



**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/7**

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

Documento **MACROATTIVITÀ: LIVELLI DI FALDA
II RAPPORTO DI VALUTAZIONE
PERIODO DI RIFERIMENTO: DA SETTEMBRE A
DICEMBRE 2011**

Versione **2.0**

Emissione **1 Luglio 2012**

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> | 14 |
| 2.2.3 <i>Pressione atmosferica - h_b</i> | 16 |
| 2.3 Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A)..... | 18 |
| 2.3.1 <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}</i> | 18 |
| 2.3.2 <i>Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione</i> | 20 |
| 2.3.3 <i>Effetti delle oscillazioni mareali</i> | 24 |
| 2.4 Piezometri profondi – secondo livello acquifero (Strato C)..... | 26 |
| 2.4.1 <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}</i> | 26 |
| 2.4.2 <i>Effetti mareali</i> | 28 |
| 2.4.3 <i>Effetti barometrici</i> | 30 |
| 2.4.4 <i>Effetti antropici</i> | 32 |
| 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 |
| 6.1 Misure di mitigazione..... | 60 |
| 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 |

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

| | | |
|------------|--|------------|
| 9.2 | Descrizione delle forzanti naturali | 75 |
| 9.2.1 | <i>Precipitazioni</i> | 75 |
| 9.2.2 | <i>Livello del mare</i> | 77 |
| 9.2.3 | <i>Pressione atmosferica - hb</i> | 79 |
| 9.3 | Piezometro superficiale – primo livello acquifero (Strato A) | 81 |
| 9.3.1 | <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl (Fase A)</i> | 81 |
| 9.3.2 | <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl</i> | 81 |
| 9.3.3 | <i>Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione</i> | 84 |
| 9.4 | Piezometro profondo – secondo livello acquifero (Strato C) | 87 |
| 9.4.1 | <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl (Fase A)</i> | 87 |
| 9.4.2 | <i>Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl</i> | 87 |
| 9.4.3 | <i>Effetti mareali e antropici</i> | 90 |
| 10. | CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE | 93 |
| 11. | ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA | 94 |
| 11.1 | Il calcolo della densità dell'acqua | 94 |
| 11.1.1 | <i>Profili verticali di densità</i> | 94 |
| 12. | VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE | 99 |
| 12.1 | Misure di mitigazione | 100 |
| 13. | CONCLUSIONI | 104 |

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

1. INTRODUZIONE

La prima parte di questo documento descrive l'analisi dei dati derivanti dal quadrimestre di monitoraggio comprendente il periodo 1 settembre 2011 - 31 dicembre 2011, 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/7 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2009) 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 3 gennaio 2007, è tuttora in corso al fine di mantenere i livelli di falda al di sotto del fondo della tura. 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 e di seguito si riporta la descrizione di alcune misure intraprese dalla Direzione Lavori al fine di ottimizzare il sistema di emungimento (comunicazione del Consorzio Venezia Nuova avvenuta in data 28/06/2012).

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 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.

Messo a regime il sistema sono state intraprese alcune misure di mitigazione quali la variazione

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

della quota della soglia di attenzione da -11 metri a -10 metri nel giugno 2009, e la successiva regimazione della falda che ha determinato una conseguente riduzione delle portate giornaliere a fine ottobre 2009 da 650 mc a 550 mc al giorno.

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.

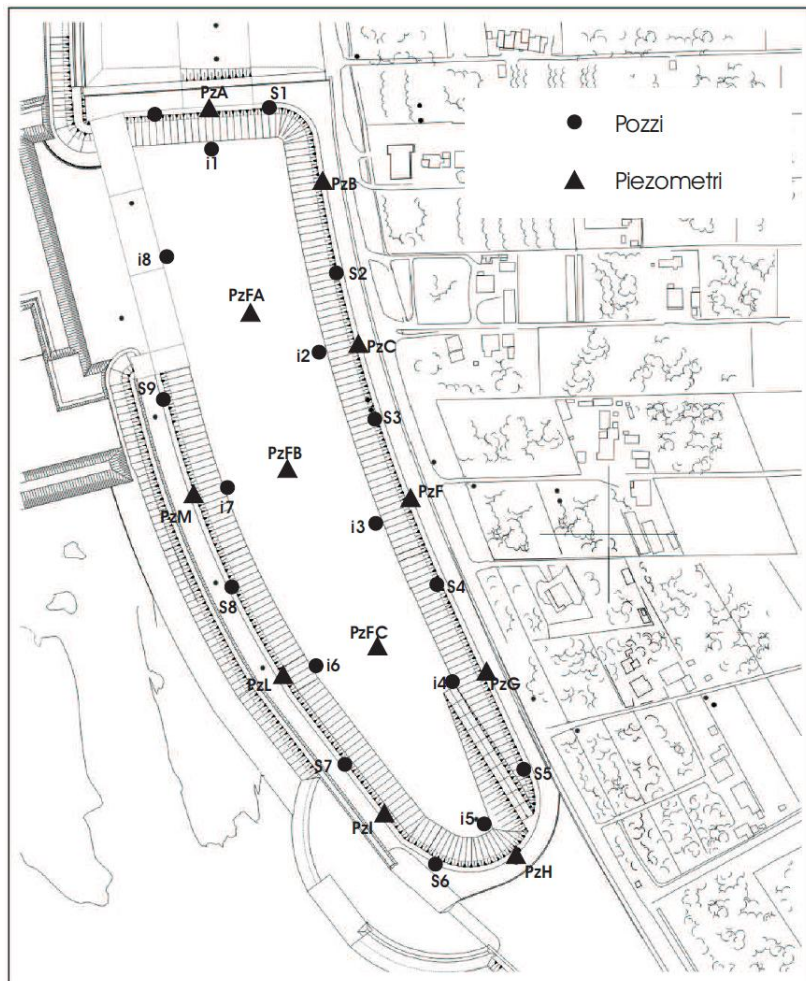


Fig. 1.1 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

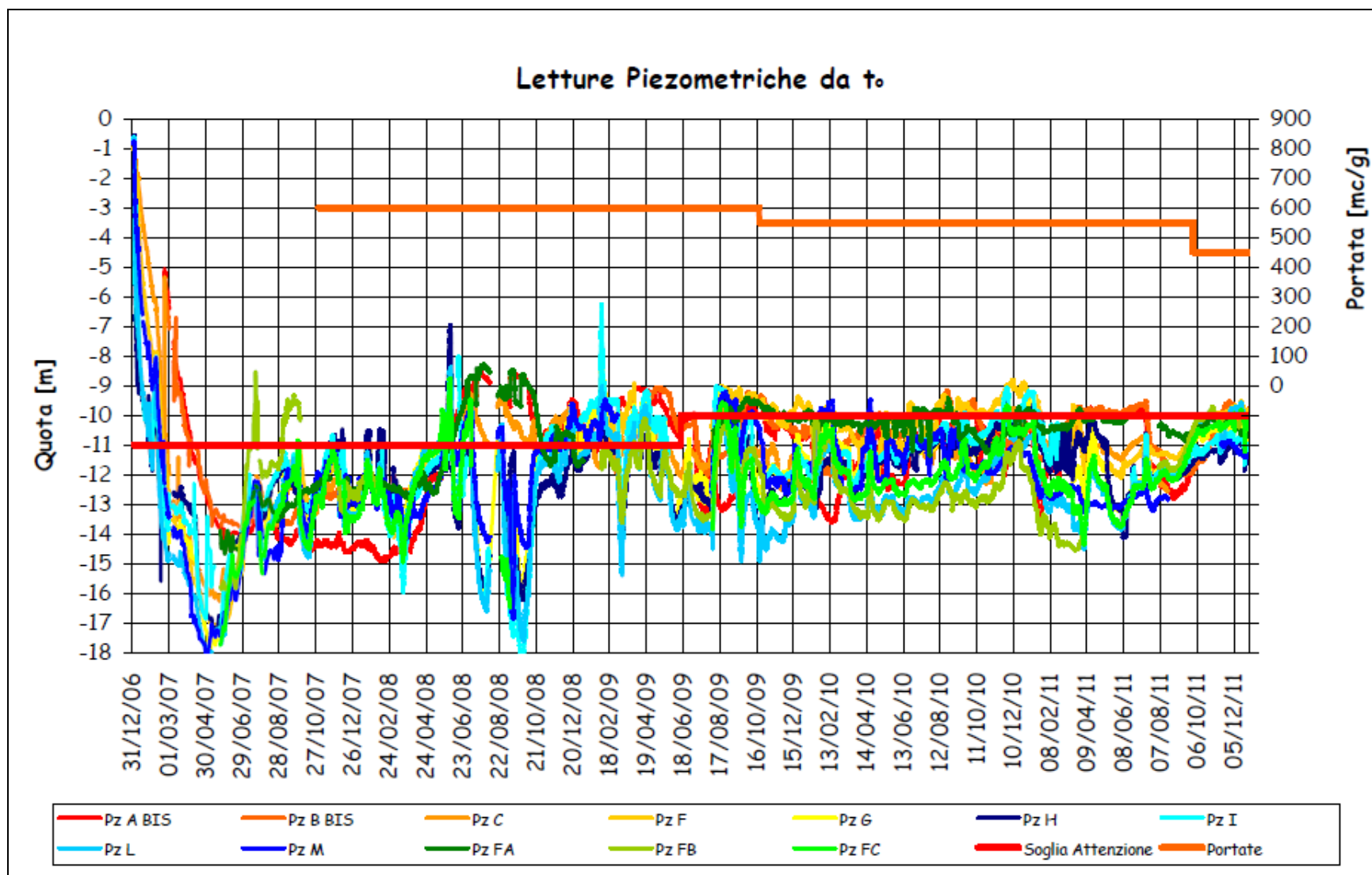


Fig. 1.2 - Andamento temporale dei carichi idraulici misurati all'interno della tura di Punta Sabbioni (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

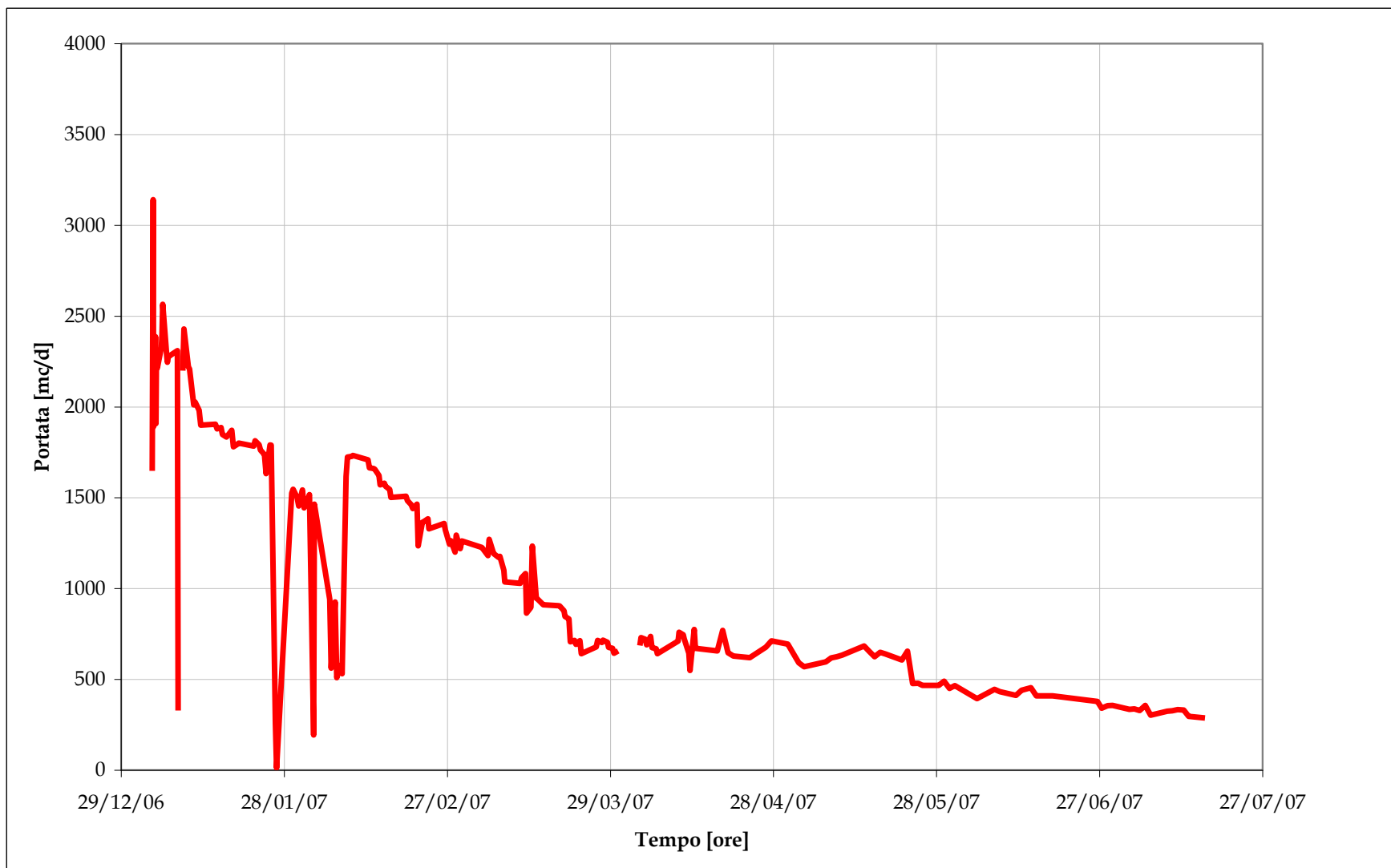


Fig. 1.3 - Portate di emungimento del sistema di dewatering durante l'aggottamento della tura di Punta Sabbioni (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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 01/09/2011 e il 31/12/2011.

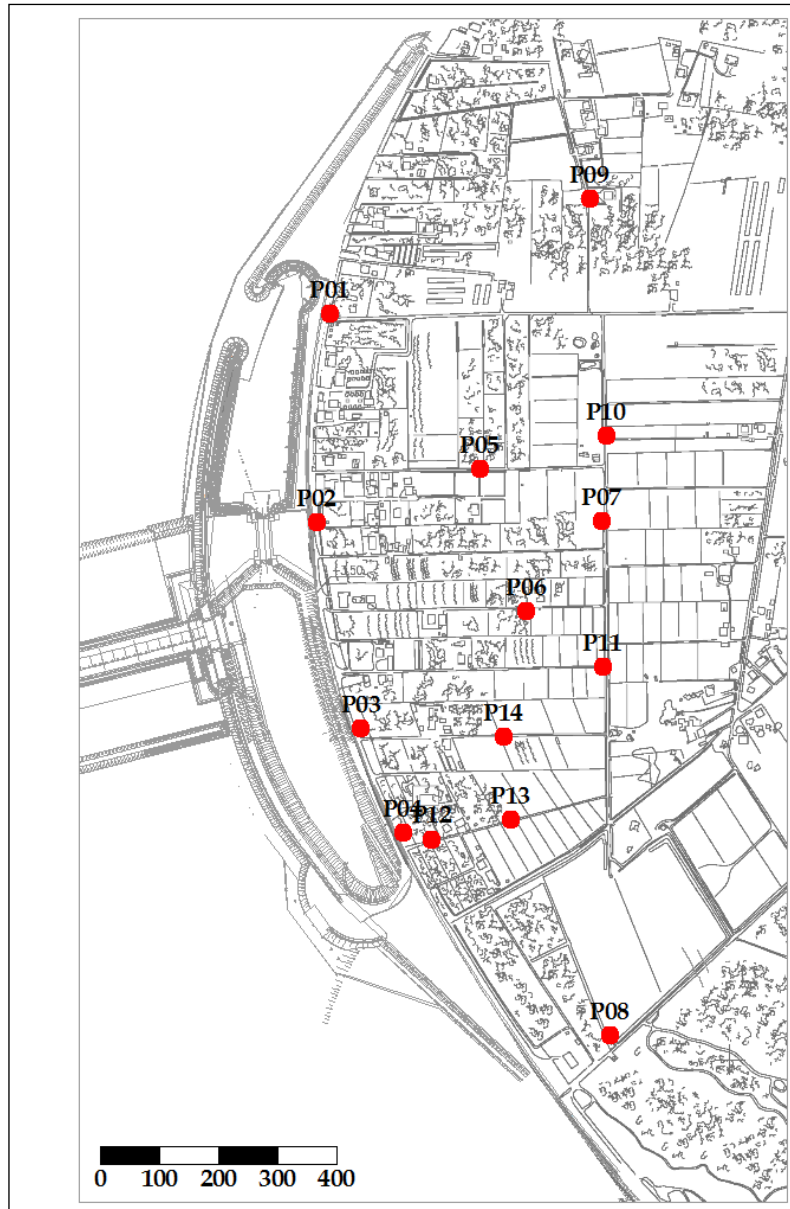


Fig. 2.1 - Ubicazione delle postazioni di monitoraggio.

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 11 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 “Cavallino - Treporti” gestita da ARPA Veneto. La centralina è posta a circa 11 km a nord-est dal sito monitorato e i dati hanno cadenza giornaliera. In Fig. 2.2 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.

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

| DATA | DURATA (h) | ENTITÀ (mm) |
|-------------|------------|-------------|
| 04-06/09/11 | 72 | 17.6 |
| 12/09/11 | 24 | 14.4 |
| 18-20/09/11 | 72 | 20.6 |
| 07/10/11 | 24 | 14.0 |
| 20/10/11 | 24 | 34.0 |
| 25-26/10/11 | 48 | 33.0 |
| 04-07/11/11 | 96 | 47.0 |
| 12/12/11 | 24 | 6.8 |
| 29/12/11 | 24 | 6.0 |

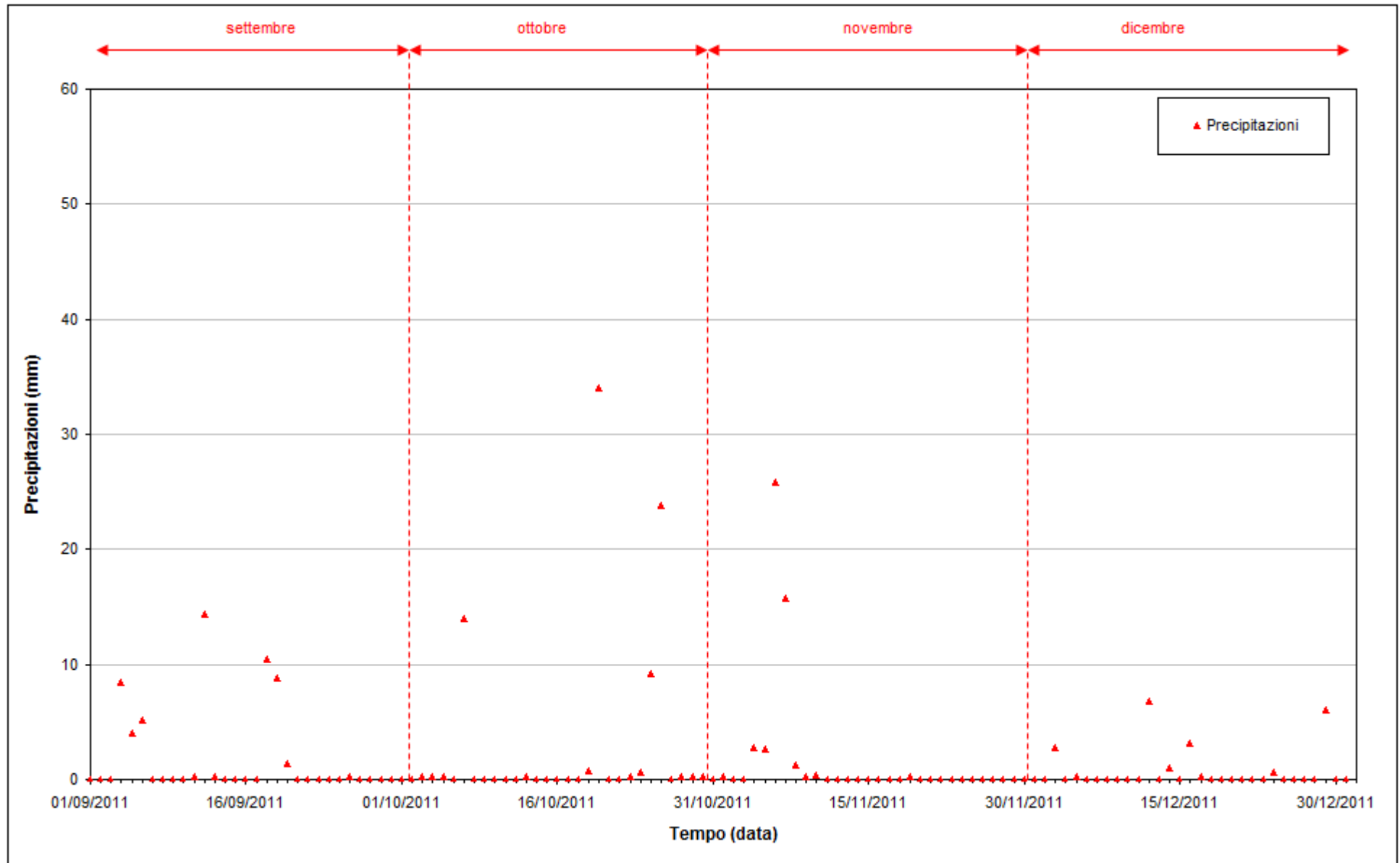


Fig. 2.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/09/2011 - 31/12/2011.

2.2.2 *Livello del mare*

In Fig. 2.3 è riportata la serie temporale relativa ai livelli marini registrati dal mareografo Diga Sud Lido (stazione di monitoraggio meteo-marino dell'Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree). I dati riportati sono riferiti alla Rete Altimetrica dello Stato "Genova 1942" e sono caratterizzati da una frequenza di acquisizione oraria nell'intero periodo monitorato.

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

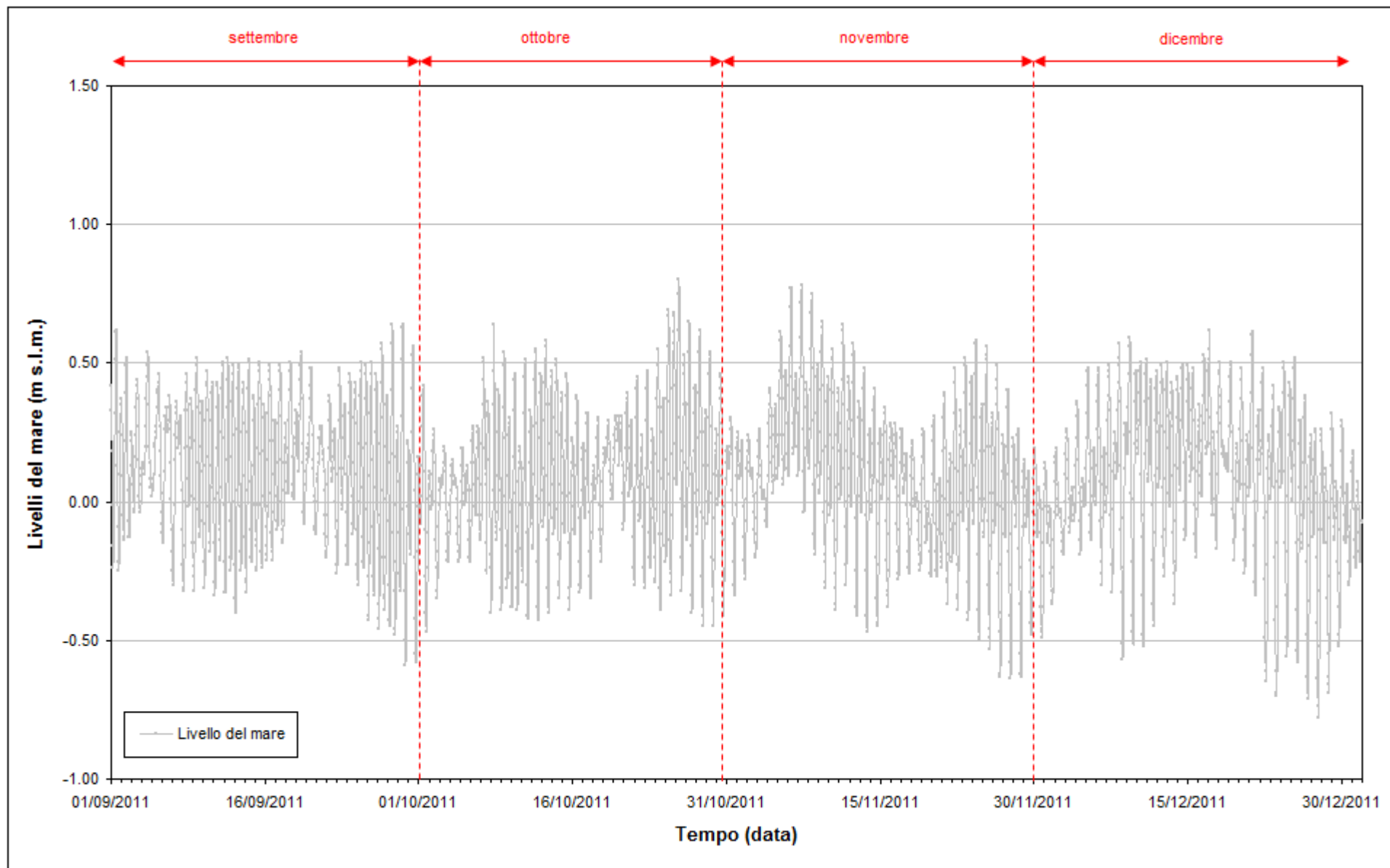


Fig. 2.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo "Diga Sud Lido". I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

2.2.3 *Pressione atmosferica - h_p*

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

In Fig. 2.5 è riportato l'andamento dei tracciati di misura dei Barologger nel periodo di riferimento. Dall'analisi delle curve si può notare come le due registrazioni siano tra loro in buon accordo, ad eccezione del periodo 06/10/11 - 05/11/11, nel quale si sono verificate anomalie di funzionamento del barologger B02. Nell'elaborazione dei dati sono state utilizzate le misure acquisite dal Barologger B02 per i mesi di settembre e di dicembre 2011, mentre per i mesi di ottobre e novembre sono state utilizzate le misure del Barologger B01, alle quali, per uniformità di elaborazione, è stato sottratto lo scarto medio con il B02 misurato nel mese di settembre 2011.

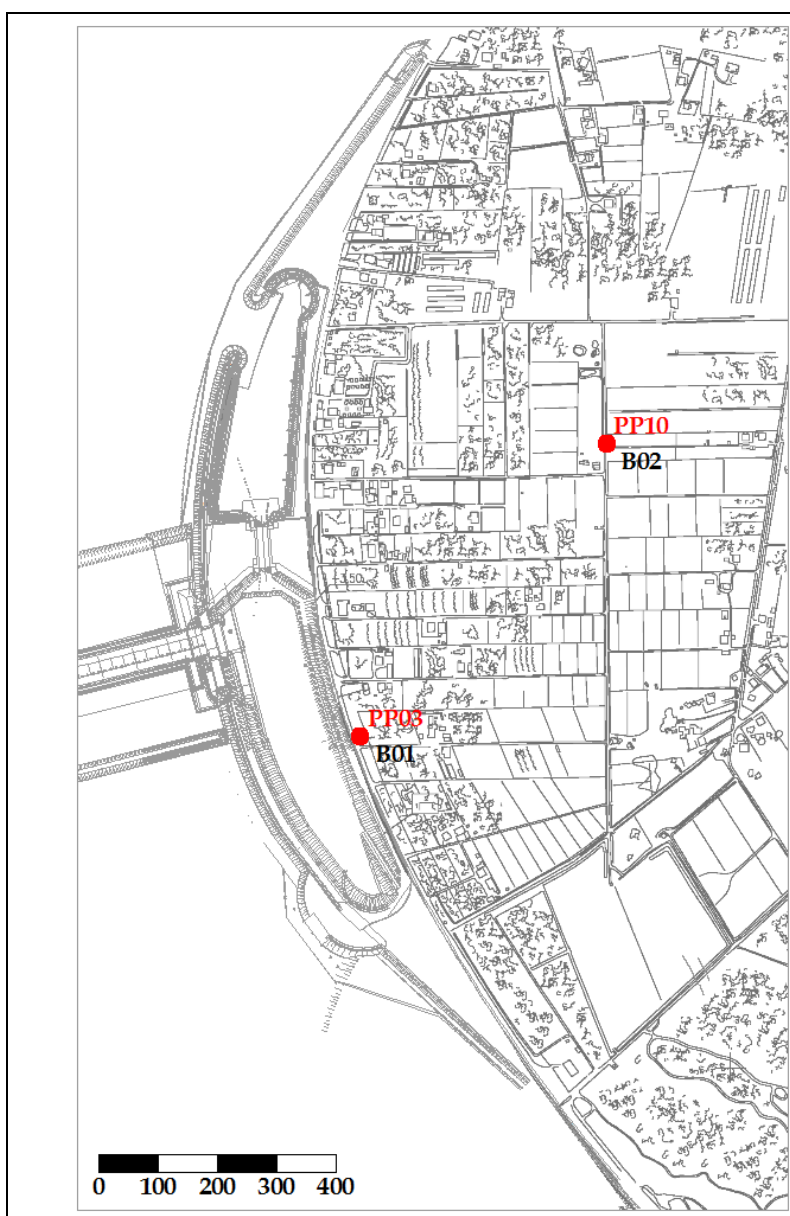
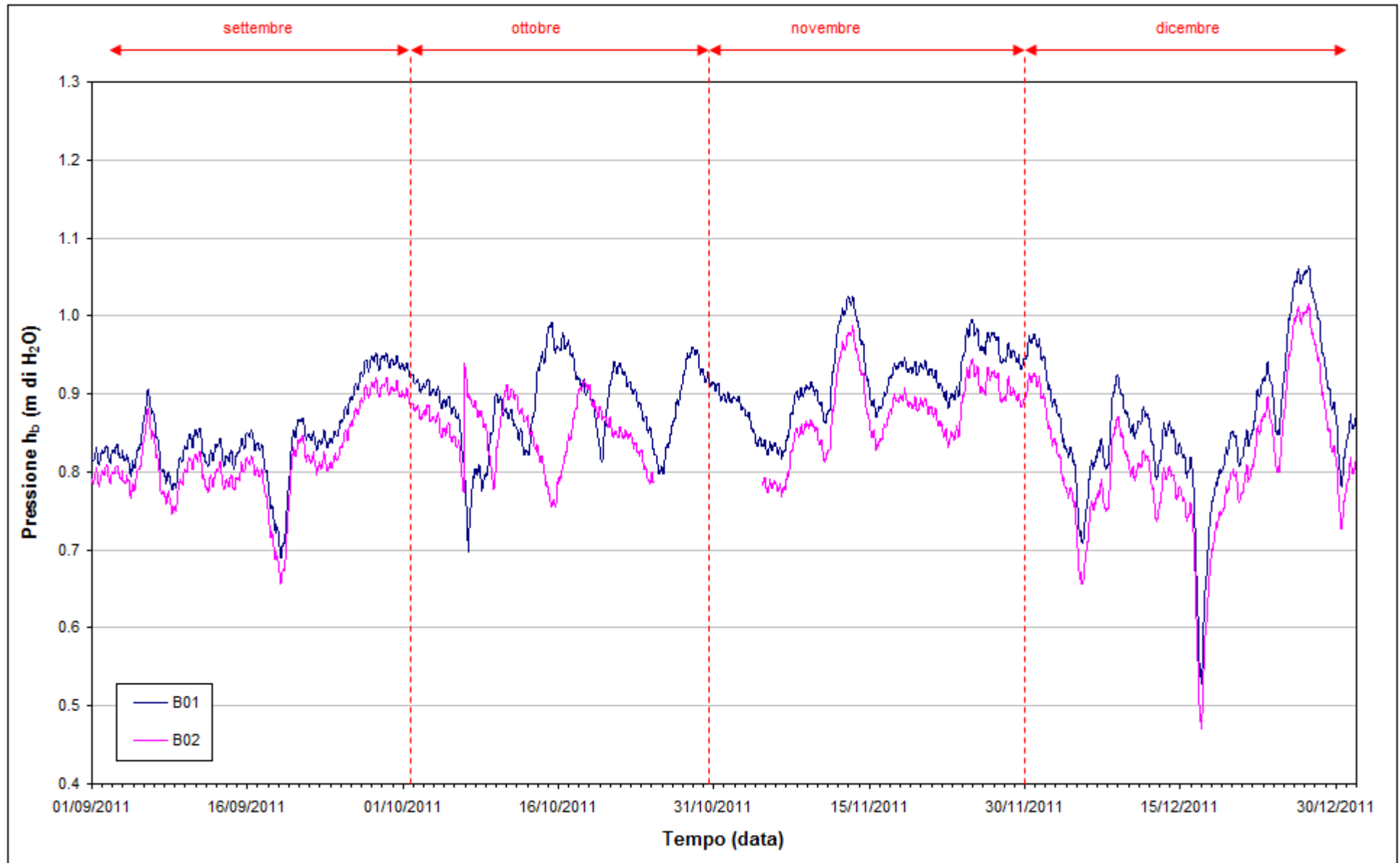


Fig. 2.4 - Ubicazione dei Barologger B01 e B02.

