-	242.8	464.4

Il grafico in Fig. 9.7 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.

Dalla Tab. 9.3 si osserva che l'altezza totale di pioggia è stata molto superiore all'evapotraspirazione potenziale stimata a partire dalla temperatura dell'aria, tuttavia non si sono verificate variazioni apprezzabili del livello di falda superficiale, a causa del rapido deflusso verso mare che si verifica dopo le precipitazioni.

In Fig. 9.9 è riportato il confronto dei livelli nel piezometro PSC01 nel periodo gennaio - aprile per gli anni dal 2007 al 2013. Il livello medio nel quadrimestre gennaio - aprile 2013 è il più alto registrato finora, e in particolare è superiore di circa 90 cm rispetto allo stesso periodo del 2012 (nel quale le precipitazioni furono molto più ridotte: 87.4 mm a fronte di 464.4 mm registrati nel 2013. Fonte: stazione meteorologica "ARPAV - Chioggia loc. S. Anna"), e di circa 50 cm rispetto alla configurazione *ante operam* (totale gennaio-aprile 2007: 176.8 mm), quando l'acquifero superficiale non era ancora parzialmente isolato dal mare a causa del diaframma impermeabile della tura.

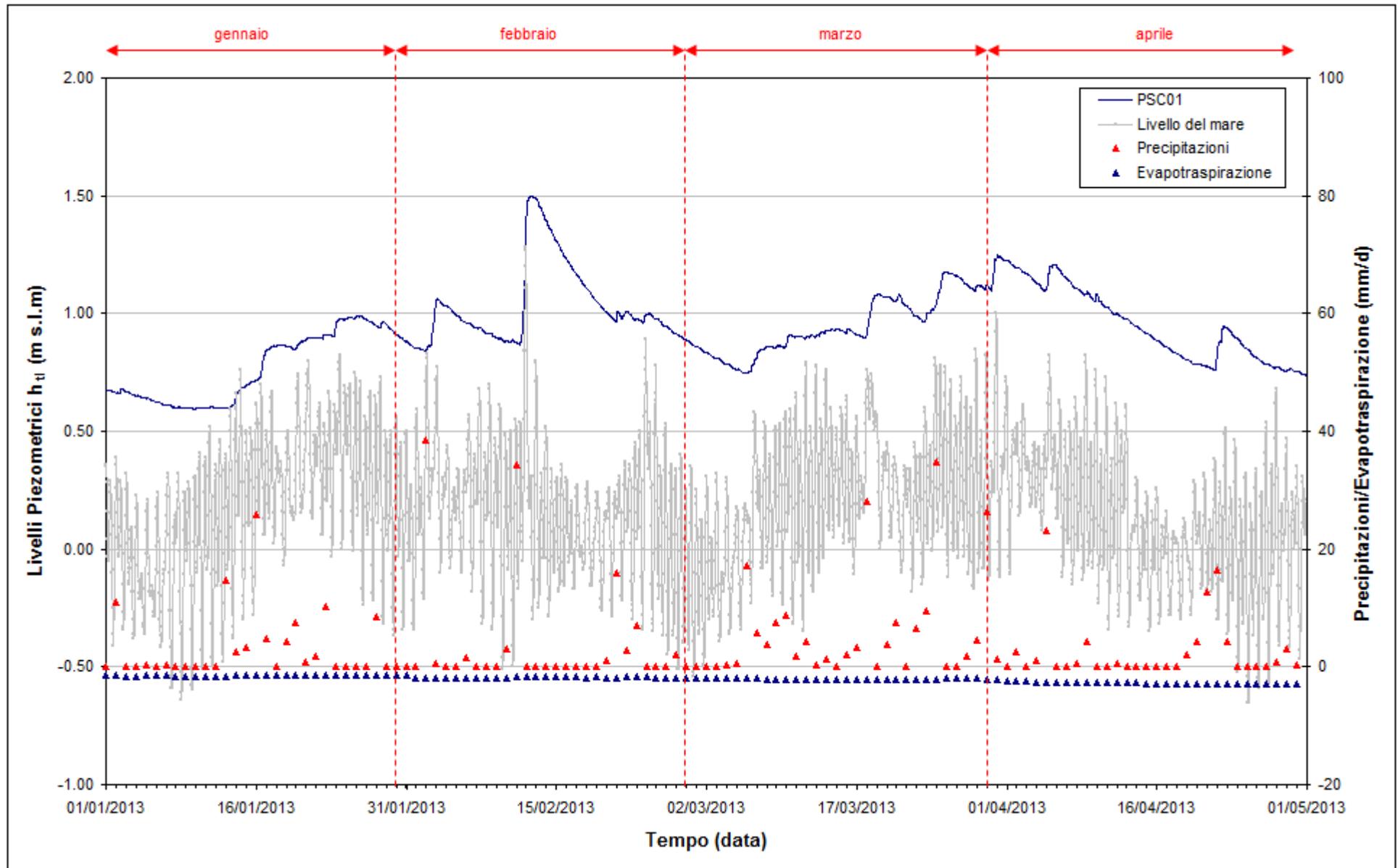


Fig. 9.8 - Livelli piezometrici del piezometro superficiale PSC01 e livelli del mare.

