



**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/6**

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

Contratto n. 102000953

Documento **MACROATTIVITÀ: LIVELLI DI FALDA  
RAPPORTO FINALE**

Versione **2.1**

Emissione **2 Luglio 2011**

Redazione

Verifica

Verifica

Approvazione

Ing. Alessandro Casasso  
(POLITECNICO TORINO)

Ing. Rajandrea Sethi  
(POLITECNICO TORINO)

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta Ing. Pierpaolo Campostrini

## INDICE

|   |            |
|---|------------|
| <b>INTRODUZIONE: DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' DI MONITORAGGIO.....</b>           | <b>3</b>   |
| <b>1. INTRODUZIONE .....</b>  | <b>4</b>   |
| 1.1 Monitoraggio falda – Punta Sabbioni.....                                    | 4          |
| 1.2 Monitoraggio falda – Ca' Roman.....   | 6          |
| <b>PARTE PRIMA: MONITORAGGIO CANTIERE DI PUNTA SABBIONI.....</b>                | <b>7</b>   |
| <b>2. MONITORAGGIO DI FALDA – PUNTA SABBIONI.....</b>                           | <b>8</b>   |
| 2.1 Rete di monitoraggio .....  | 8          |
| 2.2 Analisi dei dati.....   | 11         |
| 2.2.1 <i>Descrizione delle forzanti naturali</i> .....                          | 11         |
| 2.2.2 <i>Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A)</i> ..... | 19         |
| 2.2.3 <i>Piezometri profondi – secondo livello acquifero (Strato C)</i> .....   | 47         |
| 2.3 Studio piezometrico .....   | 81         |
| 2.3.1 <i>Piezometria superficiale</i> .....                                     | 82         |
| 2.3.2 <i>Piezometria profonda</i> .....   | 89         |
| 2.4 Verifica del rispetto delle soglie di azione .....                          | 96         |
| 2.4.1 <i>Misure di mitigazione</i> .....  | 97         |
| 2.5 Analisi della densita' dell'acqua di falda .....                            | 98         |
| 2.5.1 <i>Profili verticali di densità</i> .....                                 | 98         |
| 2.6 Conclusioni.....  | 121        |
| <b>PARTE SECONDA: MONITORAGGIO CANTIERE DI CA' ROMAN .....</b>                  | <b>122</b> |
| <b>3. MONITORAGGIO FALDA – CA' ROMAN .....</b>                                  | <b>123</b> |
| 3.1 Rete di monitoraggio .....  | 123        |
| 3.2 Analisi dei dati.....   | 124        |
| 3.2.1 <i>Descrizione delle forzanti naturali</i> .....                          | 124        |
| 3.2.2 <i>Piezometro superficiale – primo livello acquifero (Strato A)</i> ..... | 132        |
| 3.2.3 <i>Piezometro profondo – secondo livello acquifero (Strato C)</i> .....   | 136        |
| 3.3 Verifica del rispetto delle soglie di azione .....                          | 142        |
| 3.3.1 <i>Misure di mitigazione</i> .....  | 143        |
| 3.4 Analisi della densità dell'acqua di falda .....                             | 143        |
| 3.4.1 <i>Profili verticali di densità</i> .....                                 | 143        |
| 3.5 Conclusioni.....  | 146        |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>  | <b>147</b> |

**INTRODUZIONE:  
DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' DI  
MONITORAGGIO**

## 1. INTRODUZIONE

Il presente Rapporto Finale presenta i risultati delle attività di monitoraggio dei livelli di falda svolte nel periodo 01/05/2010 - 30/04/2011 presso le aree di cantiere poste alla bocca di porto di Lido - lato Nord (Punta Sabbioni) e di Chioggia - lato Nord (Ca' Roman).

Il monitoraggio di falda in località Punta Sabbioni ha avuto inizio nel mese di ottobre 2005 ed ha permesso di comprendere la complessa dinamica piezometrica dell'acquifero superficiale (strato A) e gli impatti delle attività di cantiere (emungimento dei pozzi di dewatering della tura provvisoria per la prefabbricazione dei cassoni di alloggiamento delle barriere mobili) sul secondo livello acquifero in pressione (strato C), attraverso una rete di monitoraggio composta da 11 piezometri intercettanti l'acquifero superficiale e 14 pozzi di osservazione dei livelli dell'acquifero profondo.

Il monitoraggio in località Ca' Roman ha avuto inizio nel mese di febbraio 2007. Nel periodo di osservazione, la postazione di monitoraggio ha permesso di comprendere l'effetto delle forzanti naturali e gli impatti delle attività di cantiere sui livelli piezometrici in corrispondenza dell'acquifero superficiale e dell'acquifero profondo.

### 1.1 Monitoraggio falda - Punta Sabbioni

La realizzazione del porto rifugio di Treporti ha richiesto la realizzazione di un bacino (tura) al fine di rendere agibile ai lavori un'area di cantiere posta alla quota di -8.70 m s.l.m.. Tale tura, a carattere provvisorio, è stata realizzata lato mare ad integrazione della diga foranea. La realizzazione della tura ha previsto l'esecuzione di reinterri e la realizzazione di una cinturazione costituita da diaframmi plastici lato terra e palancolato lato mare, l'installazione di un sistema di pozzi e pompe per il *dewatering* (Fig.1.1).

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

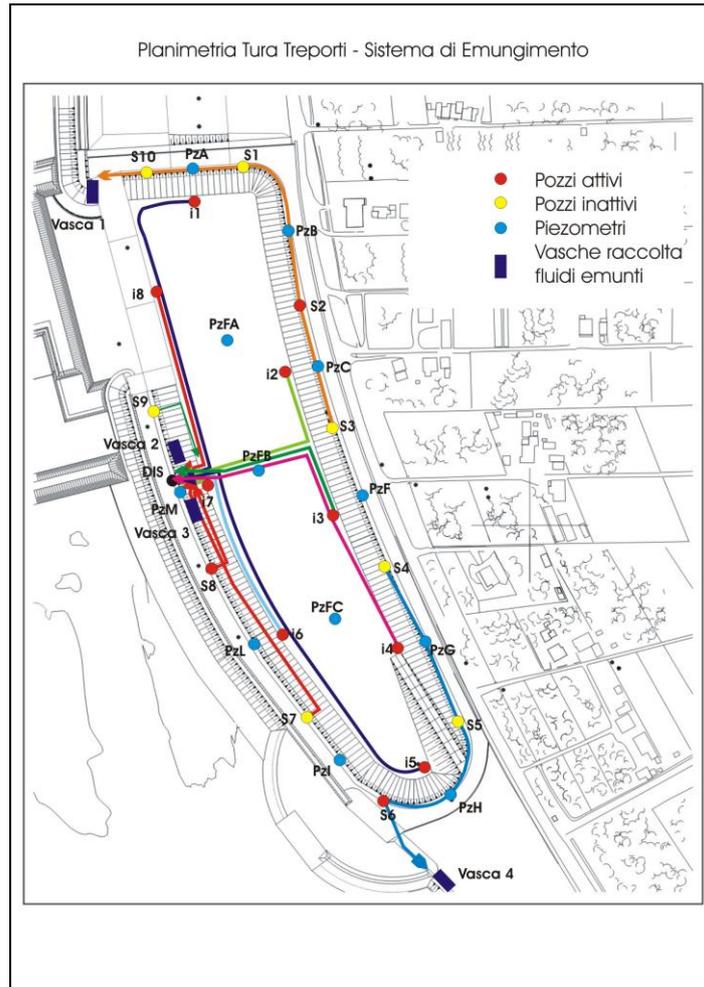


Fig. 1.1 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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, Aprile 2007).

Il monitoraggio della falda, iniziato nell'ottobre 2005, è stato condotto in parallelo all'esecuzione delle attività di la realizzazione della tura al fine di monitorare gli eventuali effetti sui livelli di

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

falda. La rete è attiva da 67 mensilità. 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      |

## 1.2 Monitoraggio falda - Ca' Roman

Analogamente, in corrispondenza del porto rifugio di Chioggia è stata realizzata una tura al fine di rendere agibile un'area di cantiere posta alla quota di -11.0 m s.l.m. ove verranno realizzati i cassoni delle dighe mobili. Per permettere l'agibilità di tale piano lavori è stato attivato un sistema di aggotamento accoppiato ad una barriera perimetrale realizzata mediante un sistema di palancole e diaframmi plastici compositi.

La rete di monitoraggio è composta da due piezometri per la misura dei livelli nell'acquifero superficiale e nel secondo livello acquifero. I due piezometri sono dotati di trasduttori automatici di pressione per la misura dei livelli di falda, con frequenza pari a 1 acquisizione ogni ora.

Il monitoraggio della falda, iniziato nel febbraio 2007 (Studio B.6.72 B/2, II Rapporto di Valutazione, Maggio 2007), è stato condotto in parallelo all'esecuzione delle attività di la realizzazione della tura al fine di monitorare gli eventuali effetti sui livelli di falda. La rete è attiva da 50 mensilità. In Tab. 1.2 sono riassunte le attività di monitoraggio di falda svolte a Ca' Roman.

Tab. 1.2 - Riassunto delle attività di monitoraggio di falda presso il cantiere di Ca' Roman.

| 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      |

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

## **2. MONITORAGGIO DI FALDA - PUNTA SABBIONI**

### **2.1 Rete di monitoraggio**

Vengono di seguito descritti i dati raccolti a Punta Sabbioni durante il periodo di monitoraggio di Fase B compreso tra il 1 maggio 2010 e il 30 aprile 2011.

Sono al seguito riportati i tracciati relativi ai livelli piezometrici in corrispondenza delle 14 postazioni di monitoraggio (Fig.2.1) nell'intero periodo di osservazione.

Le coordinate planoaltimetriche dei piezometri della rete di monitoraggio sono riportate in Tab.2.1.

I dati di livello misurati all'interno dei piezometri sono messi in relazione alle forzanti naturali (precipitazioni, oscillazioni mareali e pressione atmosferica) che concorrono alla determinazione dei livelli piezometrici dei due livelli acquiferi (Cap. 2.2). Ogni grafico riporta il livello assoluto relativo a ciascun piezometro, il livello del mare, le precipitazioni e le Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo (cfr Cap. 2.4 per le definizioni delle soglie); i livelli negli 11 piezometri superficiali e nei 14 piezometri profondi sono confrontati con le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio; nel Cap. 2.3 sono riportate le rappresentazioni grafiche della piezometria nell'acquifero superficiale e nell'acquifero profondo; i superamenti delle Soglie di Alto Livello e Basso Livello verificatisi nel periodo di monitoraggio sono riportati nel Cap. 2.4.

Sono infine presentati i profili verticali di densità dell'acqua di falda calcolati in ciascun piezometro a partire dai profili verticali di conduttanza (Cap. 2.5); nel Cap. 2.6 sono riportate le conclusioni.