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

2.3 Piezometri superficiali - primo livello acquifero (Strato A)

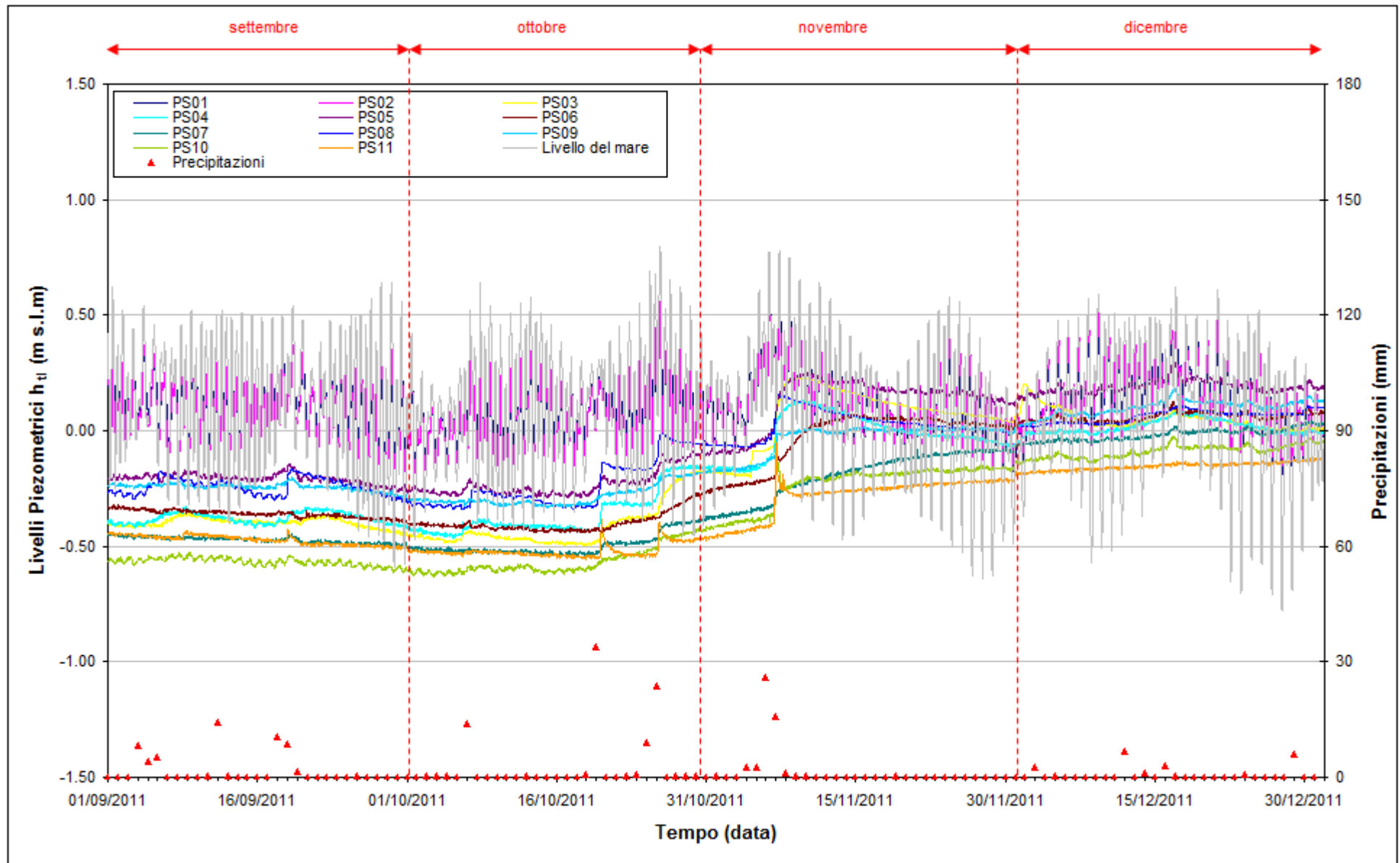
In questo capitolo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti degli 11 piezometri superficiali finestrati in corrispondenza del primo livello acquifero (Strato A), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.

2.3.1 *Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl*

I dati riportati in Fig. 2.6 sono riferiti ai quattro mesi di monitoraggio di Fase B (01/09/11 - 31/12/11).

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) si registra un lieve aumento dei livelli, compreso tra circa 35 e 50 cm, attribuibile alle precipitazioni piovose.

Fig. 2.6 - Livelli piezometrici (h_u) relativi ai piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/09/2011 - 31/12/2011.

2.3.2 Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione

In Fig. 2.7 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 la percentuale di ore diurne, sul totale annuale (vedi Tab. 2.2);
- 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] |
|---------------|-----------------|--------|-------|------|------------|---------------------|
| Settembre | 23.7 | 30 | 12.5 | 0.45 | 3.4 | 53.2 |
| Ottobre | 17.1 | 31 | 11 | 0.45 | 2.6 | 84.0 |
| Novembre | 12.1 | 30 | 9.5 | 0.45 | 1.9 | 49.2 |
| Dicembre | 8.4 | 31 | 8.8 | 0.45 | 1.5 | 20.8 |
| TOTALE | 15.3 °C (media) | 122 gg | - | - | 289.1 mm | 207.2 mm |

Tra l'inizio e la fine del periodo monitorato (01/09/11 - 31/12/11) si registra un leggero aumento del livello di falda superficiale, compreso tra 35 e 50 cm circa nei piezometri PS03÷11. A causa dell'elevata soggiacenza, si ipotizza che l'evapotraspirazione reale sia stata inferiore a quella potenziale riportata in Tab. 2.3. Ciò giustifica quindi l'aumento del livello di falda, sia pure in presenza di una evapotraspirazione potenziale totale superiore alla somma delle precipitazioni piovose.

I livelli nel quadrimestre settembre-dicembre 2011 sono i più bassi dall'inizio del monitoraggio, come evidenziato nei confronti in Fig. 2.8 e Fig. 2.9. La differenza rispetto all'anno precedente (periodo 01/09/10 - 31/12/10) è compresa tra 60 e 100 cm circa. Tale differenza è causata dal perdurare della siccità estiva, poiché le precipitazioni sono state inferiori alle medie stagionali: 207.2 mm, a fronte di una media nel quadrimestre settembre-dicembre di 269 mm (fonte: ENEA, stazione meteo Lido di Venezia).

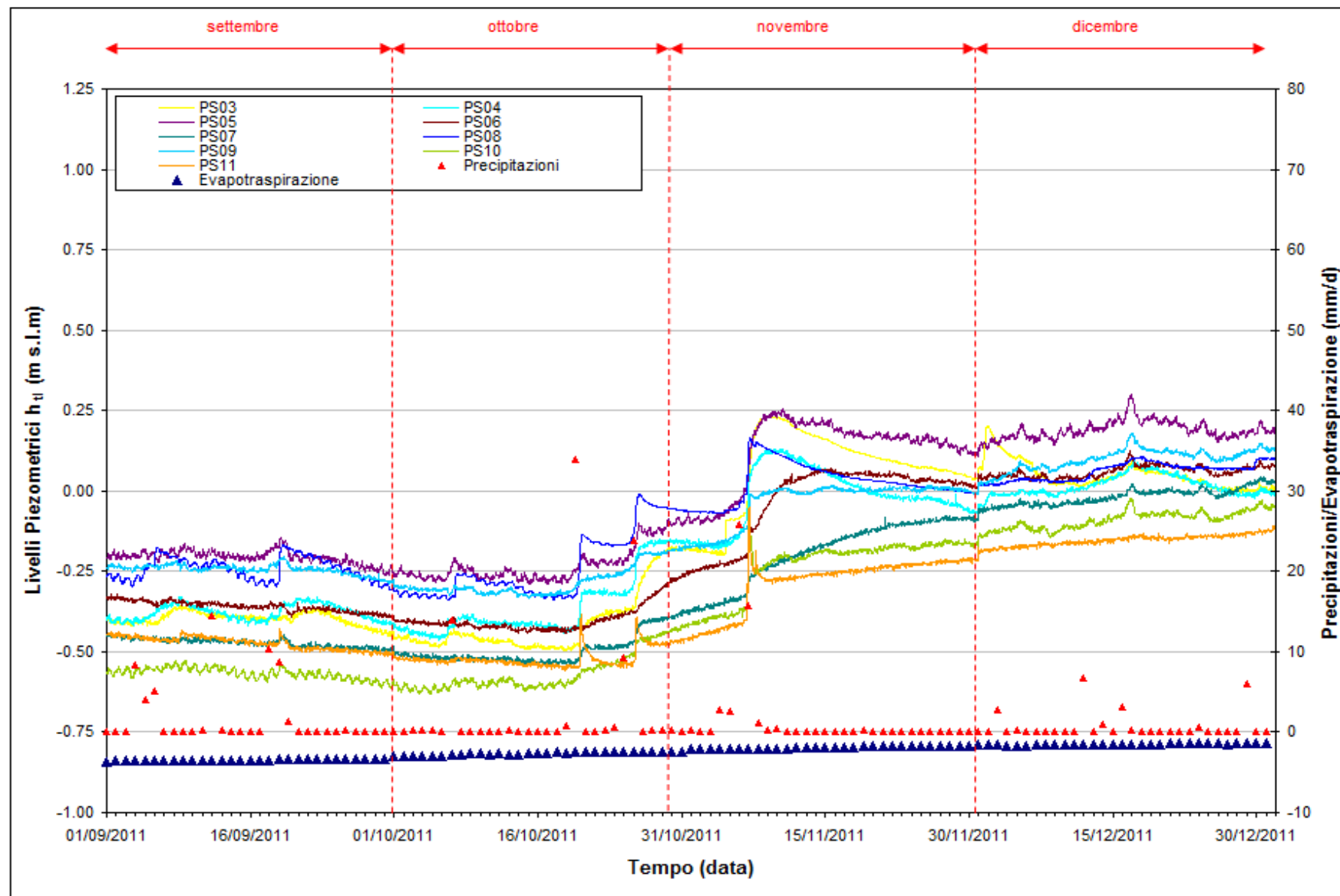


Fig. 2.7 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali maggiormente sensibili alle precipitazioni e all'evapotraspirazione.

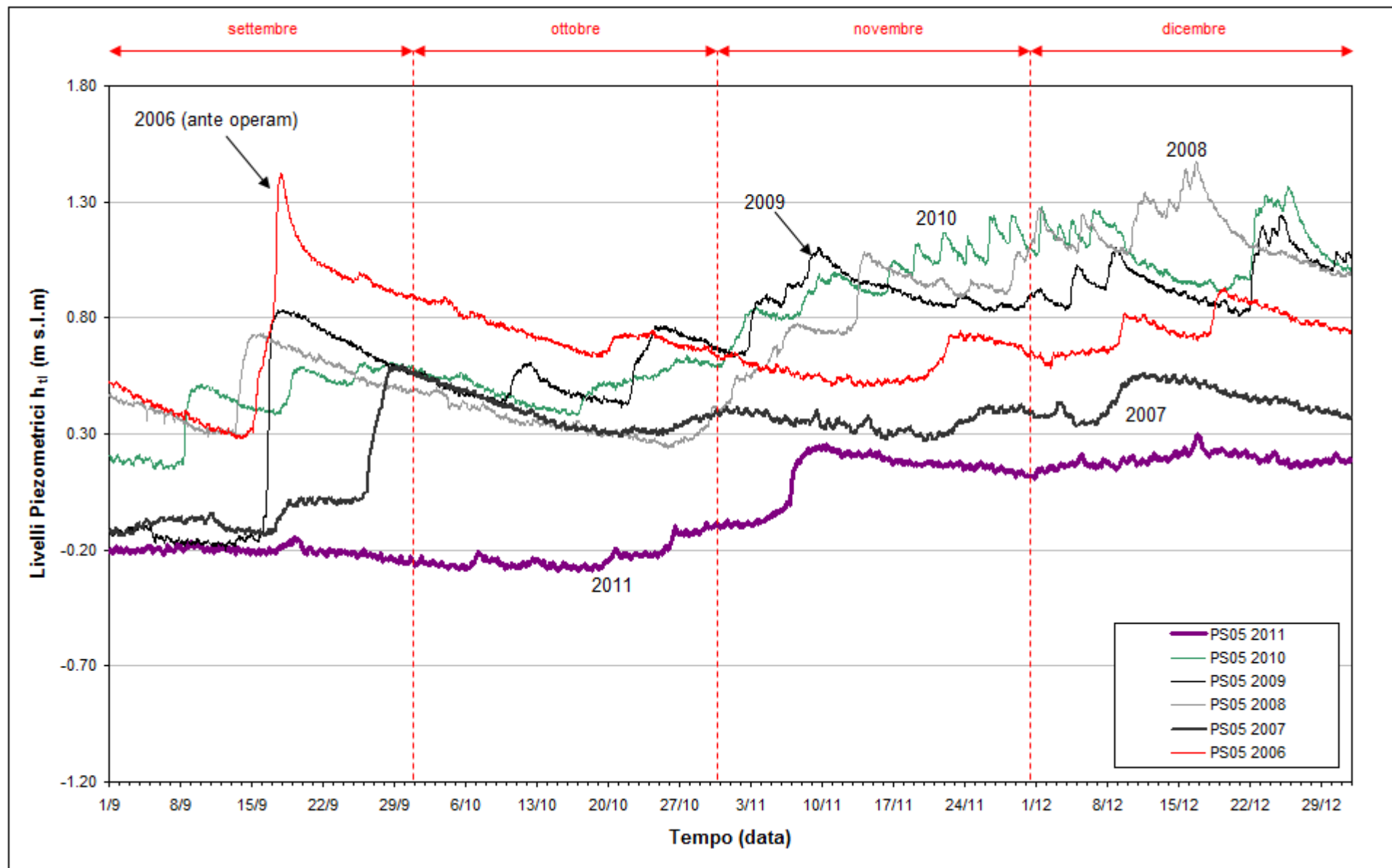


Fig. 2.8 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_t) nel piezometro PS05 nel periodo settembre - dicembre degli anni 2006÷2011.

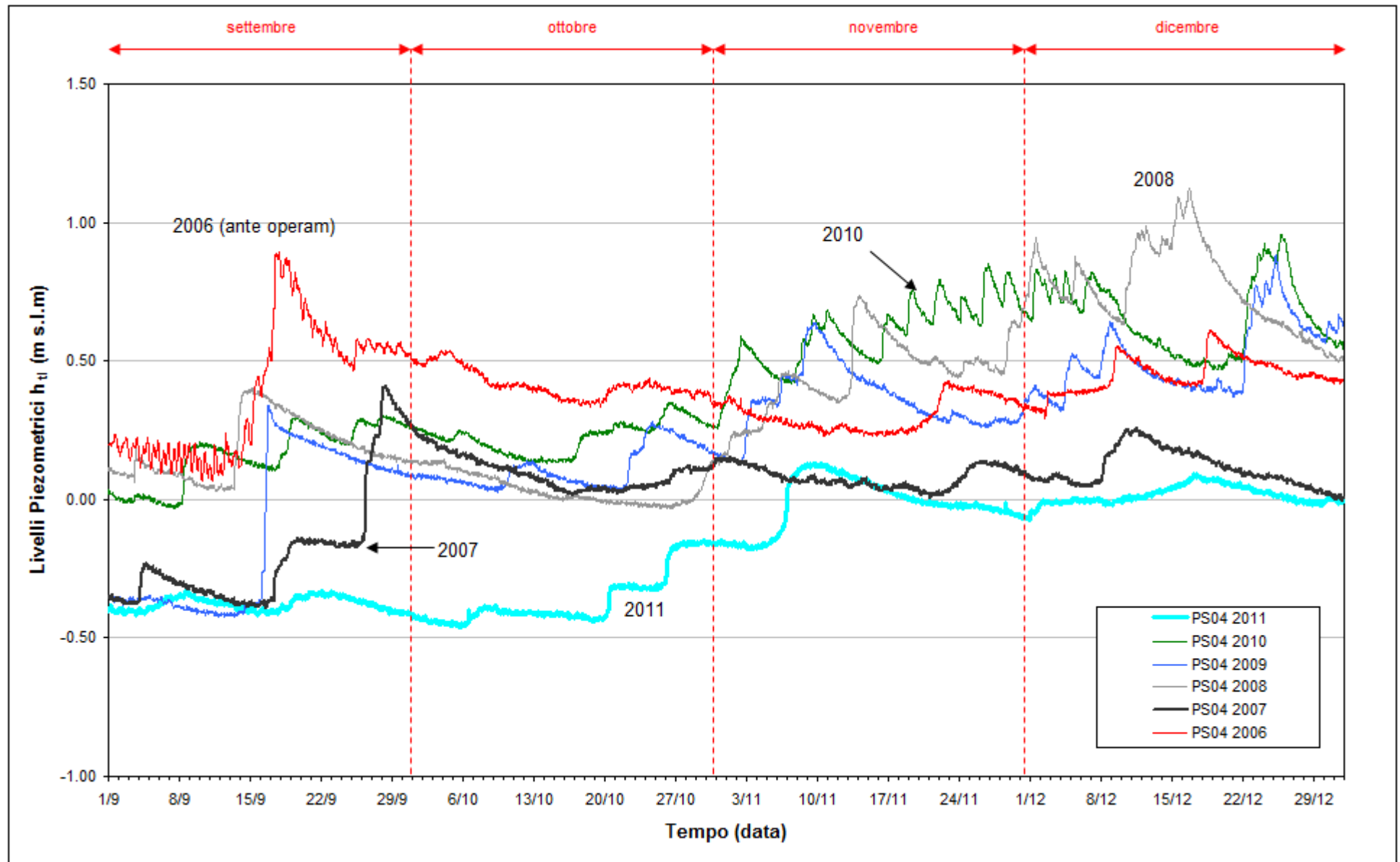


Fig. 2.9 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_t) nel piezometro PS04 nel periodo settembre - dicembre degli anni 2006÷2011.

2.3.3 Effetti delle oscillazioni mareali

In Fig. 2.10 è possibile confrontare i tracciati di misura dei trasduttori posizionati in corrispondenza dei piezometri PS01 e PS02 disposti sul Lungomare Dante Alighieri e le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. Le due serie temporali seguono andamenti caratterizzati da una ciclicità che è tipica delle evoluzioni mareali. Si verificano, infatti, incrementi di ampiezza e frequenza del fenomeno oscillatorio in corrispondenza del plenilunio e del novilunio. In corrispondenza dei quarti di luna, invece, le oscillazioni sono meno frequenti e più smorzate. Il periodo di oscillazione dei livelli nei piezometri varia da 12 h (novilunio e plenilunio) a 24 h (durante le fasi di quadratura lunare). Da un'analisi dei dati è possibile riscontrare uno sfasamento 1 - 2 ore tra le oscillazioni mareali e quelle piezometriche.

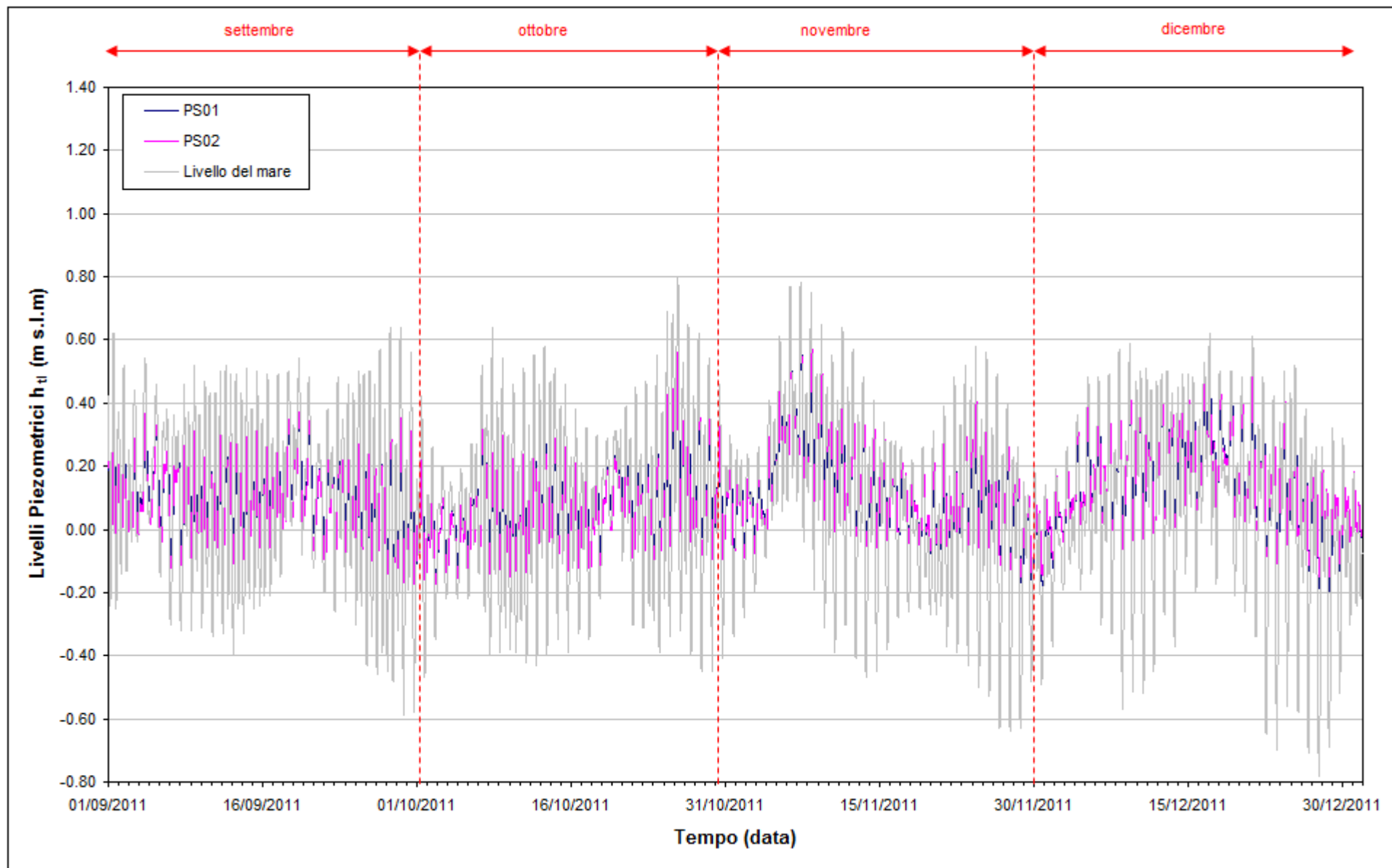


Fig. 2.10 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali PS01, PS02 e livelli del mare.

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. 2.11 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio settembre - dicembre 2011.

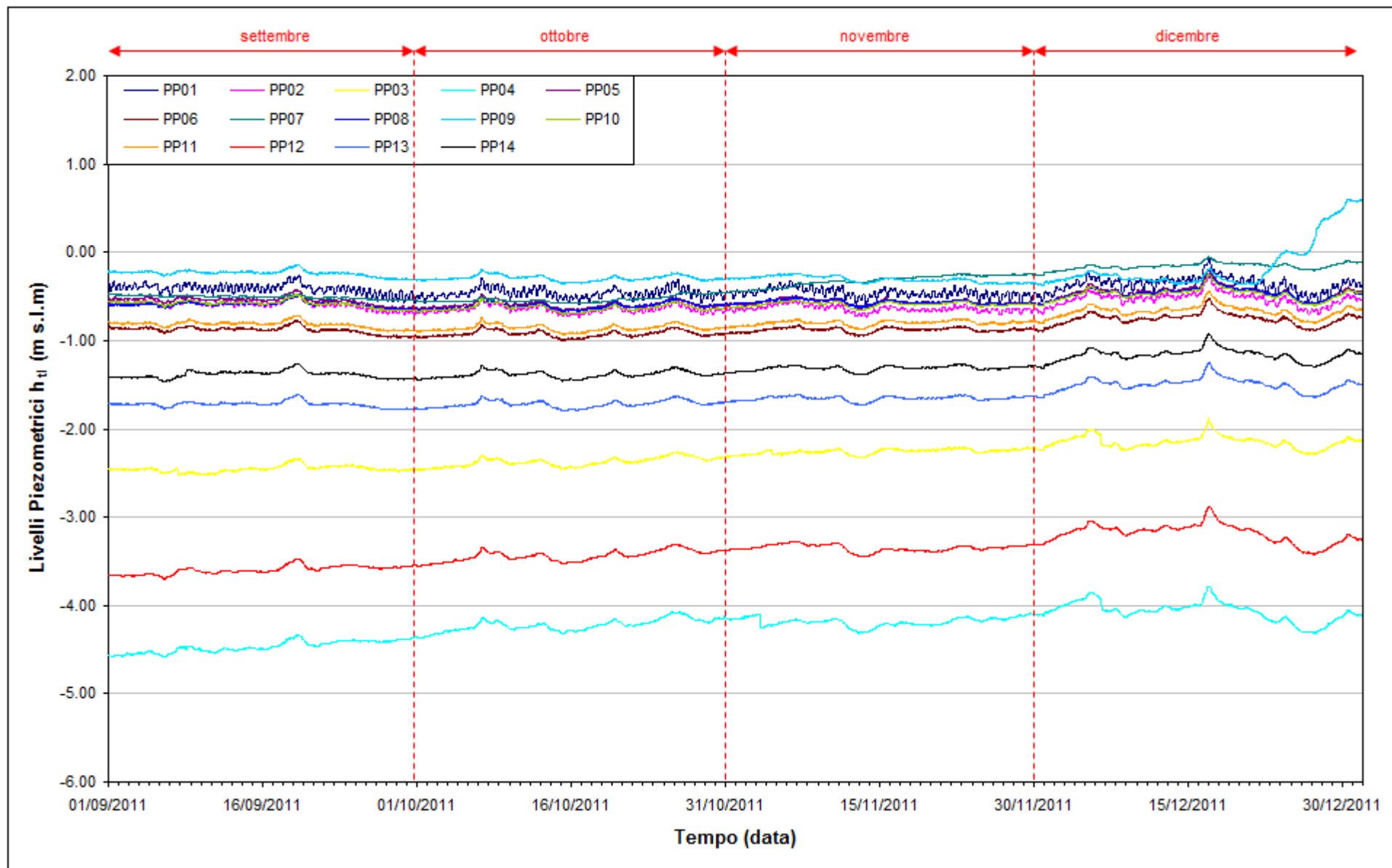
Dall'analisi dei tracciati riportati è possibile osservare come i piezometri profondi siano, in misura diversa, sensibili alle forzanti fisiche esterne:

- i piezometri PP01 e PP02, posti in prossimità del Lungomare Dante Alighieri, sono caratterizzati da un andamento sinusoidale correlabile alle evoluzioni mareali, con oscillazioni di ampiezza molto minore rispetto ai piezometri superficiali PS01 e PS02;
- i piezometri PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10 e PP11, collocati nella porzione più interna della area di monitoraggio, presentano tracciati di livello dominati dalle variazioni conseguenti presumibilmente al pompaggio barometrico;
- i piezometri PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14, posti in prossimità del Lungomare Dante Alighieri sono influenzati in maniera preponderante dalle attività di cantiere (emungimento dei pozzi di dewatering della tura).

Tra l'inizio e la fine del periodo di monitoraggio (01/09/2011 - 31/12/2011) si registra un incremento dei carichi idraulici nei piezometri profondi più vicini alla tura (circa 50 cm in PP04, circa 30 cm in PP03 e PP14, circa 40 cm in PP12), attribuibile ad una diminuzione delle portate di emungimento nella tura.

Nel piezometro PP07 si registra un aumento del carico idraulico di circa 35 cm, attribuibile all'infiltrazione di acqua piovana.

Nel piezometro PP09 si è verificato un aumento di carico idraulico di circa 80 cm nel mese di dicembre 2011, le cui cause non sono ancora note, che sarà attentamente monitorato nei prossimi mesi aggiungendo un altro trasduttore nel piezometro per verificare eventuali discostamenti dovuti ad anomalie di funzionamento.

Fig. 2.11 - Livelli piezometrici (h_u) relativi ai piezometri profondi.

2.4.2 *Effetti mareali*

In Fig. 2.12 è possibile confrontare i tracciati di misura dei trasduttori posizionati in corrispondenza dei piezometri PP01 e PP02, disposti sul Lungomare Dante Alighieri, e le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. Le serie temporali seguono andamenti caratterizzati da una ciclicità che è tipica delle evoluzioni mareali. Si verificano, infatti, incrementi di frequenza del fenomeno oscillatorio in corrispondenza del plenilunio e del novilunio. In corrispondenza dei quarti di luna le oscillazioni sono meno frequenti e più smorzate. Il periodo di oscillazione dei livelli nei piezometri varia da 12 h (novilunio e plenilunio) a 24 h (durante le fasi di quadratura lunare).

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

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

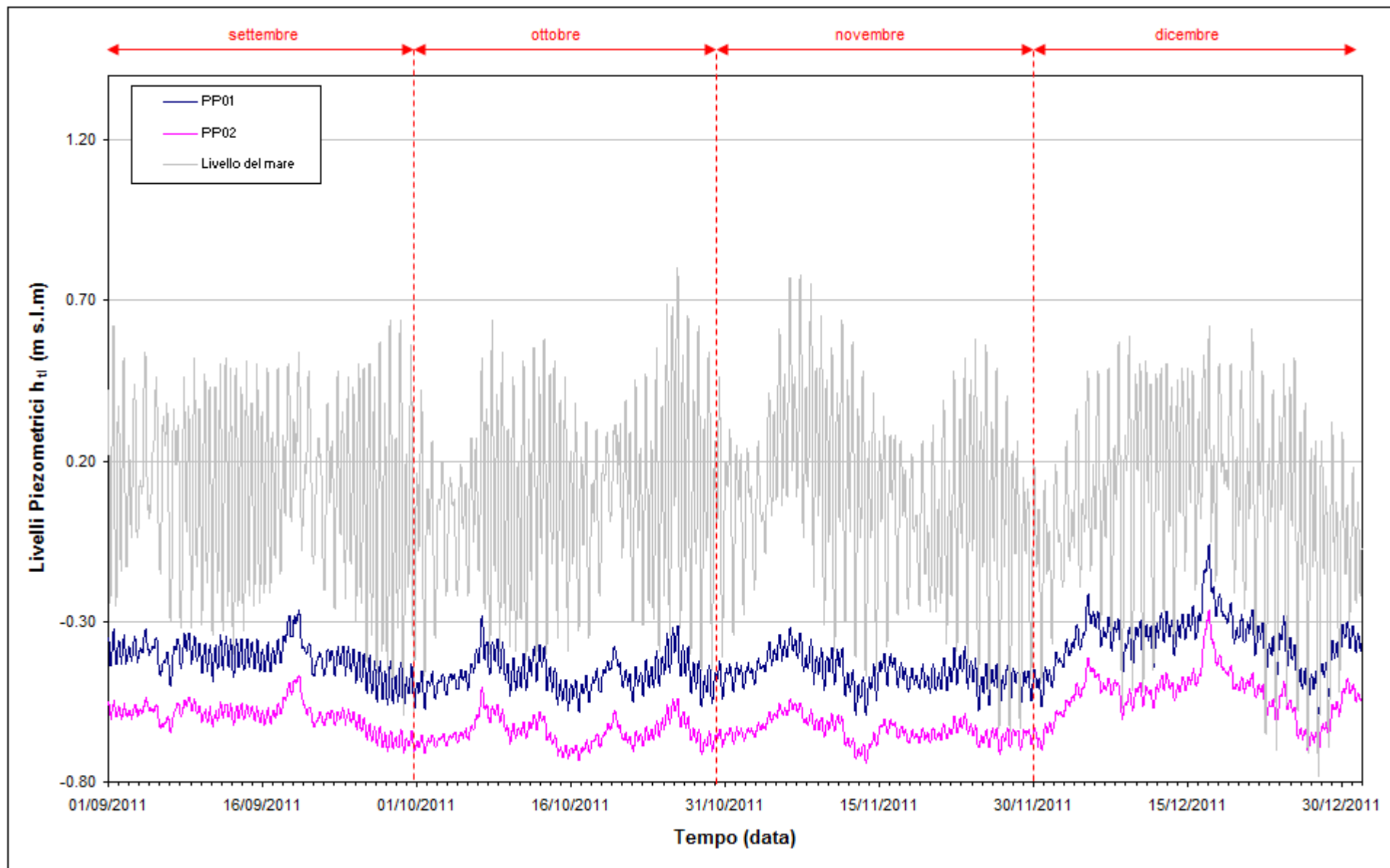


Fig. 2.12- Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP01, PP02 e livelli del mare.

2.4.3 *Effetti barometrici*

In Fig. 2.13, dove sono riportati i tracciati piezometrici associati al livello medio del mare e al tracciato barometrico del trasduttore B01, 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.

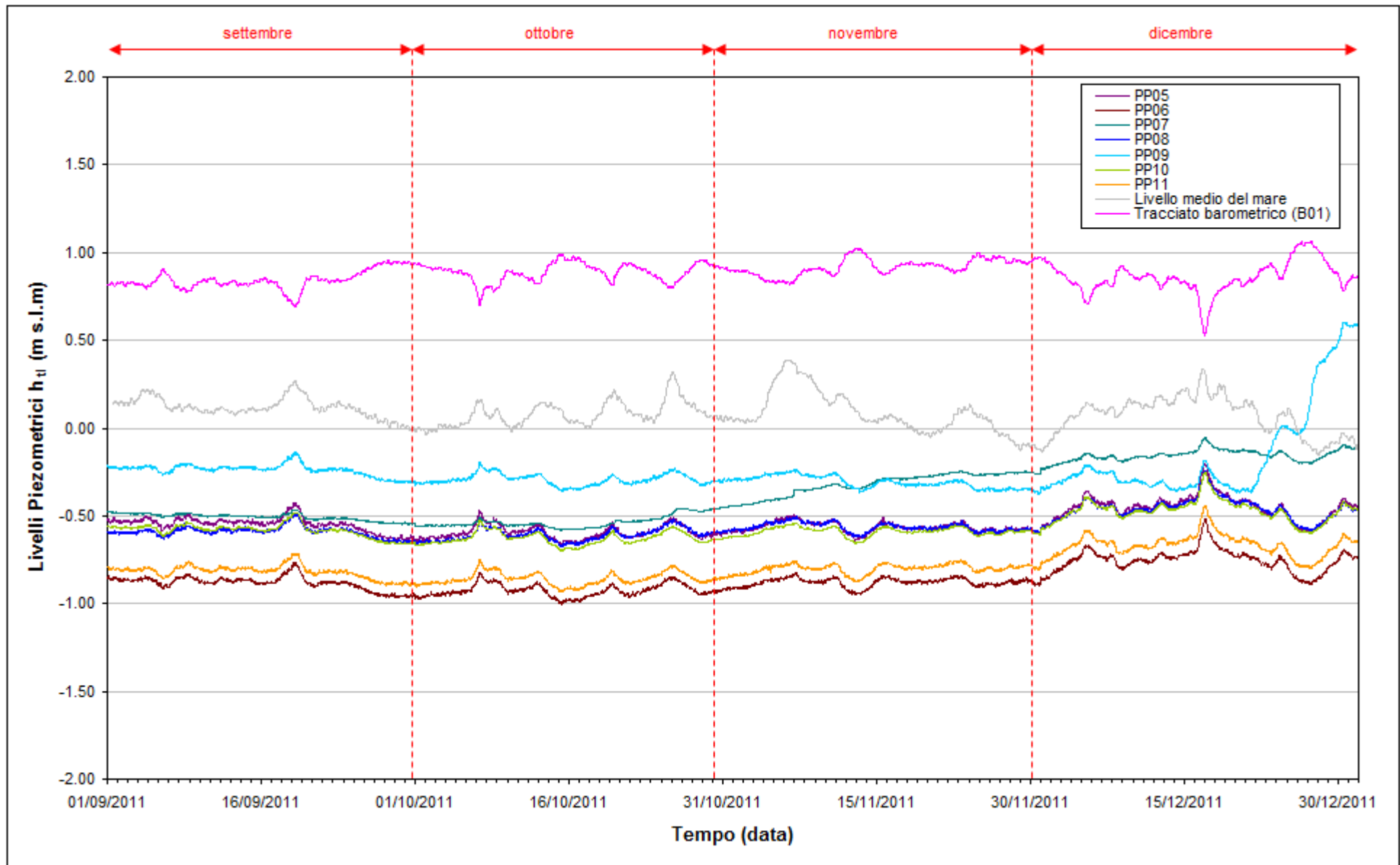


Fig. 2.13 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10, PP11, livelli medi del mare e tracciato barometrico.

2.4.4 *Effetti antropici*

In Fig. 2.14 vengono visualizzati i tracciati relativi ai livelli assoluti dei piezometri profondi PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14. Nelle postazioni PP03 e PP04 è stato riscontrato, a partire dall'inizio delle operazioni di pompaggio (gennaio 2007), un significativo abbassamento del livello piezometrico rispetto ai livelli misurati in fase A (situazione *ante operam*).