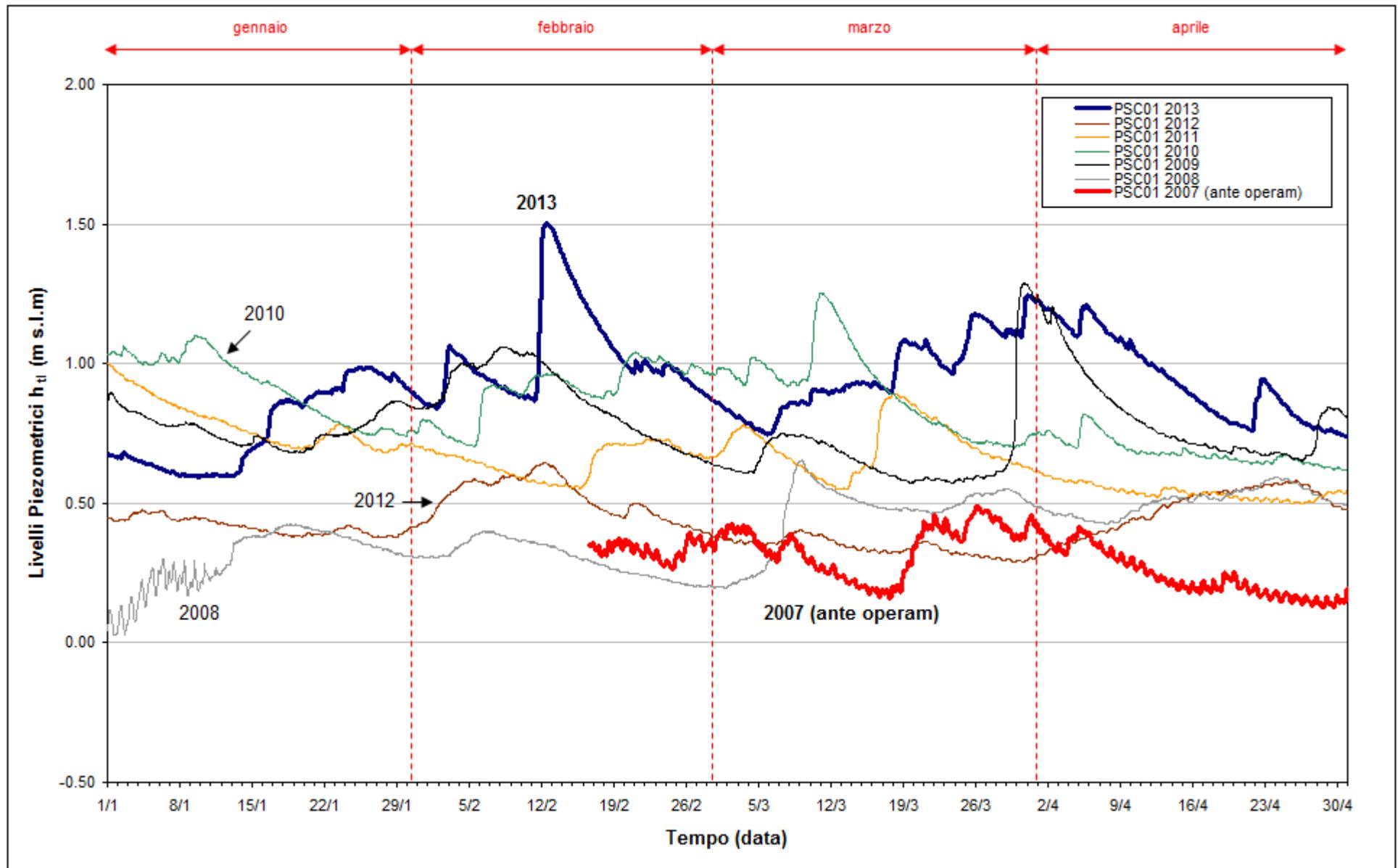


Fig. 9.9 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_u) nel piezometro PSC01 nel periodo gennaio - aprile degli anni 2007+2013.

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.

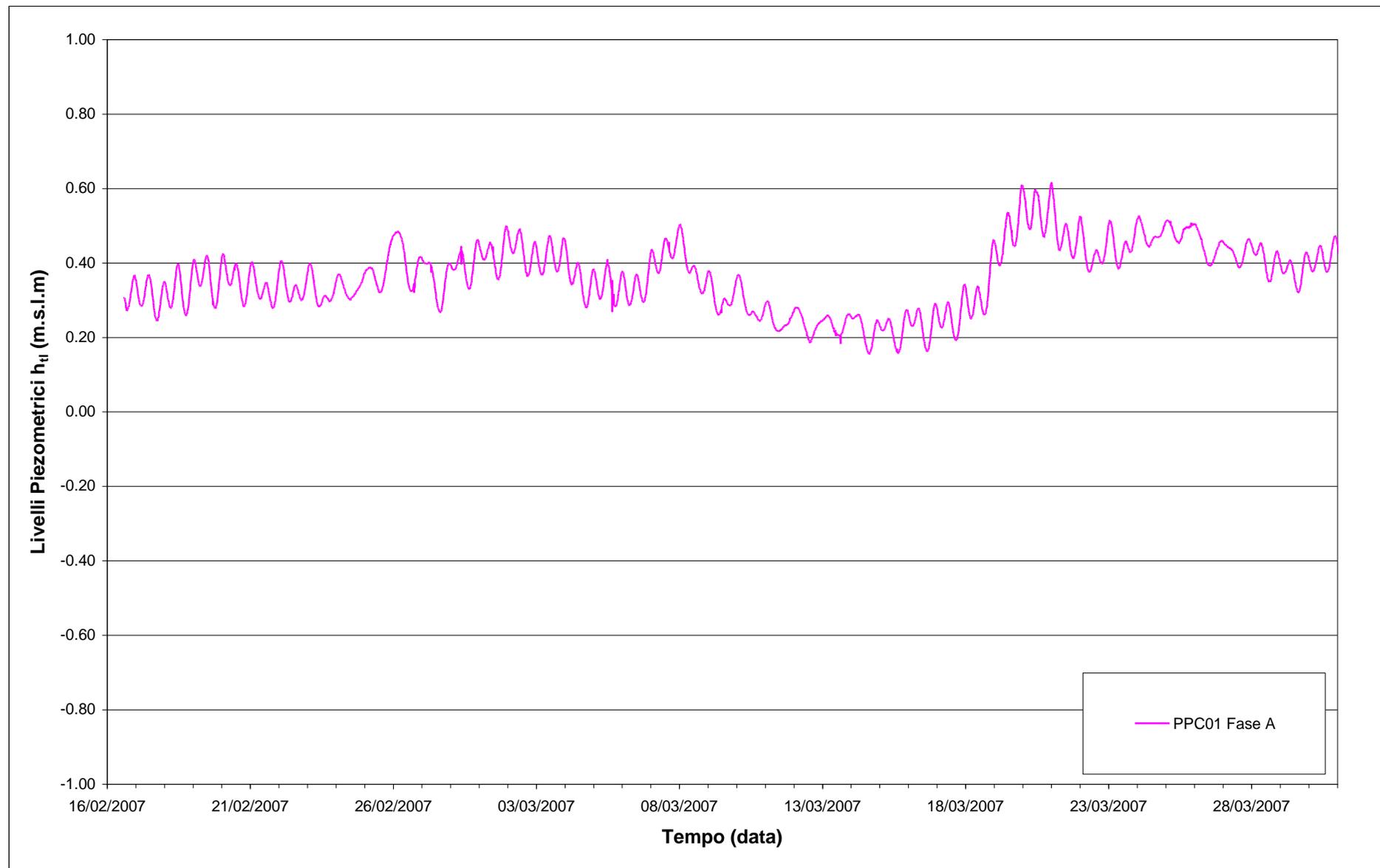
9.4.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_H (Fase A)