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

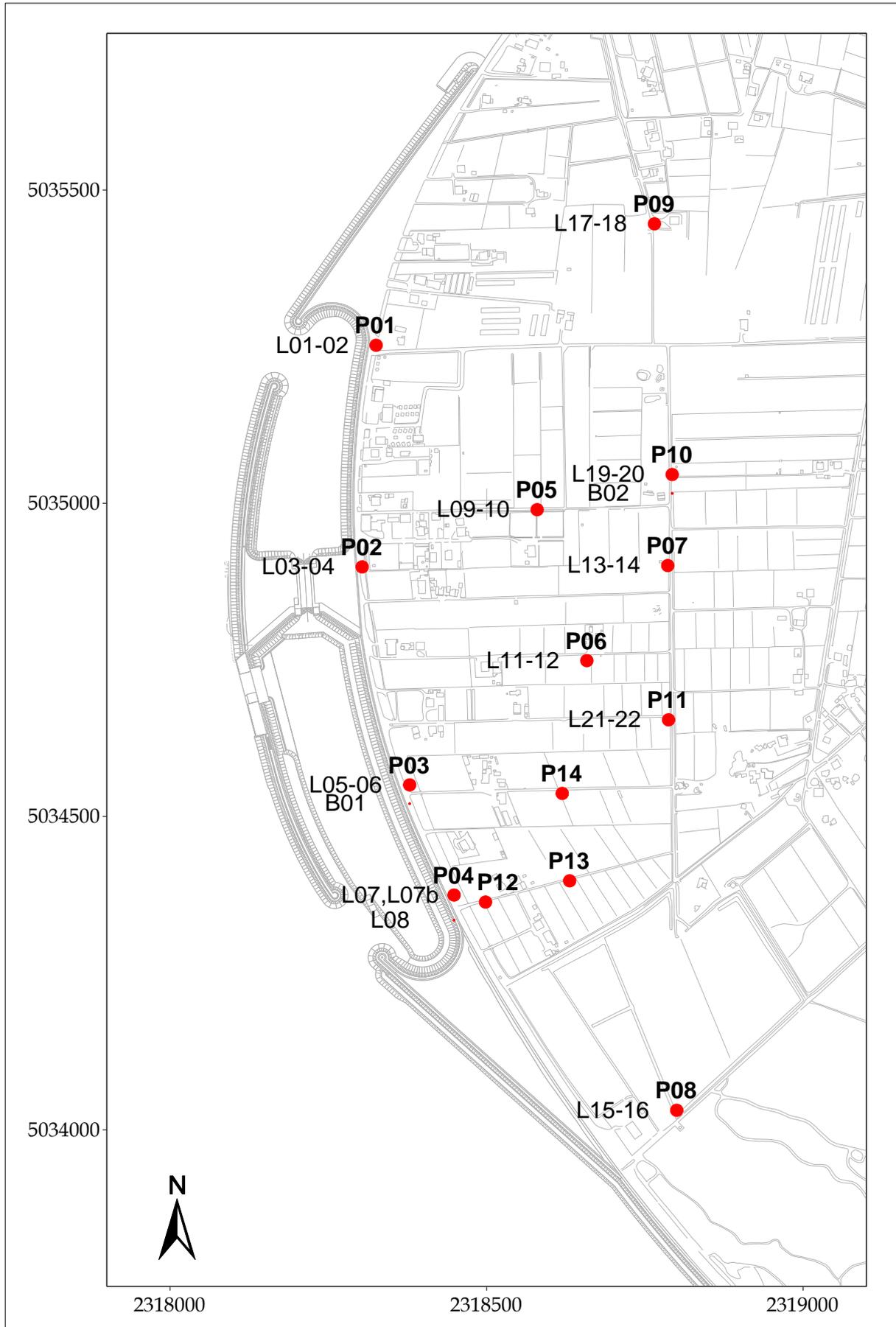


Fig. 2.1- Ubicazione delle postazioni di monitoraggio, dei Levellogger e dei Barologger.

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

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

| <b>NOME</b> | <b>H<br/>geoid</b> | <b>N GB<br/>Fuso Est</b> | <b>E GB<br/>Fuso Est</b> | <b>N ED50<br/>33N</b> | <b>E ED50<br/>33N</b> | <b>N WGS84<br/>33N</b> | <b>E WGS84<br/>33N</b> |
|-------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 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              |

## 2.2 Analisi dei dati

### 2.2.1 *Descrizione delle forzanti naturali*

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

- precipitazioni, registrate dalla stazione meteorologica gestita dalla “Matrice Aria e Agenti Chimici” (per i mesi di maggio, giugno, agosto, settembre 2010 e gennaio, febbraio, marzo e aprile 2011) e della stazione meteorologica “ARPAV – Cavallino Treporti” (per i mesi di luglio, ottobre e novembre 2010);
- oscillazioni mareali, registrate dal mareografo Diga Sud Lido (stazione di monitoraggio meteorologico dell’Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree);
- pressione atmosferica, registrata da 2 Barologger.

#### 2.2.1.1 Precipitazioni

I dati di precipitazione sono stati acquisiti dalla centralina MET 3000R (ubicata presso il Circolo della Vela, Lungomare Dante Alighieri), gestita dal settore “Matrice Aria e Agenti Chimici”, ad eccezione dei mesi di luglio, ottobre, novembre e dicembre 2010, nei quali sono stati utilizzati i dati della stazione meteorologica “ARPAV – Cavallino Treporti”.

Nelle Figg. 2.2-2.3 è riportato l’andamento delle precipitazioni registrate nel periodo di riferimento. In Tab. 2.2 sono riportati gli eventi piovosi di entità maggiore o uguale a 5 mm nel periodo di monitoraggio.

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

| DATA        | DURATA (h) | ENTITÀ (mm) |
|-------------|------------|-------------|
| 02-03/05/10 | 11         | 10.2        |
| 04/05/10    | 14         | 25.4        |
| 05-06/05/10 | 8          | 11.2        |
| 08/05/10    | 7          | 5.6         |
| 10/05/10    | 7          | 7.0         |
| 11/05/10    | 10         | 18.2        |
| 15/05/10    | 20         | 14.4        |
| 02/06/10    | 3          | 5.6         |
| 03/06/10    | 2          | 11.0        |
| 16/06/10    | 16         | 25.6        |
| 17/06/10    | 2          | 5.4         |
| 19/06/10    | 4          | 6.8         |
| 20/06/10    | 22         | 47.4        |
| 18/07/10    | 24         | 5.4         |
| 29-30/07/10 | 16         | 5.7         |
| 05/08/10    | 8          | 33.2        |
| 06/08/10    | 4          | 6.6         |
| 13/08/10    | 13         | 19.4        |
| 14/08/10    | 10         | 17          |
| 30/08/10    | 4          | 7.2         |
| 03/09/10    | 3          | 7.8         |
| 17-18/09/10 | 6          | 14.4        |

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

| DATA        | DURATA (h) | ENTITÀ (mm) |
|-------------|------------|-------------|
| 18-19/09/10 | 12         | 17.2        |
| 24-25/09/10 | 17         | 14.0        |
| 01/10/10    | 24         | 10.4        |
| 16-17/10/10 | 48         | 20.8        |
| 24-26/10/10 | 72         | 16.4        |
| 31/10/10    | 24         | 13.6        |
| 01-02/11/10 | 48         | 30          |
| 07-10/11/10 | 96         | 44.8        |
| 16/11/10    | 24         | 22          |
| 18-19/11/10 | 48         | 30.4        |
| 21/11/10    | 24         | 14.4        |
| 26/11/10    | 24         | 35.8        |
| 28/11/10    | 24         | 13.8        |
| 01-04/12/10 | 96         | 33.8        |
| 06-08/12/10 | 72         | 22.8        |
| 20-26/12/10 | 168        | 92.6        |
| 06-07/01/11 | 26         | 6.0         |
| 01/02/11    | 2          | 8.2         |
| 16/02/11    | 20         | 38.6        |
| 13-14/03/11 | 12         | 17.2        |
| 14-15/03/11 | 14         | 7.2         |
| 16-17/03/11 | 33         | 79          |
| 28-29/03/11 | 20         | 6.6         |

### 2.2.1.2 Livello del mare

Nelle Figg. 2.4-2.5 è tracciato l'andamento del livello del mare registrato dal mareografo Diga Sud Lido durante l'anno 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.

### 2.2.1.3 Pressione atmosferica - $h_p$

Nell'area oggetto del monitoraggio sono presenti due Barologger B01 e B02, posizionati all'altezza del piano campagna all'interno rispettivamente dei due piezometri profondi PP03 e PP10. In Fig.2.6 e Fig.2.7 è riportato l'andamento dei tracciati di misura dei Barologger nel periodo di osservazione. Per la compensazione dei dati di livello è stato utilizzato il tracciato del Barologger B02.

Il tracciato del barologger B01 presenta un'interruzione nei mesi di agosto e settembre 2010 a causa di un guasto allo strumento, che è stato sostituito. Vista la ridondanza dei trasduttori di pressione, ciò non ha comportato problemi per la compensazione barometrica dei livelli piezometrici, che è stata effettuata utilizzando i dati del barologger B02.