Durante il quadrimestre di monitoraggio settembre - dicembre 2011 le oscillazioni di livello attribuibili a variazioni nelle portate di pompaggio del sistema di dewatering della tura sono state di circa 80 cm nel piezometro maggiormente influenzato dal pompaggio (PP04).

I livelli nel quadrimestre settembre - dicembre 2011 del piezometro PP04 (Fig. 2.15) sono inferiori di circa 4.5m rispetto alla situazione *ante operam*. Rispetto allo stesso periodo del 2010, nel quadrimestre settembre - dicembre 2011 si osserva un aumento del livello medio di circa 30 cm, dovuto ad una lieve diminuzione delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering della tura da 550 mc/giorno a 450 mc/giorno (fonte: comunicazione del CVN del 28/06/2012).

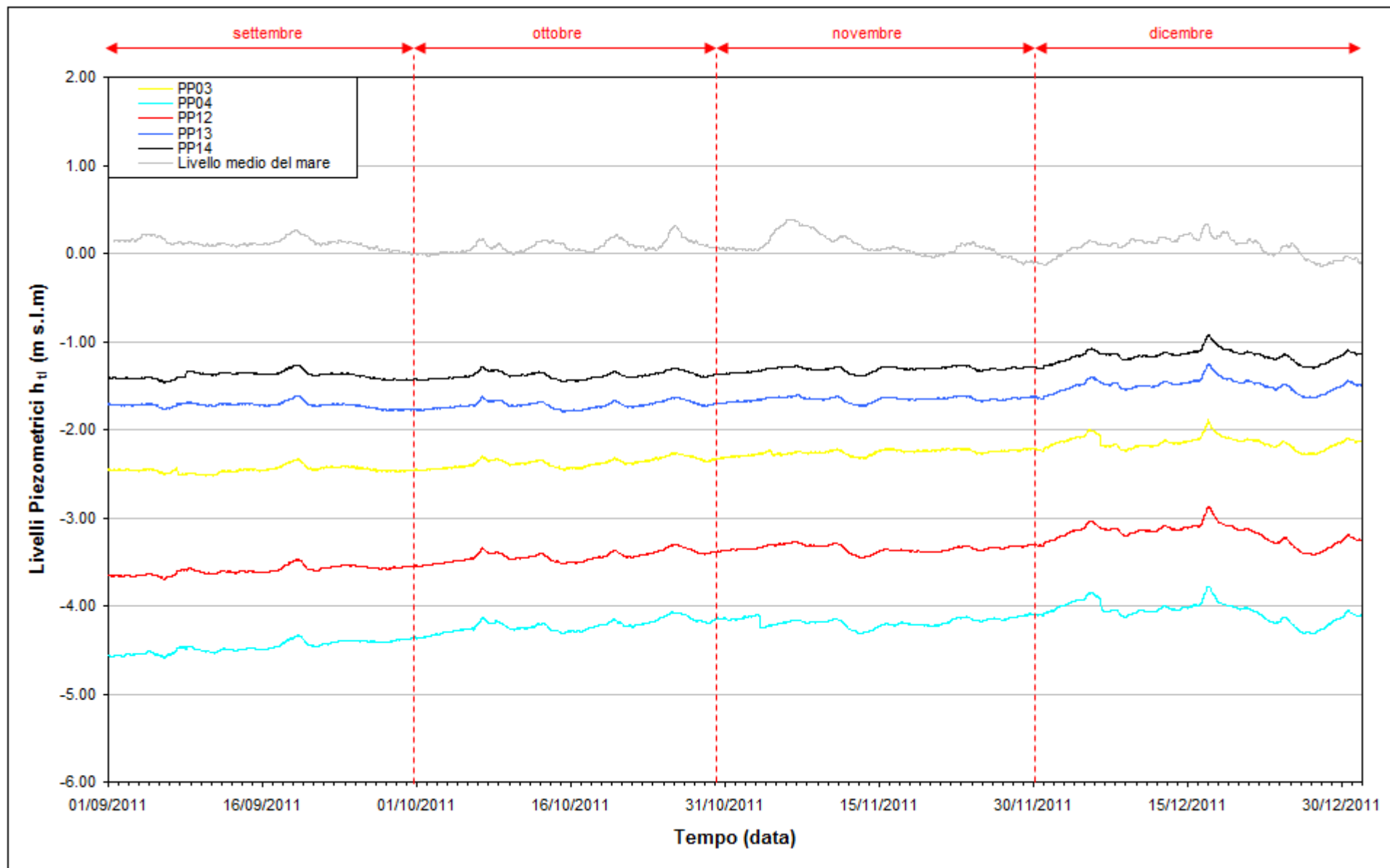


Fig. 2.14 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi influenzati dalle operazioni di pompaggio.

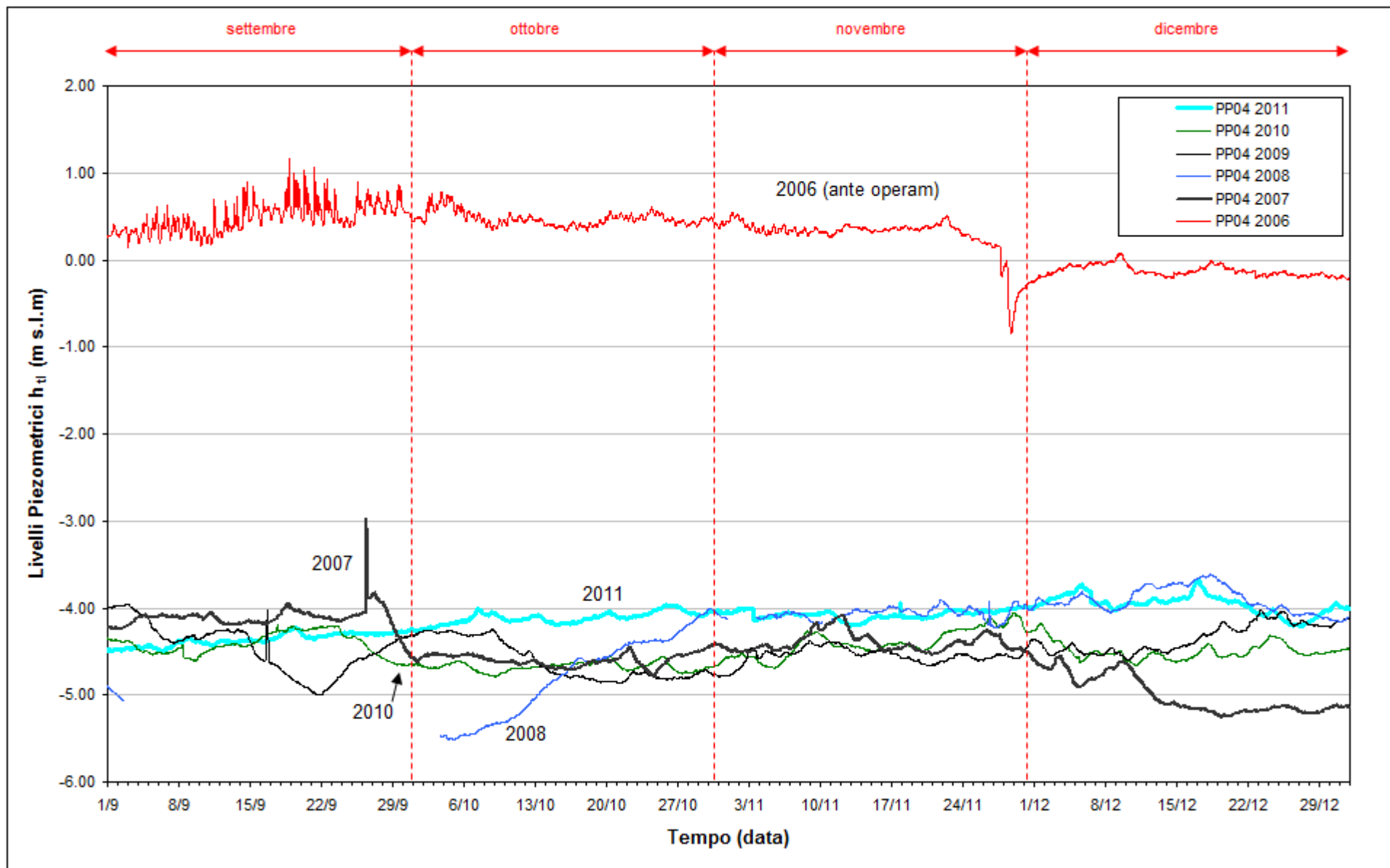


Fig. 2.15 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_u) nel piezometro PP04 nel periodo settembre - dicembre degli anni 2006÷2011.

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.

Nel piezometro PP09 si è verificato un aumento di carico idraulico di circa 80 cm nel mese di dicembre 2011, le cui cause non sono ancora note. Nel corso del prossimo sopralluogo, sarà installato un trasduttore aggiuntivo per verificare se siano presenti anomalie nella strumentazione di misurazione dei carichi idraulici.

La serie temporale del Barologger B02 presenta un andamento anomalo nel periodo 06/10/11 - 05/11/11, pertanto è stata esclusa nell'elaborazione dei carichi idraulici nei mesi di ottobre e novembre 2011.

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 un aumento della densità nei piezometri superficiali PS02, e PS08; nel piezometro PS09 si osserva un marcato aumento della densità nei mesi di ottobre e novembre, seguito da una diminuzione nel mese di dicembre (sopralluogo effettuato il 4-5/1/2012).

In corrispondenza dei piezometri PP02, PP09 e PP10 si osserva un aumento dei valori di densità dell'acqua. In tutti gli altri piezometri profondi non si osservano variazioni apprezzabili.

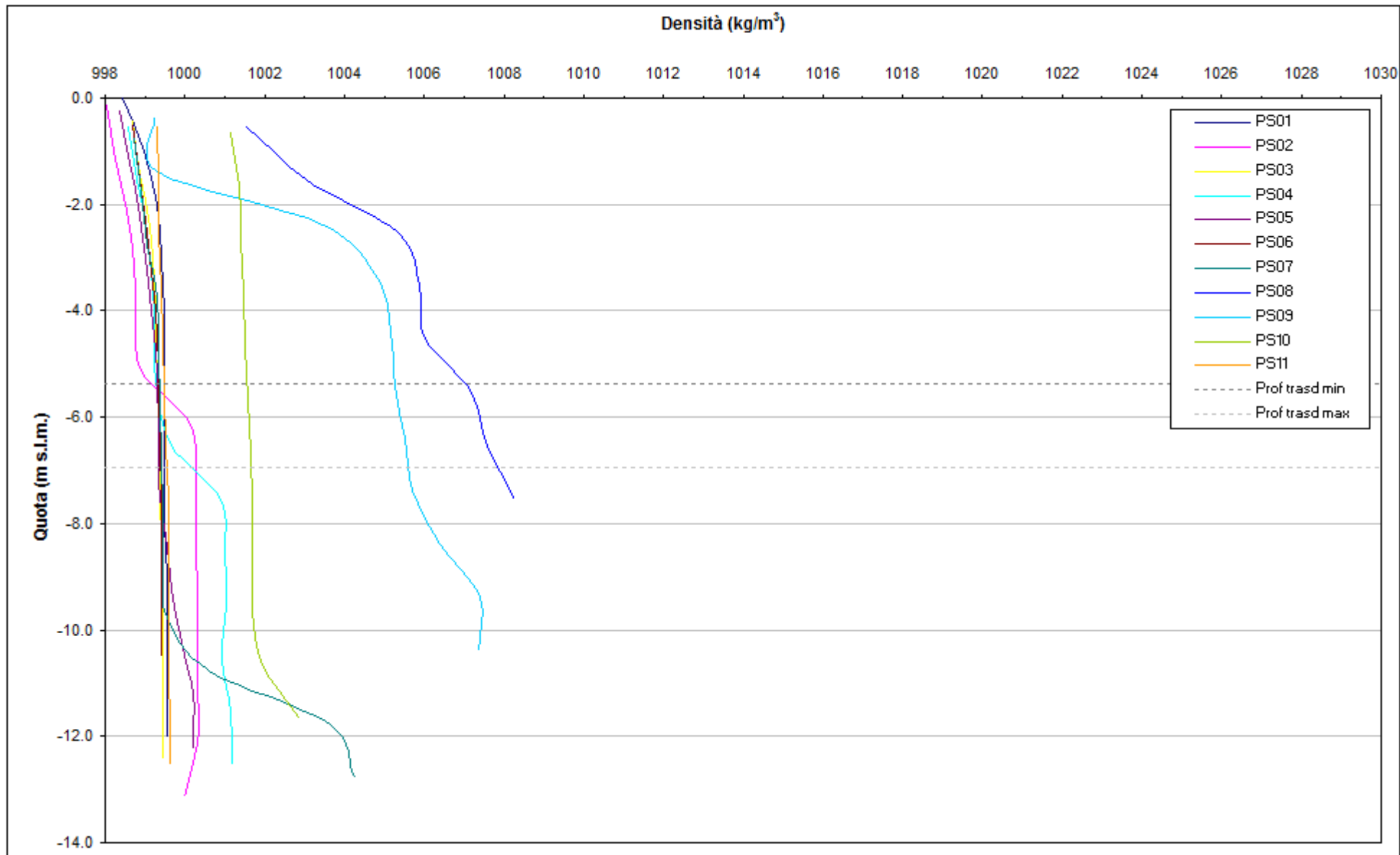


Fig. 4.1- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 6 ottobre 2011.

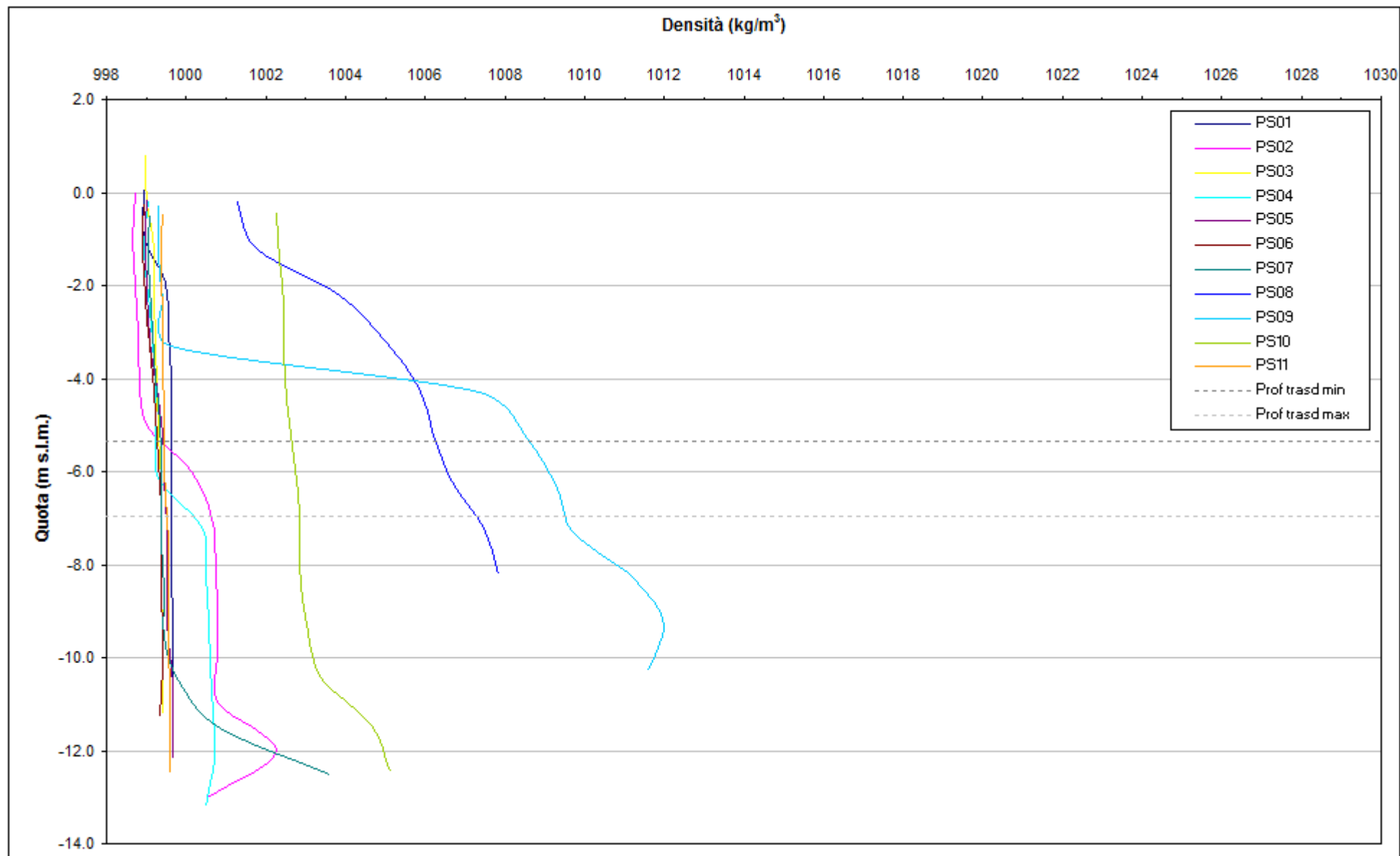


Fig. 4.2- Profili verticali di densità piezometri superficiali - 3-4 novembre 2011.

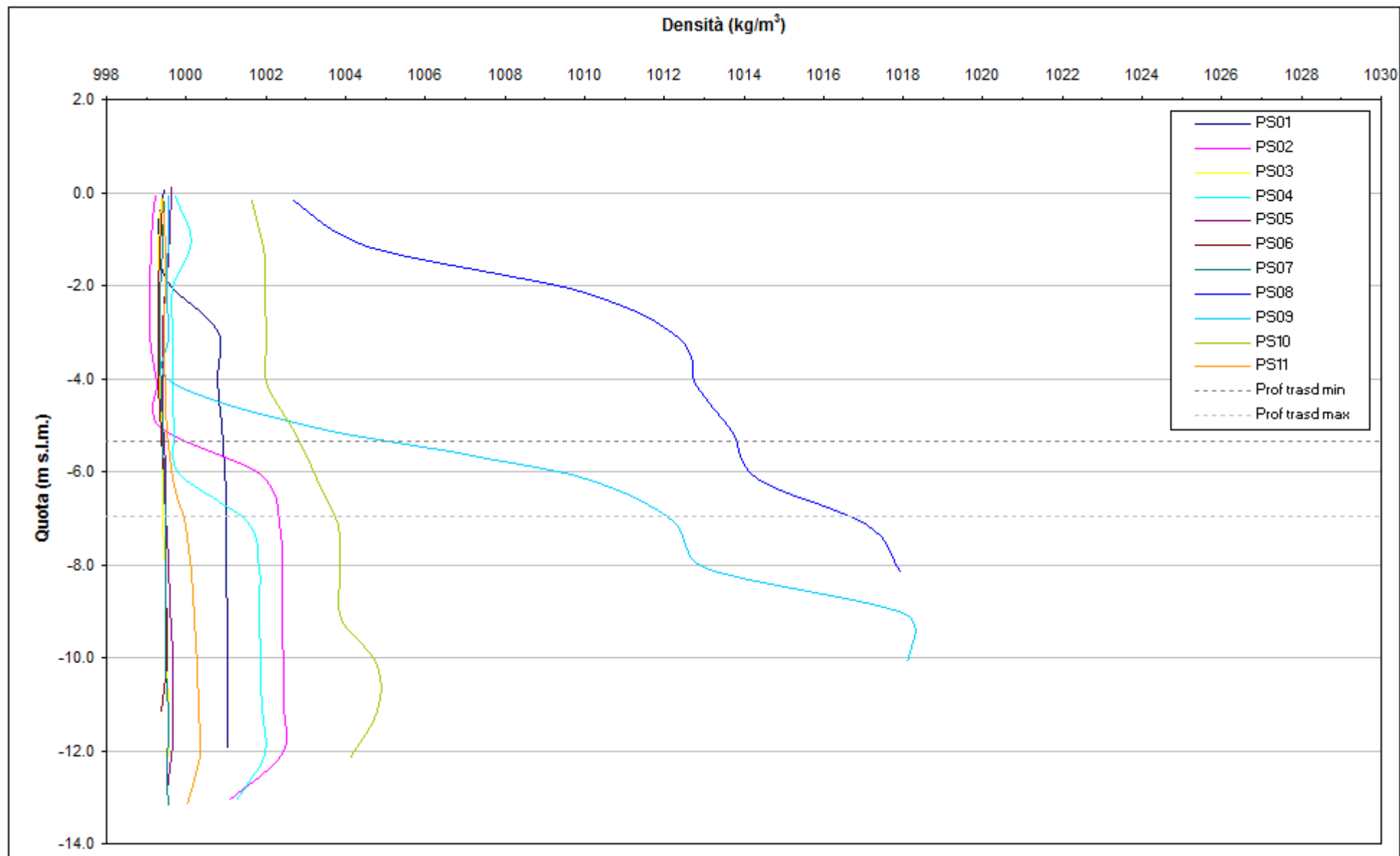


Fig. 4.3 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 6-7 dicembre 2011.

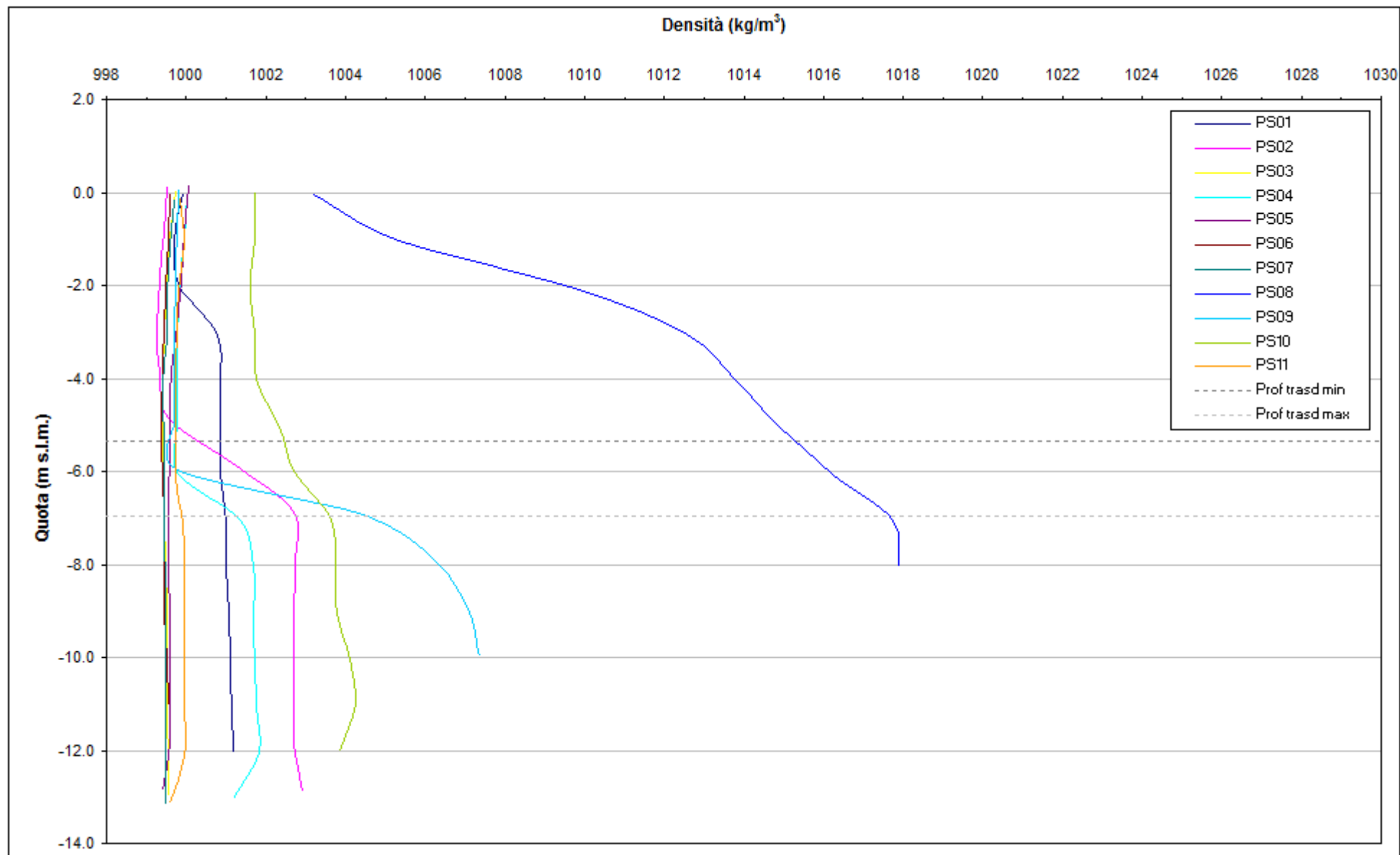


Fig. 4.4 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 4-5 gennaio 2012.

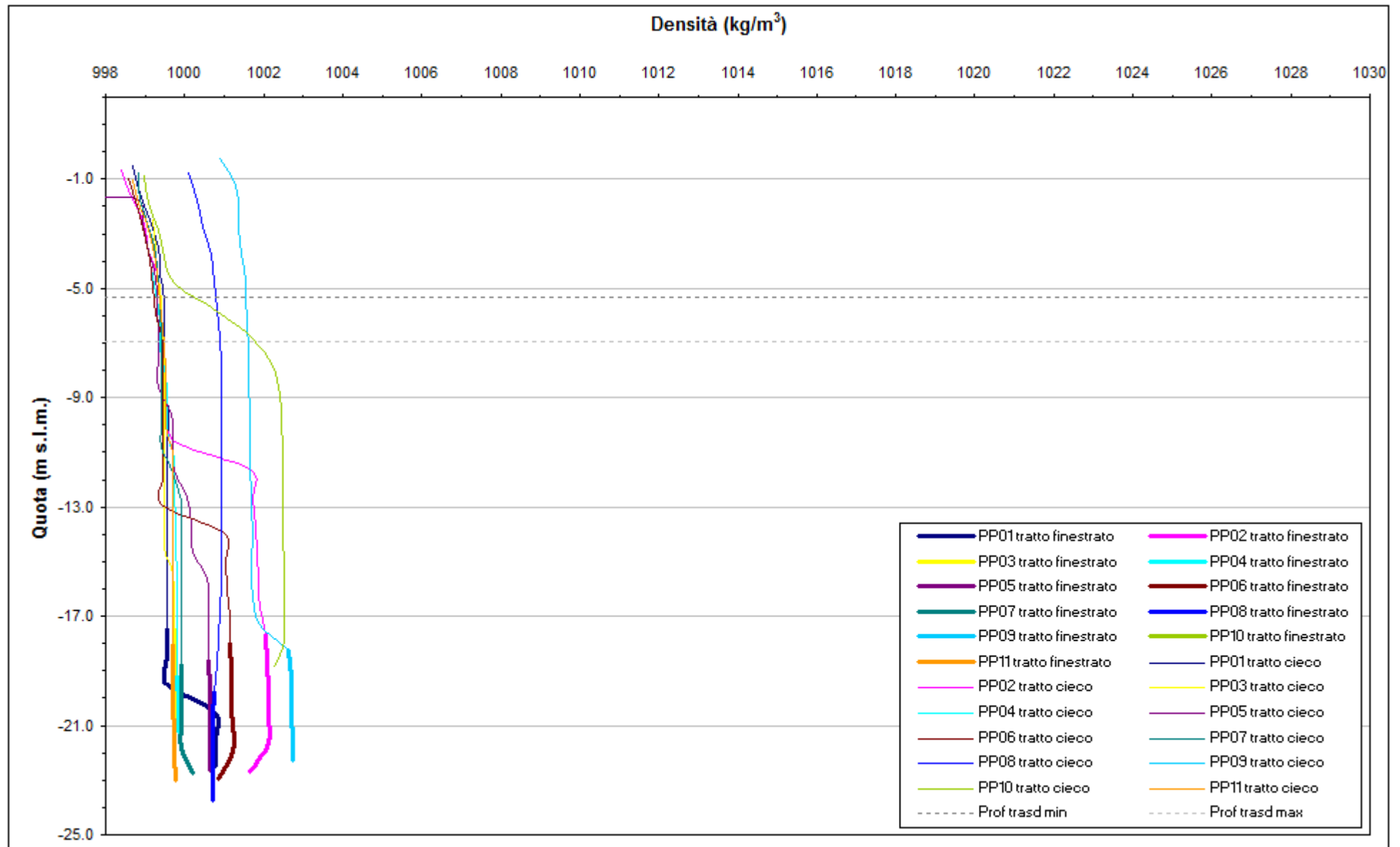


Fig. 4.5 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 6 ottobre 2011.

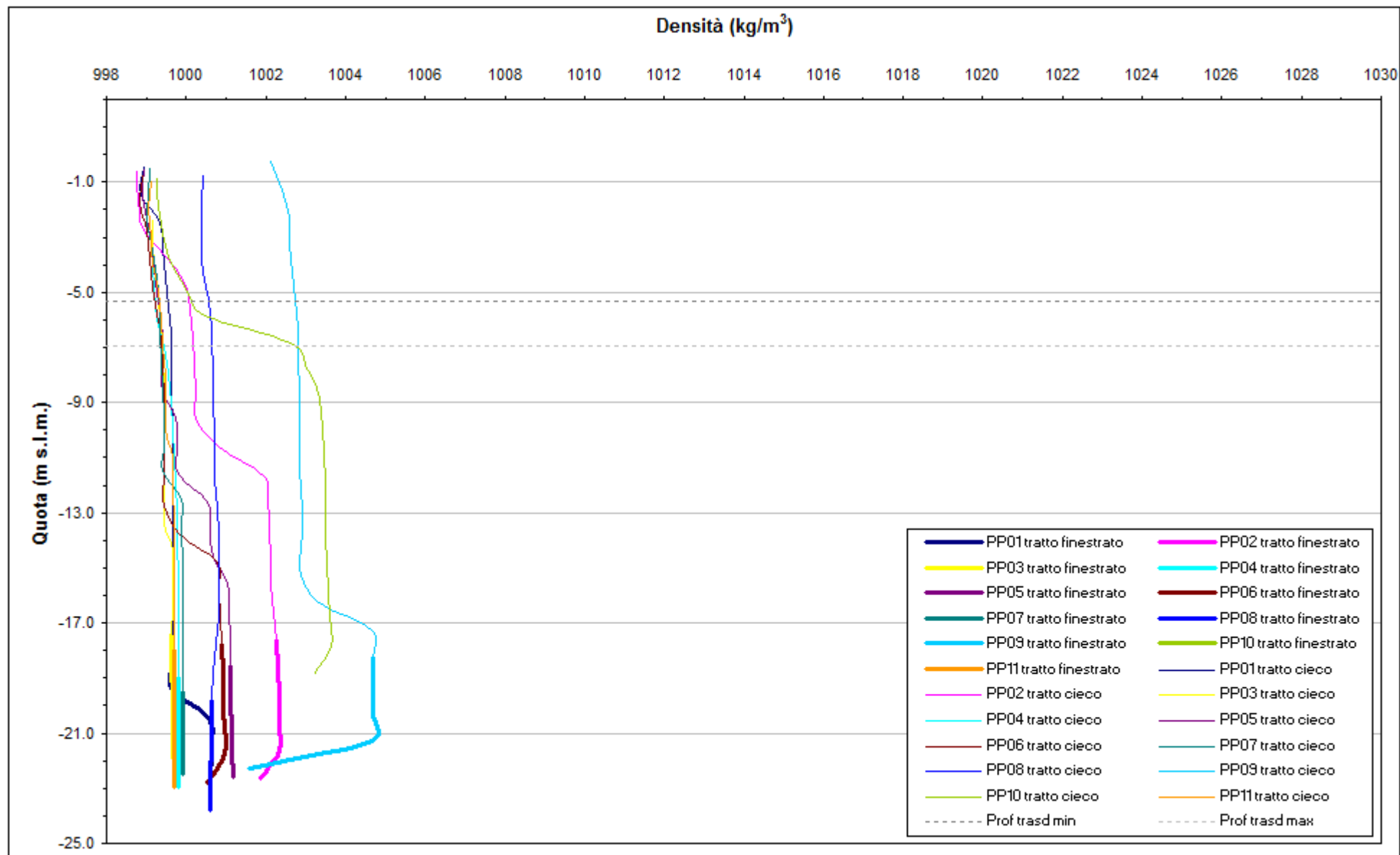


Fig. 4.6- Profili verticali di densità piezometri profondi - 3-4 novembre 2011.

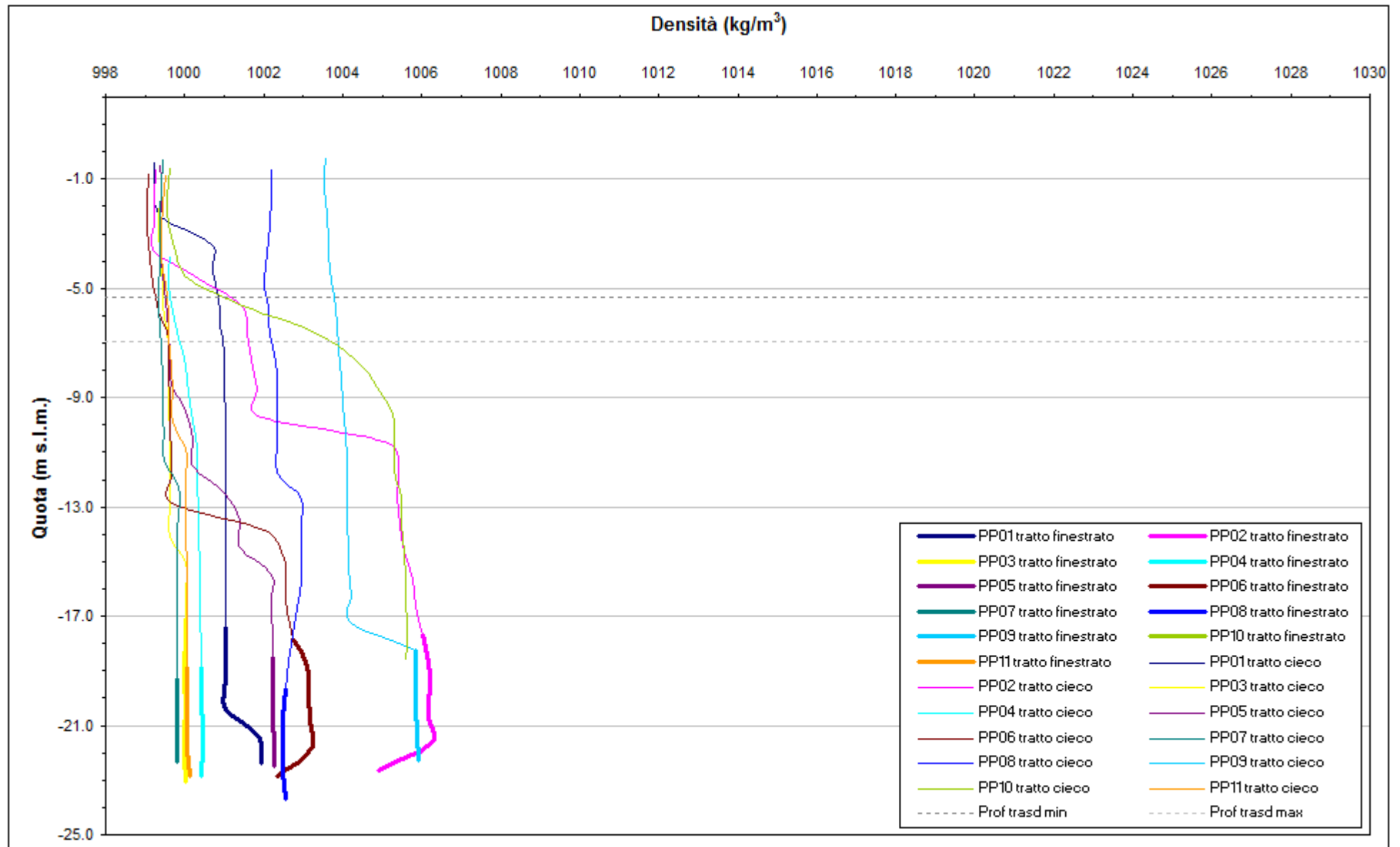


Fig. 4.7 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 6-7 dicembre 2011.