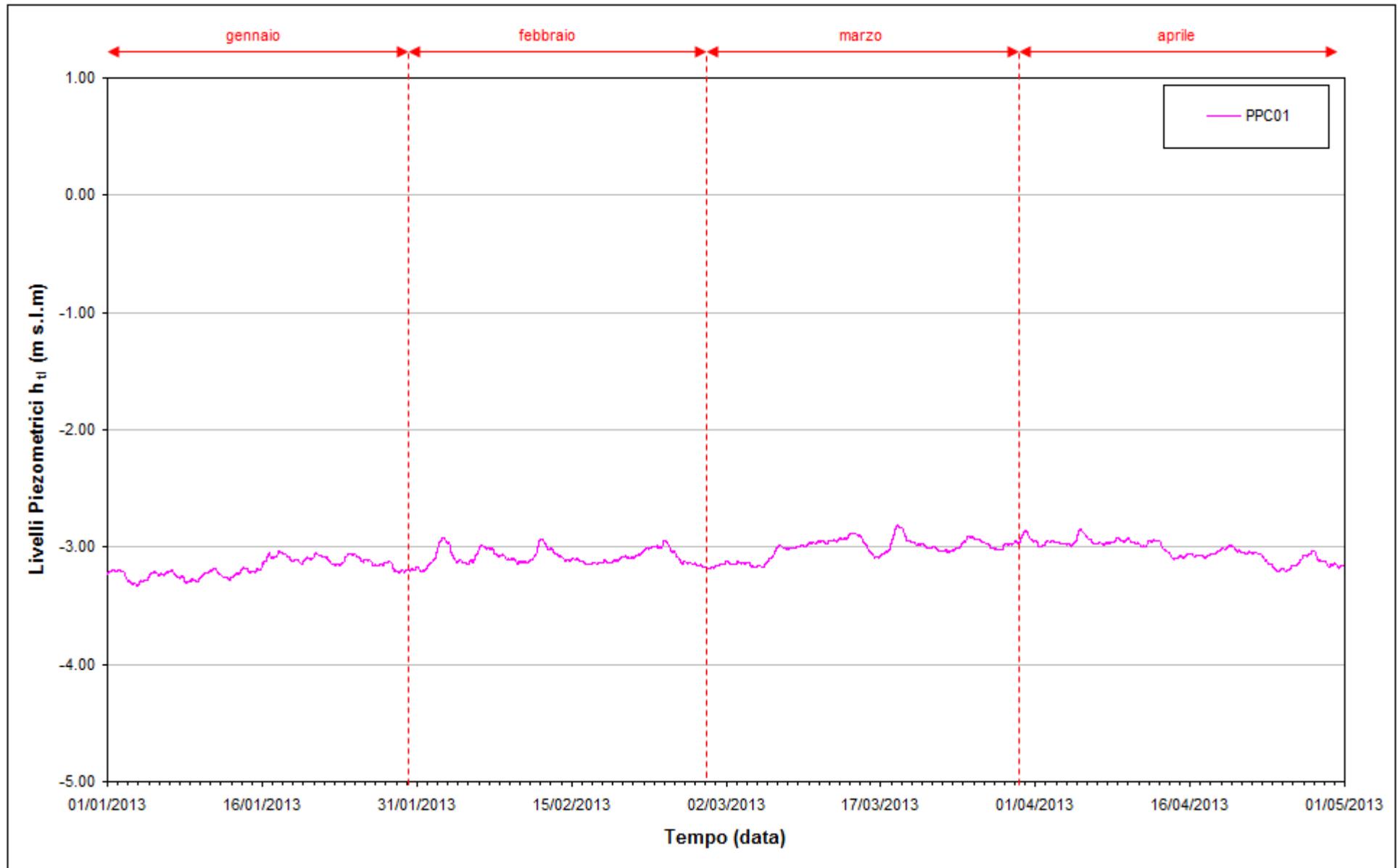
I dati riportati in Fig. 9.10 si riferiscono ai livelli piezometrici assoluti misurati in corrispondenza del piezometro profondo PPC01 nel periodo febbraio - marzo 2007 (Fase A).

9.4.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_H

I dati riportati in Fig. 9.11 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio gennaio - aprile 2013.

Tra l'inizio e la fine del periodo di monitoraggio (01/01/13 - 30/04/13) non si osservano variazioni apprezzabili del carico idraulico nel piezometro profondo PPC01.

Fig. 9.10- Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo durante la Fase A.

Fig. 9.11 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo nel periodo di monitoraggio 01/01/2013 - 30/04/2013.

9.4.3 Effetti mareali e antropici

In Fig. 9.12 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. 9.13 è riportato il confronto tra i quadrimestri gennaio - aprile, dal 2007 al 2013. Rispetto al 2007 (situazione *ante operam*), il carico idraulico nel secondo livello acquifero è diminuito di circa 340 cm a causa dell'emungimento nella tura. Il carico idraulico medio nel periodo gennaio - aprile 2013 è simile a quello registrato nello stesso periodo del 2010, 2011 e 2012, mentre è superiore di 150 cm e di 120 cm circa rispetto allo stesso periodo del 2009 e del 2008: tale variazione è dovuta alla riduzione delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering (vedi Cap. 8.1).