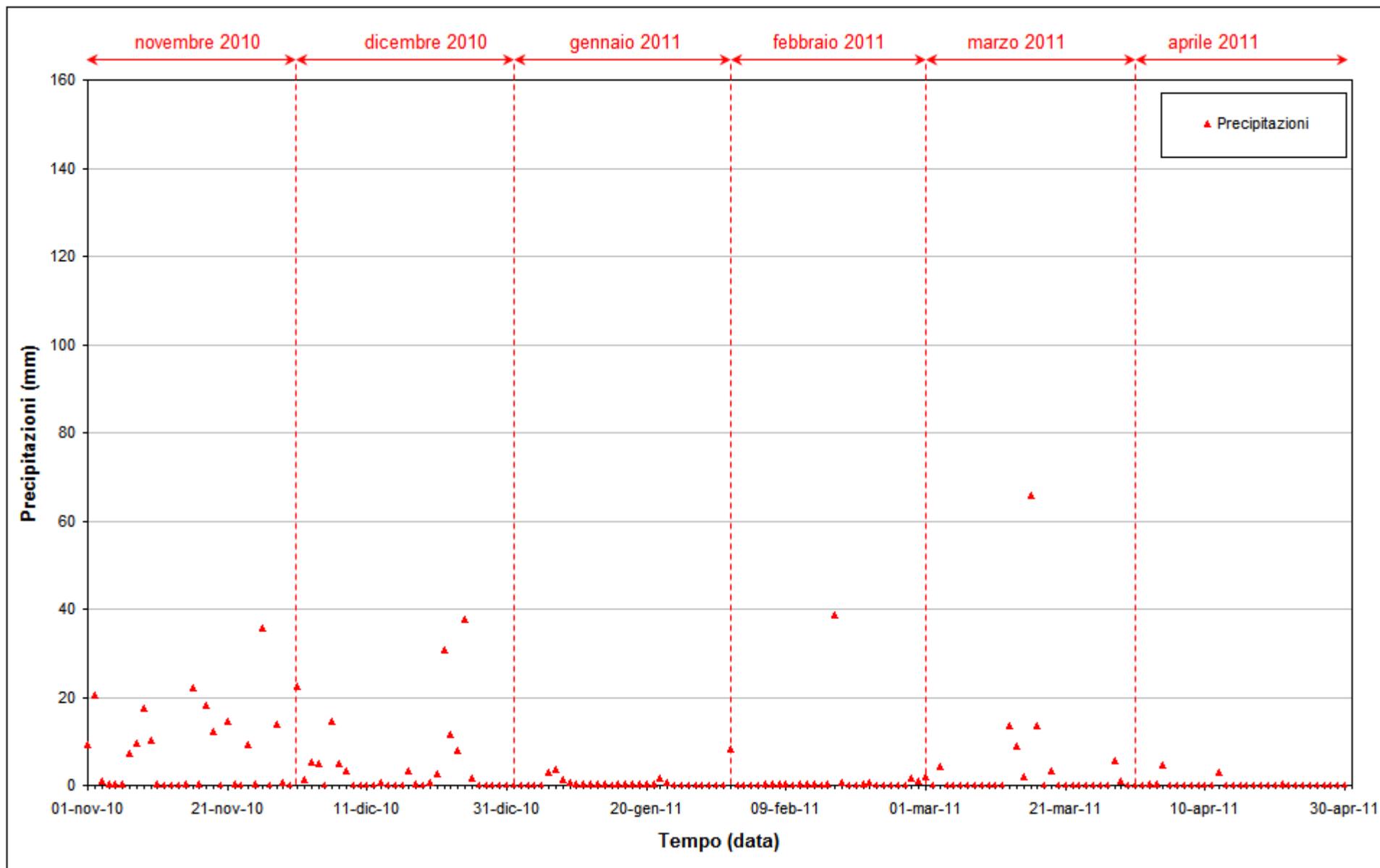


Fig. 2.3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

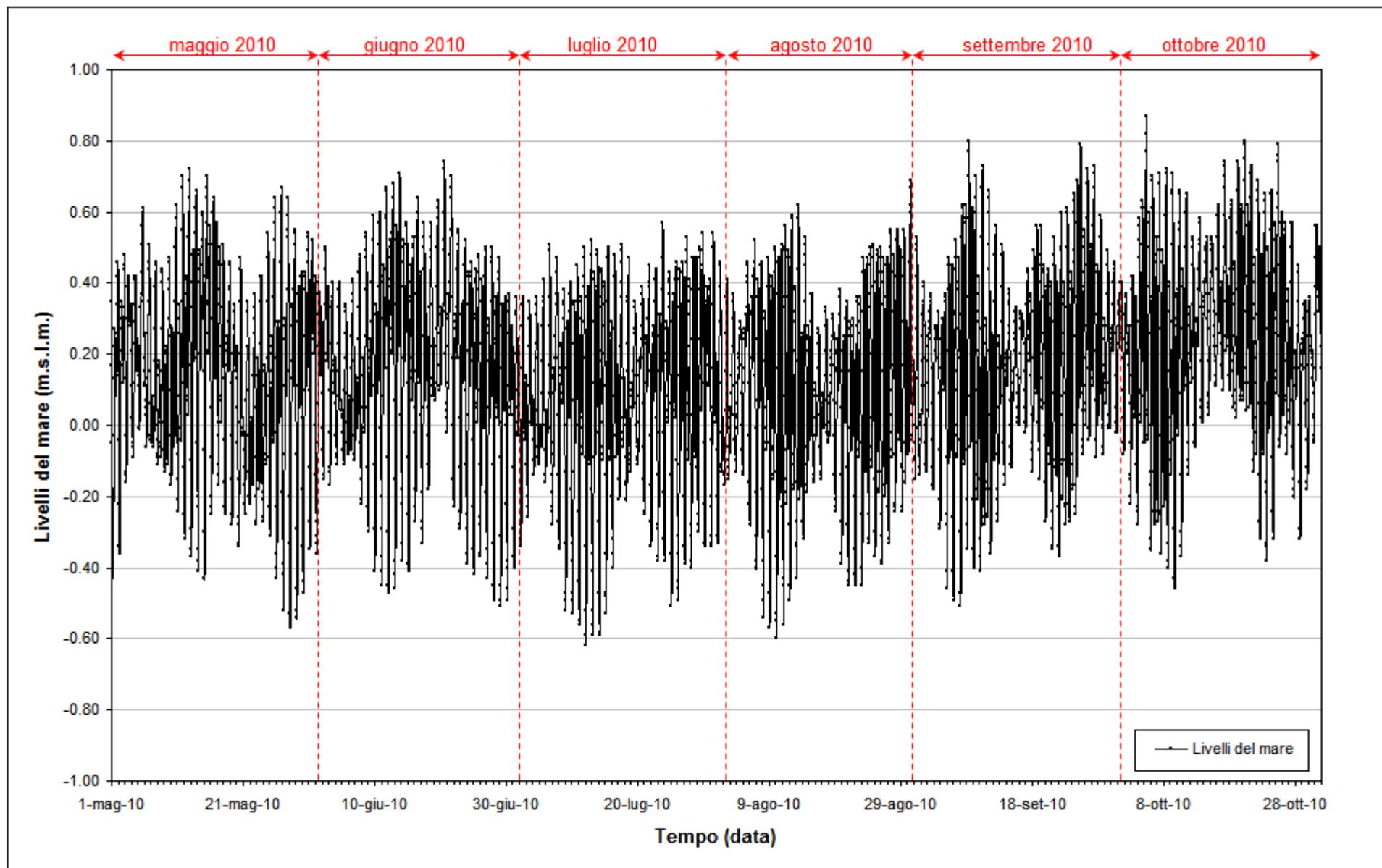


Fig. 2.4 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

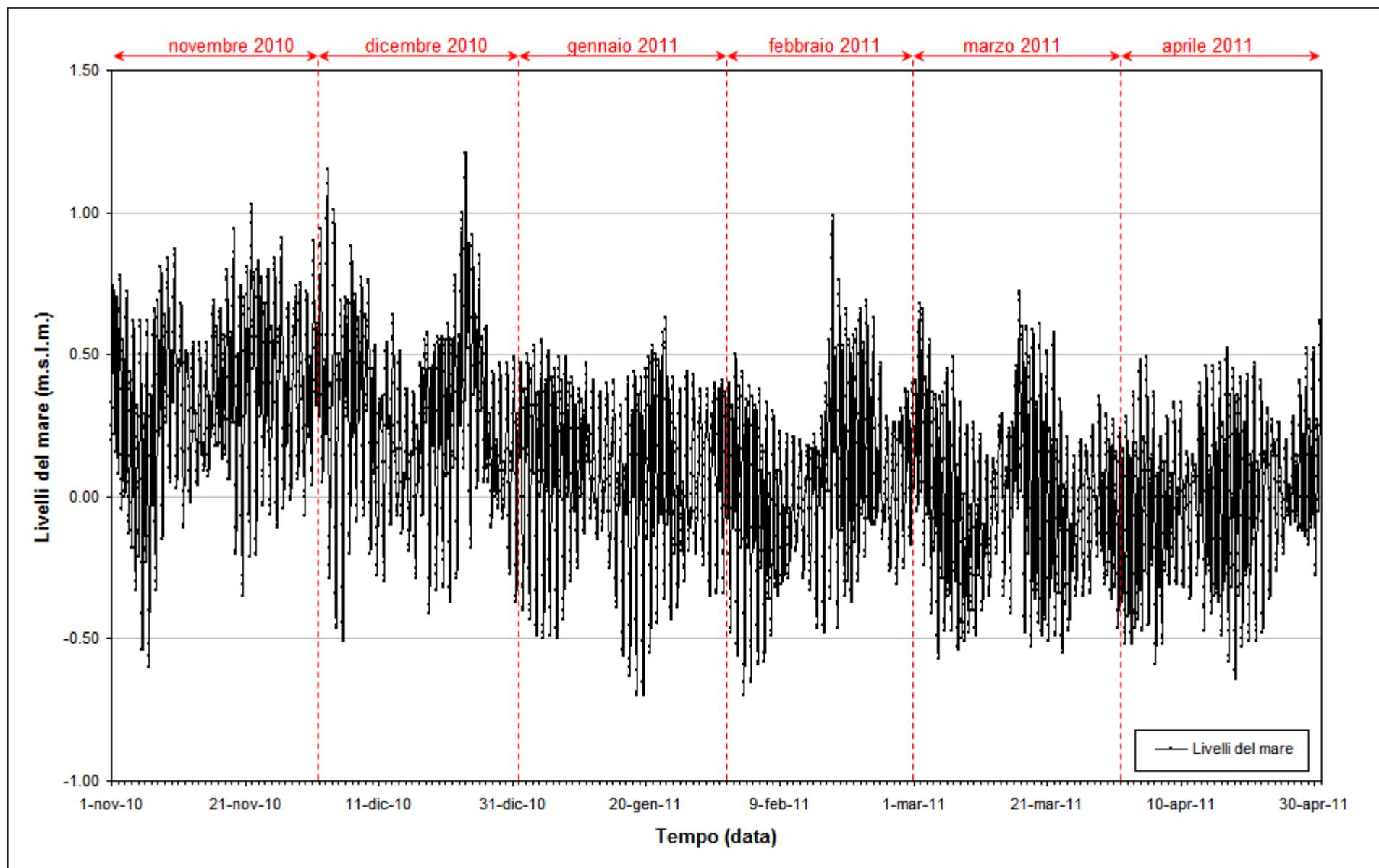


Fig. 2.5 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

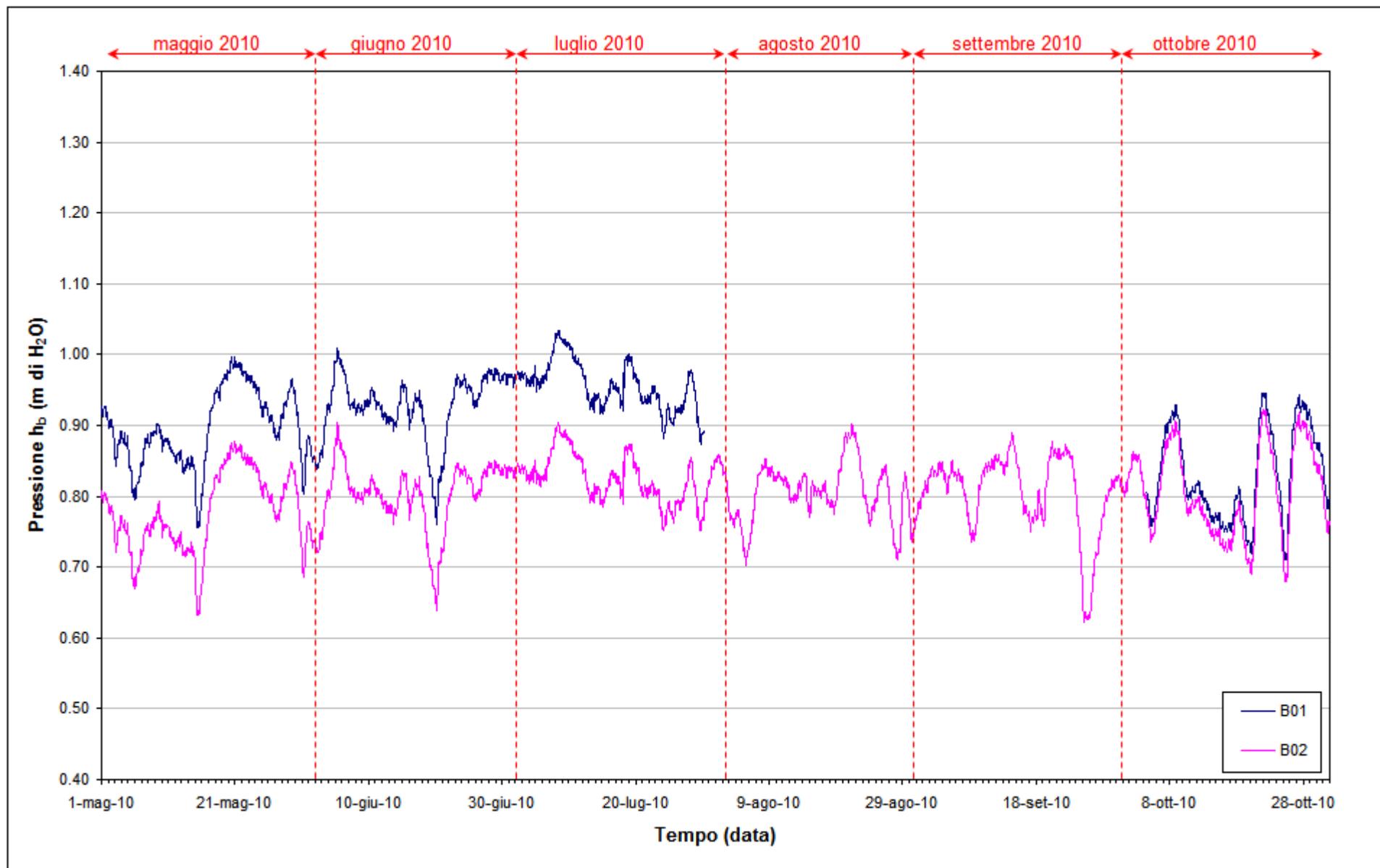


Fig. 2.6 - Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 ( $h_b$ ) nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