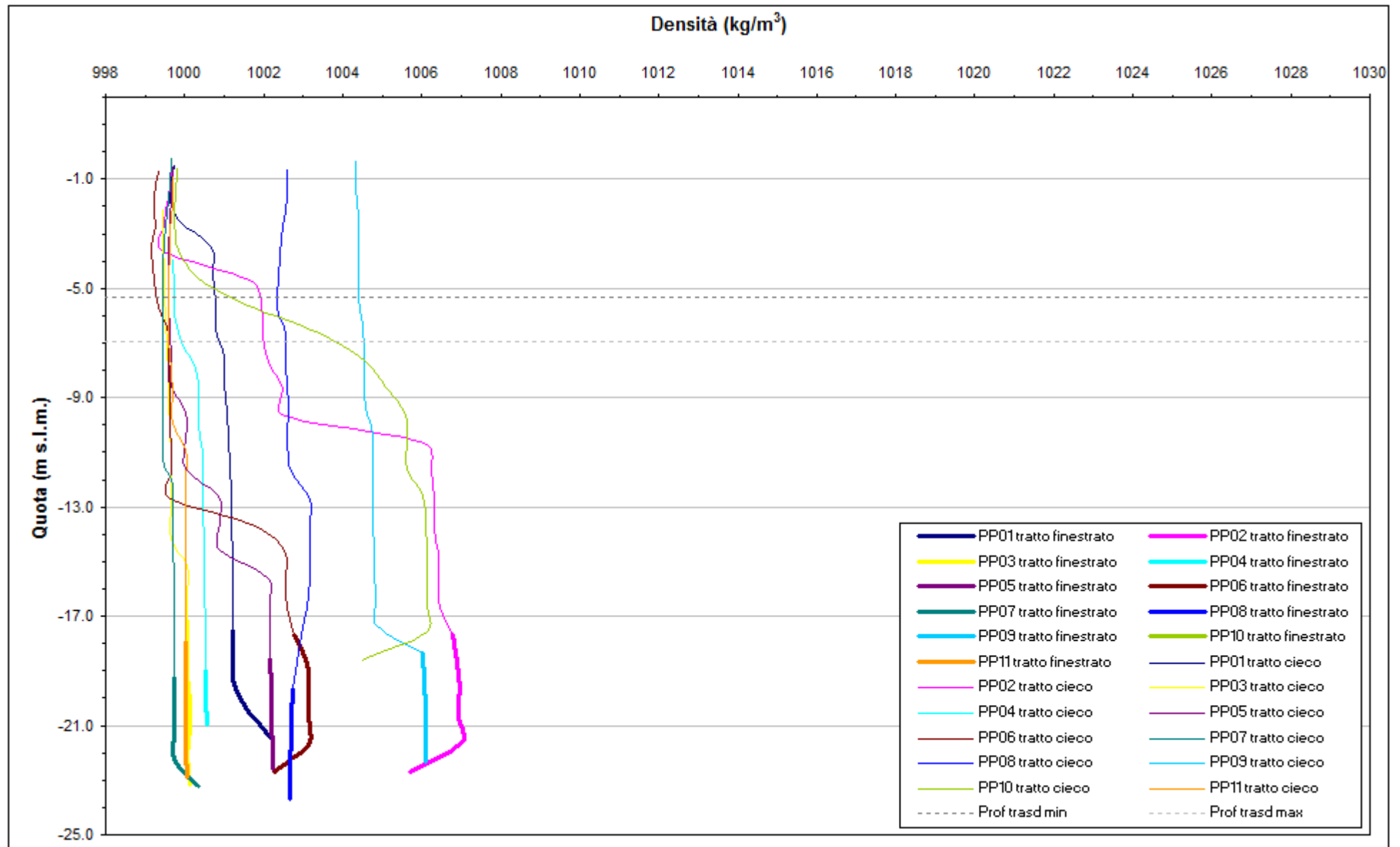


Fig. 4.8 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 4-5 gennaio 2012.

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 |
| Settembre | 14 settembre 2011 - h. 2:00 |
| Ottobre | 16 ottobre 2011 - h. 10:00 |
| Novembre | 16 novembre 2011 - h. 4:00 |
| Dicembre | 22 dicembre 2011 - h. 3:00 |

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

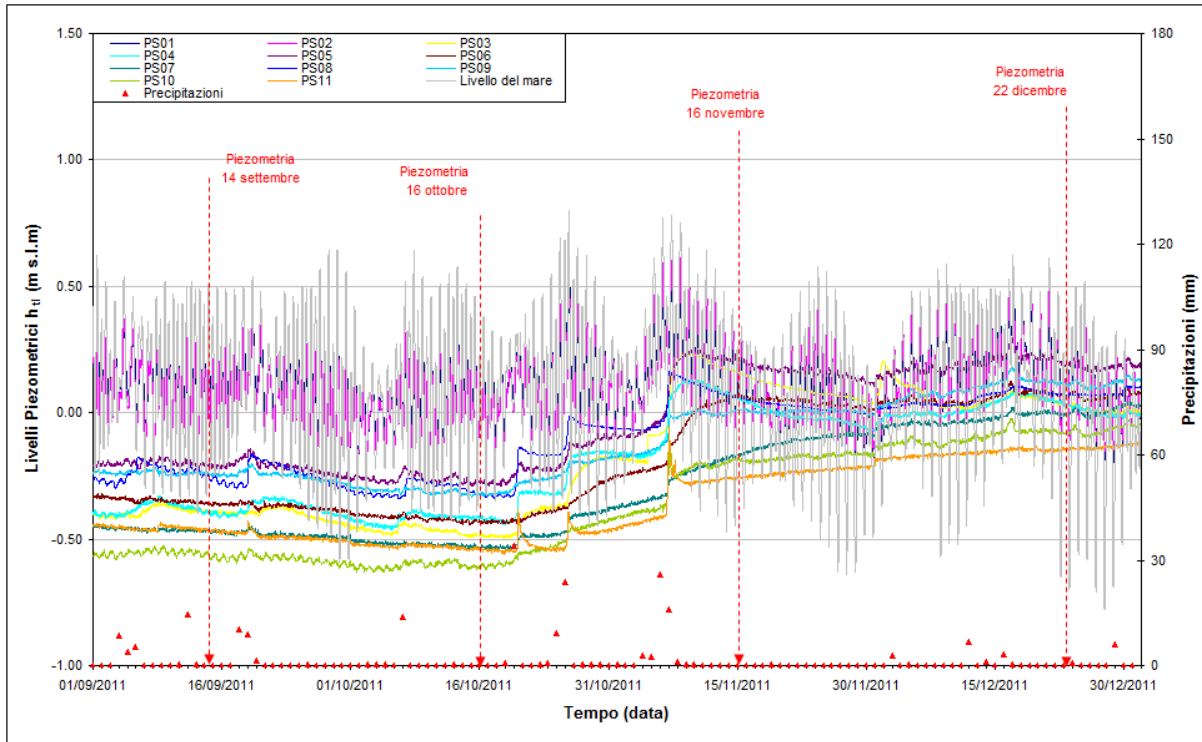


Fig. 5.1 - Elaborazione delle piezometrie superficiali.

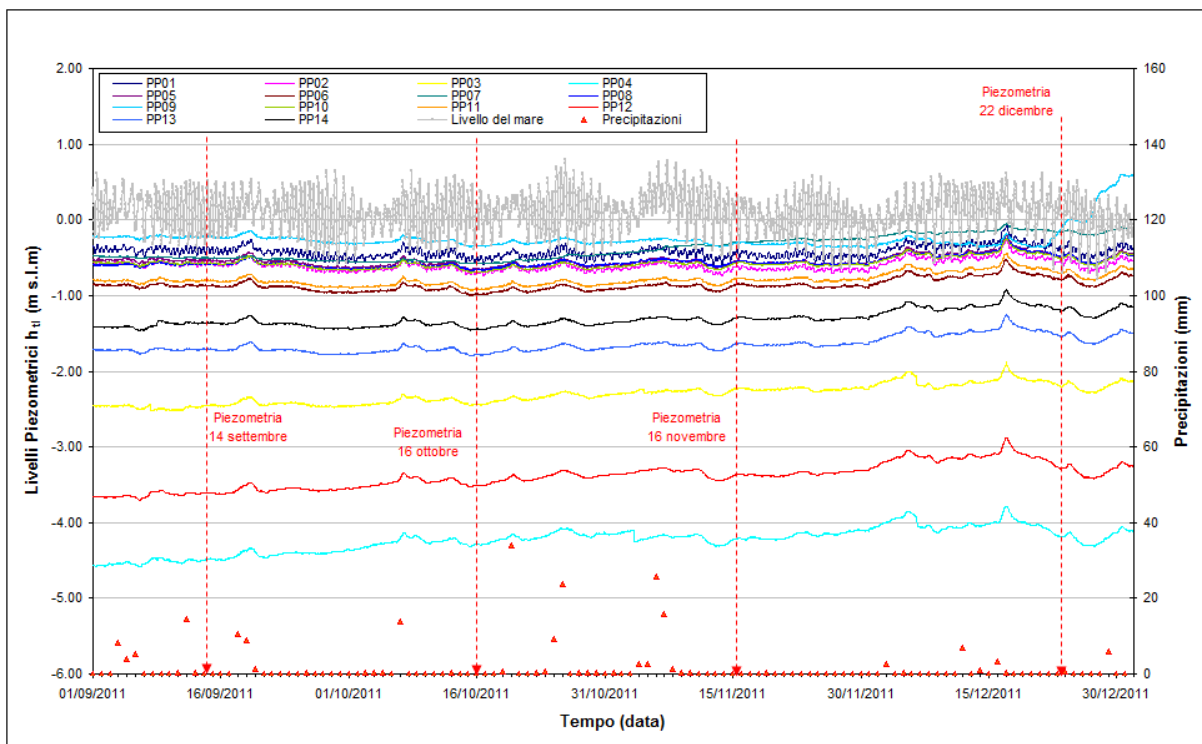


Fig. 5.2- Elaborazione delle piezometrie profonde.

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

5.1.1 *Piezometria superficiale*

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

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

| | X (m) | Y (m) | Date | | | | |
|-------------|------------|------------|--------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | | | Fase A | 14/09/11 h.2 | 16/10/11 h.10 | 16/11/11 h.4 | 22/12/11 h.3 |
| PS01 | 2318325.88 | 5035253.68 | 0.271 | 0.105 | 0.095 | 0.184 | 0.189 |
| PS02 | 2318303.30 | 5034900.48 | nd | 0.060 | 0.116 | 0.223 | 0.179 |
| PS03 | 2318377.62 | 5034552.61 | 0.331 | -0.397 | -0.483 | 0.145 | 0.046 |
| PS04 | 2318449.34 | 5034373.27 | 0.147 | -0.393 | -0.420 | 0.042 | 0.045 |
| PS05 | 2318582.01 | 5034989.80 | 0.799 | -0.202 | -0.275 | 0.199 | 0.201 |
| PS06 | 2318658.27 | 5034750.84 | 0.843 | -0.360 | -0.437 | 0.059 | 0.072 |
| PS07 | 2318785.95 | 5034898.62 | 0.654 | -0.473 | -0.527 | -0.154 | -0.005 |
| PS08 | 2318799.69 | 5034032.43 | 0.345 | -0.243 | -0.318 | 0.052 | 0.076 |
| PS09 | 2318764.67 | 5035448.00 | 0.638 | -0.242 | -0.324 | 0.010 | 0.115 |
| PS10 | 2318792.99 | 5035043.94 | 0.634 | -0.557 | -0.600 | -0.191 | -0.078 |
| PS11 | 2318787.28 | 5034652.23 | 0.673 | -0.463 | -0.545 | -0.266 | -0.146 |

Durante il quadrimestre di monitoraggio settembre-dicembre 2011 si osserva una risalita dei livelli di falda superficiale, con variazioni comprese tra circa 35 e 50 cm, attribuibili alla forte evapotraspirazione e alle scarse precipitazioni. Rispetto alla Fase A, i livelli di falda sono notevolmente più bassi, con diminuzioni comprese tra 10 e 130 cm per i piezometri interni (PS03÷11): tale differenza è imputabile a fattori climatici e non al dewatering, come già specificato nel capitolo 2.3.2.

Nel quadrimestre monitorato, la direzione del flusso di falda è dal mare alla terraferma.

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

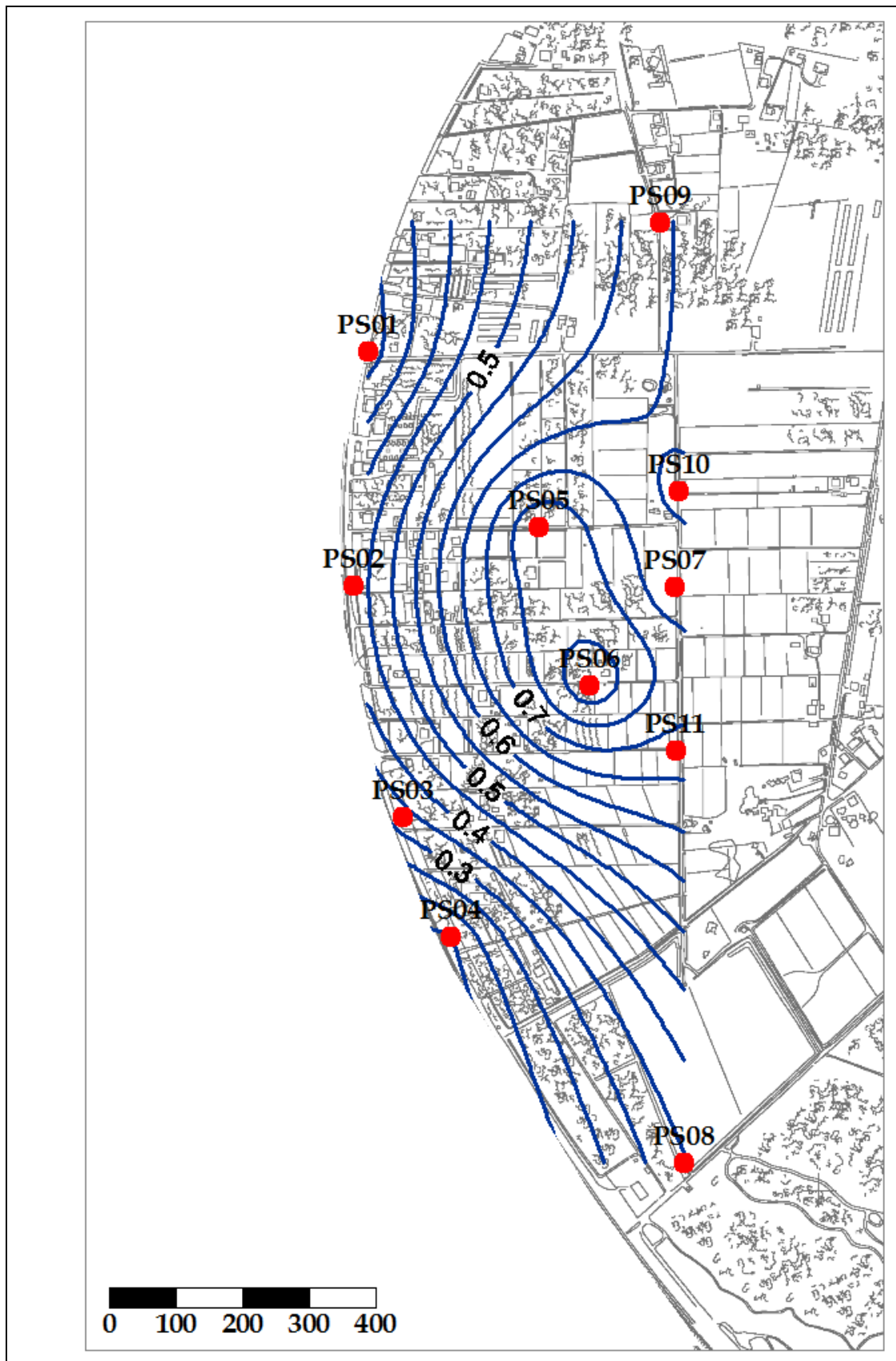


Fig. 5.3 - Piezometri superficiale Fase A - novembre 2005 (h_{il} - m s.l.m.).

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

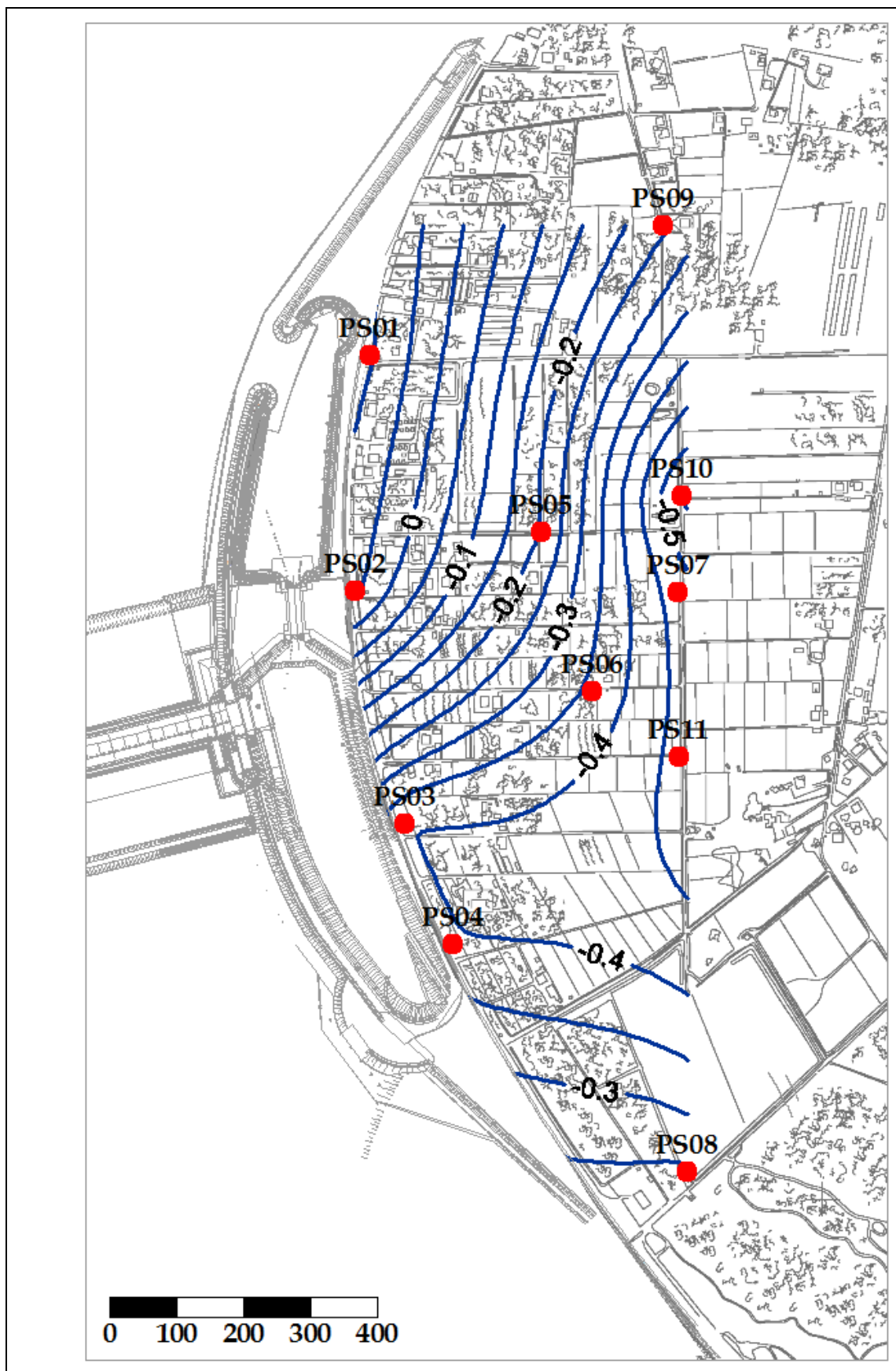


Fig. 5.4 - Piezometria superficiale - settembre 2011 (h_{d1} - m s.l.m.).

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

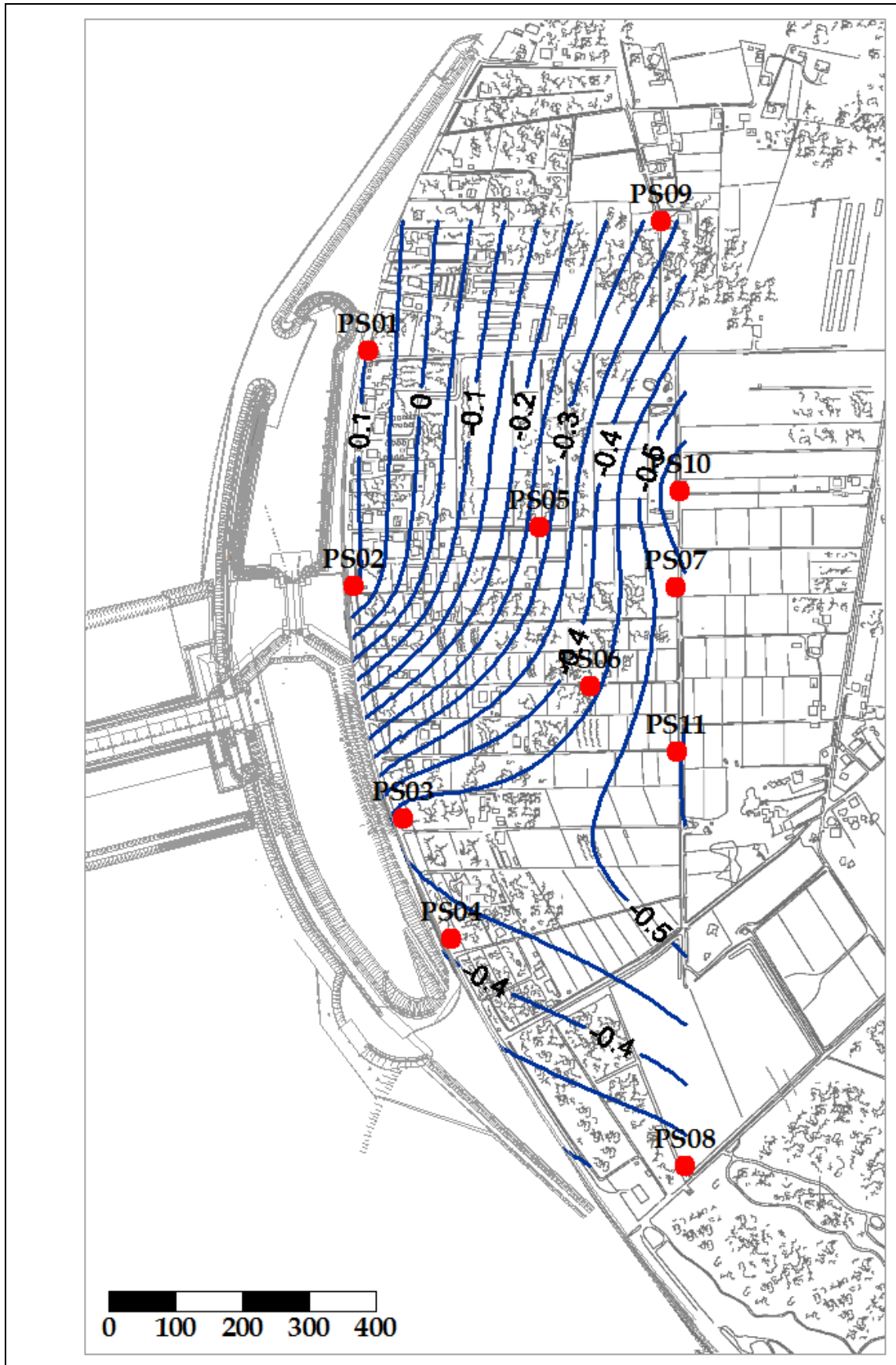


Fig. 5.5- Piezometria superficiale - ottobre 2011 (h_{tl} - m s.l.m.).

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

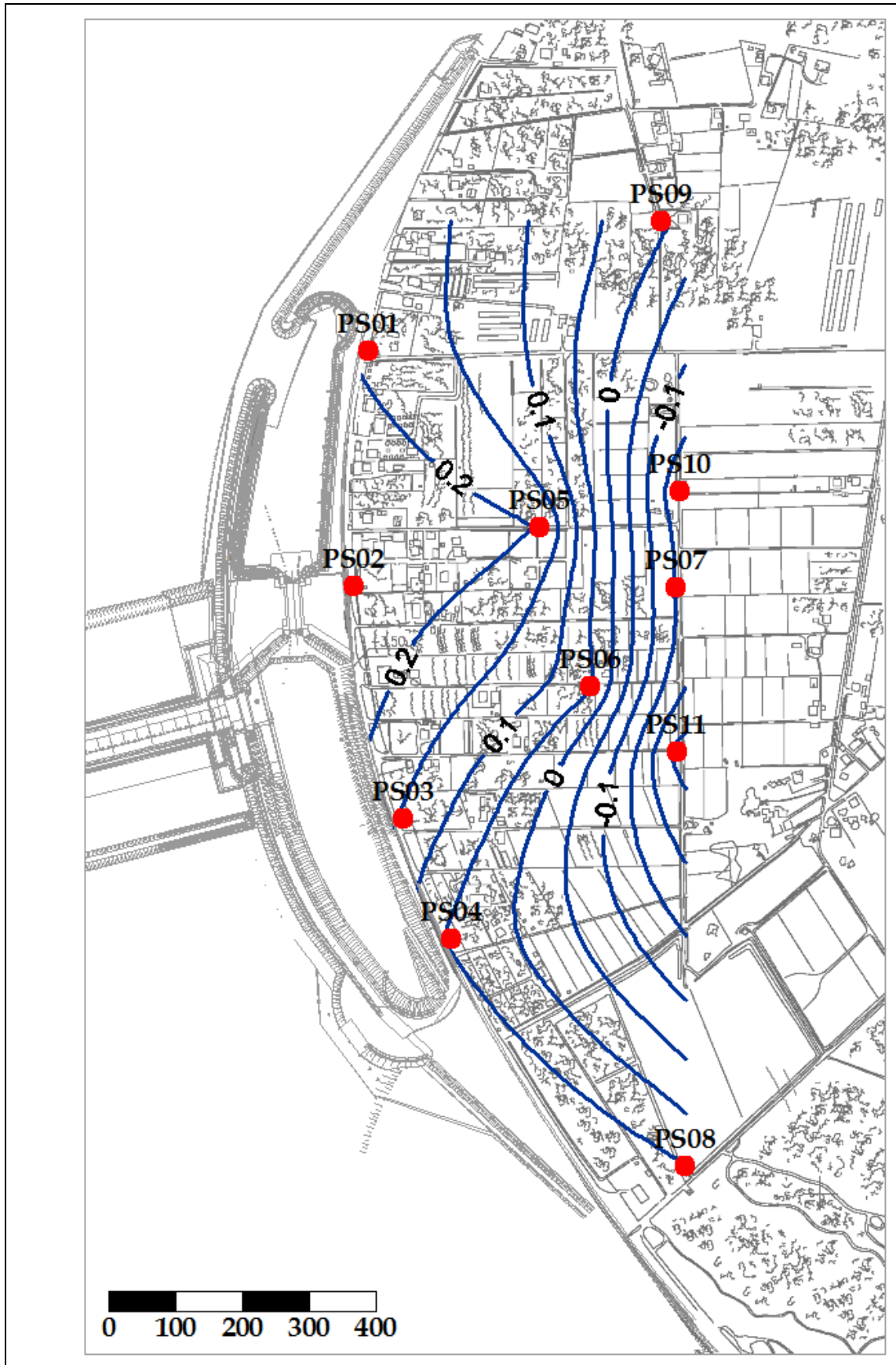


Fig. 5.6 - Piezometria superficiale - novembre 2011 (h_{fl} - m s.l.m.).

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

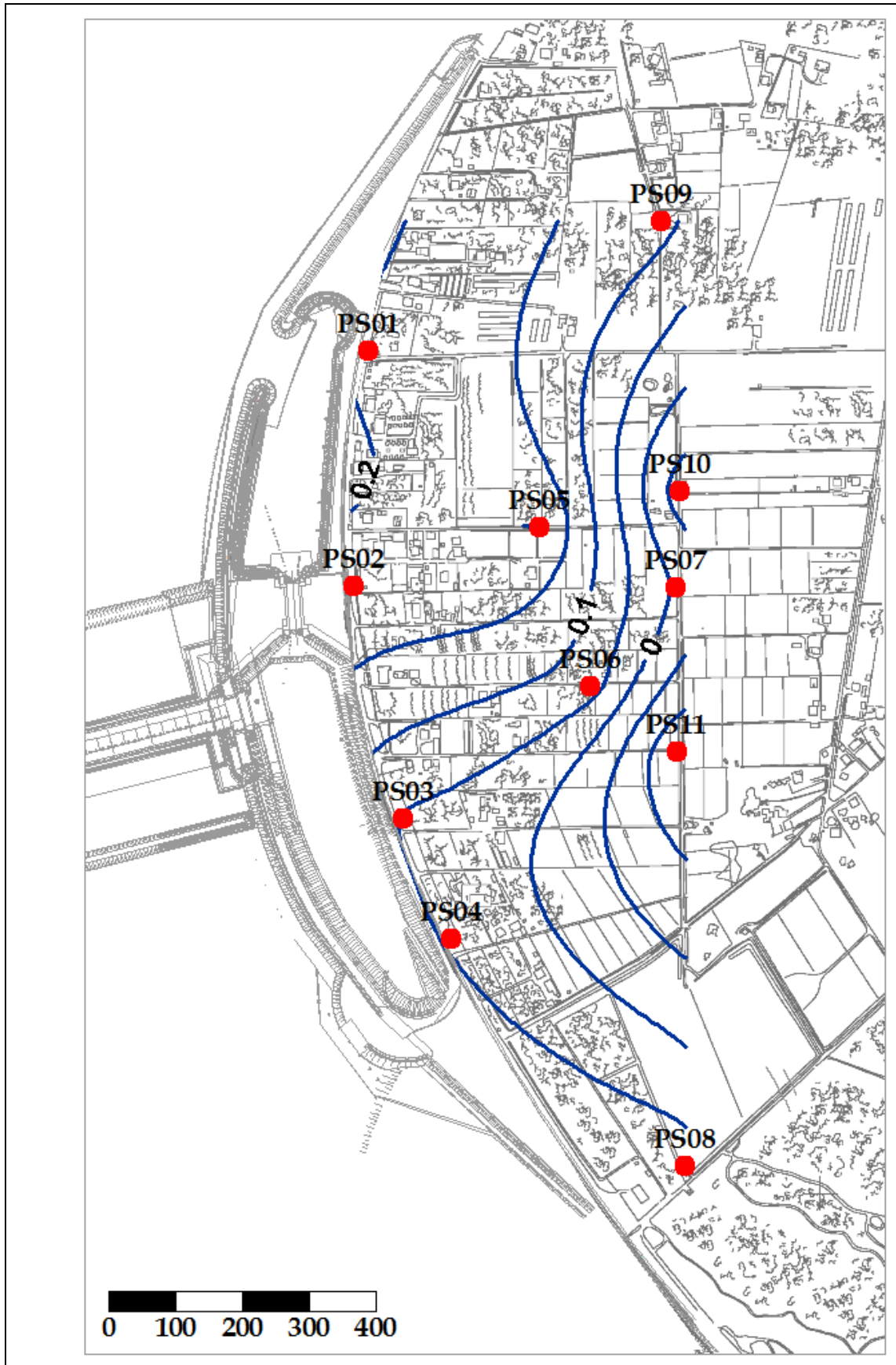


Fig. 5.7 - Piezometria superficiale - dicembre 2011 (h_{tl} - m s.l.m.).

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

5.1.2 *Piezometria profonda*

La piezometria del Secondo livello acquifero (Strato C) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levellogger posizionati in corrispondenza di piezometri profondi. In Tab. 5.3 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_{ti} relativi al Primo livello acquifero: Fase A e quattro date di riferimento.

| | X (m) | Y (m) | Date | | | | |
|------|------------|------------|--------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | | | Fase A | 14/09/11 h.2 | 16/10/11 h.10 | 16/11/11 h.4 | 22/12/11 h.3 |
| PP01 | 2318325.44 | 5035252.10 | 0.337 | -0.416 | -0.494 | -0.412 | -0.345 |
| PP02 | 2318303.40 | 5034898.36 | 0.298 | -0.586 | -0.699 | -0.607 | -0.515 |
| PP03 | 2318378.37 | 5034550.49 | 0.353 | -2.462 | -2.435 | -2.220 | -2.143 |
| PP04 | 2318448.54 | 5034374.67 | 0.394 | -4.496 | -4.305 | -4.217 | -4.101 |
| PP05 | 2318579.81 | 5034989.68 | 0.469 | -0.529 | -0.648 | -0.539 | -0.445 |
| PP06 | 2318658.29 | 5034748.80 | 0.375 | -0.874 | -0.986 | -0.850 | -0.747 |
| PP07 | 2318786.12 | 5034900.50 | 0.401 | -0.501 | -0.574 | -0.286 | -0.137 |
| PP08 | 2318800.26 | 5034031.14 | 0.260 | -0.584 | -0.653 | -0.539 | -0.440 |
| PP09 | 2318765.07 | 5035445.93 | 0.339 | -0.227 | -0.350 | -0.294 | -0.310 |
| PP10 | 2318793.08 | 5035045.83 | 0.302 | -0.569 | -0.691 | -0.564 | -0.461 |
| PP11 | 2318787.40 | 5034654.31 | 0.288 | -0.804 | -0.919 | -0.768 | -0.657 |
| PP12 | 2318498.26 | 5034363.43 | nd | -3.611 | -3.509 | -3.366 | -3.193 |
| PP13 | 2318631.11 | 5034397.36 | nd | -1.711 | -1.783 | -1.631 | -1.478 |
| PP14 | 2318619.38 | 5034536.86 | nd | -1.362 | -1.444 | -1.284 | -1.148 |

Come illustrato nei precedenti Rapporti di Valutazione, la configurazione della piezometria profonda non risulta essere compatibile con quanto registrato durante la Fase A, risentendo delle operazioni di pompaggio della tura lato mare: in particolare nel piezometro PP03 si riscontra un abbassamento di livello di circa 2.5 - 3 m rispetto alla Fase A, mentre nel piezometro PP04 tale diminuzione di livello è compresa tra 4.5 e 5.5 m circa; negli altri piezometri i livelli risultano inferiori rispetto a quelli registrati nella Fase A, con differenze comprese tra 55 e 135 cm circa.