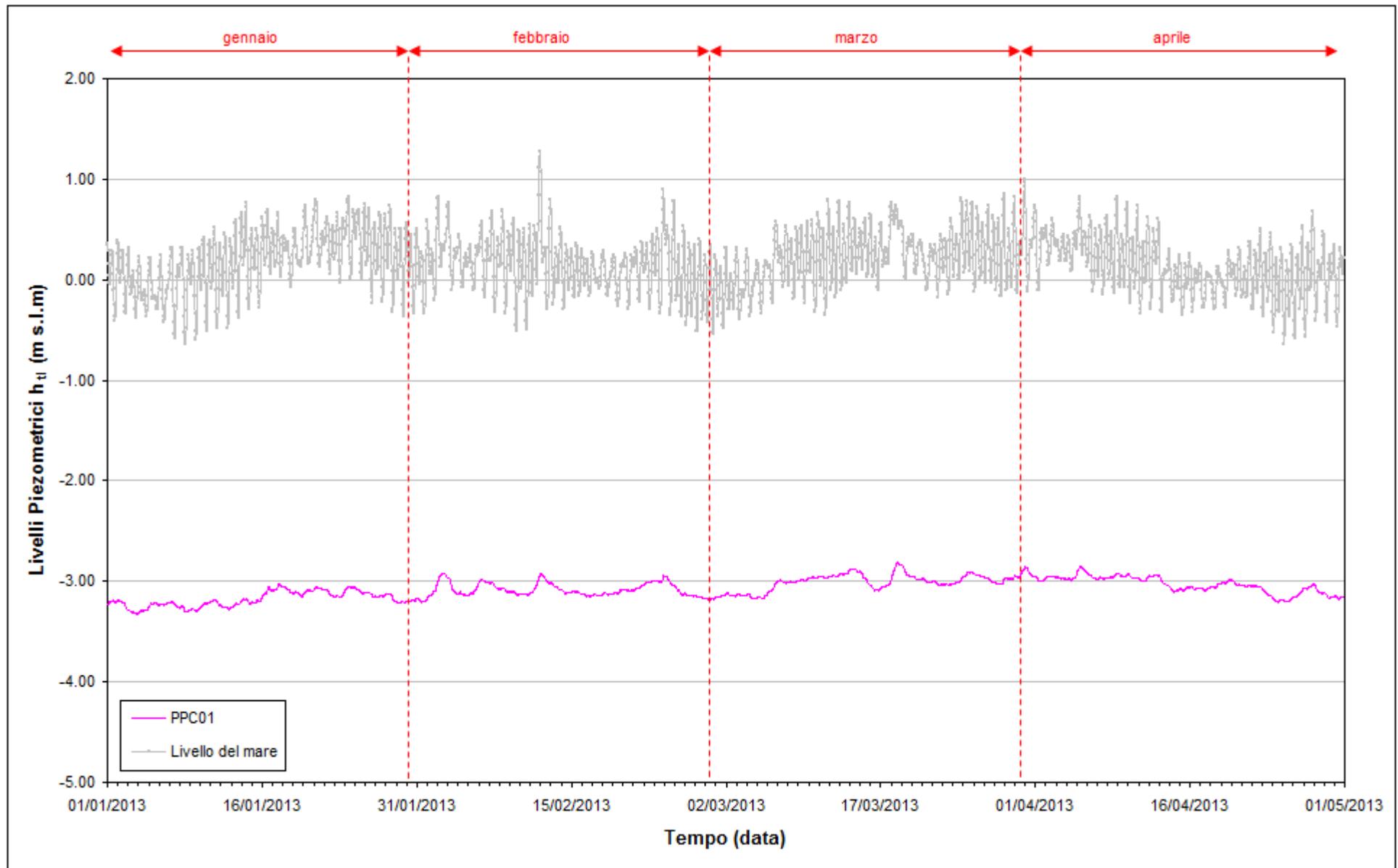


Fig. 9.12 - Livelli piezometrici del piezometro profondo PPC01 e livelli del mare nel periodo di monitoraggio 01/01/2013 - 30/04/2013.

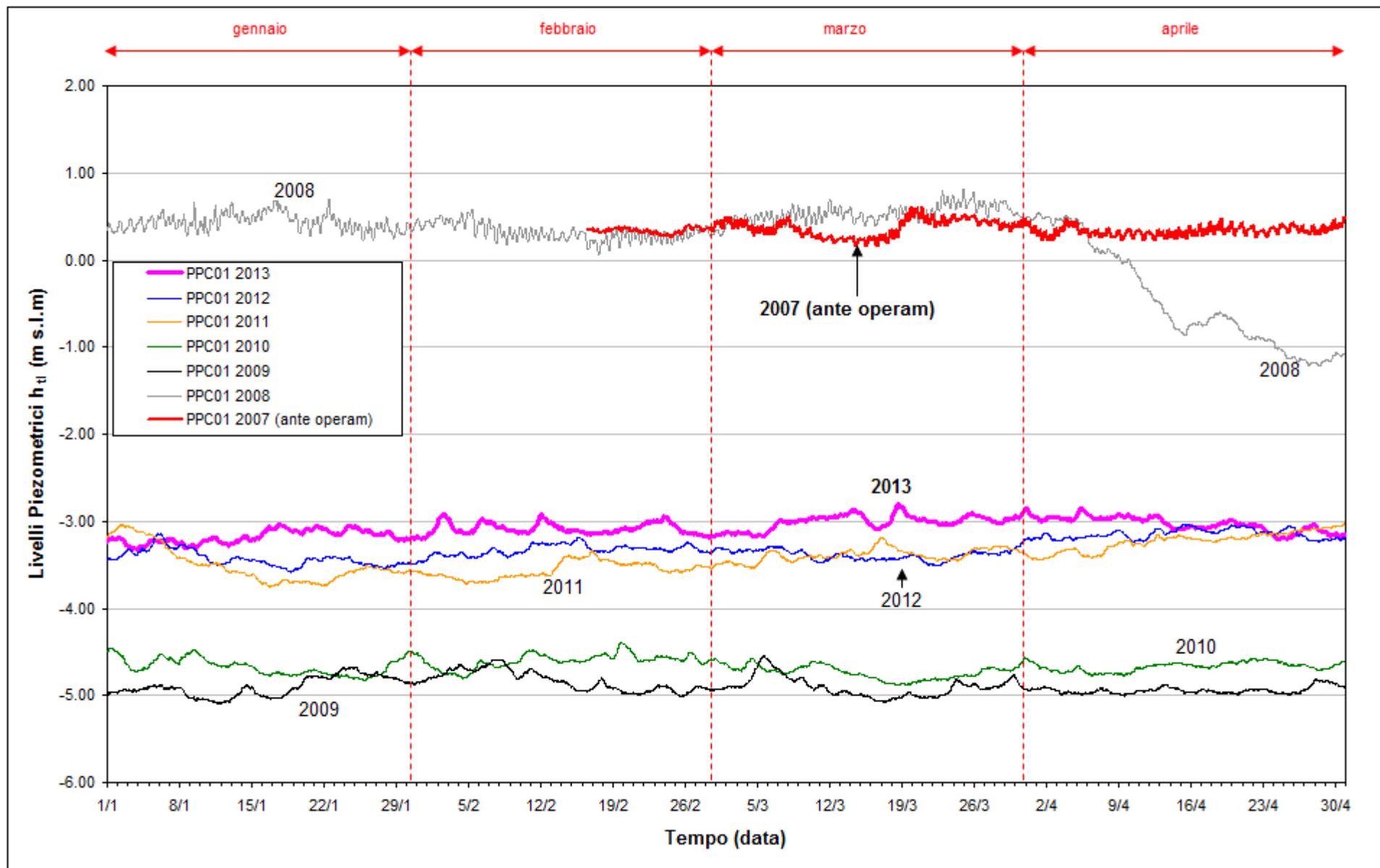


Fig. 9.13 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_u) nel piezometro PPC01 nel periodo gennaio - aprile degli anni 2007÷2013.

10. 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.

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:

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

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 (Figg. 11.1÷11.4) 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.

Nel quadrimestre monitorato (gennaio - aprile 2013) si osserva una diminuzione della densità dell'acqua di falda nei piezometri PSC01 e PPC01, attribuibile all'infiltrazione di acqua piovana.