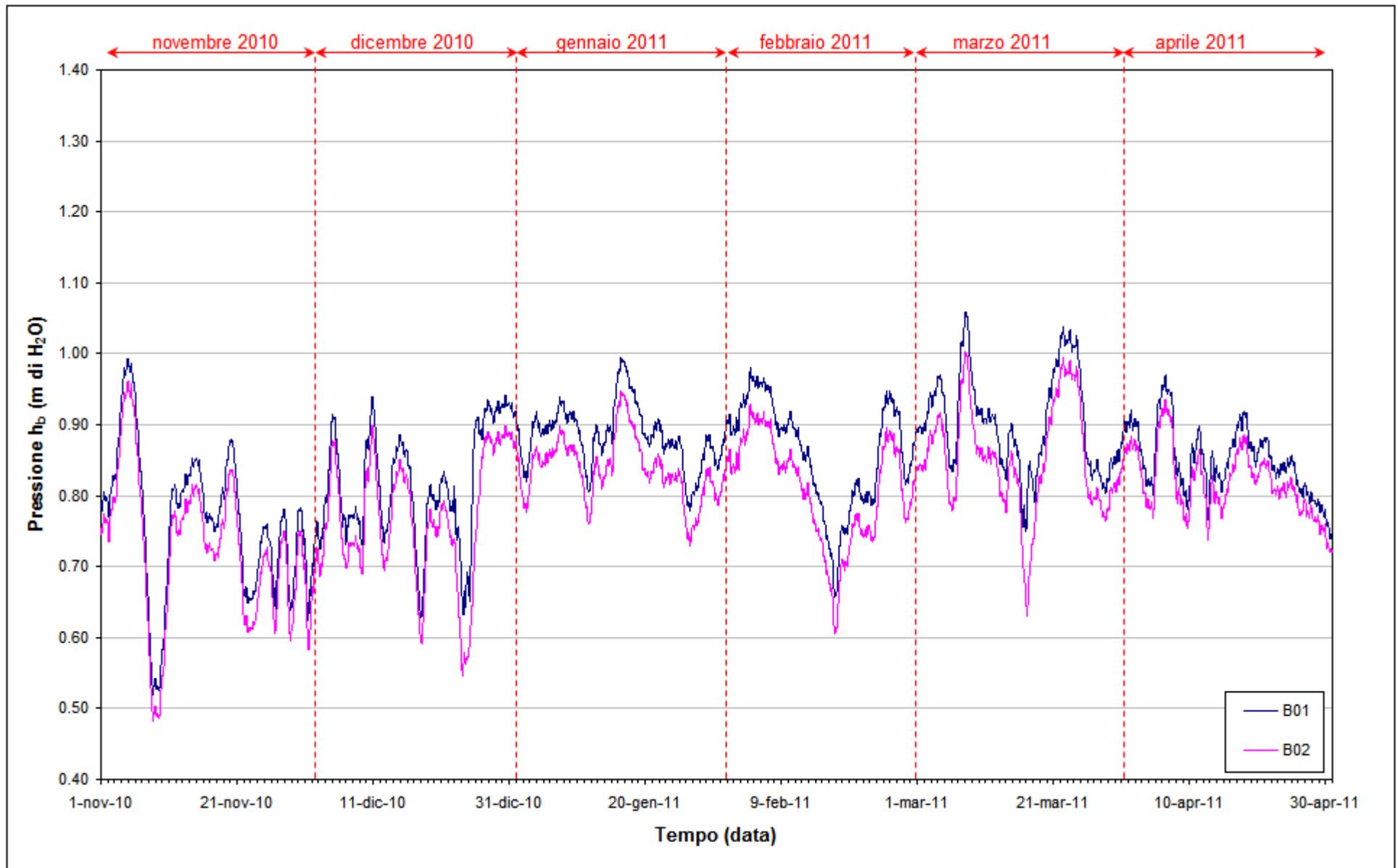


Fig. 2.7 - Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 ( $h_b$ ) nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

### 2.2.2 Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A)

In questo paragrafo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli assoluti degli 11 piezometri superficiali finestrati in corrispondenza del primo livello acquifero (Strato A).

In Fig. 2.8 sono rappresentate le serie temporali degli 11 piezometri superficiali e delle precipitazioni nella fase A (ottobre – novembre 2005).

Nelle Figg.2.9-2.10 è rappresentato l'andamento complessivo degli undici piezometri superficiali e delle precipitazioni durante il periodo di monitoraggio, mentre nelle Figg.2.11-2.32 sono rappresentati singolarmente i livelli assoluti di ciascun piezometro, associati alle relative soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo ed alle forzanti naturali (precipitazioni e oscillazioni mareali). Nelle Figg. 2.33-2.34 è rappresentato l'andamento complessivo dei livelli nei piezometri superficiali mediati su un periodo di 24 ore, confrontati con la soglia di Basso Livello Medio.

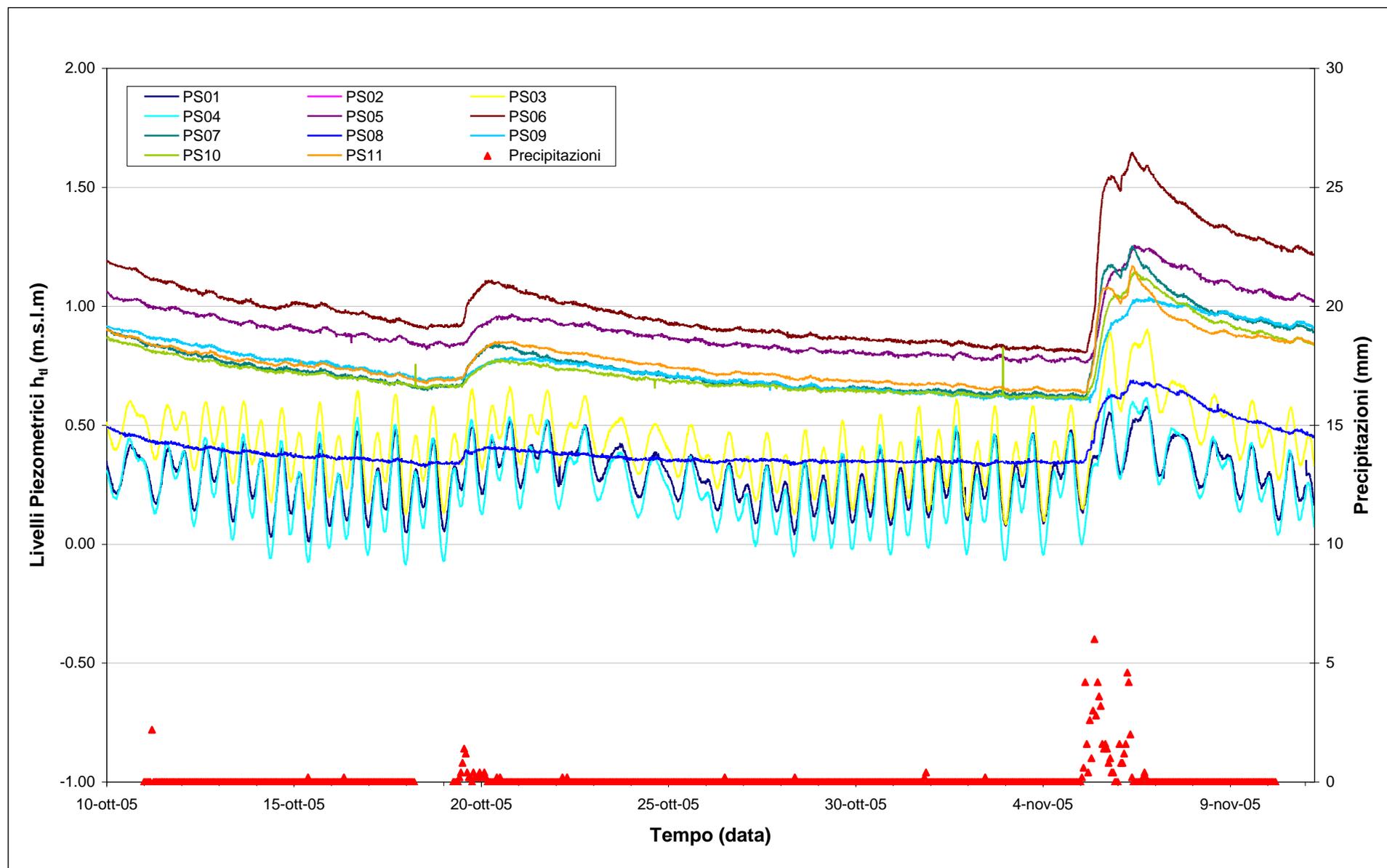
Nei grafici si evidenziano due comportamenti distinti:

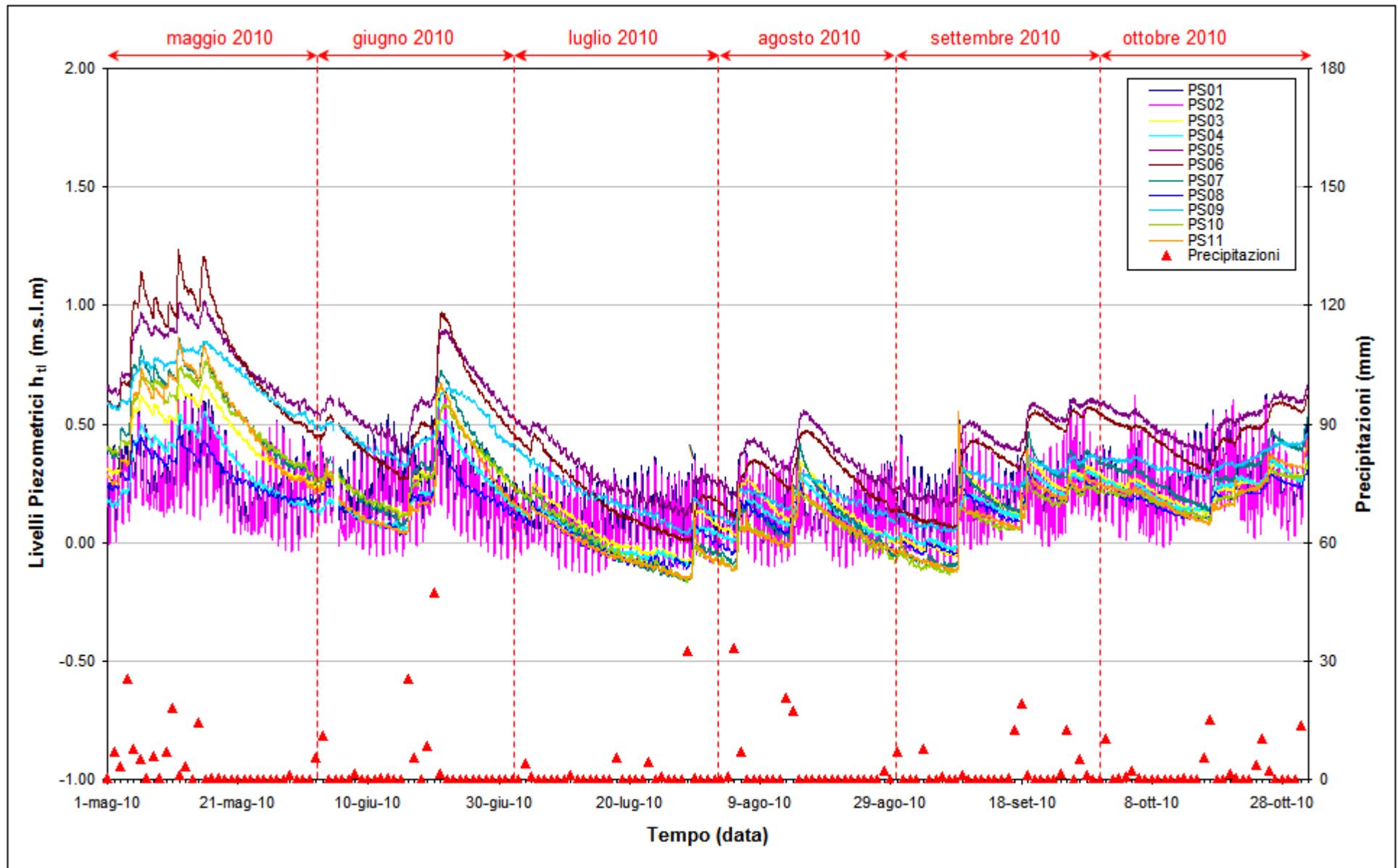
- nei piezometri PS01 e PS02, posti a ridosso della linea di costa, i livelli subiscono oscillazioni forzate in fase con le maree, con un ritardo di 1-2 h tra il picco della marea e il picco di livello nell'acquifero;
- nei piezometri interni (PS05÷11) e in quelli posti a ridosso della barriera impermeabile della tura (PS03 e PS04), i livelli subiscono l'influenza delle precipitazioni piovose, che inducono rapidi innalzamenti di livello ben riconoscibili nelle serie temporali, e dell'evapotraspirazione, soprattutto nei mesi estivi. Tra l'inizio e la fine dell'anno di monitoraggio si osserva una leggera diminuzione del carico idraulico nella falda superficiale (con variazioni comprese tra circa 5 e 25 cm).

Nel periodo monitorato si sono verificati superamenti della soglia di Alto Livello Istantaneo e Alto Livello Medio, corrispondenti alla quota di bocca pozzo <sup>1</sup>, nel piezometro PS08 nei giorni 27-28/11/10, 01-08/12/10, 22-28/12/10, 16-18/03/11 e nel piezometro PS11 in data 16/03/11. Tali superamenti sono dovuti all'infiltrazione di acqua piovana in seguito ad eventi meteorici intensi.

---

<sup>1</sup> La soglia di Alto Livello Istantaneo è superata quando il carico idraulico supera la quota di bocca pozzo; la soglia di Alto Livello Medio riguarda invece il livello mediato nelle 24 ore (12 ore precedenti e 12 ore seguenti).

Fig. 2.8 - Livelli piezometrici ( $h_{\pi}$ ) relativi ai piezometri superficiali nella fase A (ottobre - novembre 2005).

Fig. 2.9 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi ai piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

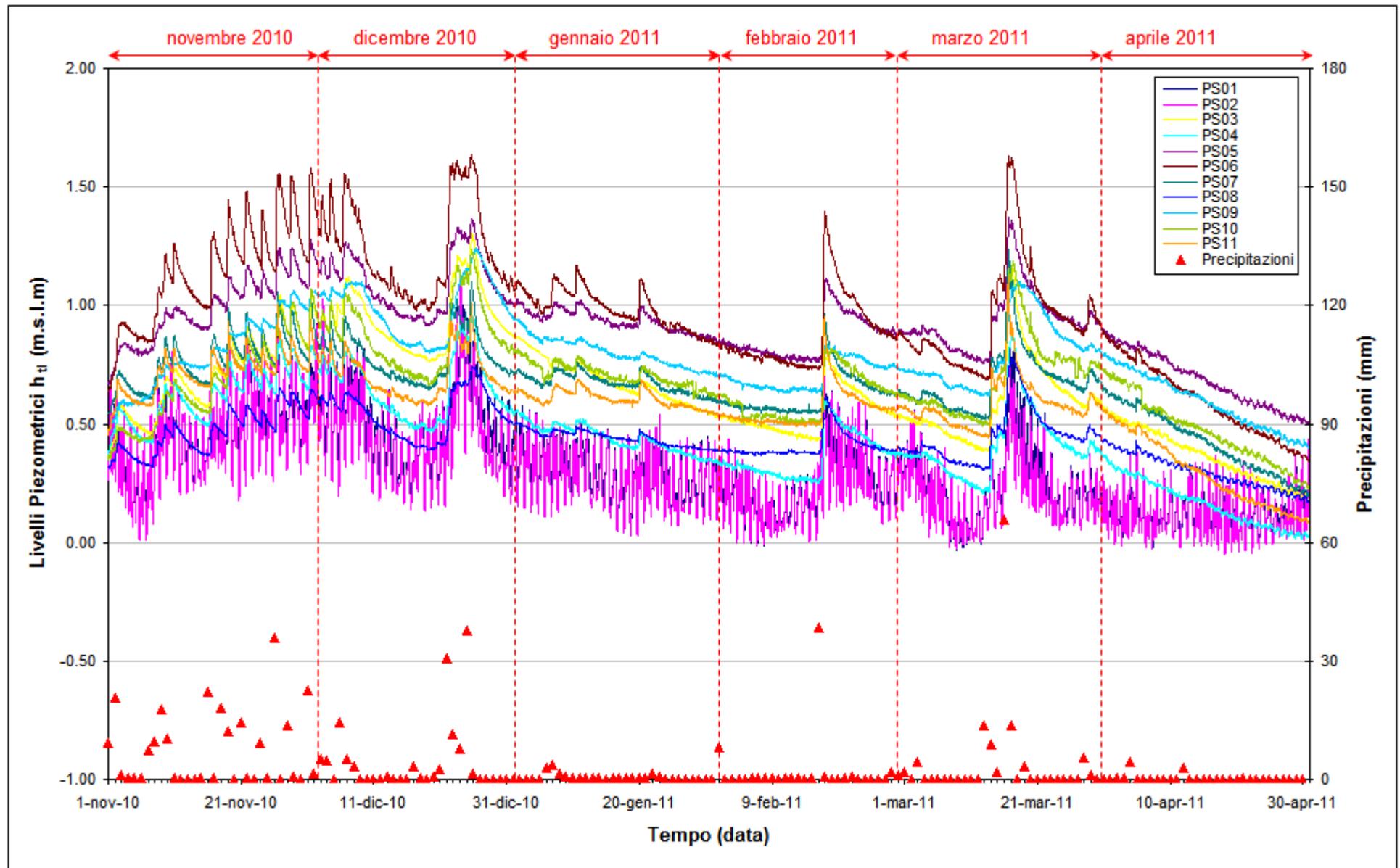


Fig. 2.10 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi ai piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

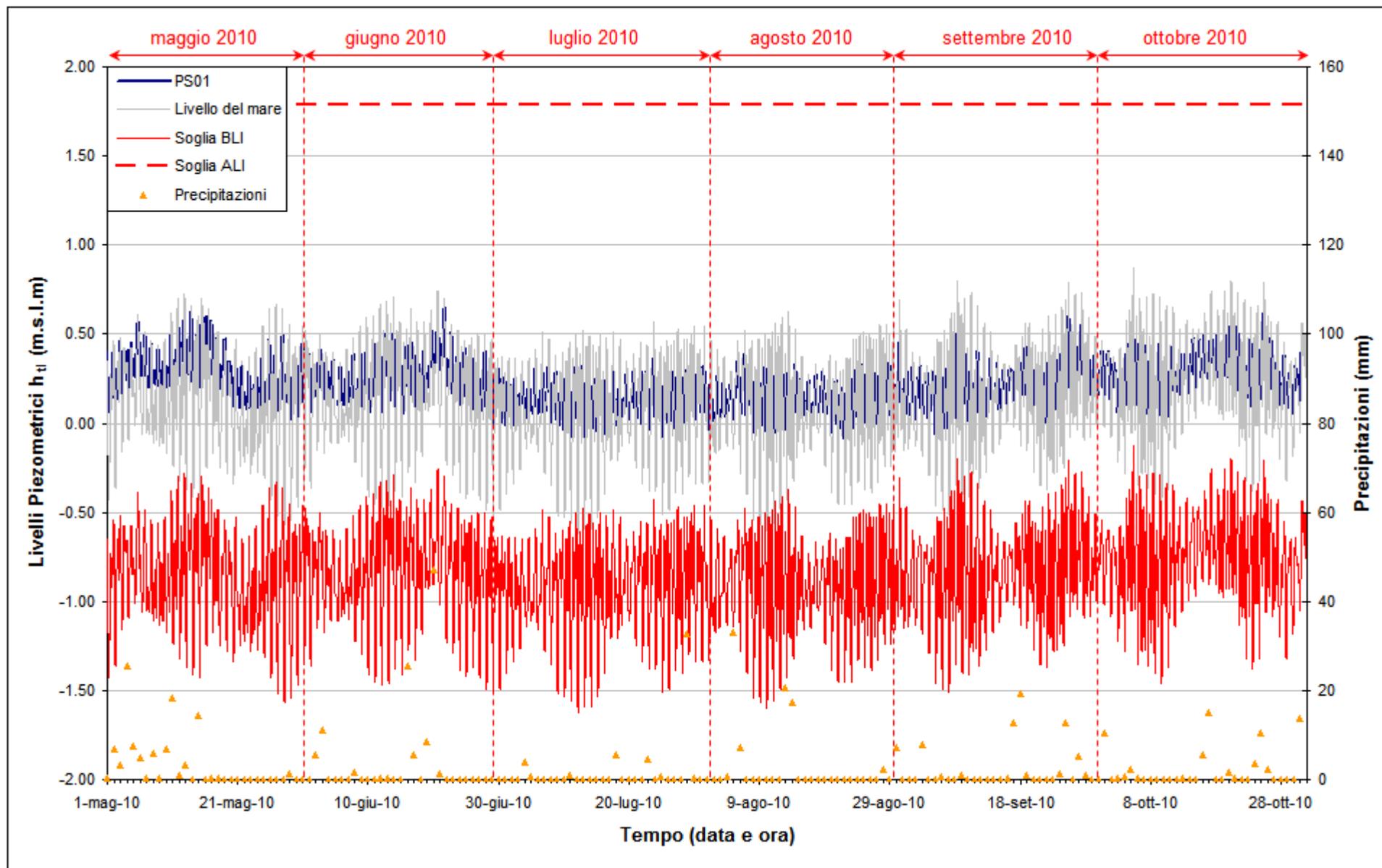


Fig. 2.11 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 – 31/10/2010.