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

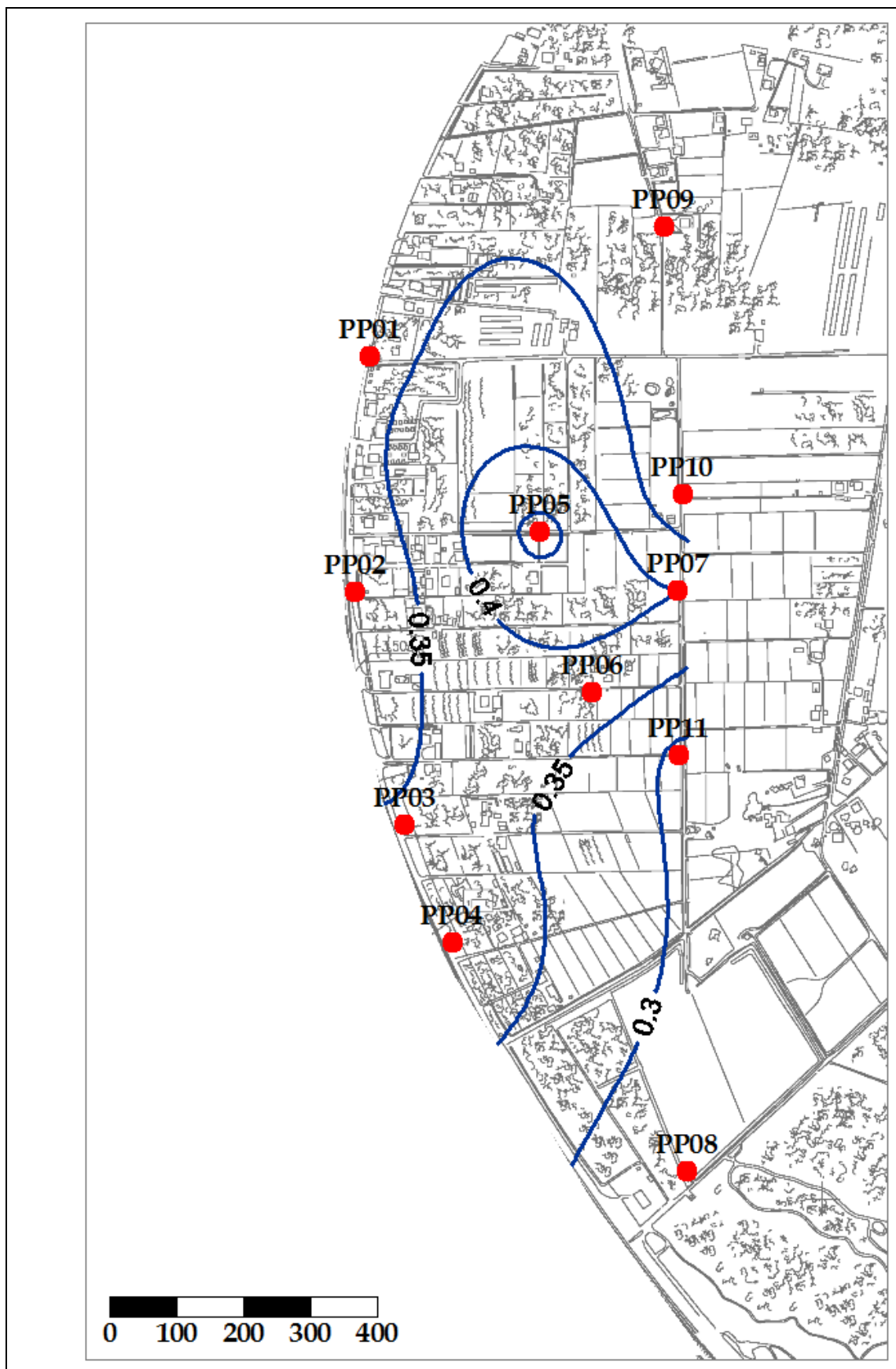


Fig. 5.8- Piezometria profonda Fase A - novembre 2005 (h_t - m s.l.m.).

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

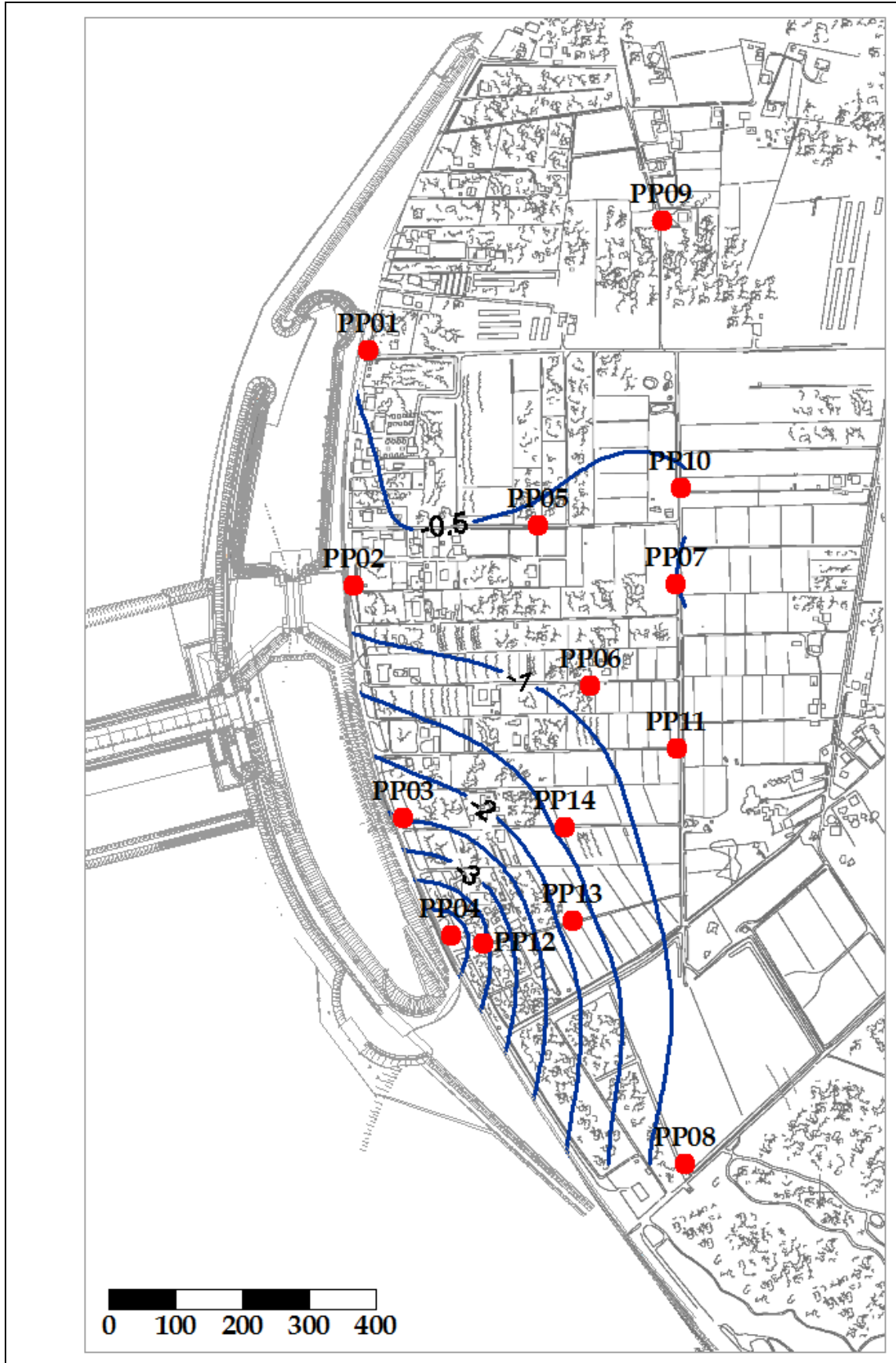


Fig. 5.9 - Piezometria profonda - settembre 2011 (h_U - m s.l.m.).

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

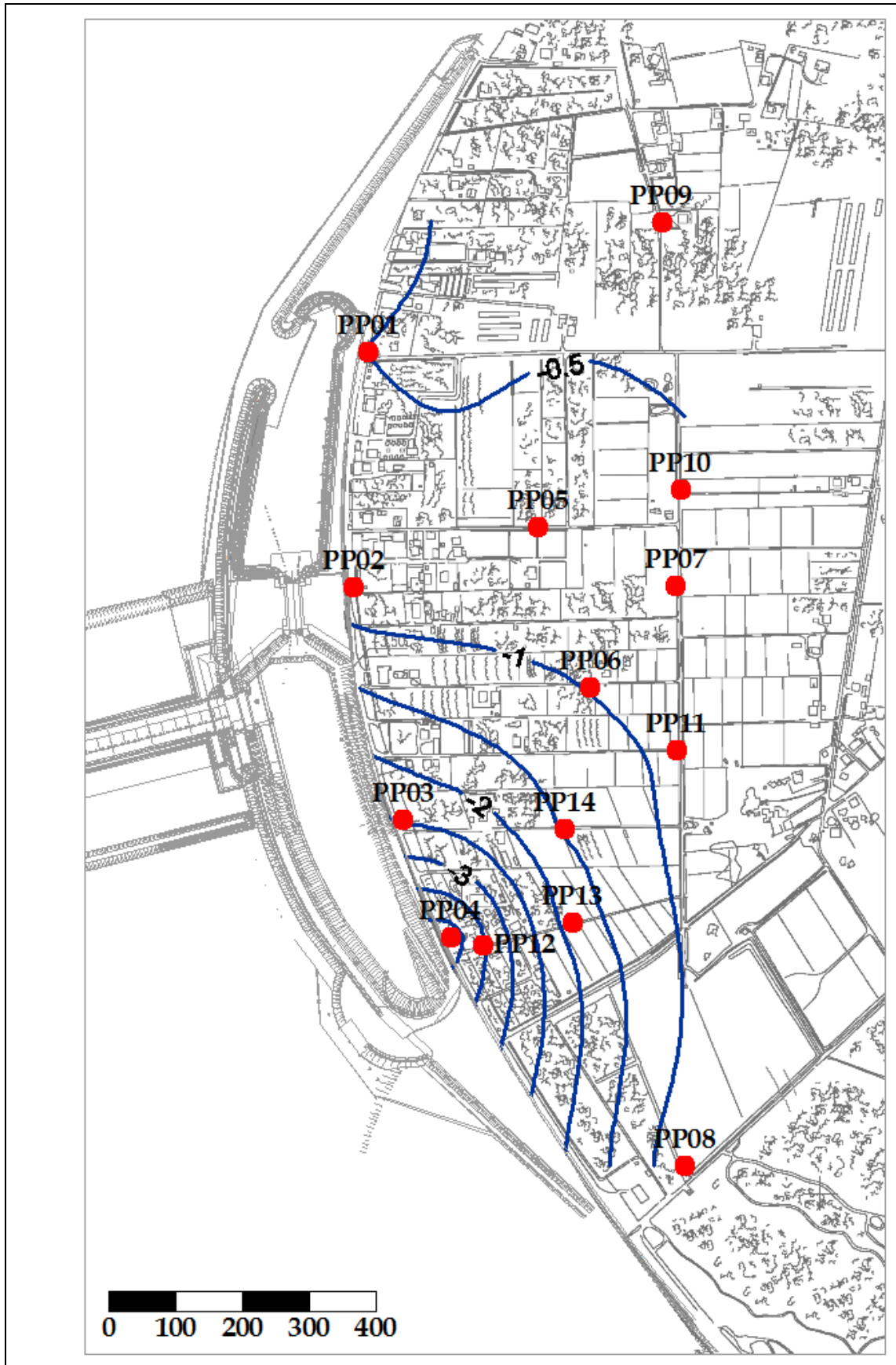


Fig. 5.10 - Piezometria profonda - ottobre 2011 (h_{PI} - m s.l.m.).

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

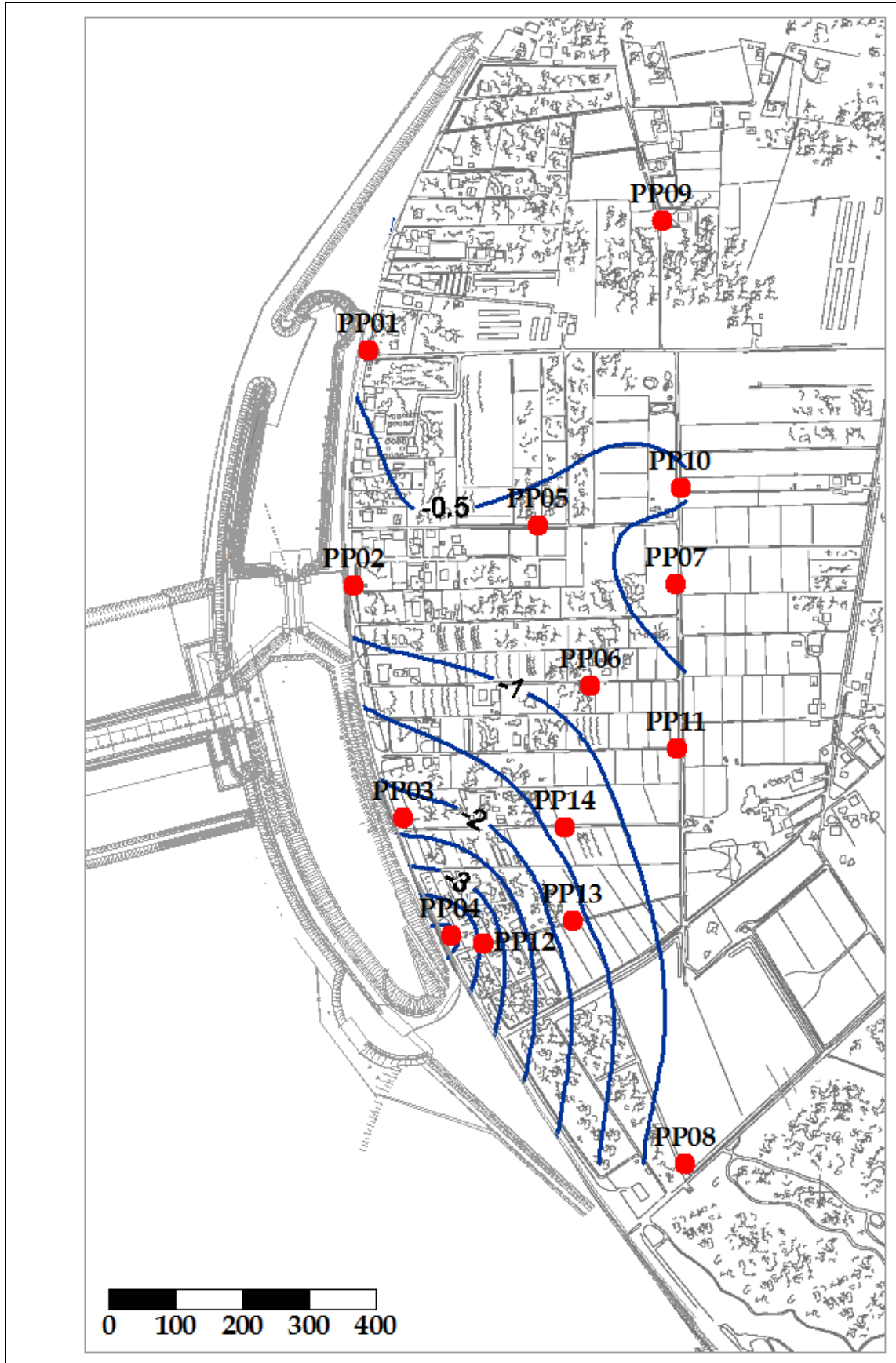


Fig. 5.11 - Piezometria profonda - novembre 2011 (h_{tl} - m s.l.m.).

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

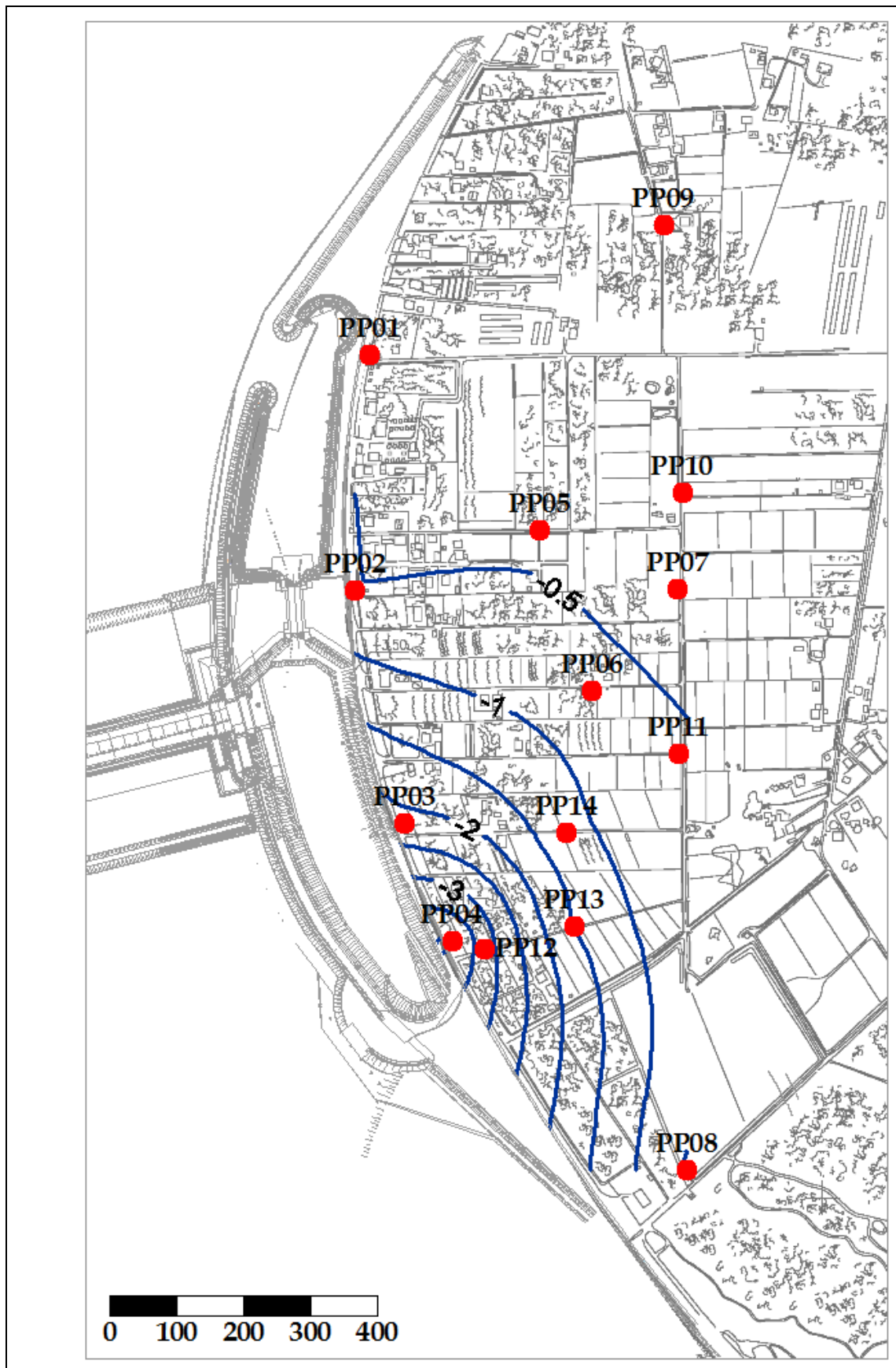


Fig. 5.12 - Piezometria profonda - dicembre 2011 (h_{hl} - m s.l.m.).

6. VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE

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

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

Tab. 6.1- Identificazione preliminare delle soglie ed azioni correttive.

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

| Sigla | ALI | | | ALM | | |
|-------------|-------------------------|--|--|---------------------------|--|--|
| Evento | Alto livello istantaneo | | | Alto livello medio (24 h) | | |
| Espressione | $h_{it} > z_t$ | | | $\bar{h}_{it,24} > z_t$ | | |
| Causa | Naturale | Antropica | | Naturale | Antropica | |
| | | Varia | Cantiere | | Varia | Cantiere |
| Azione | - | Valutare affidabilità dati Barologger e Levelogger Avviso | Valutare affidabilità dati Barologger e Levelogger Avviso | - | Valutare affidabilità dati Barologger e Levelogger Avviso | Valutare affidabilità dati Barologger e Levelogger Avviso |

Nel corso del quadrimestre di monitoraggio settembre - dicembre 2011 è stato verificato il rispetto delle soglie indicate in Tab. 6.1. Nel seguito sono indicati i superamenti:

- le soglie di Alto Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate per tutti i piezometri superficiali e profondi;
- la soglia di Basso Livello Istantaneo è stata superata nei piezometri superficiali PS03, PS04, PS06, PS07, PS09, PS10, PS11 in occasione di massimi mareali: i livelli di falda superficiale nei piezometri interni (PS03÷11) sono rimasti infatti inferiori al livello medio del mare fino a novembre, a causa degli abbassamenti indotti negli ultimi mesi dalla forte evapotraspirazione e dalle scarse precipitazioni. La soglia di Basso Livello Medio è però stata rispettata in tutti i piezometri;
- la soglia di Basso Livello Istantaneo non è stata rispettata nei piezometri profondi PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14 durante l'intero periodo monitorato; in occasione dei massimi mareali sono stati registrati superamenti in tutti i piezometri profondi, sia pure con frequenze differenti;
- la soglia di Basso Livello Medio è stata superata nei piezometri profondi PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14 durante tutto il periodo monitorato.

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

6.1 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.

In particolare a partire dal settembre 2011 un ulteriore affinamento del sistema è stato apportato riducendo progressivamente la portata a 450 mc / giorno, ottenuto con lo spegnimento dei pozzi S5 ed S1 ed alla manutenzione straordinaria dei pozzi collocati nella porzione inferiore della tura (fonte: comunicazione CVN del 28/06/2012).

Nonostante ciò si osserva, in corrispondenza di tale livello acquifero, una distribuzione piezometrica fortemente dissimile da quella registrata in fase A. Alla luce dello spegnimento del sistema di dewatering previsto per marzo 2012, si ritengono tuttavia opportune le misure di mitigazione già segnalate.

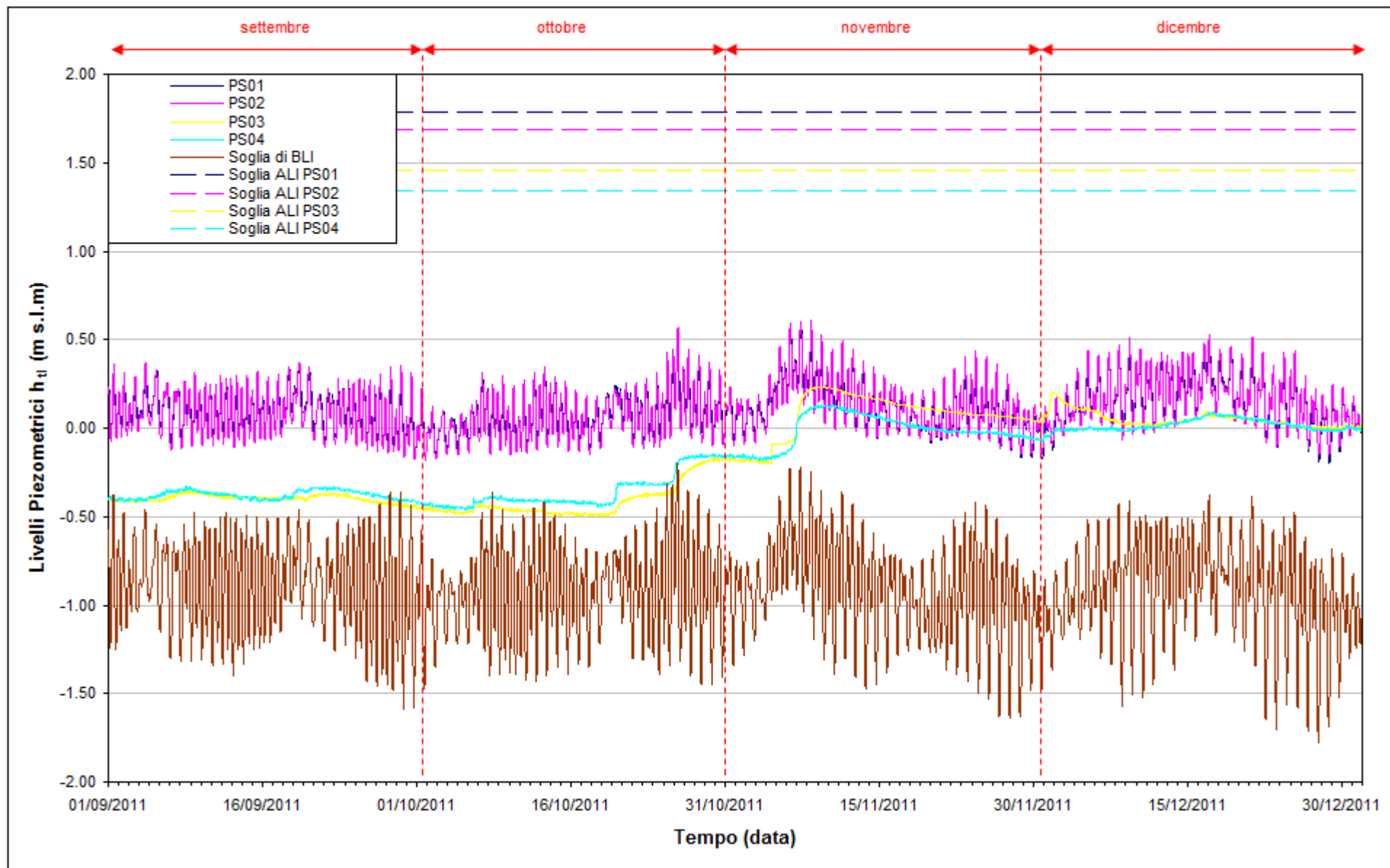


Fig. 6.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS01, PS02, PS03, PS04.

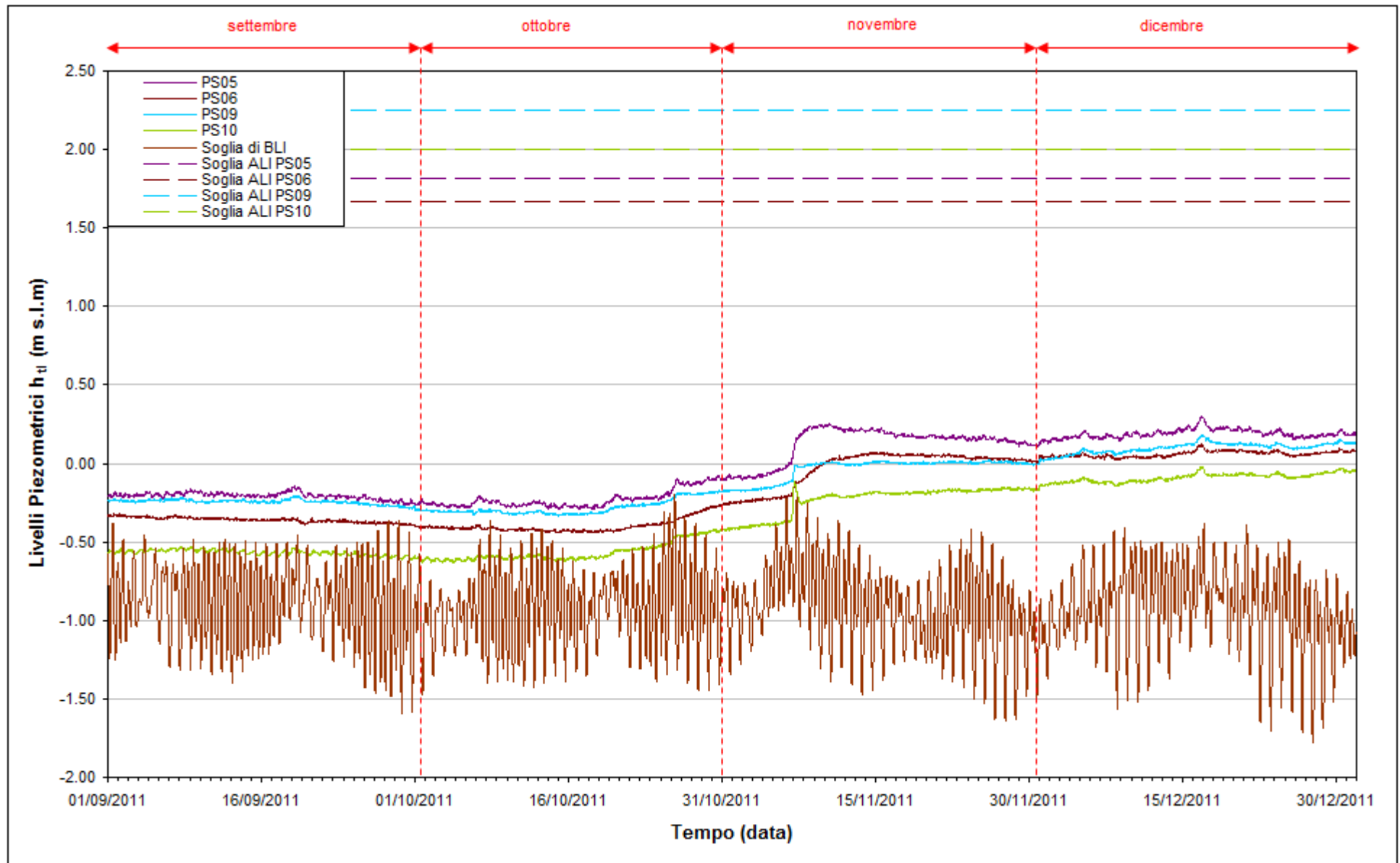


Fig.6.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS05, PS06, PS09, PS10.

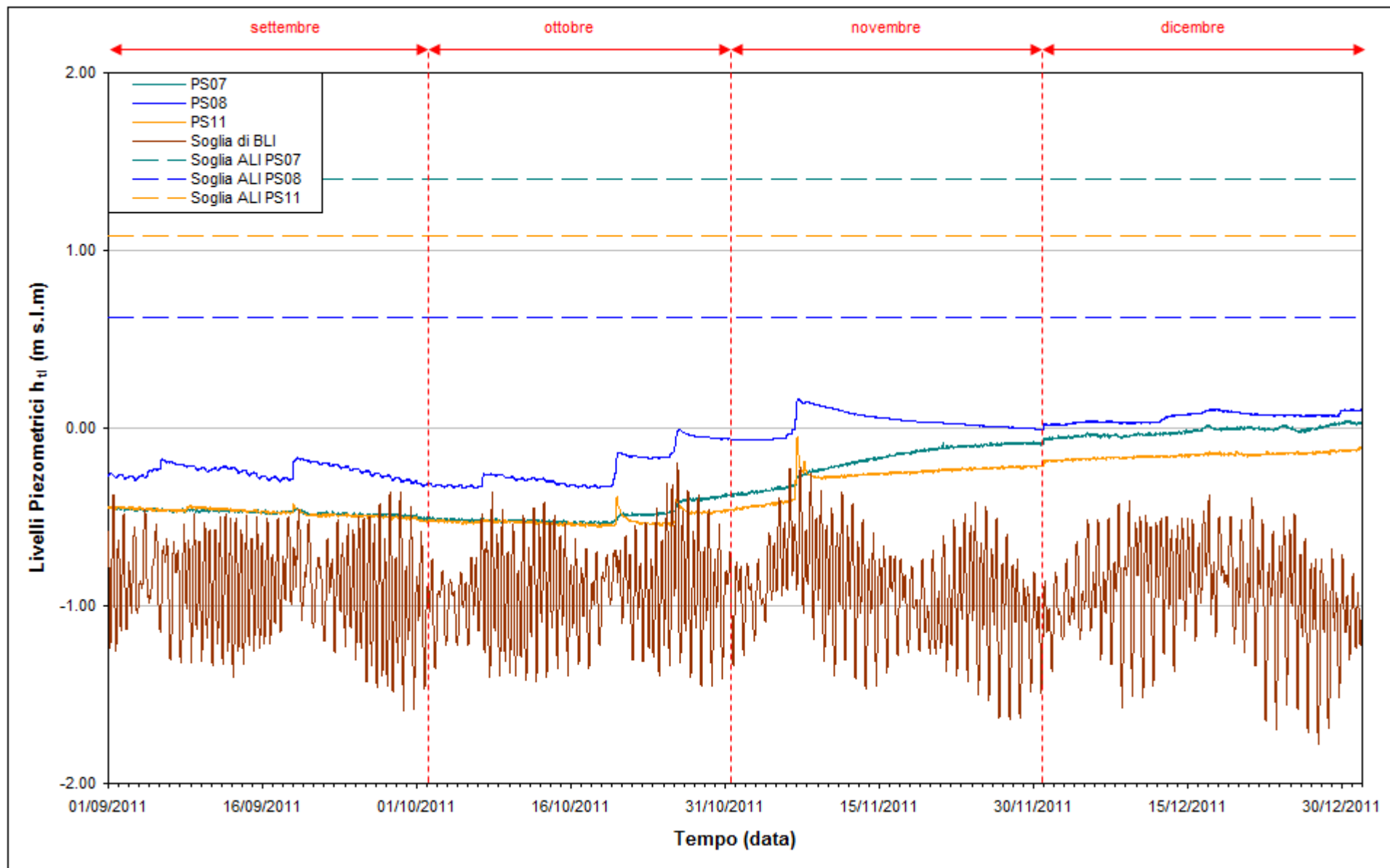


Fig.6.3 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS07, PS08, PS11.