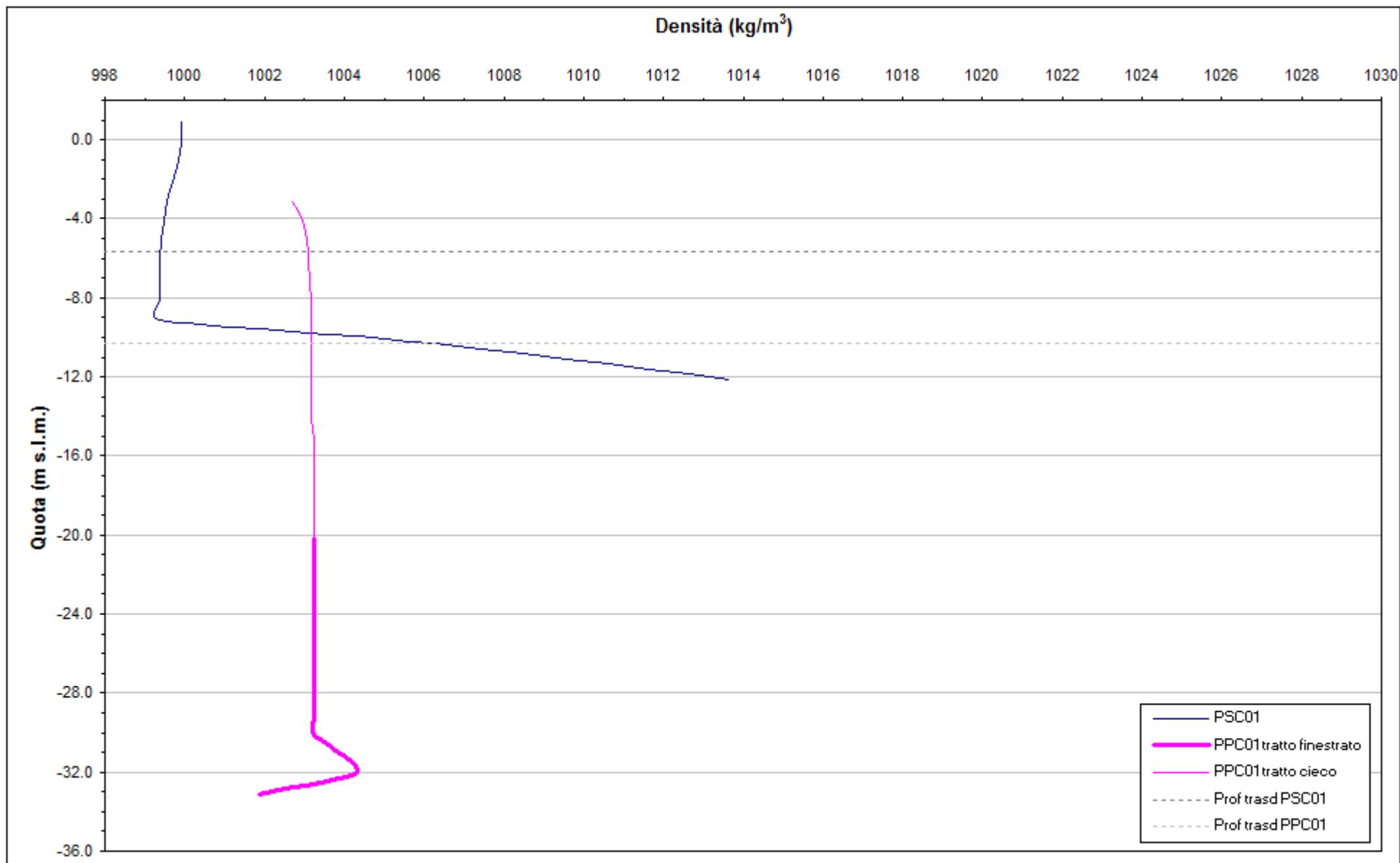


Fig. 11.1 Profili verticali di densità - 05/02/2013.

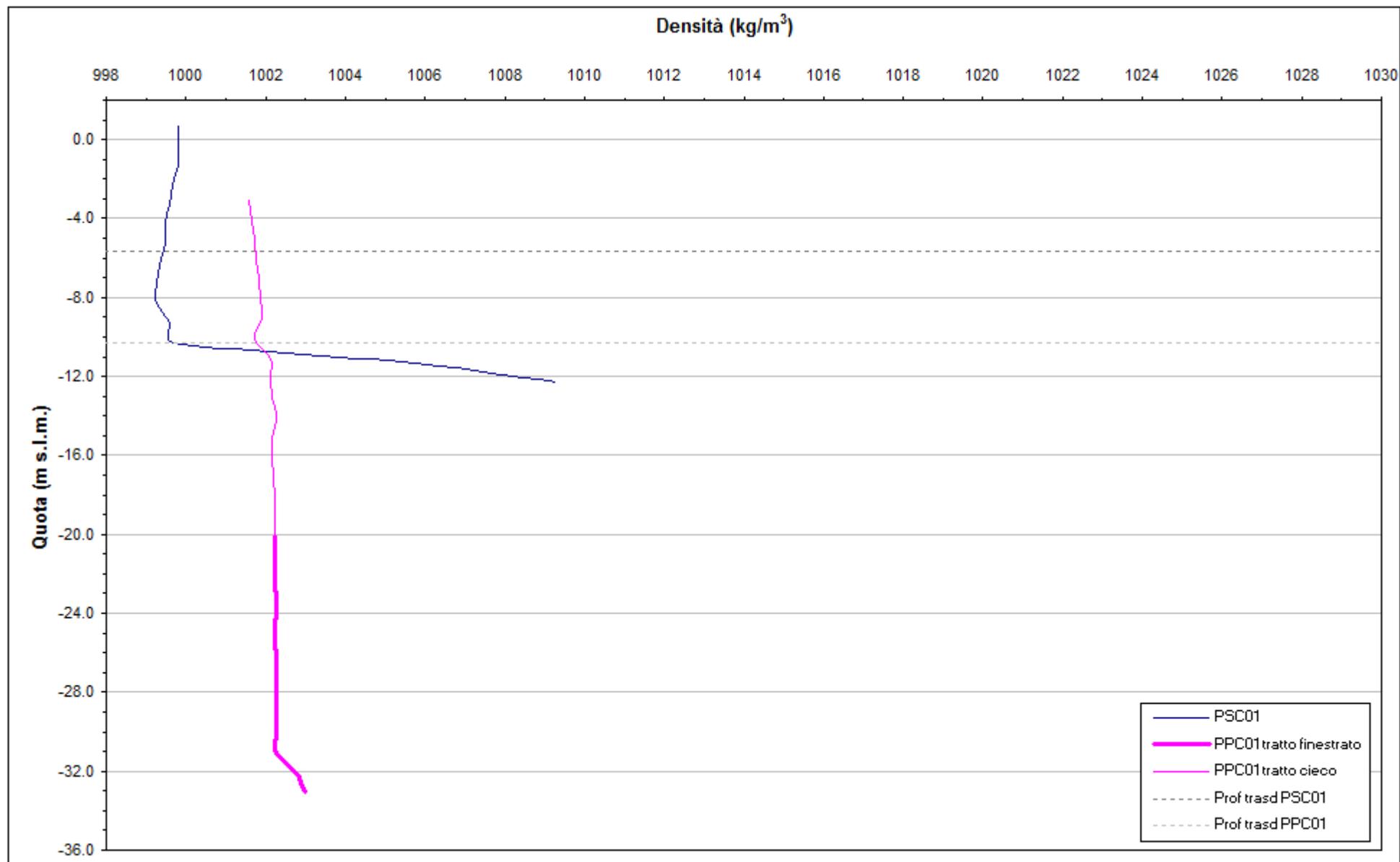


Fig. 11.2 - Profili verticali di densità - 07/03/2013.