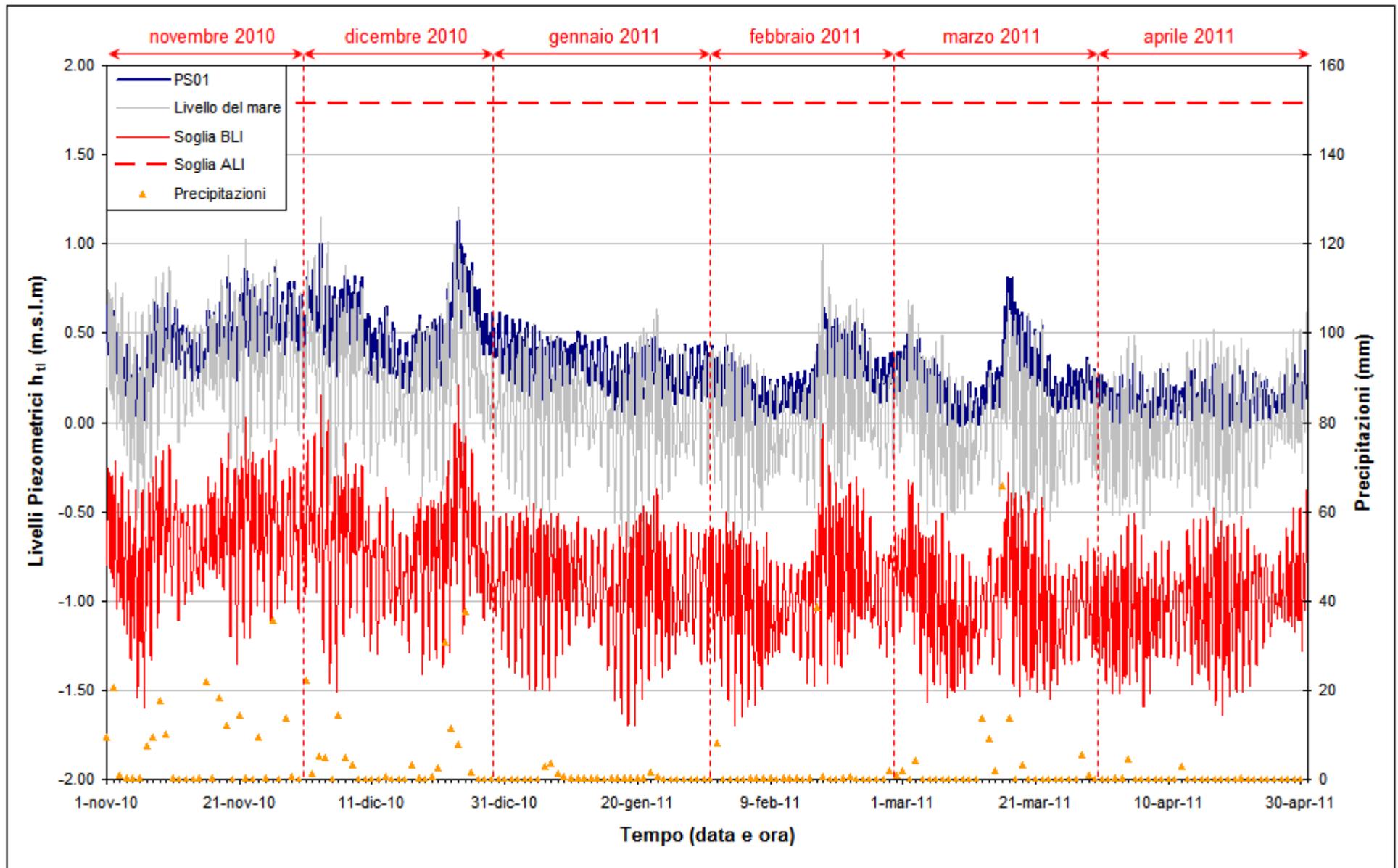


Fig. 2.12 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

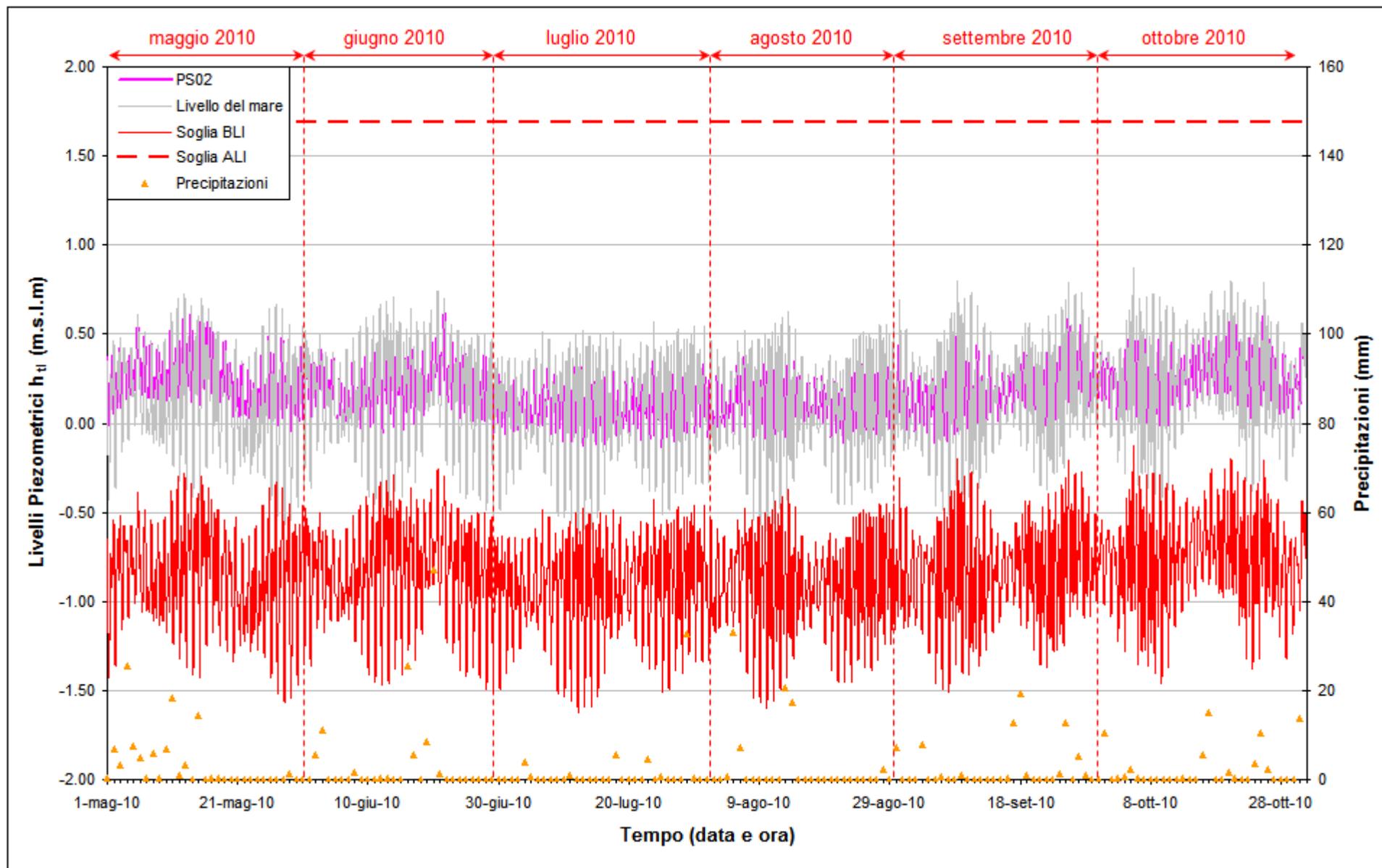


Fig. 2.13 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS02 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 – 31/10/2010.

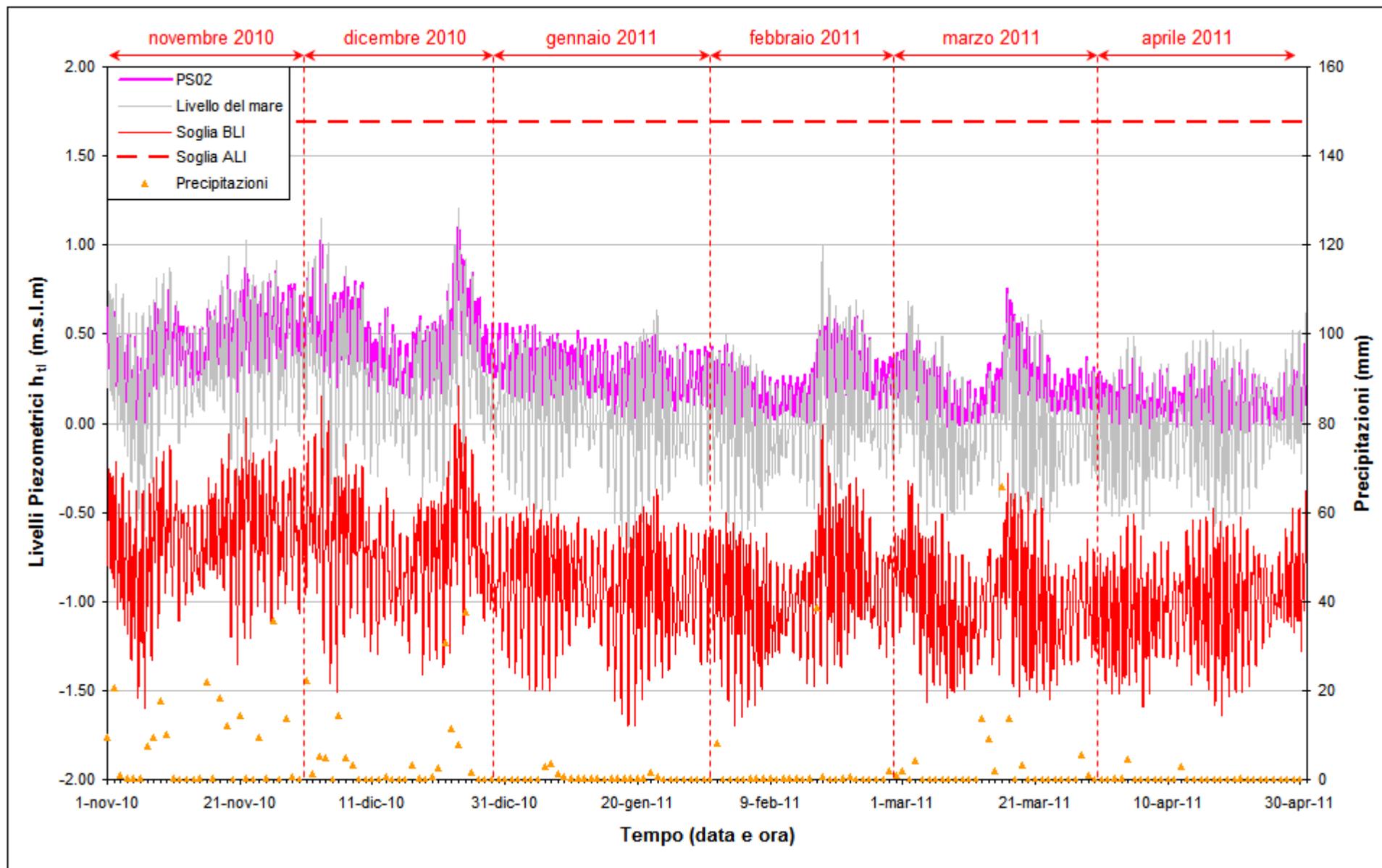


Fig. 2.14 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS02 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