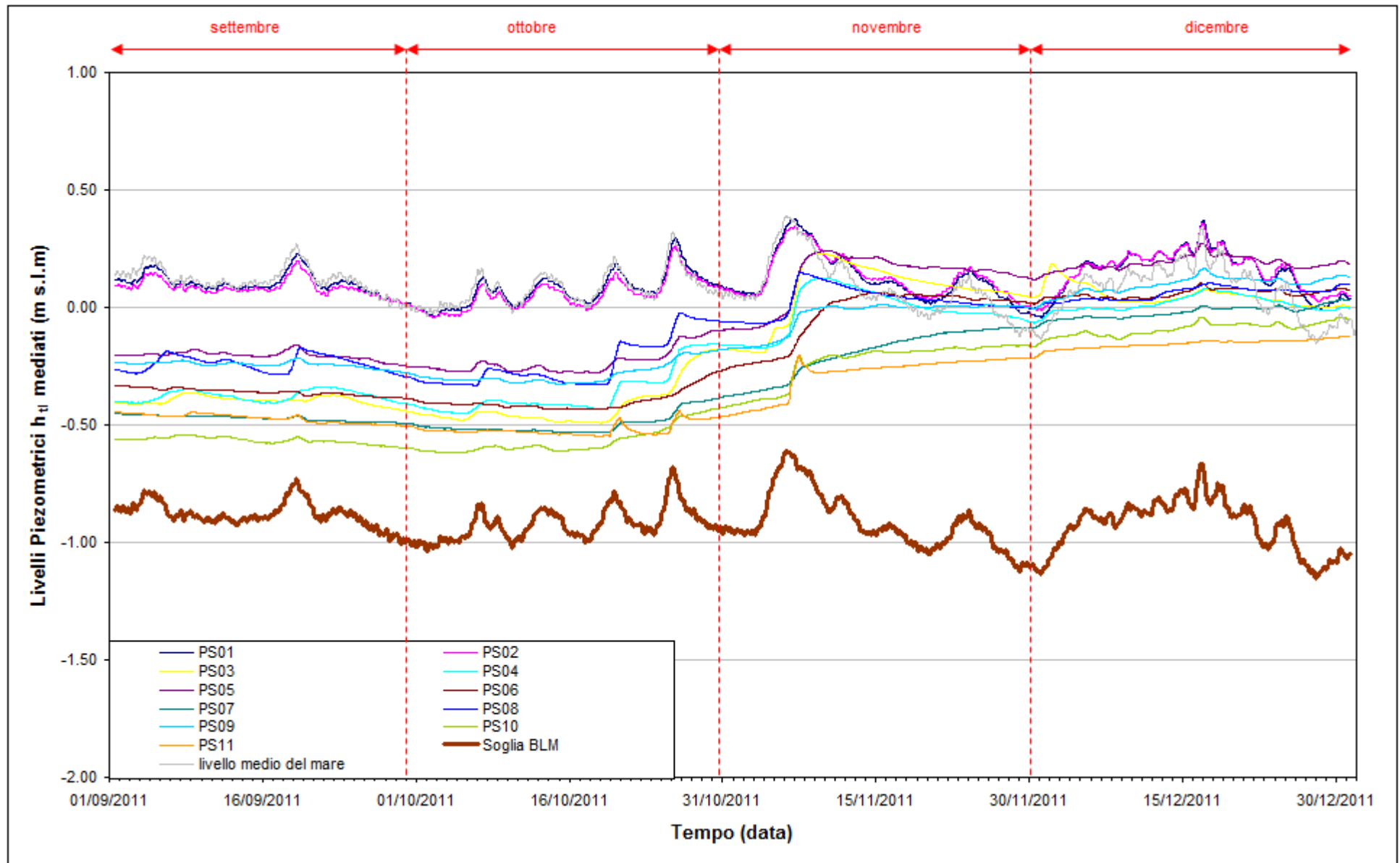


Fig. 6.4 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri superficiali e soglia di Basso Livello Medio.

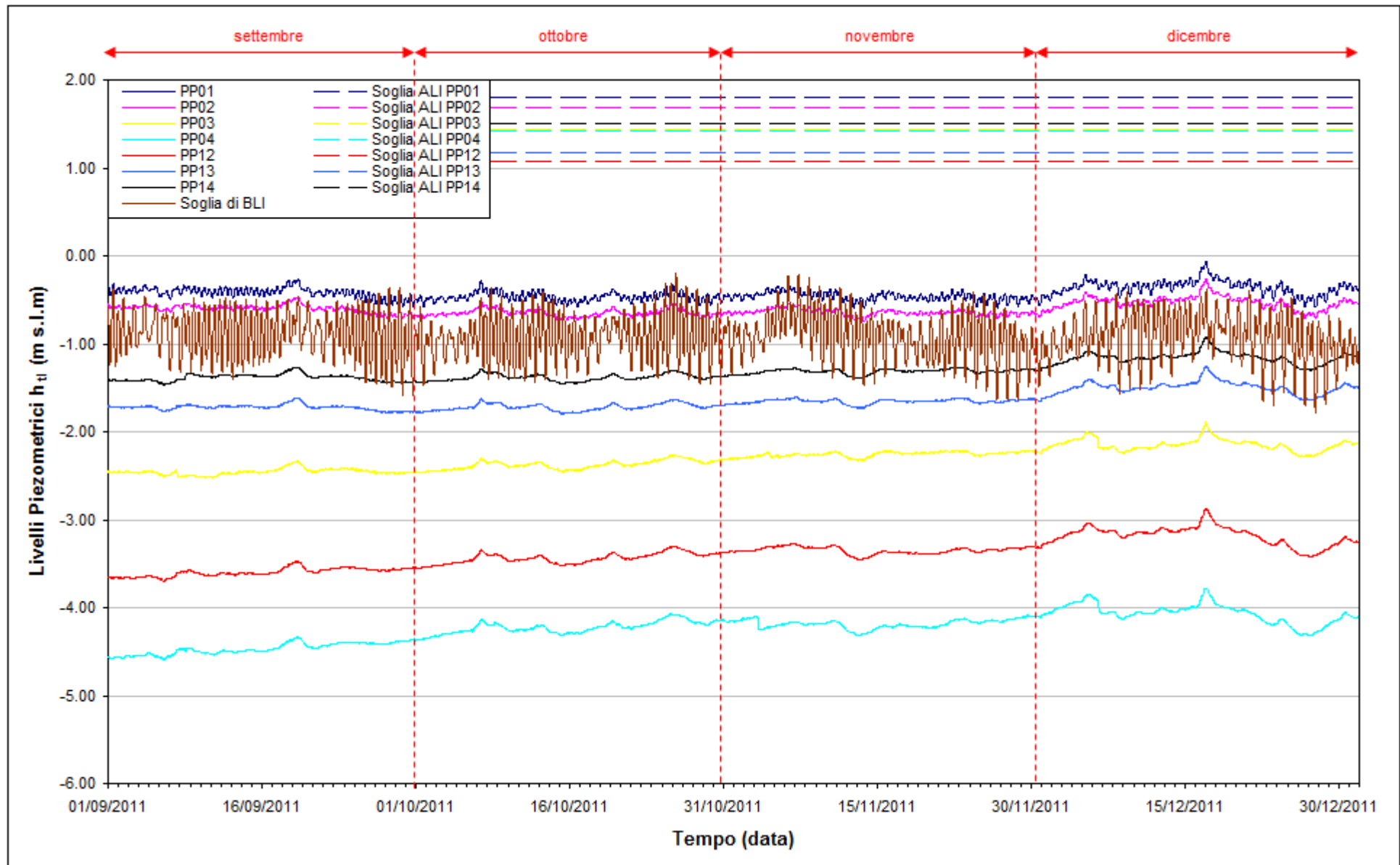


Fig. 6.5 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP04, PP12, PP13, PP14.

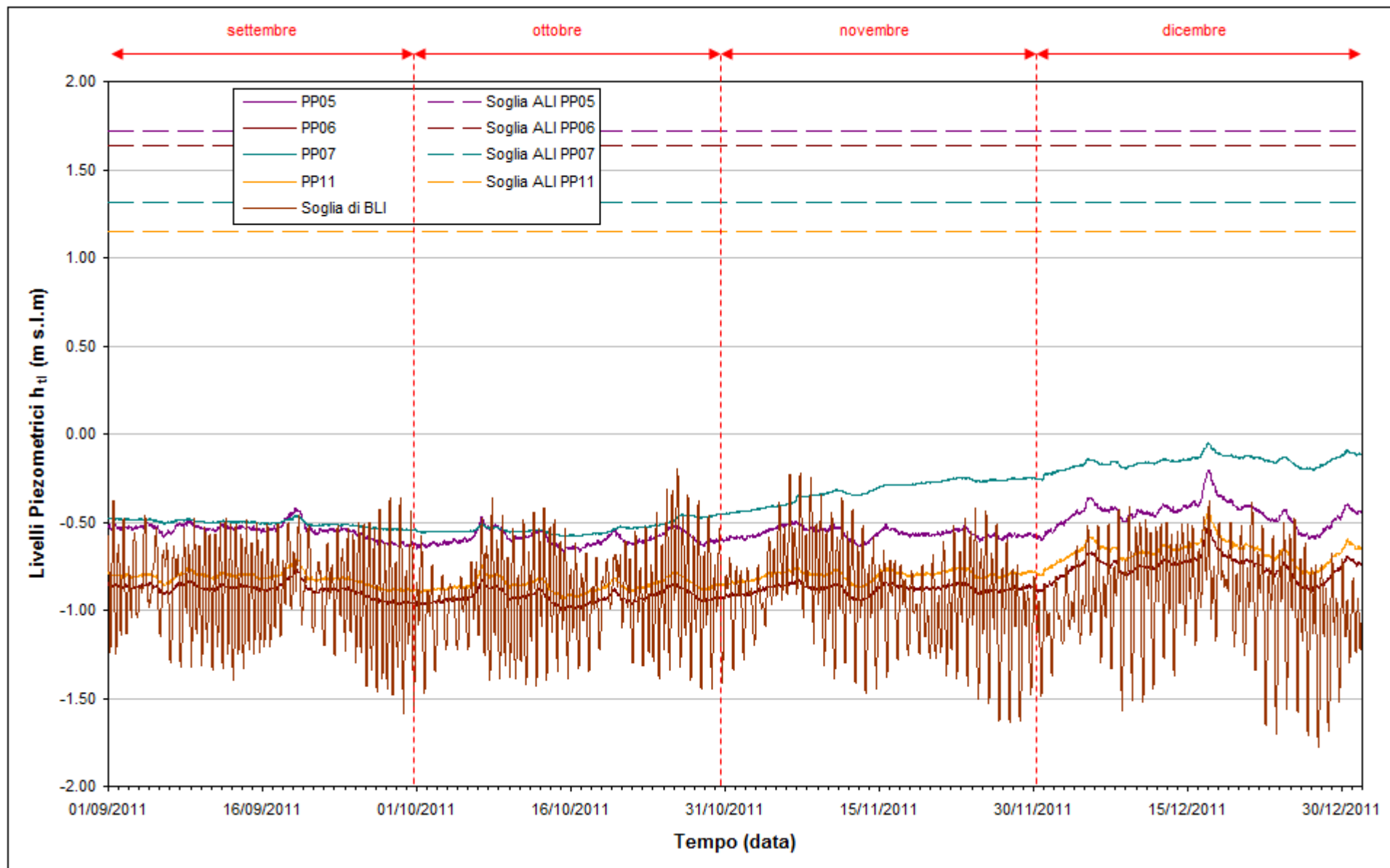


Fig. 6.6 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP11.

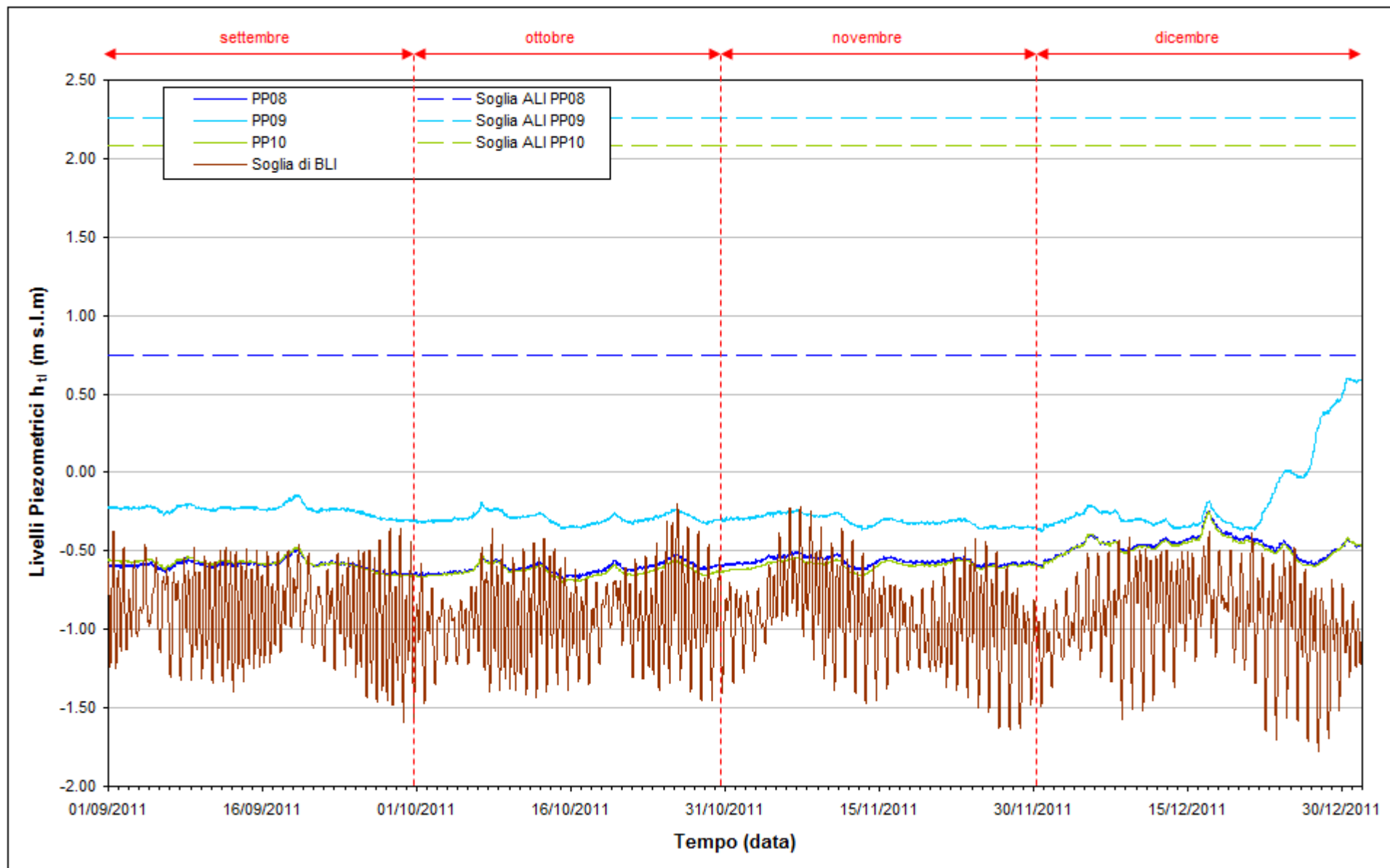


Fig. 6.7 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP08, PP09, PP10.

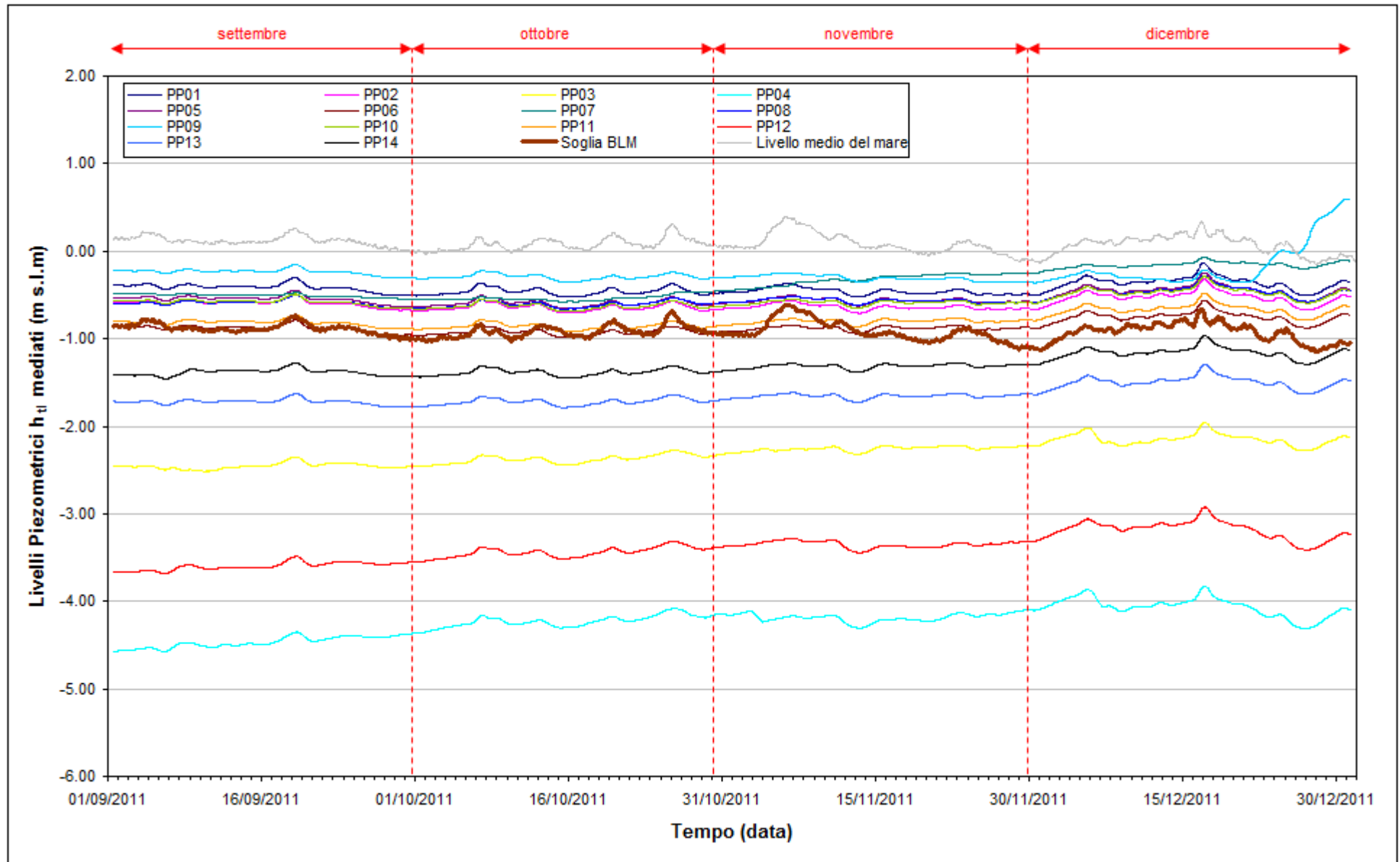


Fig. 6.8 - Livelli piezometrici mediati dei piezometri profondi e soglia di Basso Livello Medio.

7. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/09/2011 e il 31/12/2011, sono stati valutati gli andamenti dei livelli piezometrici all'interno del primo e secondo livello acquifero. Sono inoltre state analizzate le influenze delle forzanti naturali ed antropiche agenti sul sistema dinamico ed è stato effettuato uno studio sulla variazione spazio-temporale della densità dell'acqua di falda.

In tutti i piezometri dell'acquifero superficiale, ad eccezione delle postazioni PS01 e PS02 (i cui livelli sono legati alle oscillazioni mareali), si osserva una crescita dei livelli, dovuta alle precipitazioni piovose, con variazioni comprese tra 35 e 50 cm circa. I livelli della falda superficiale si confermano, anche per il quadrimestre settembre-dicembre 2011, nettamente inferiori rispetto allo stesso periodo negli anni precedenti. Le precipitazioni sono inferiori alle medie stagionali (207.4 mm, mentre la media per il quadrimestre settembre-dicembre è di 269 mm).

La configurazione piezometrica in corrispondenza del secondo livello acquifero risente delle operazioni di pompaggio della tura lato mare. Tra l'inizio e la fine del periodo monitorato (01/09/11 - 31/09/11) si osserva un aumento dei carichi idraulici nei piezometri vicini alla tura (50 cm circa in PP04, 35 cm in PP03, 40 cm in PP12), attribuibile ad una diminuzione delle portate di emungimento nella tura. Nel piezometro PP07 si registra un aumento del carico idraulico di circa 35 cm, attribuibile all'infiltrazione di acqua piovana.

L'innalzamento osservato in PP09 nel mese di dicembre 2011 è invece, al momento, di origine ignota. Nel corso del prossimo sopralluogo, sarà installato un trasduttore aggiuntivo per verificare se siano presenti anomalie nella strumentazione di misurazione dei carichi idraulici.

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

8. INTRODUZIONE

La seconda parte di questo documento descrive l'analisi dei dati derivanti dai rapporti mensili di monitoraggio nel periodo 1 settembre 2011 - 31 dicembre 2011 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/7 "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'aggotamento 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. 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 imprevisi 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. 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.

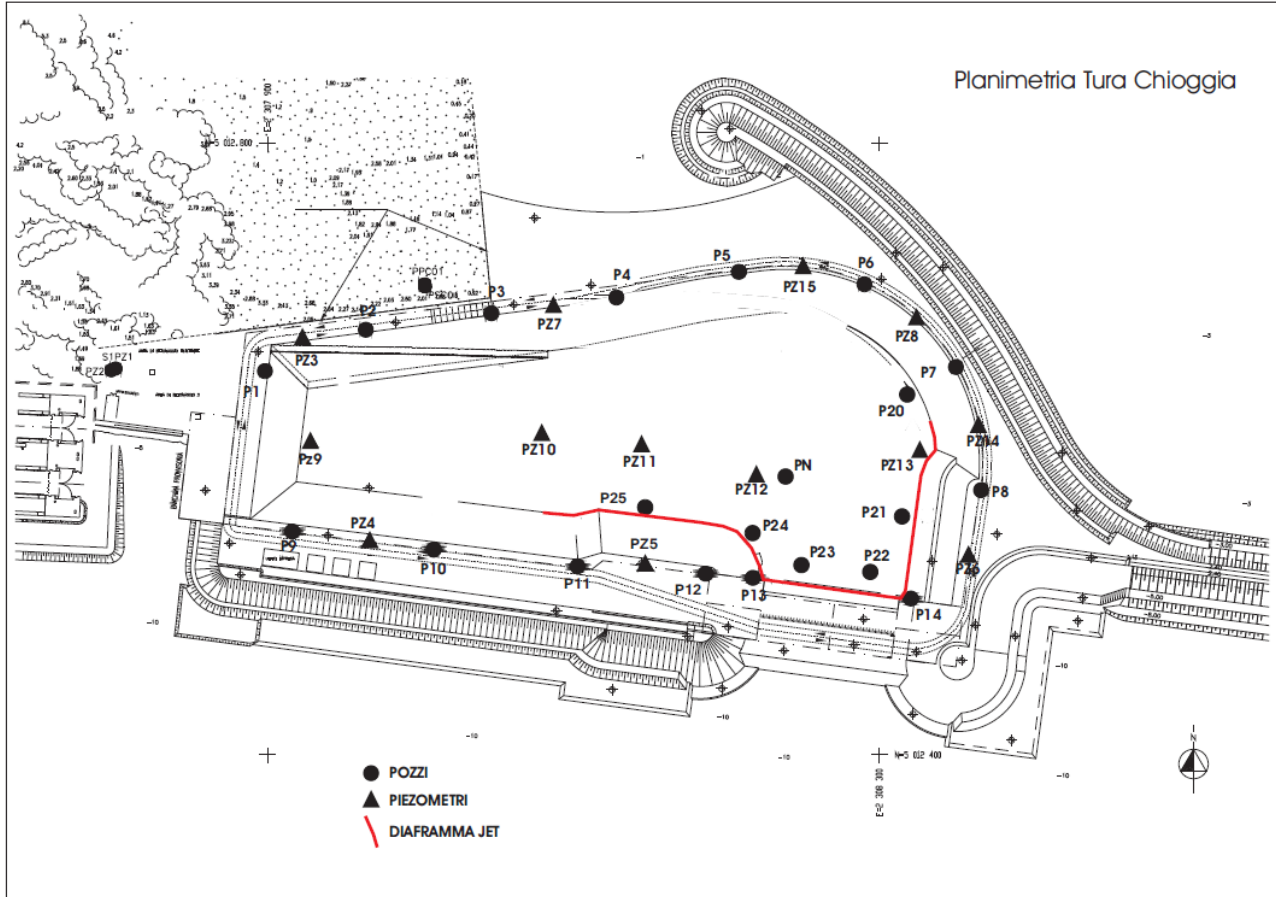


Fig. 8.1 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

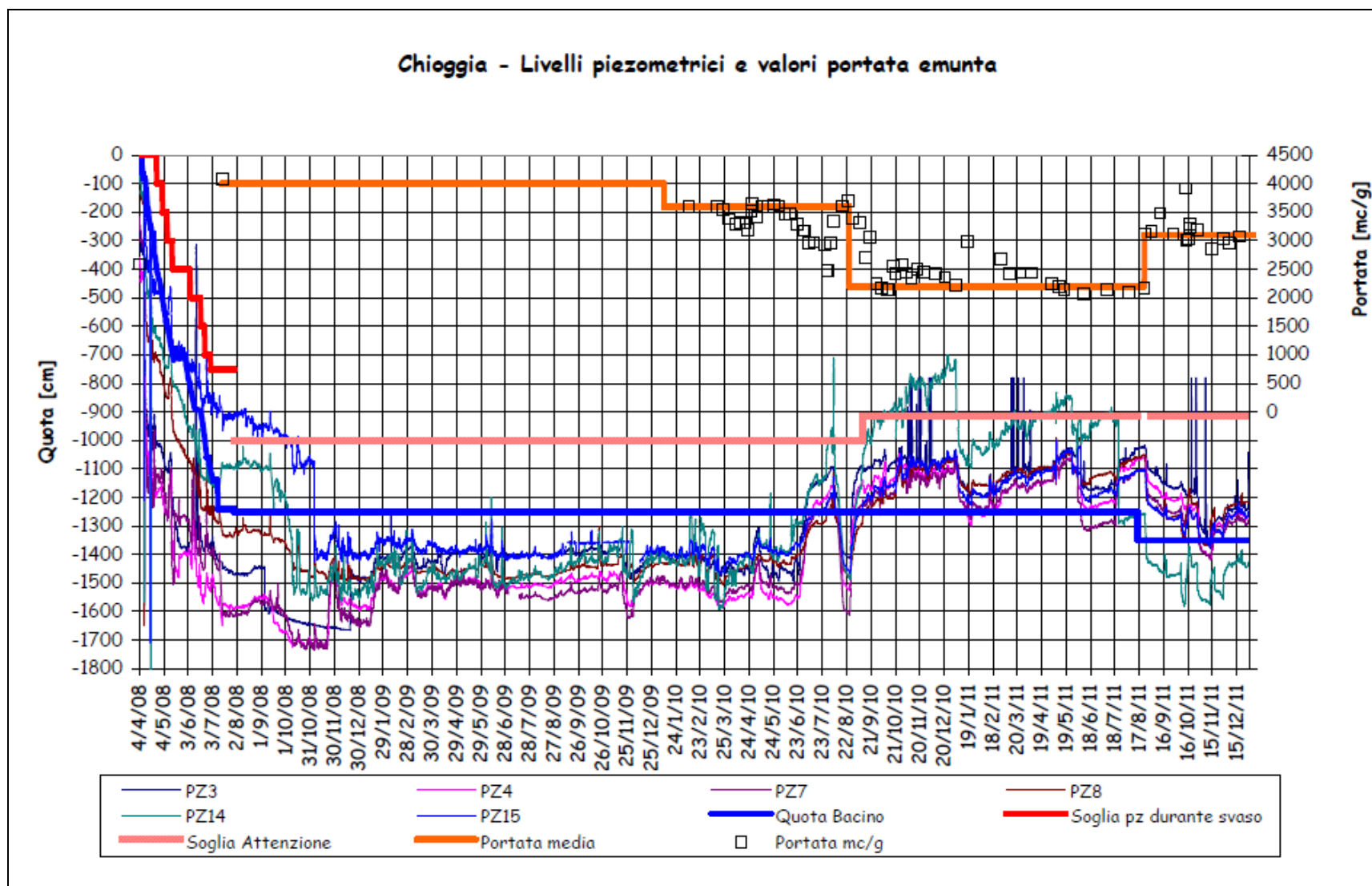


Fig. 8.2 - Portate di emungimento e carichi idraulici misurati all'interno della tura di Ca' Roman (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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 01/09/2011 e il 31/12/2011.

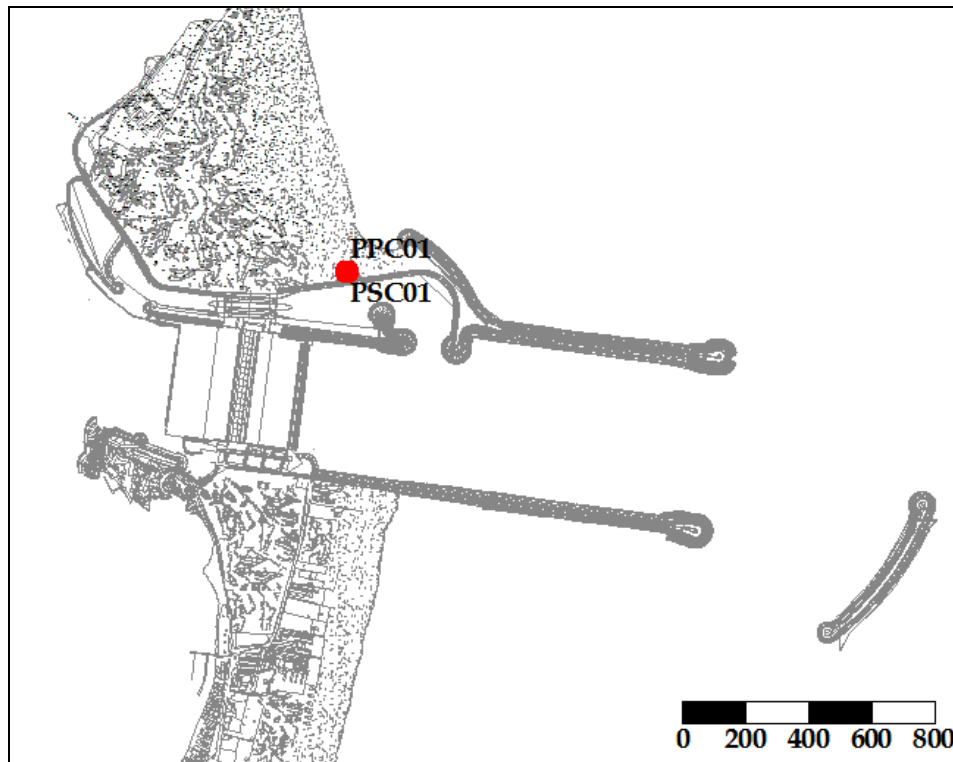


Fig. 9.1 - Ubicazione dei piezometri.

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

In Fig. 9.2 è riportato l'andamento delle precipitazioni registrate durante il periodo di monitoraggio dalla stazione meteo "ARPAV - Chioggia loc. Sant'Anna", posta a circa 12 km a sud rispetto al sito monitorato. La Tab. 9.2 riporta gli eventi piovosi più significativi, caratterizzati da un'altezza di pioggia superiore a 5 mm.

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

| DATA | DURATA (h) | ENTITÀ (mm) |
|-------------|------------|-------------|
| 04-06/09/11 | 72 | 18.6 |
| 18-20/09/11 | 72 | 34.8 |
| 07/10/11 | 24 | 7.4 |
| 20/10/11 | 24 | 32.0 |
| 25-26/10/11 | 48 | 20.8 |
| 05-07/11/11 | 72 | 36.6 |
| 29/12/11 | 24 | 7.4 |

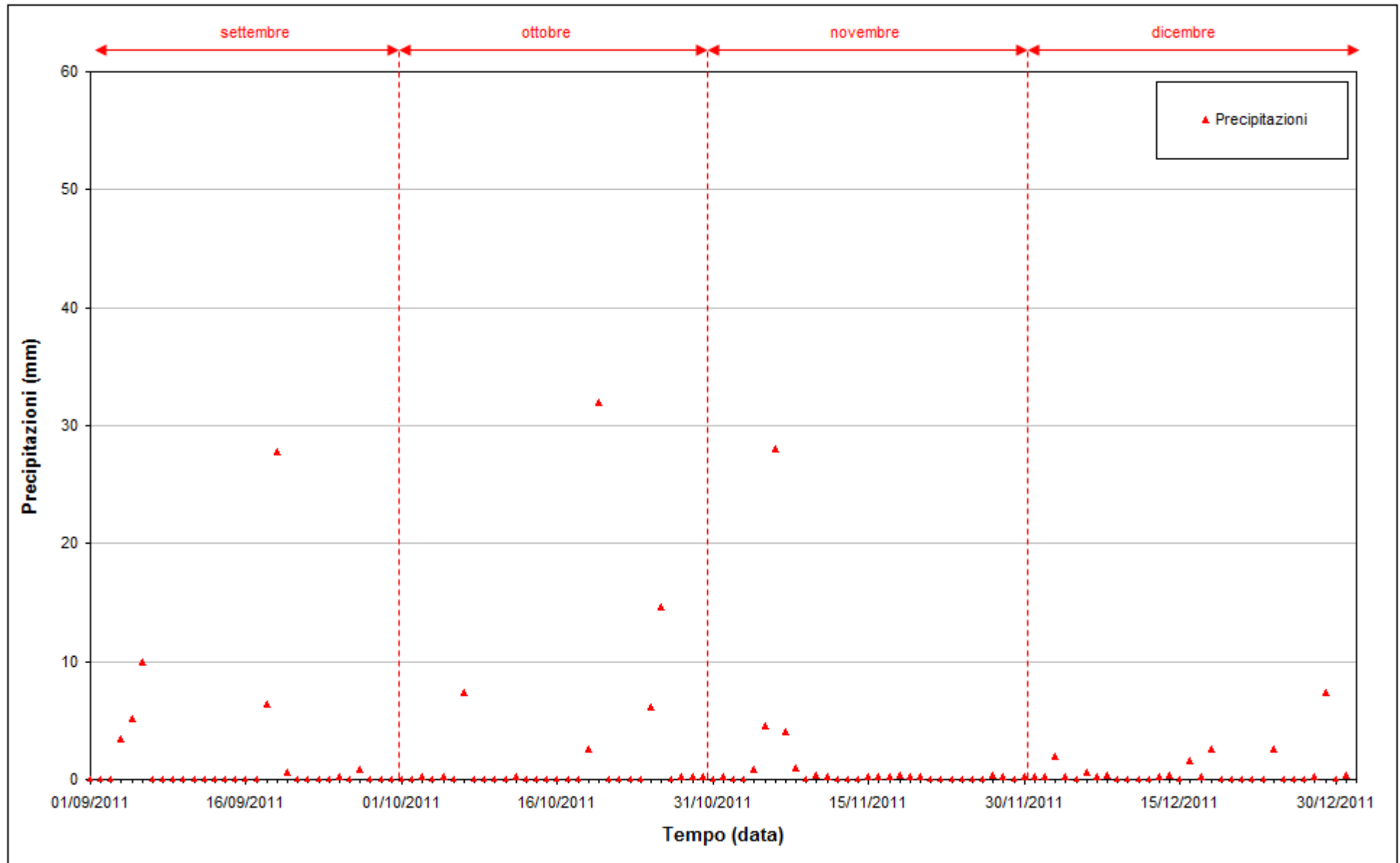


Fig. 9.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/09/2011 - 31/12/2011.