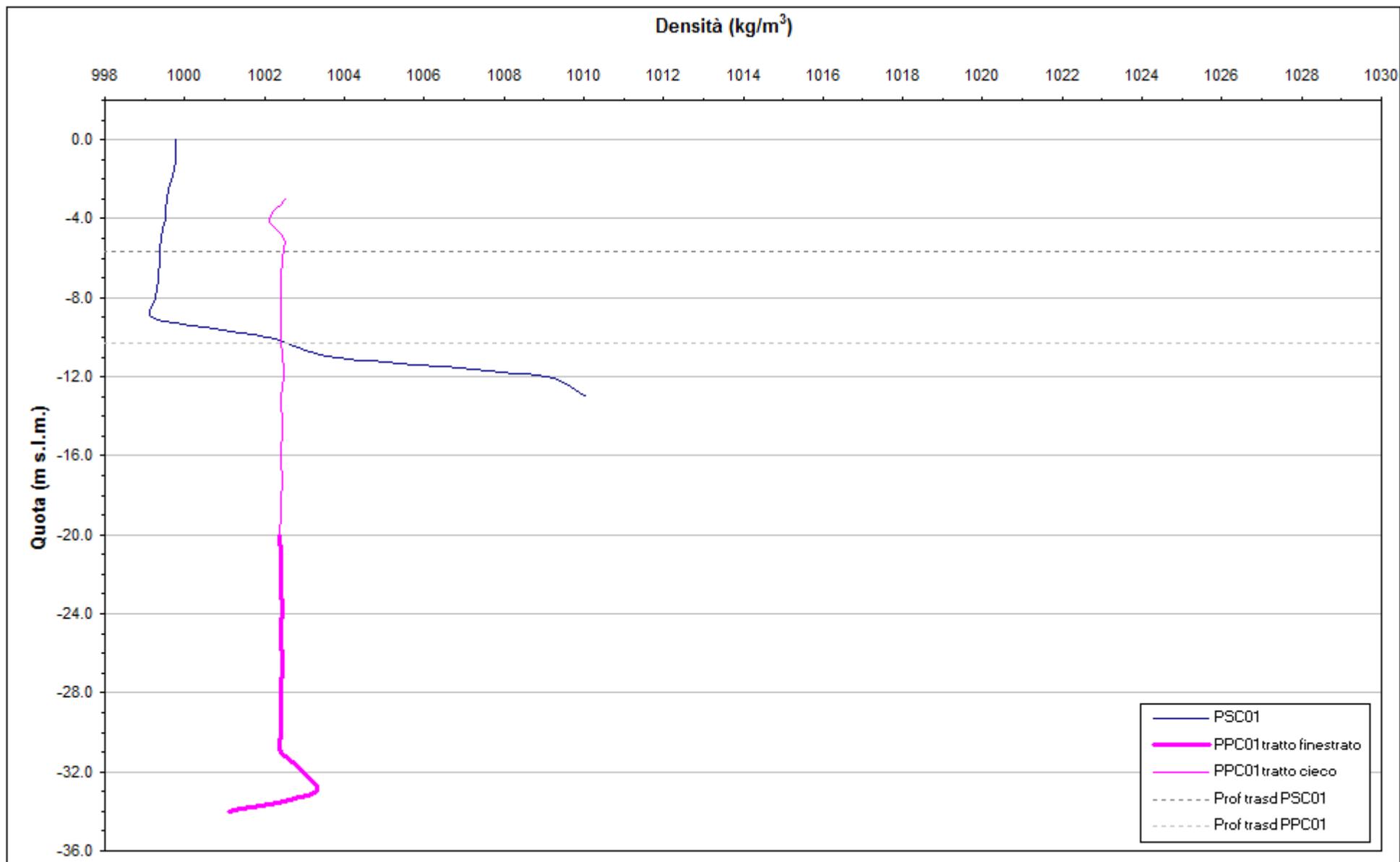


Fig. 11.3 - Profili verticali di densità - 04/04/2013.

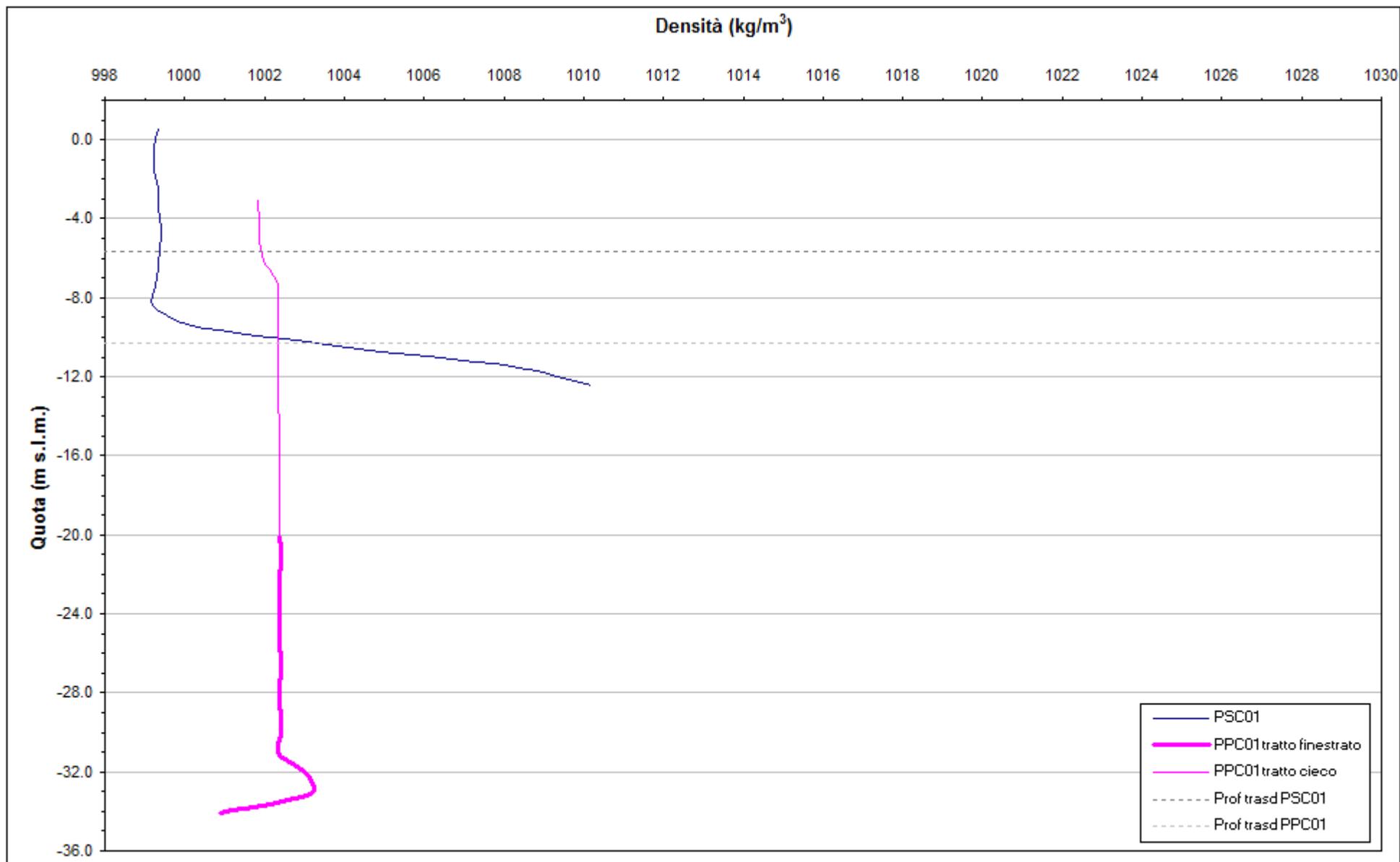


Fig. 11.4.- Profili verticali di densità - 07/05/2013.

12. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE

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

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

Tab. 12.1- Identificazione preliminare delle soglie ed azioni correttive.

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

Sigla	ALI			ALM		
Evento	Alto livello istantaneo			Alto livello medio (24 h)		
Espressione	$h_{ul} > z_t$			$\bar{h}_{ul,24} > z_t$		
Causa	Naturale	Antropica		Naturale	Antropica	
		Varia	Cantiere		Varia	Cantiere
Azione	-	Valutare affidabilità dati Barologger 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 (gennaio - aprile 2013) è stato verificato il rispetto delle soglie di livello (Figg. 12.1÷12.3):

- 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.

12.1 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 Consorzio Venezia Nuova).

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), compatibilmente con i criteri di sicurezza del cantiere.

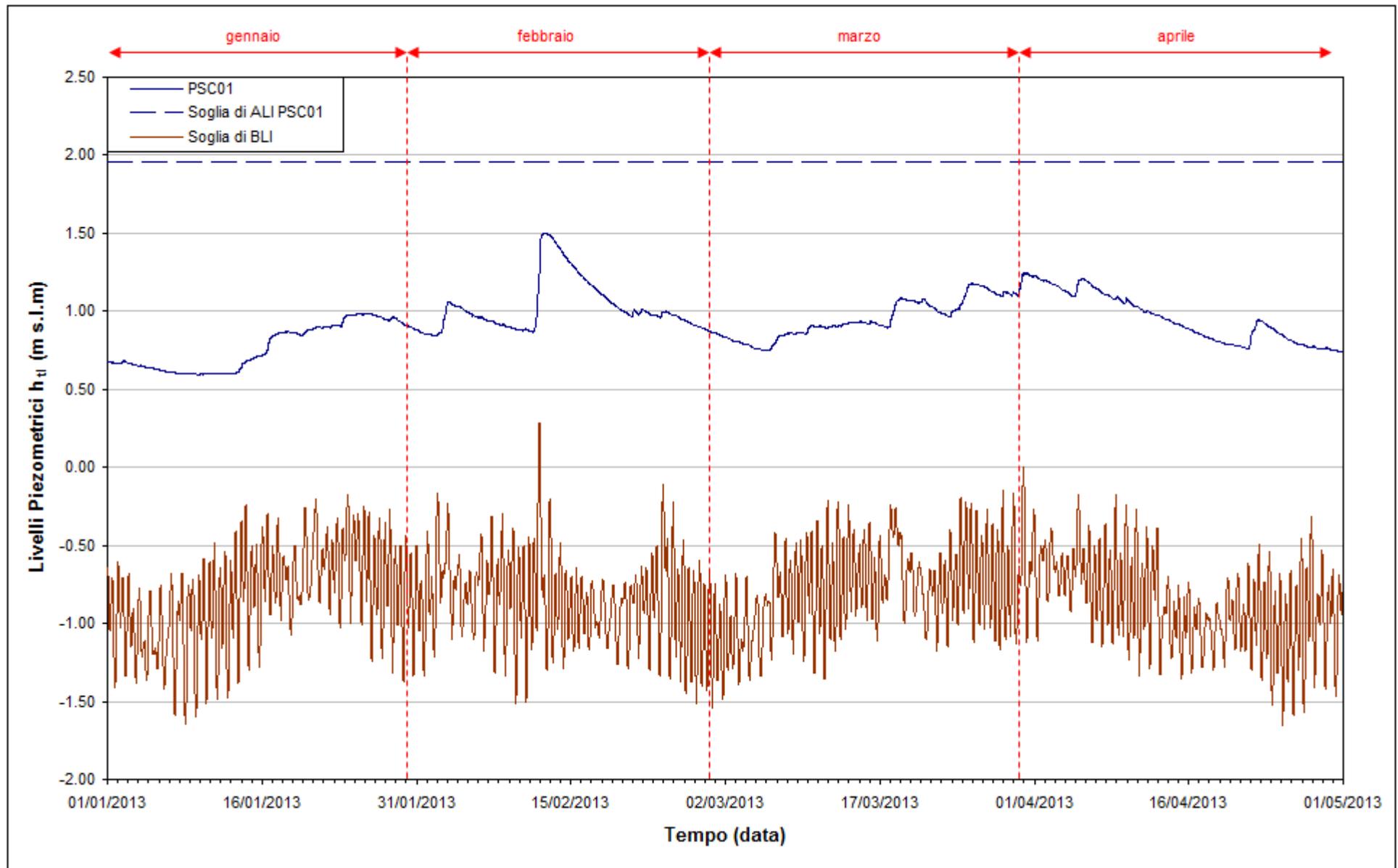


Fig. 12.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro superficiale PSC01.