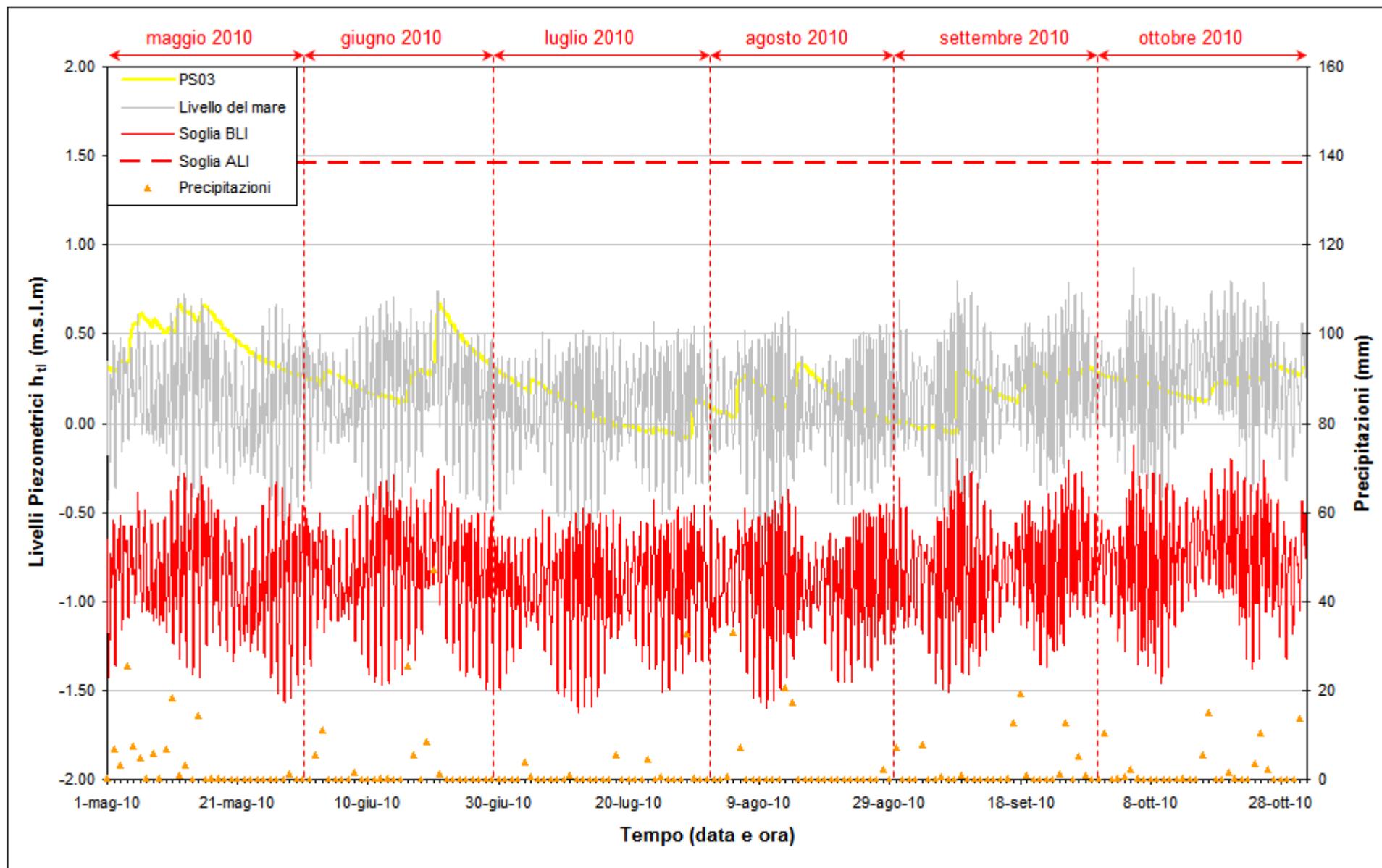


Fig. 2.15 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS03 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 – 31/10/2010.

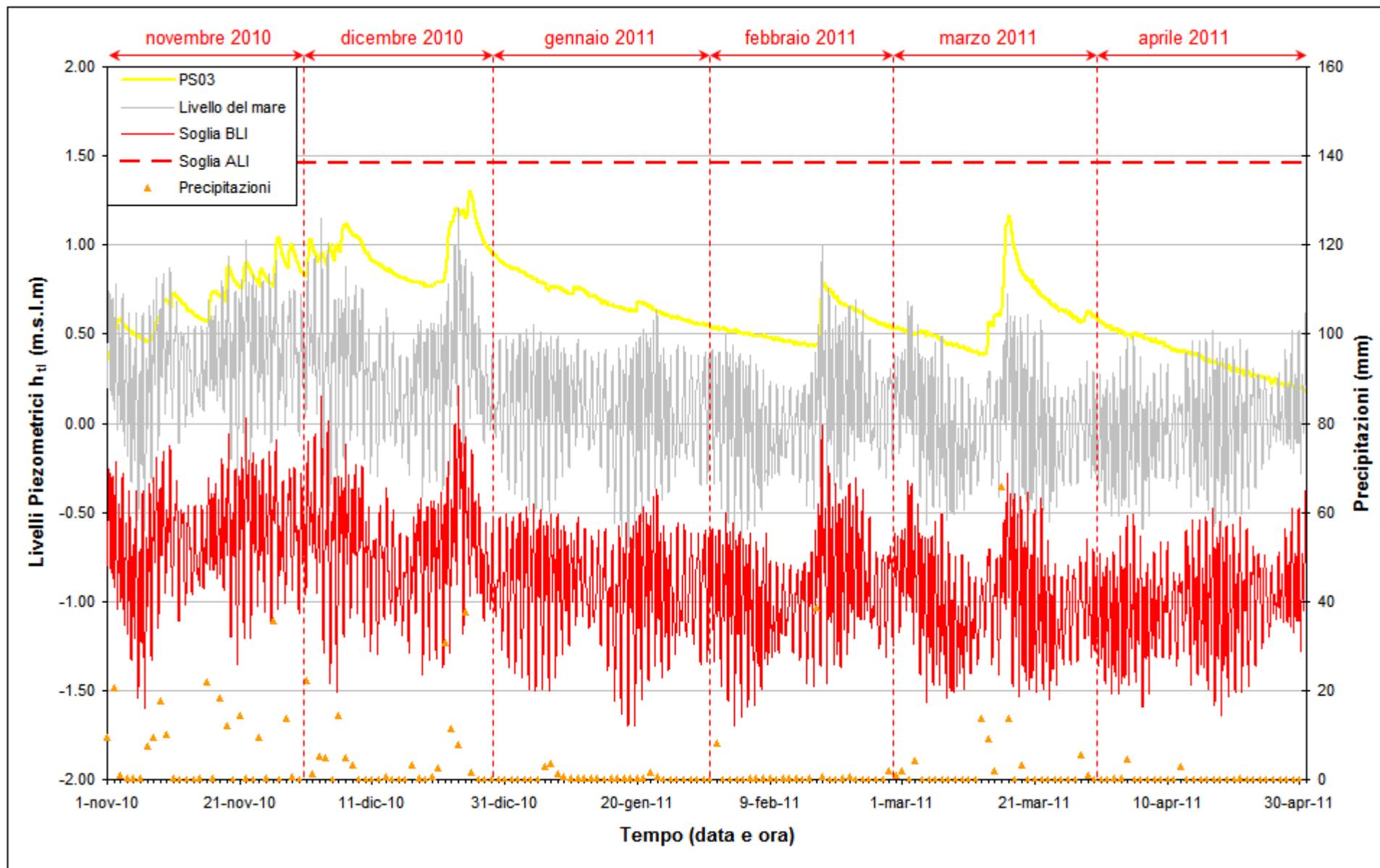


Fig. 2.16 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS03 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 – 30/04/2011.

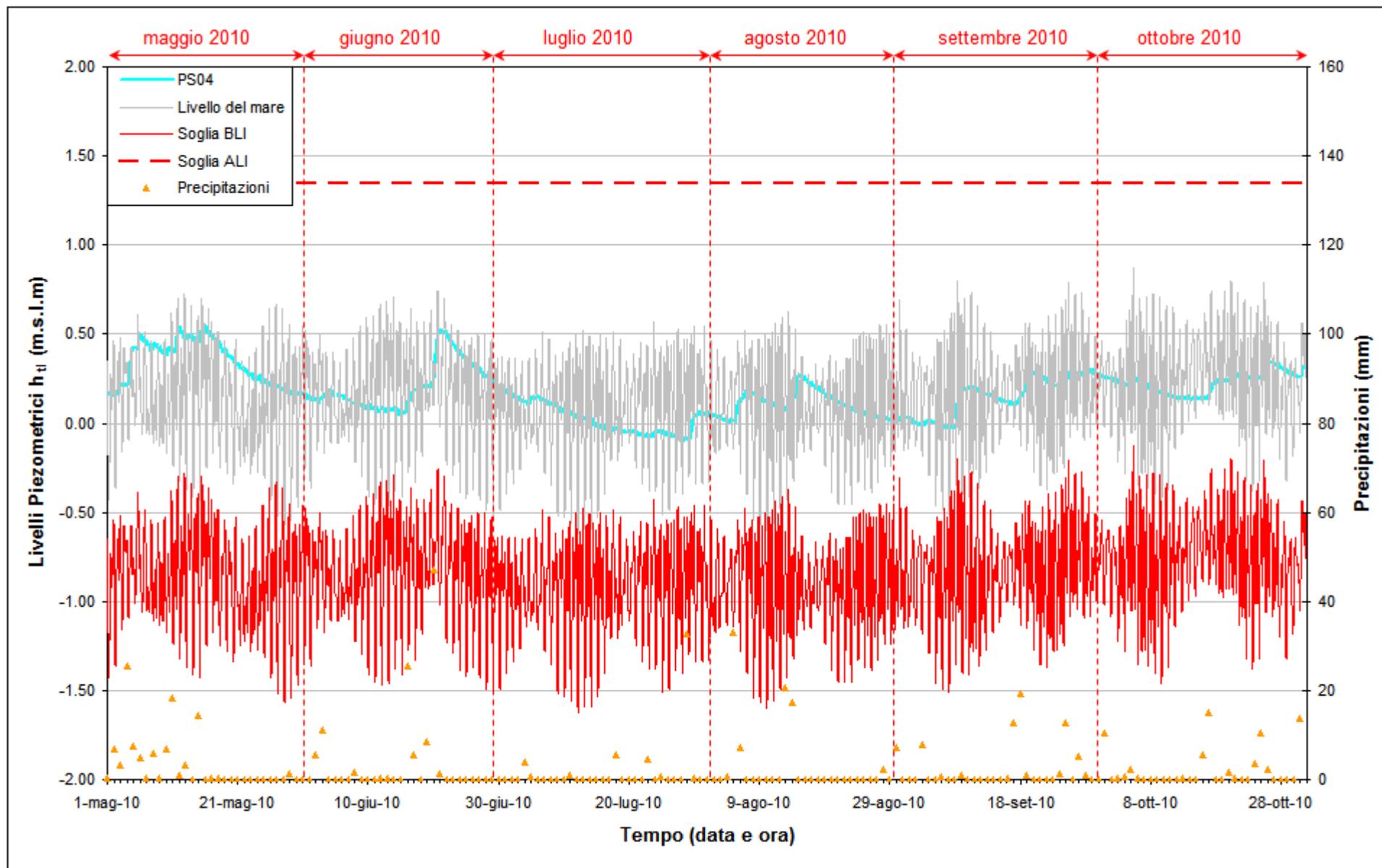


Fig. 2.17 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS04 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