9.2.2 Livello del mare

In Fig. 9.3 è tracciato l'andamento del livello del mare registrato dal mareografo "Diga Sud Chioggia" durante il mese di monitoraggio. I dati riportati sono riferiti alla Rete Altimetrica dello Stato "Genova 1942" e sono caratterizzati da una frequenza di acquisizione oraria nell'intero periodo monitorato.

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

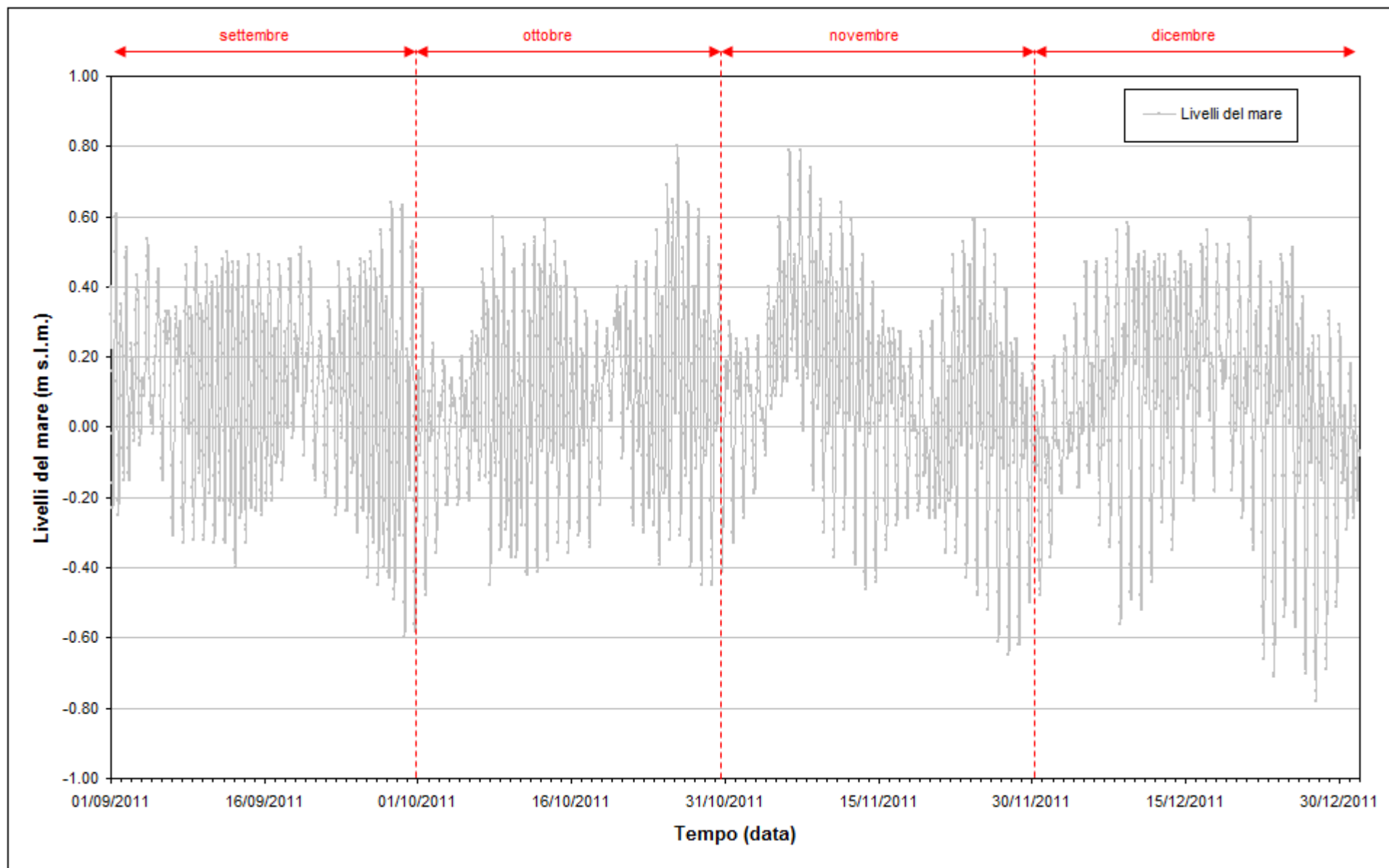
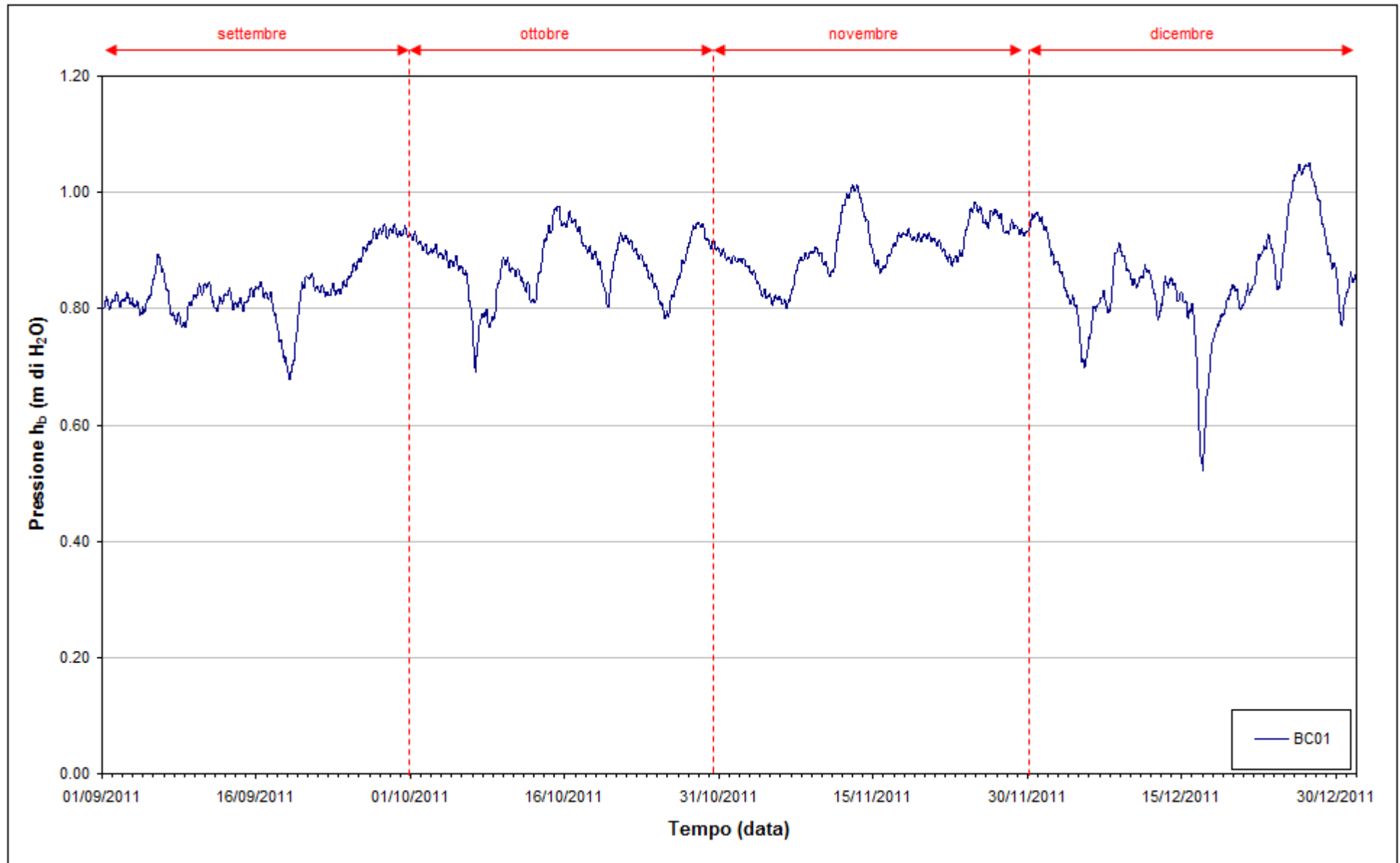


Fig. 9.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia. I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

9.2.3 *Pressione atmosferica - h_v*

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

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

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

9.3 Piezometro superficiale - primo livello acquifero (Strato A)

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

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

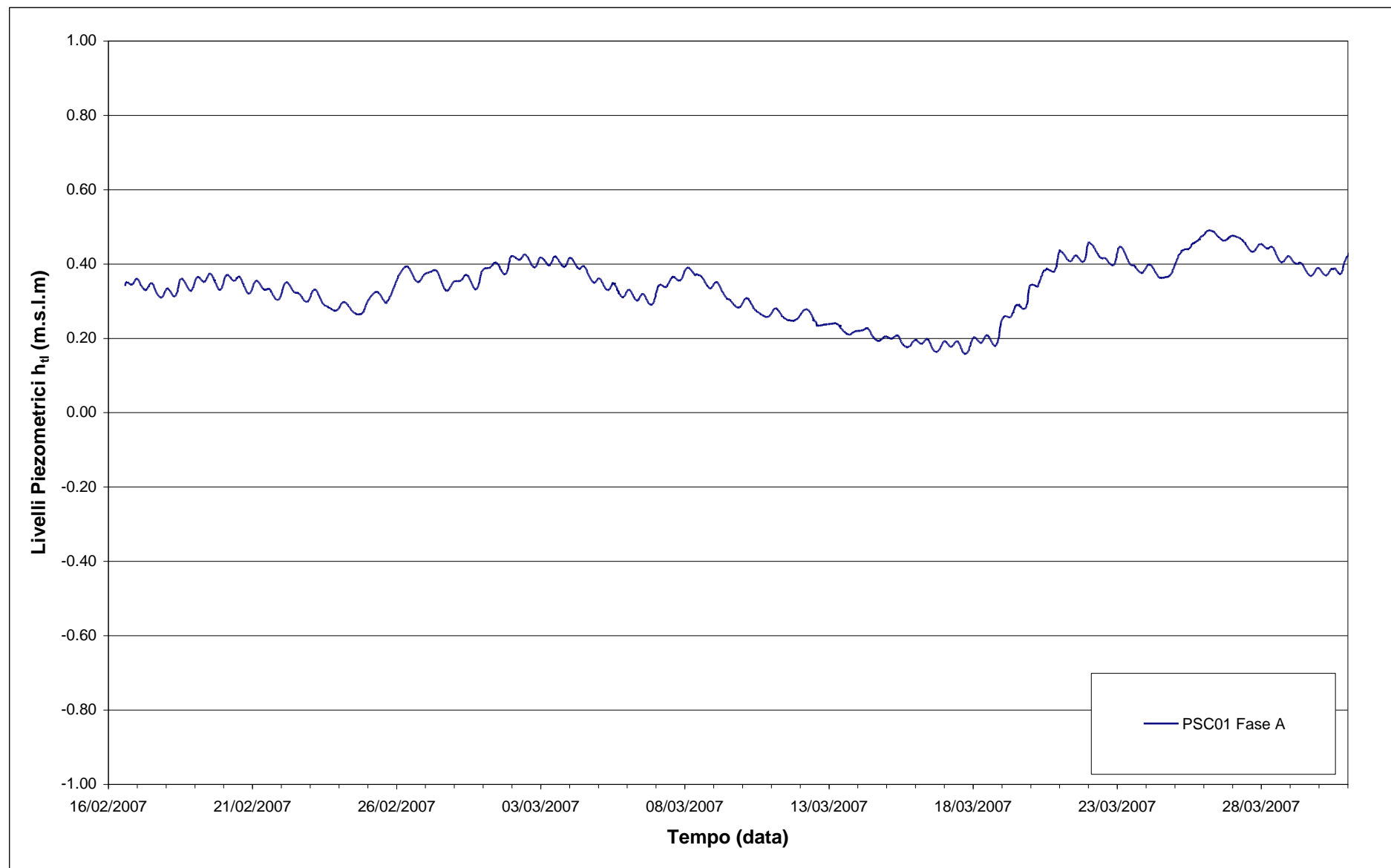
In Fig. 9.5 sono riportati i dati relativi ai livelli del piezometro PSC01 durante la Fase A (febbraio - marzo 2007).

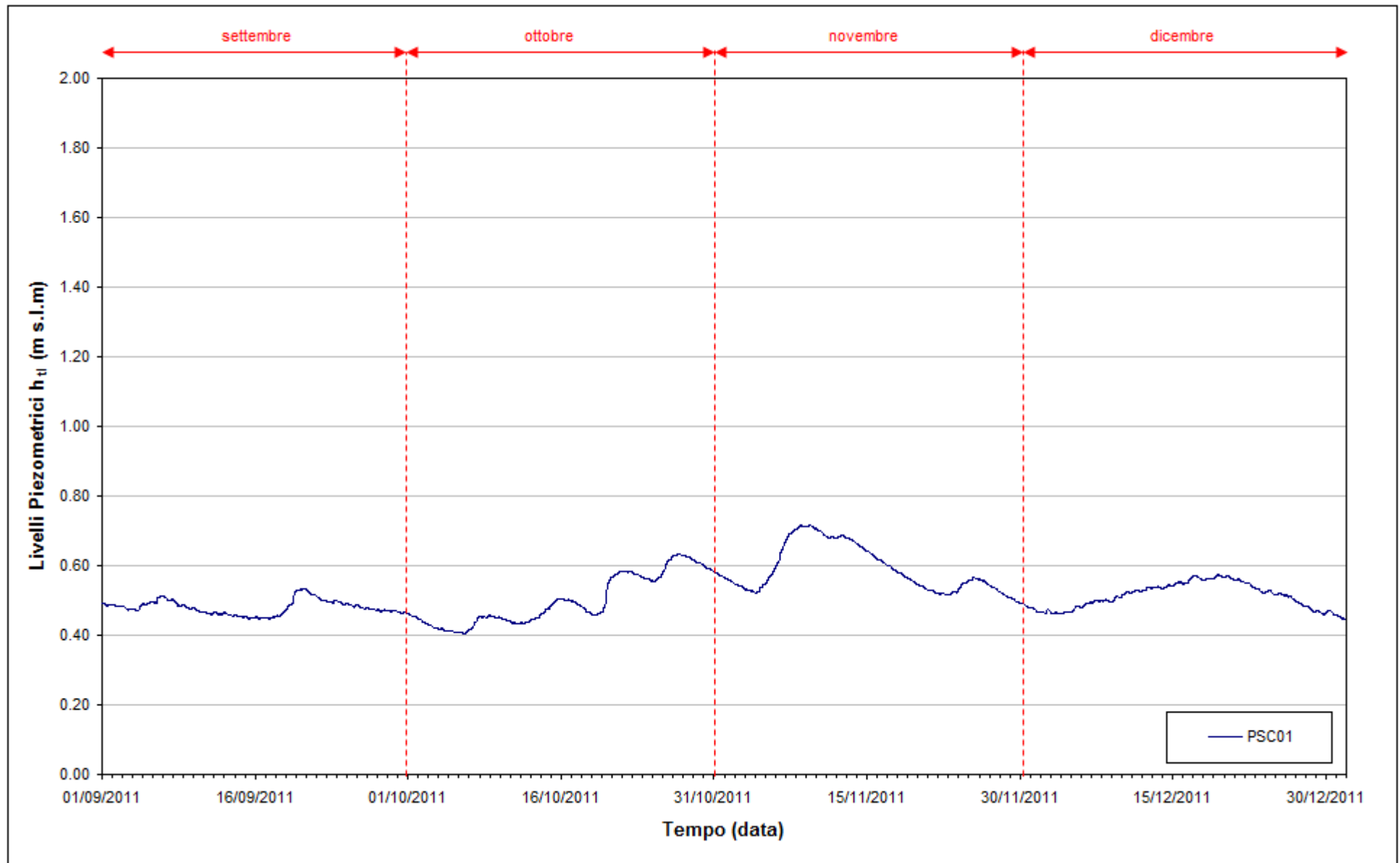
9.3.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}

I dati riportati in Fig. 9.6 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio 01/09/11 - 31/12/11.

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 (01/09/11 - 31/12/11) non si osservano variazioni apprezzabili del livello di falda.

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

Fig. 9.6- Livelli piezometrici (h_{11}) relativi al piezometro superficiale nel quadrimestre di monitoraggio.

9.3.3 *Effetti delle precipitazioni e della evapotraspirazione*

In Fig. 9.7 è possibile confrontare i tracciati di misura del trasduttore posizionato in corrispondenza del piezometro PSC01 con le escursioni mareali registrate del mareografo Diga Sud Chioggia, con le precipitazioni piovose 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 la percentuale di ore diurne, sul totale annuale (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] |
|---------------|-----------------|--------|-------|------|------------|---------------------|
| Settembre | 25.6 | 30 | 12.5 | 0.45 | 3.6 | 54.4 |
| Ottobre | 15.7 | 31 | 11 | 0.45 | 2.5 | 64.0 |
| Novembre | 8.8 | 30 | 9.5 | 0.45 | 1.7 | 41.4 |
| Dicembre | 4.5 | 31 | 8.8 | 0.45 | 1.3 | 19.4 |
| TOTALE | 13.7 °C (media) | 122 gg | - | - | 277.6 mm | 179.2 mm |

Il grafico 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.

In Fig. 9.8 è riportato il confronto dei livelli nel piezometro PSC01 nel periodo settembre - dicembre per gli anni dal 2007 al 2011. Rispetto agli anni precedenti, i livelli nel quadrimestre settembre - dicembre 2011 sono leggermente inferiori ai livelli misurati nel 2010 (circa 30 cm di differenza). Tale differenza è attribuibile alle scarse precipitazioni piovose (179.2 mm, mentre nel 2010 nello stesso periodo le precipitazioni totali sono state pari a 366.1 mm).

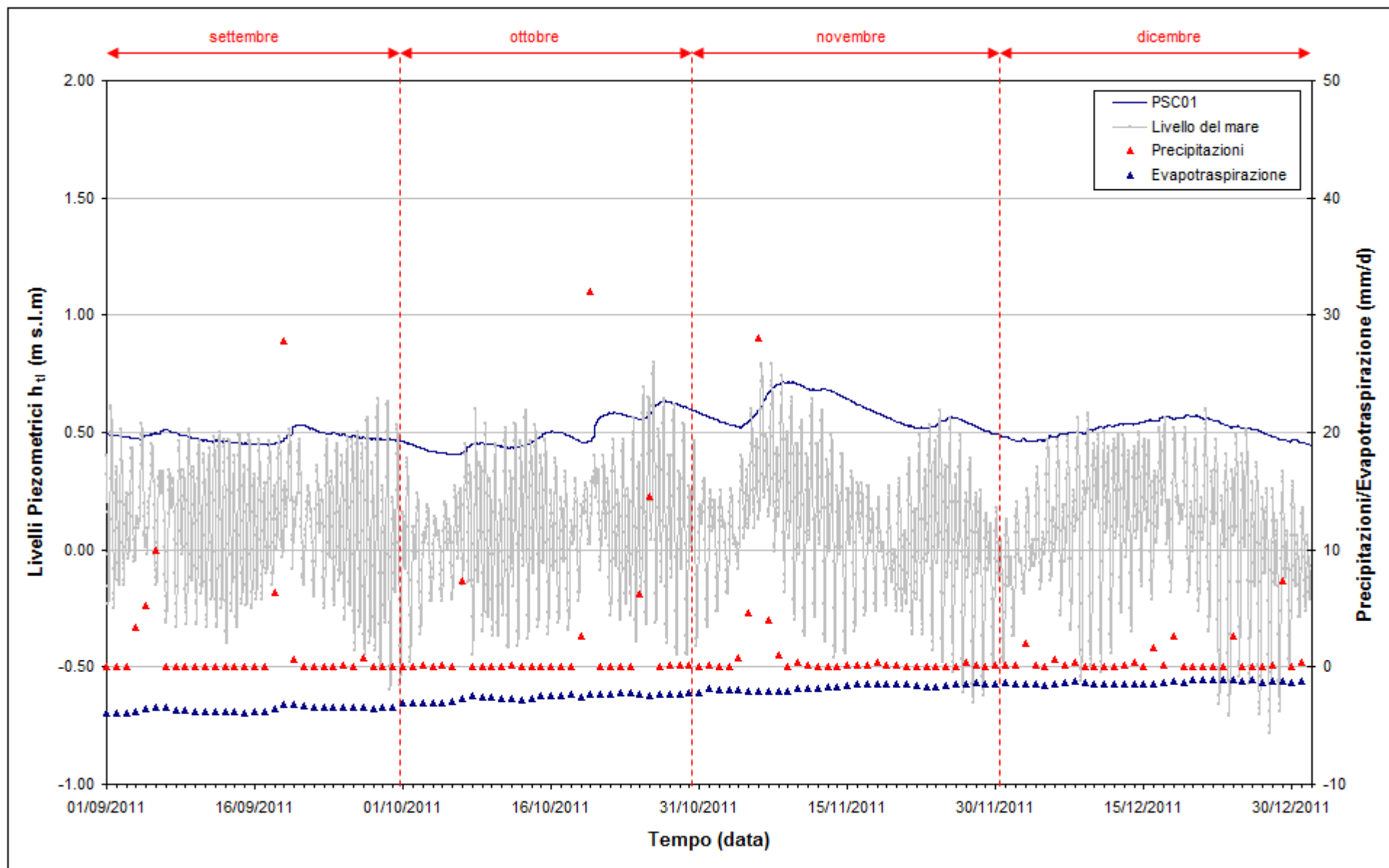
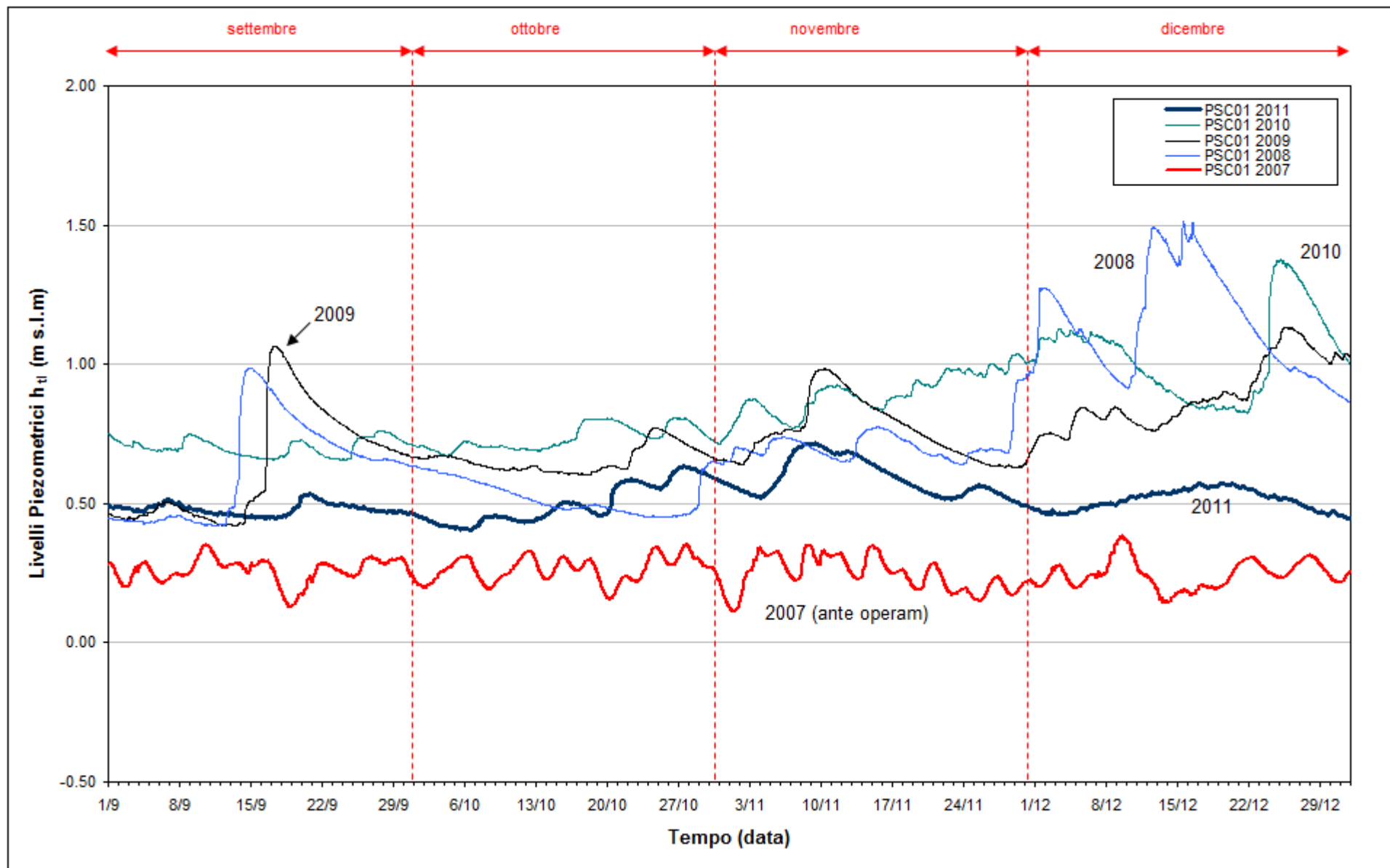


Fig. 9.7 - Livelli piezometrici del piezometro superficiale PSC01 e livelli del mare.

Fig. 9.8 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_u) nel piezometro PSC01 nel periodo settembre - dicembre degli anni 2007+2011.

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.

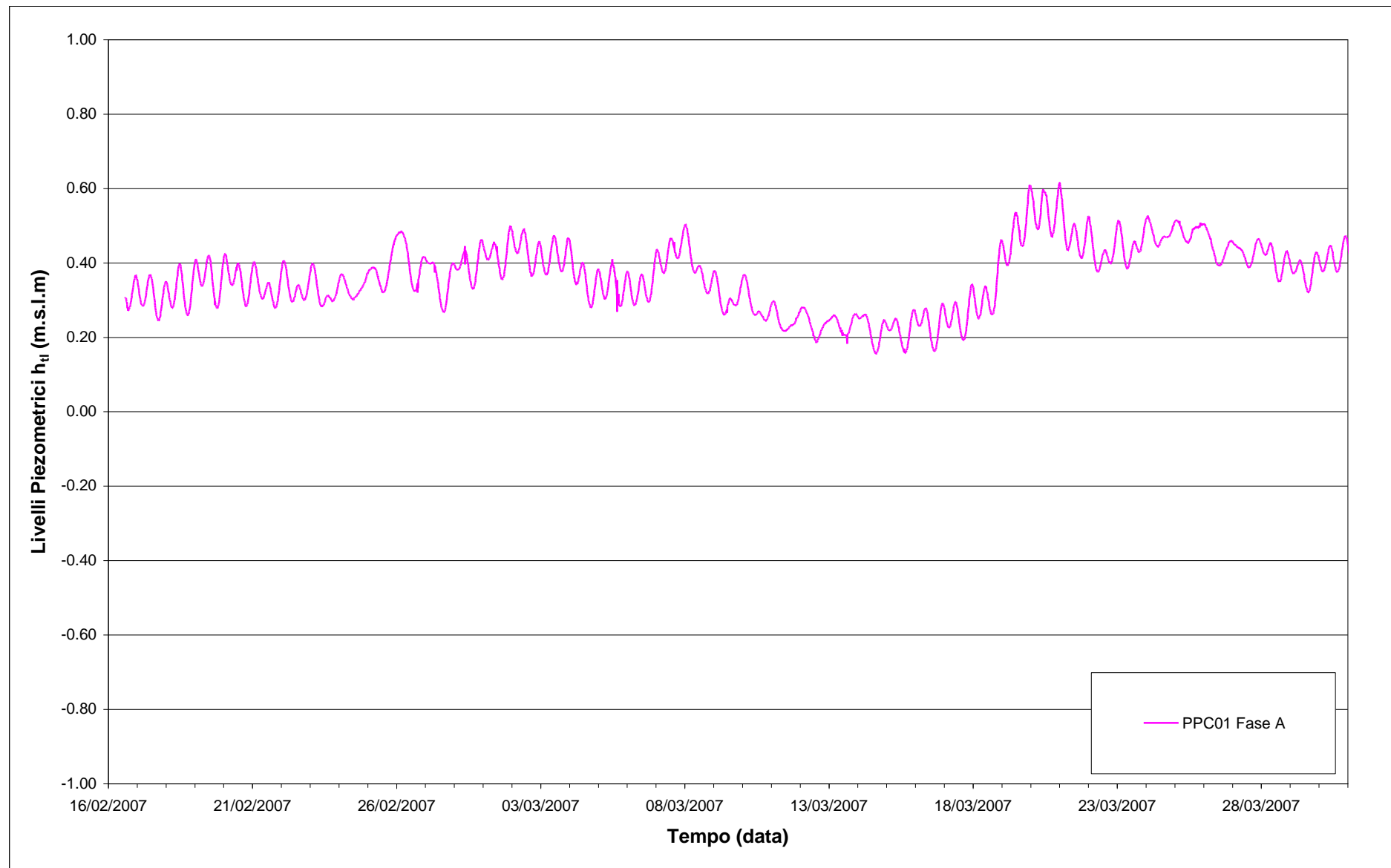
9.4.1 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_H (Fase A)

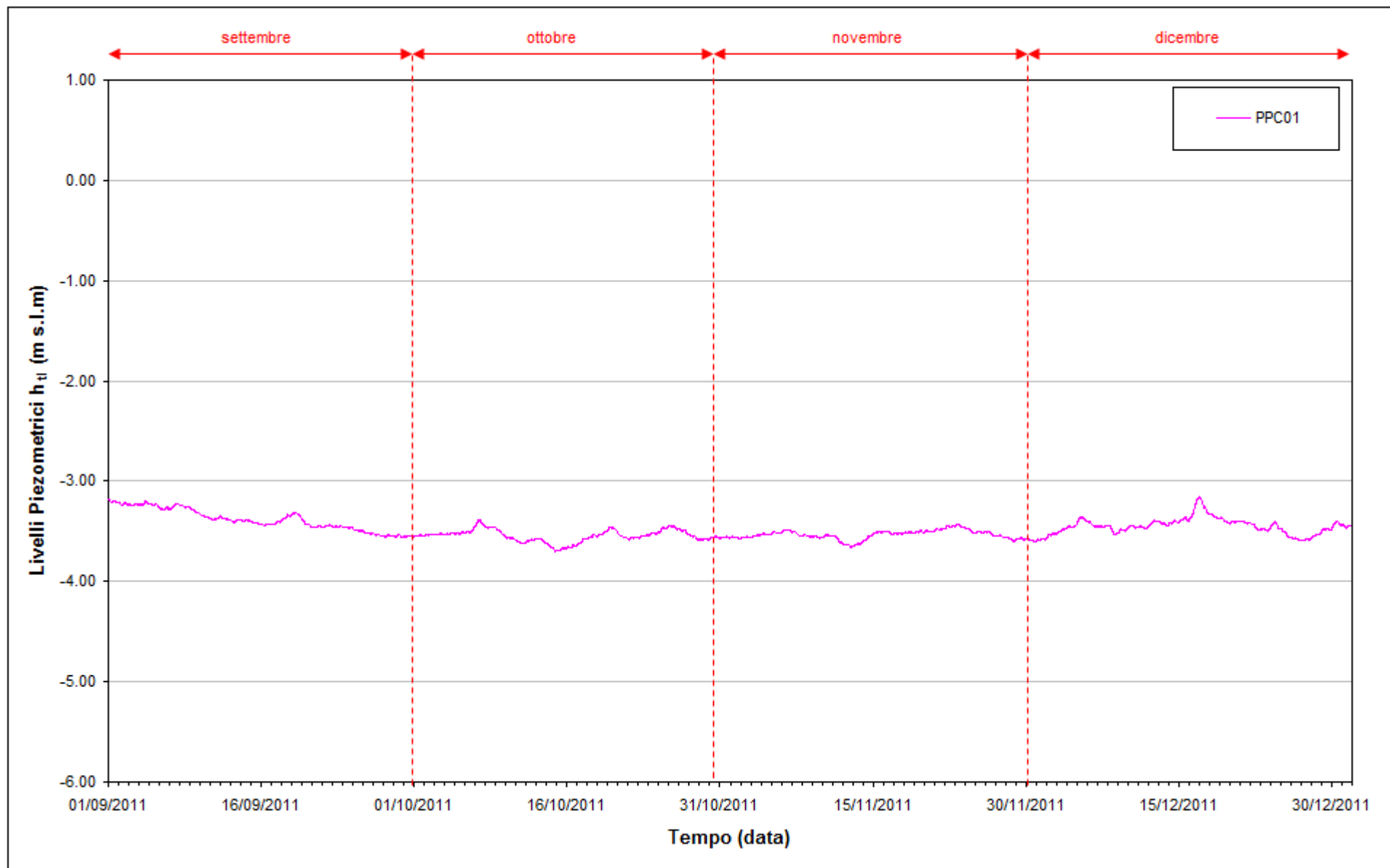
I dati riportati in Fig. 9.9 si riferiscono ai livelli piezometrici assoluti misurati in corrispondenza del piezometro profondo PPC01 nel periodo febbraio - marzo 2007 (Fase A).

9.4.2 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_H

I dati riportati in Fig. 9.10 sono riferiti al quadrimestre di monitoraggio settembre - dicembre 2011.

Durante il periodo di monitoraggio (01/09/11 - 31/12/11) si è verificata una lieve diminuzione del carico idraulico (circa 25 cm), che può essere attribuita ad un aumento delle portate di emungimento nella tura.

Fig. 9.9- Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo durante la Fase A.

Fig. 9.10 - Livelli piezometrici (h_U) relativi al piezometro profondo.

9.4.3 Effetti mareali e antropici

In Fig. 9.11 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. 9.12 è riportato il confronto tra i quadrimestri settembre - dicembre, dal 2007 al 2011. Rispetto al 2007 (situazione *ante operam*), il carico idraulico nel secondo livello acquifero è diminuito di circa 3.9 m a causa dell'emungimento nella tura. Rispetto al 2010, il carico idraulico medio nel periodo settembre - dicembre 2011 è simile, mentre è superiore di circa 130 cm rispetto allo stesso periodo del 2009, e di circa 1 m rispetto al 2008: tale variazione è dovuta ad una diminuzione delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering.