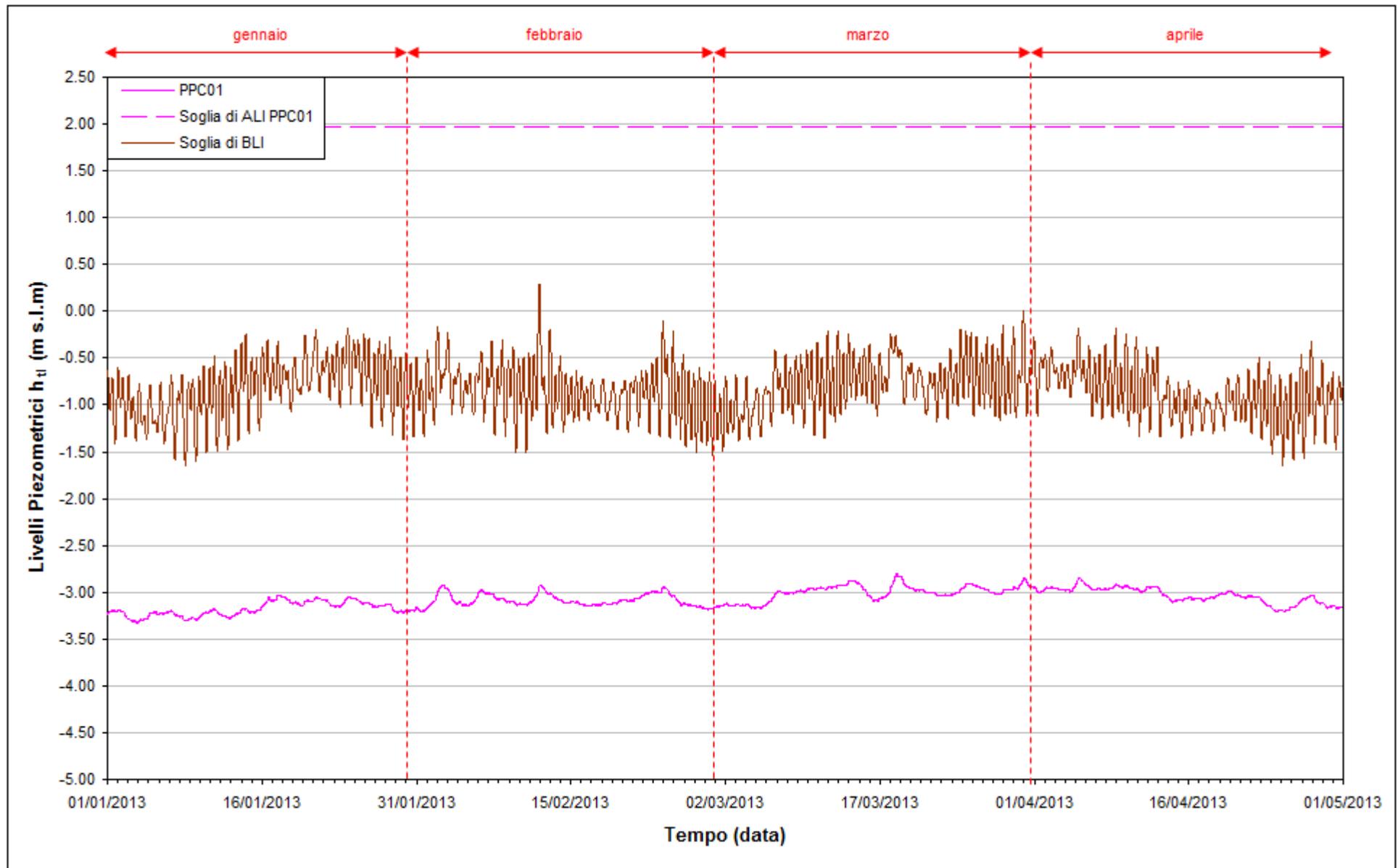


Fig. 12.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro profondo PPC01.

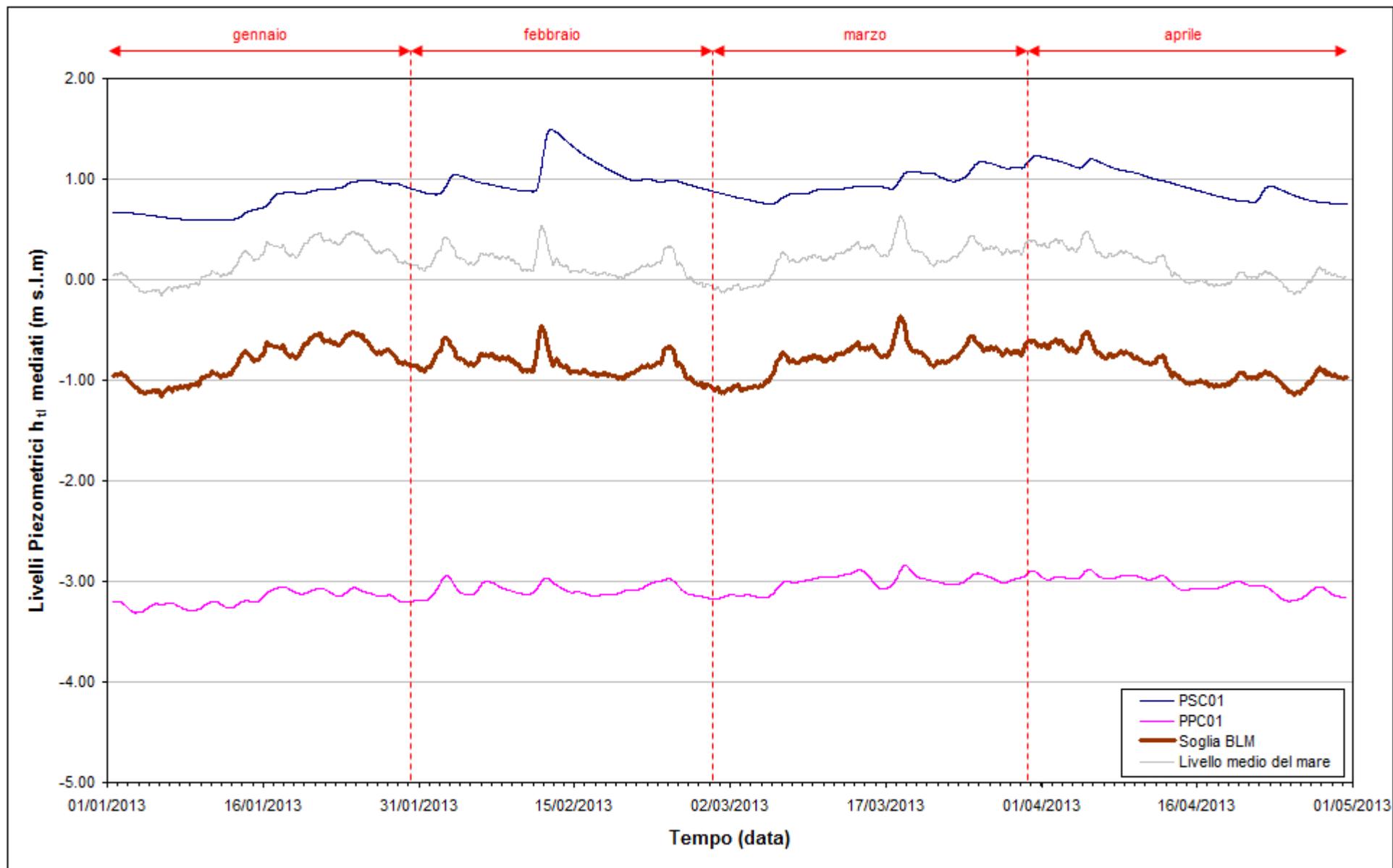


Fig. 12.3 - Soglia di Basso Livello Medio per i piezometri PSC01 e PPC01.

13. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/01/2013 e il 30/04/2013, 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 monitorato (01/01/13 - 30/04/13) non si osservano variazioni apprezzabili del livello di falda nel piezometro superficiale PSC01, tuttavia si sono verificate ampie oscillazioni (circa 90 cm di escursione), dovute alle forti precipitazioni registrate (totale: 464.4 mm, a fronte di una media di 193.0 mm per lo stesso periodo negli anni 1992÷2012. Fonte: stazione meteorologica "ARPAV - Chioggia loc. S. Anna") e al successivo flusso di falda diretto verso il mare.

Nel piezometro PPC01 non si osservano variazioni apprezzabili del carico idraulico durante il quadrimestre monitorato.