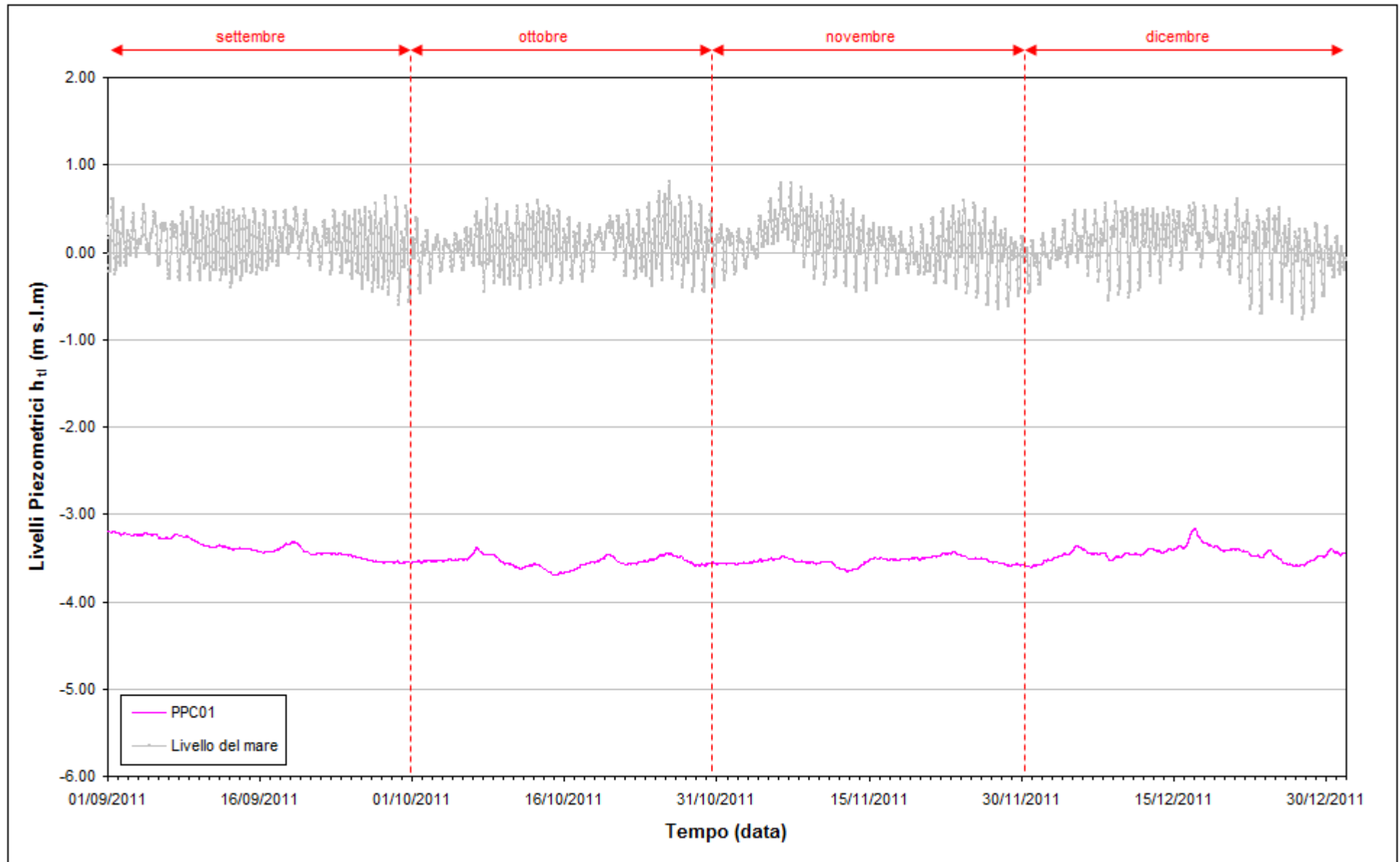
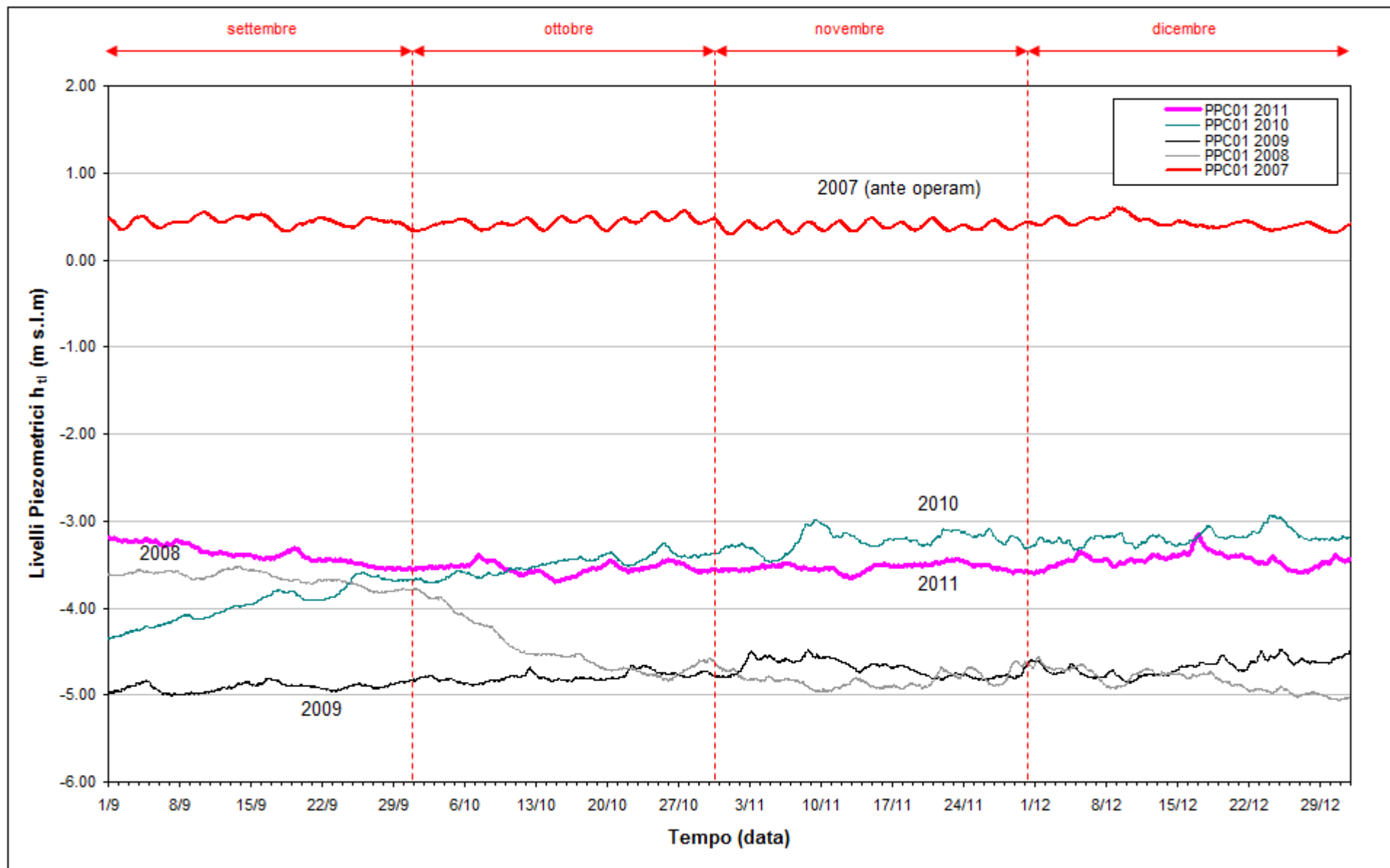


Fig. 9.11 - Livelli piezometrici del piezometro profondo PPC01 e livelli del mare.

Fig. 9.12 - Confronto tra i livelli piezometrici (h_u) nel piezometro PPC01 nel periodo gennaio - aprile degli anni 2007-2011.

10. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE

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

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

11. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA

11.1 Il calcolo della densità dell'acqua

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

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

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

dove:

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

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 (settembre - dicembre 2011) si osserva un aumento della densità dell'acqua di falda, sia nel piezometro superficiale PSC01 che nel piezometro profondo PPC01.

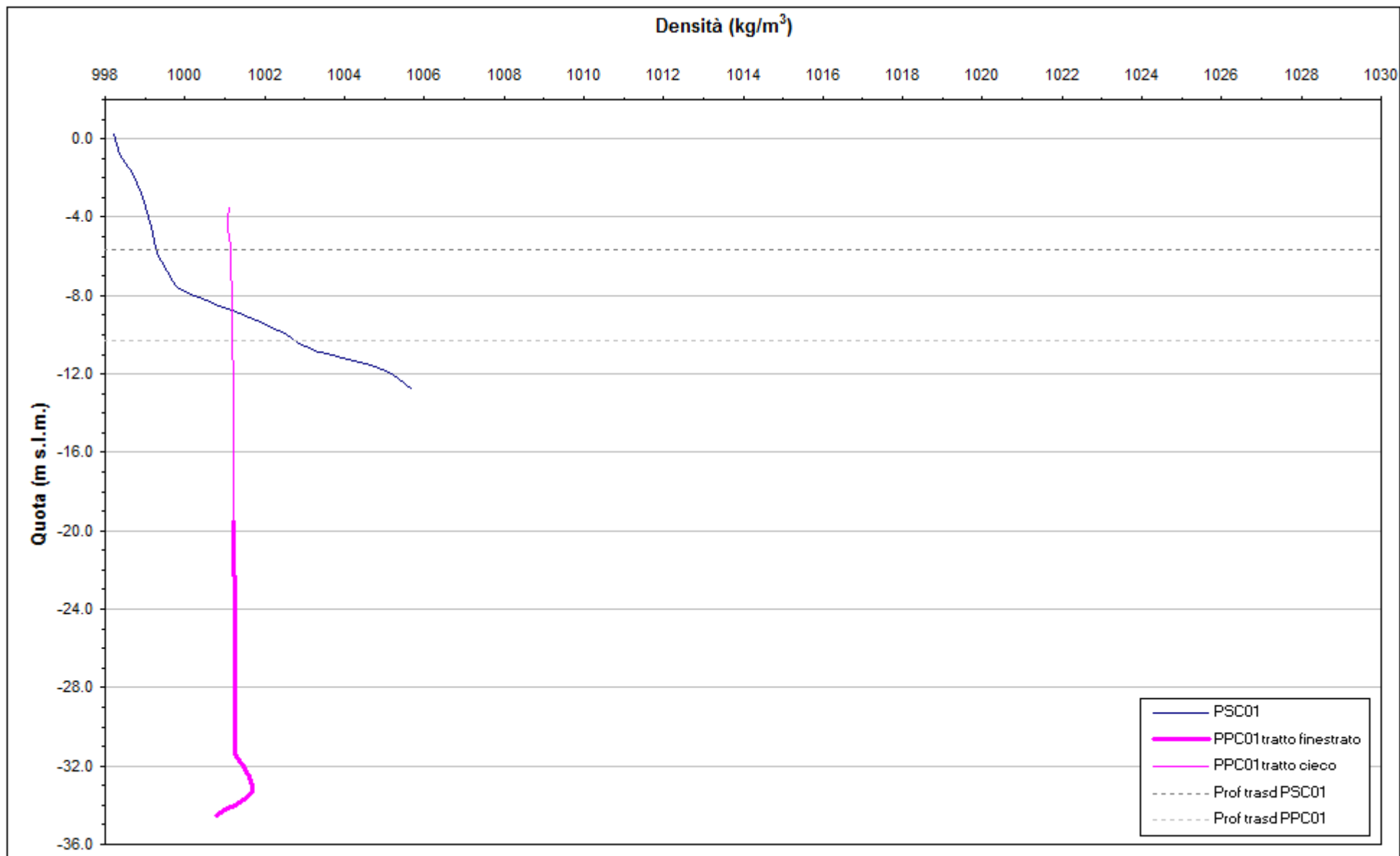


Fig. 11.1 Profili verticali di densità - 6 ottobre 2011.

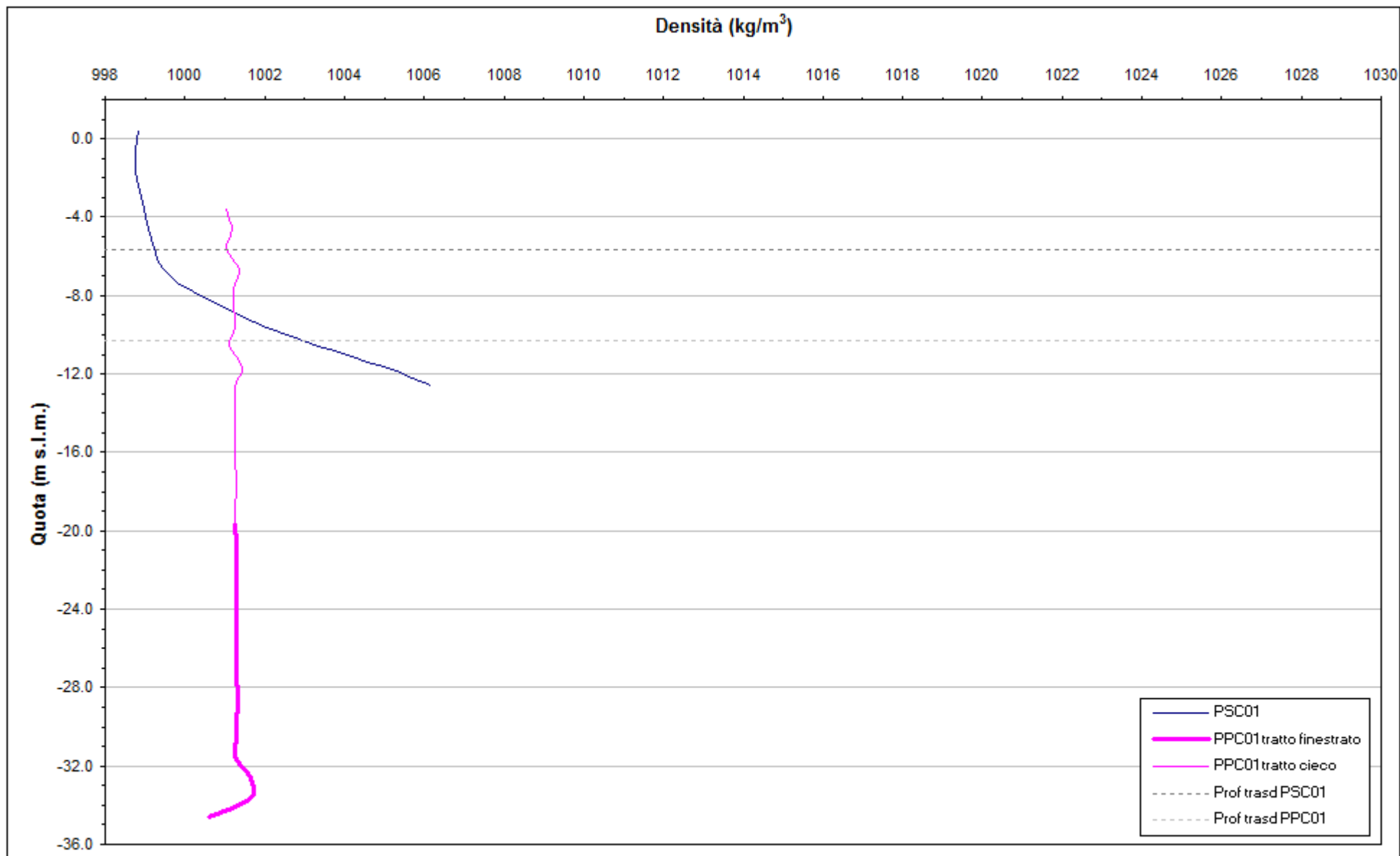


Fig. 11.2 - Profili verticali di densità - 4 novembre 2011.

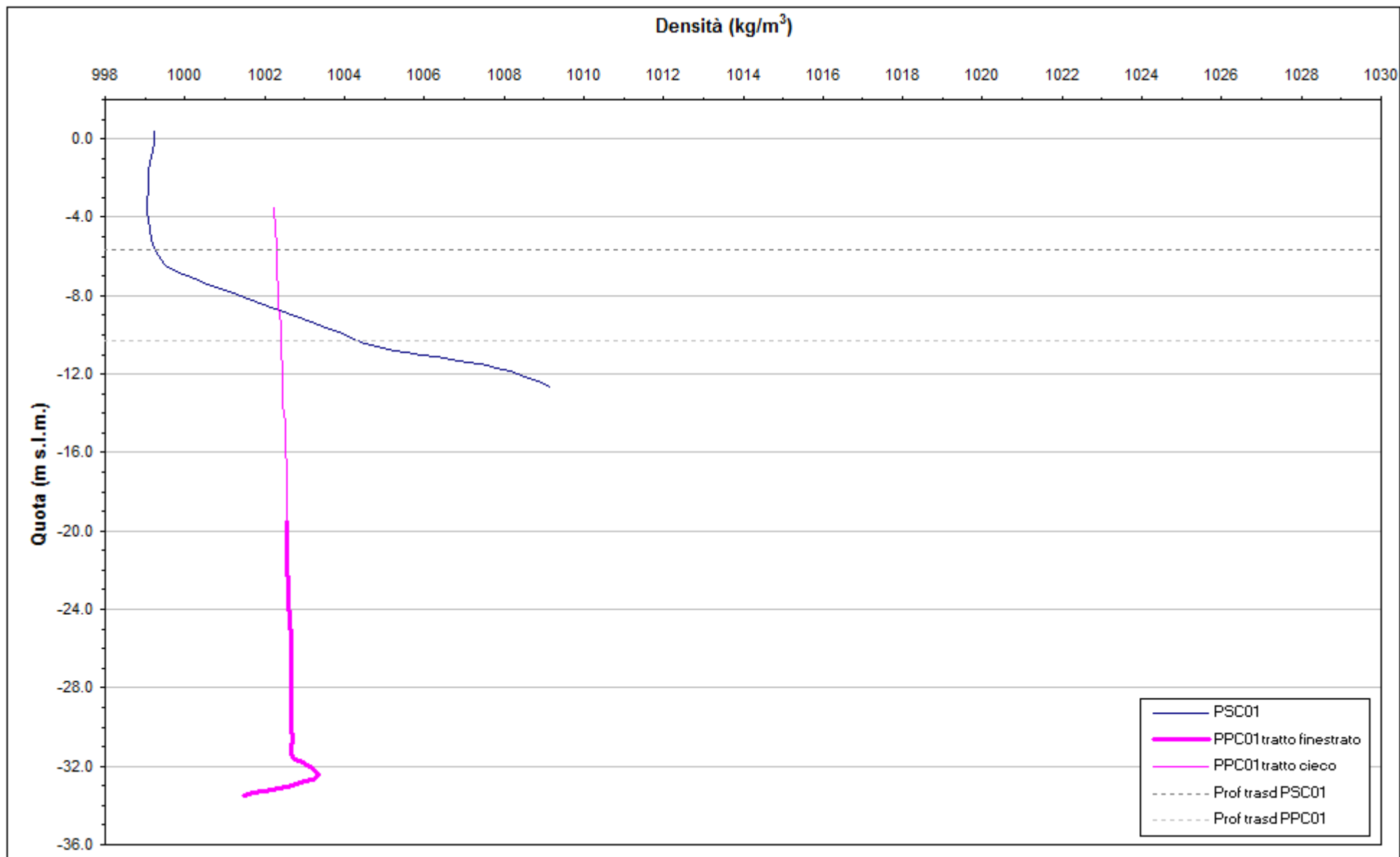


Fig. 11.3 - Profili verticali di densità - 6 dicembre 2011.

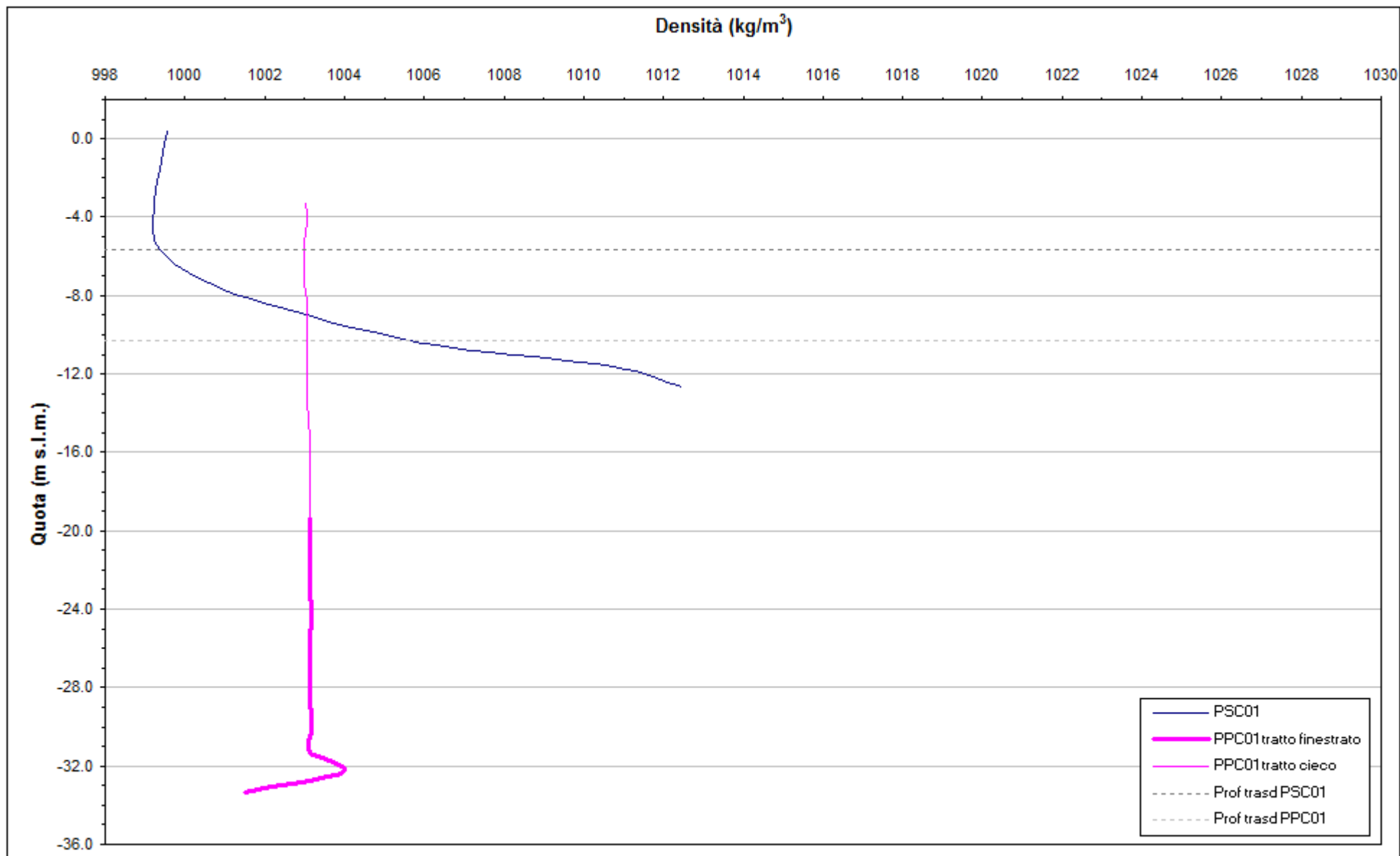


Fig. 11.4.- Profili verticali di densità - 4 gennaio 2012.

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 (settembre - dicembre 2011) 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 3500mc/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 del 28/06/2012).

Nel periodo di riferimento del presente rapporto, si riscontra un aumento delle portate di emungimento a 3600 mc/giorno, che da quanto si è appreso dalla Direzione Lavori si è reso necessario per la realizzazione dei due cassoni di spalla a quota di imposta inferiore a quella dei cassoni di barriera.

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.

Nonostante ciò si osserva, in corrispondenza di tale livello acquifero, 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 eventualmente ancora attivi.

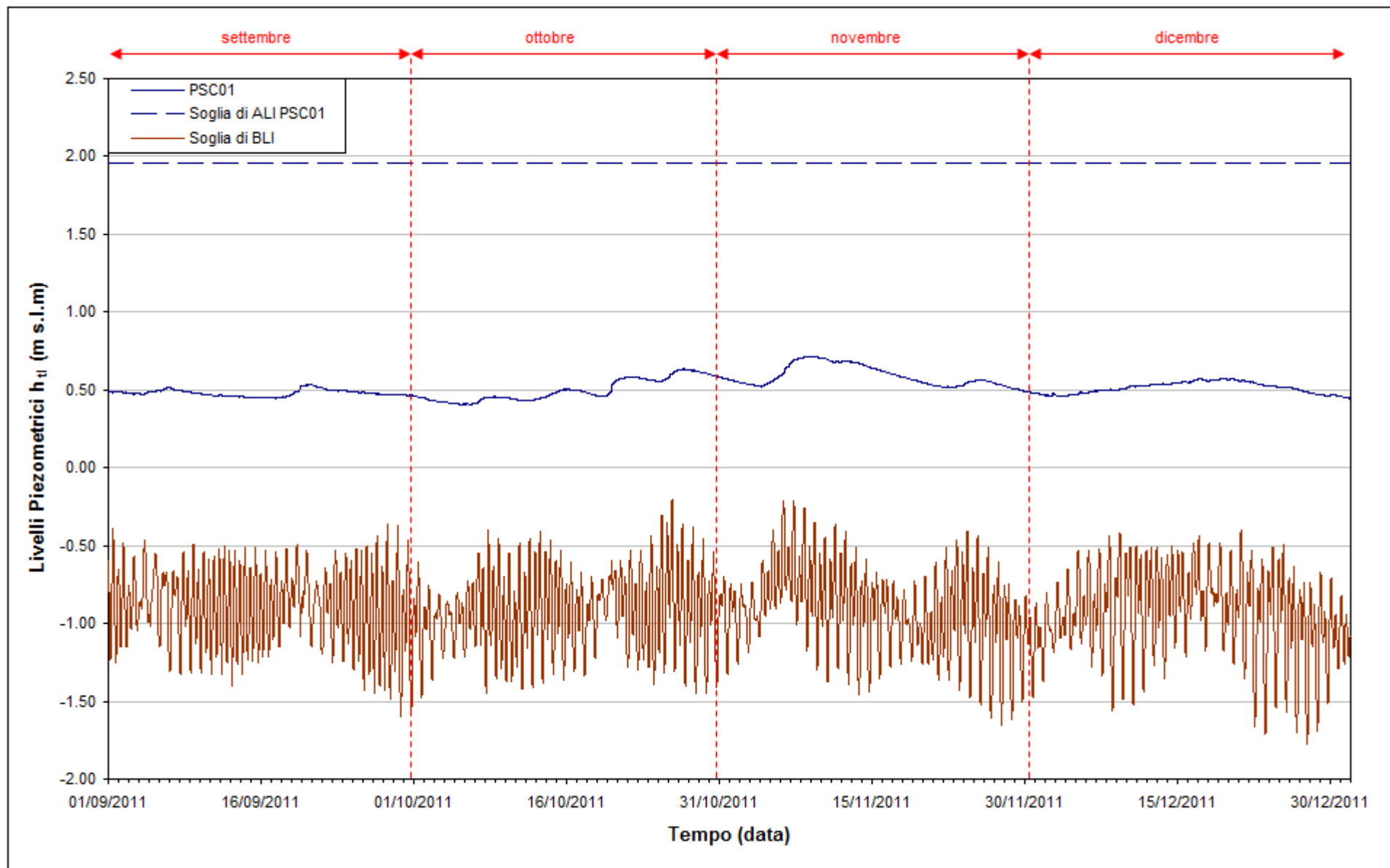


Fig. 12.1- Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro superficiale PSC01.

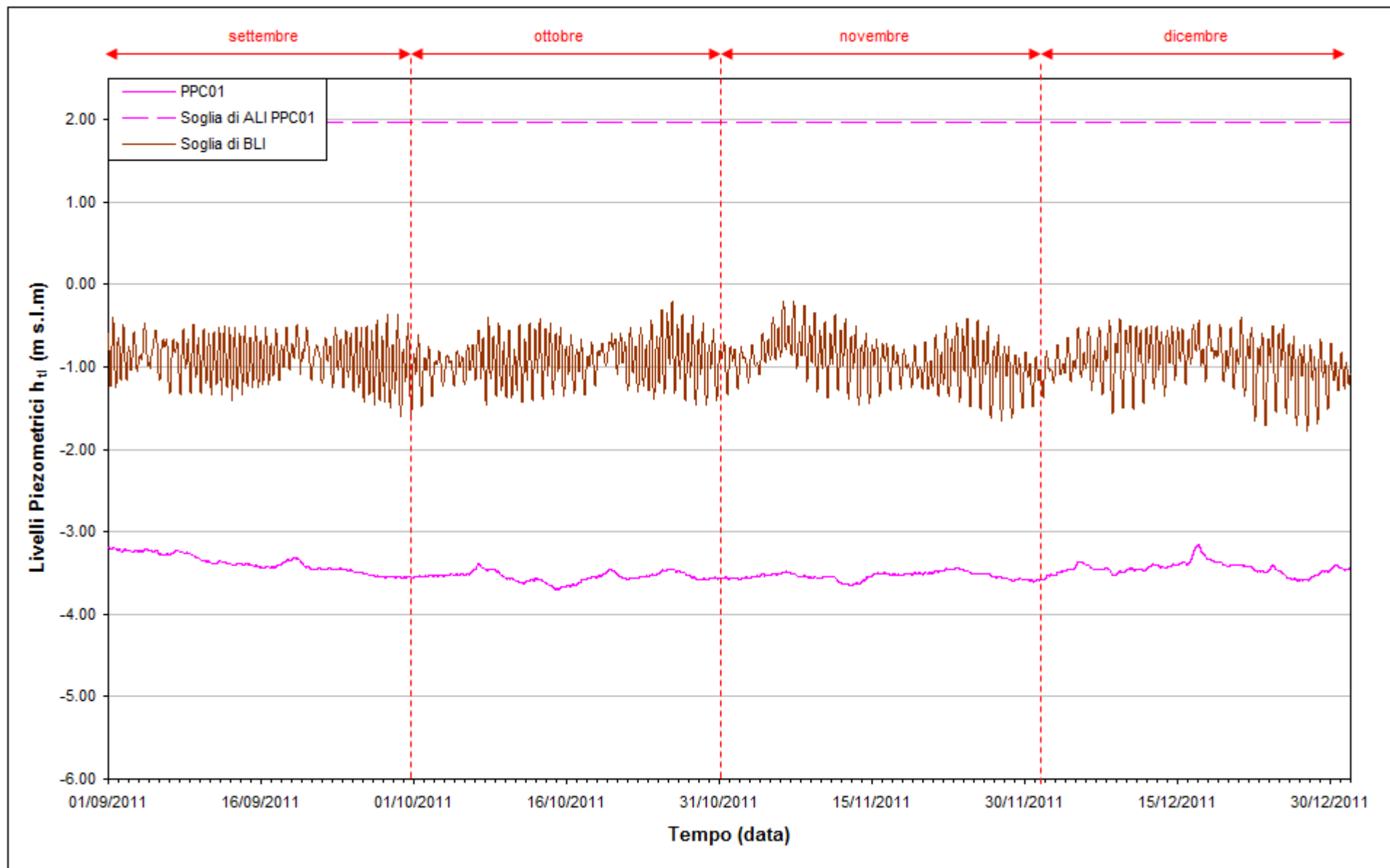


Fig. 12.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per il piezometro profondo PPC01.

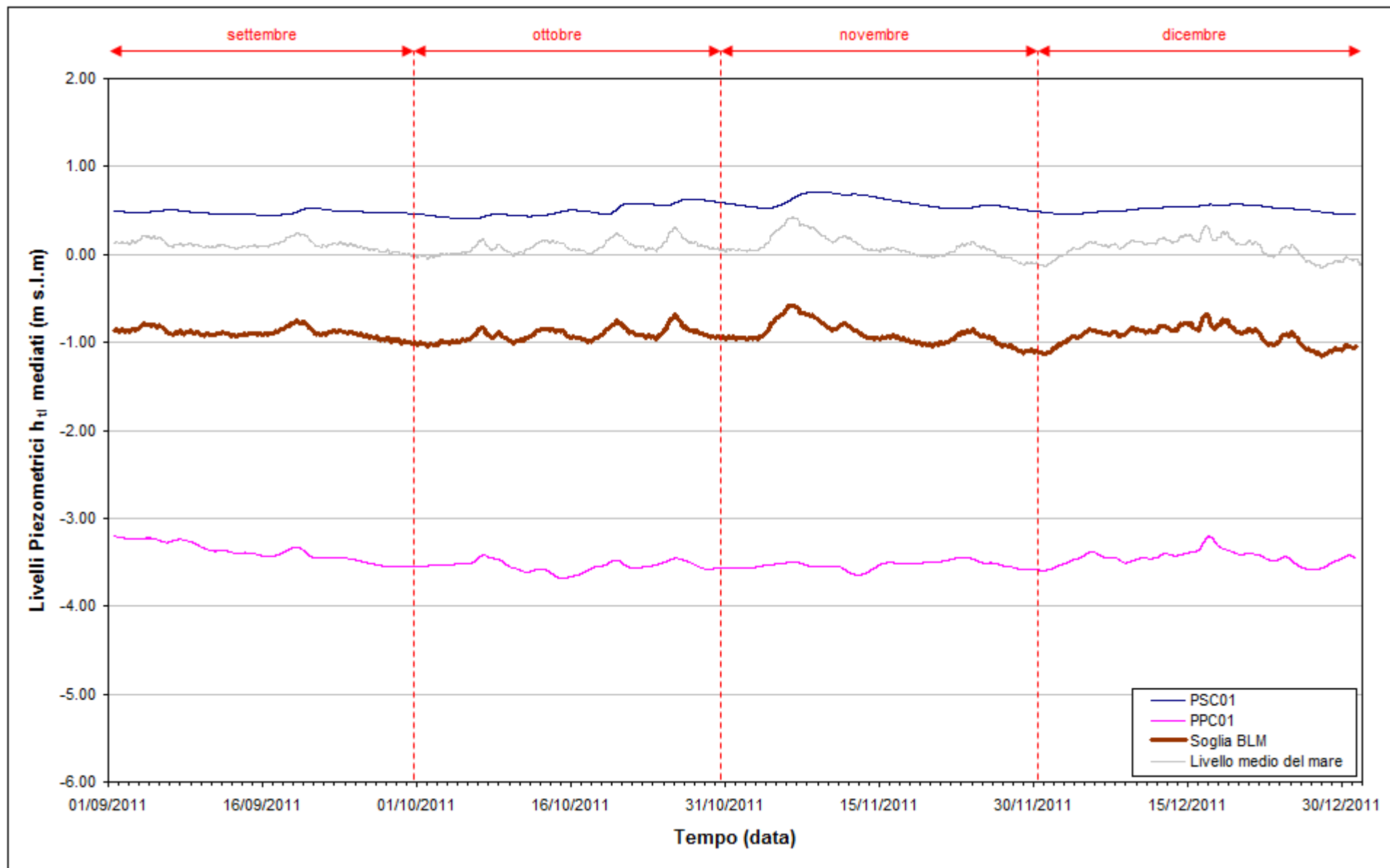


Fig. 12.3 - Soglia di Basso Livello Medio per i piezometri PSC01 e PPC01.

13. CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente Rapporto di Valutazione, relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 01/09/2011 e il 31/12/2011, 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 (01/09/11 - 31/12/11) si osserva una lieve discesa del carico idraulico nel piezometro profondo PPC01 (circa 25 cm) probabilmente attribuibile ad un aumento delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering della tura.

Non si osservano invece variazioni apprezzabili del livello di falda superficiale nel piezometro PSC01.