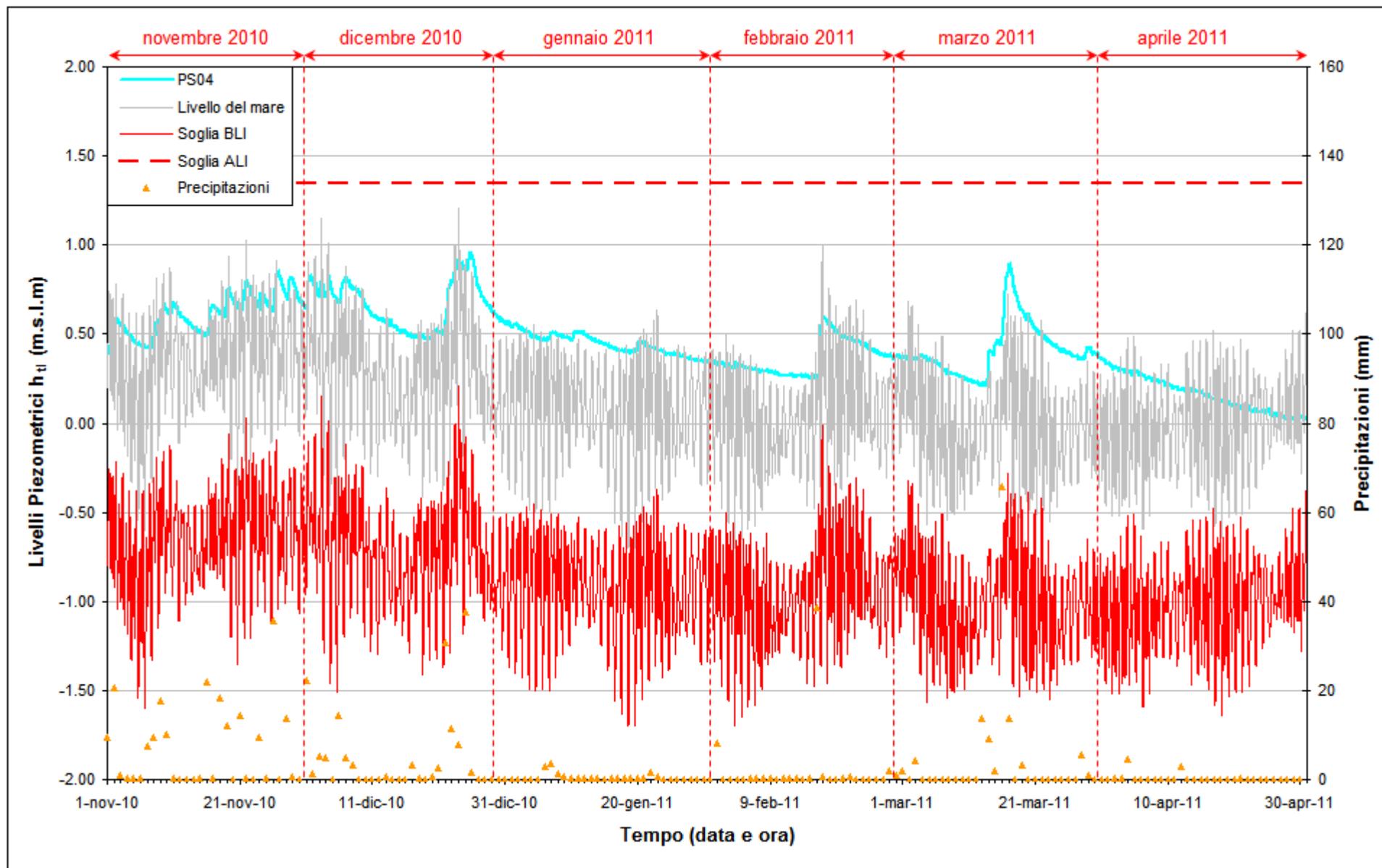


Fig. 2.18 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS04 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 – 30/04/2011.

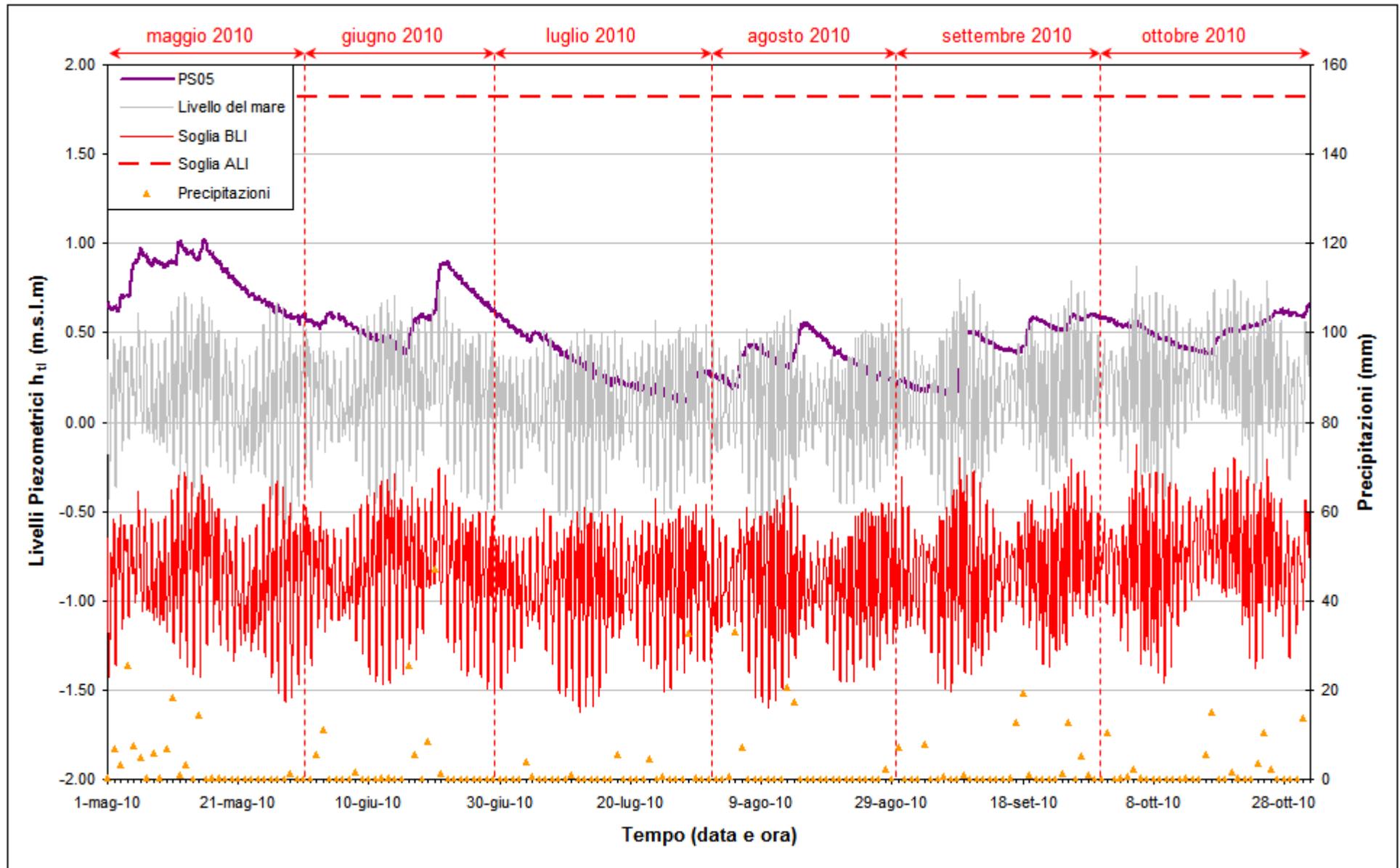


Fig. 2.19 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS05 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 – 31/10/2010.

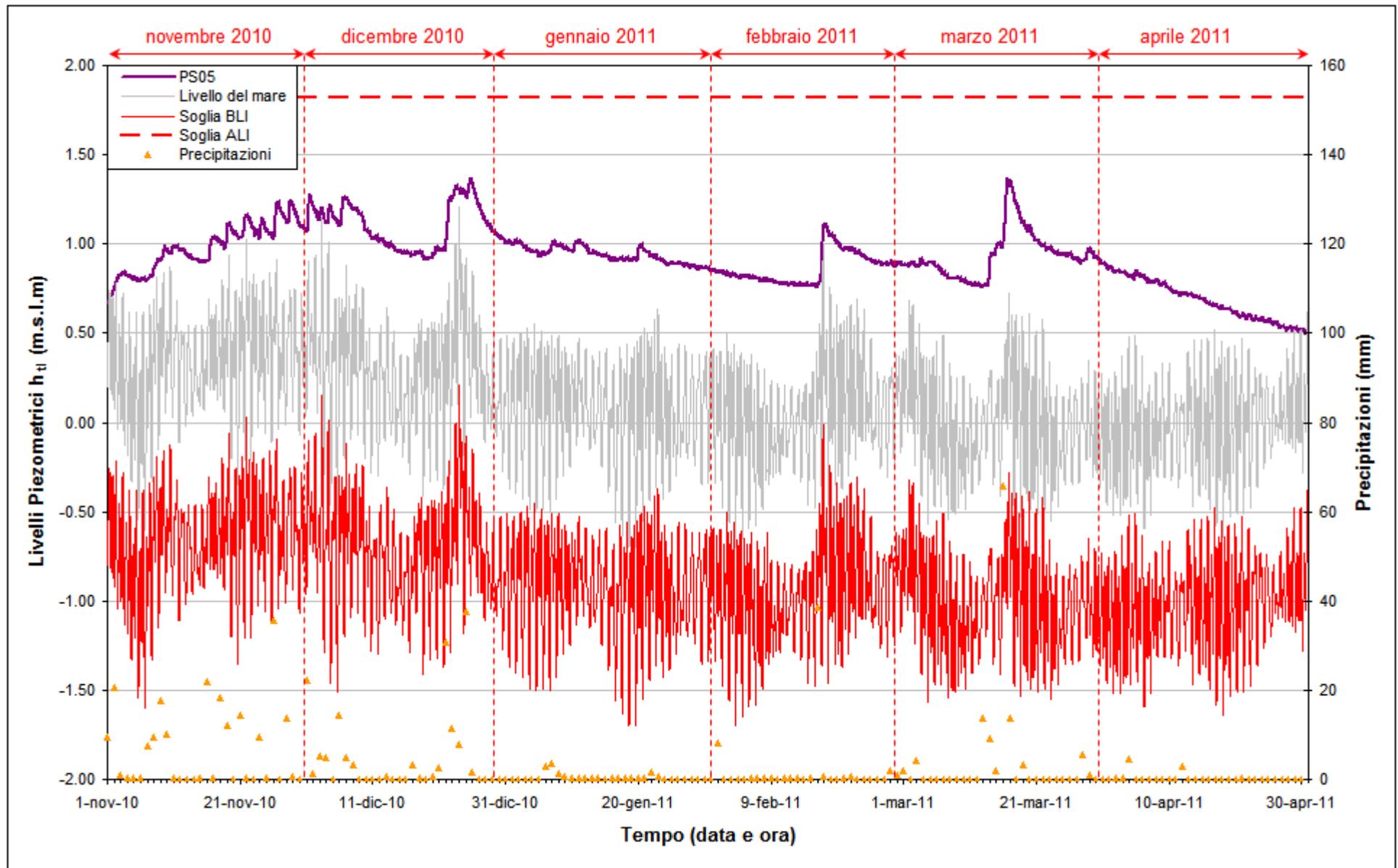


Fig. 2.20 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS05 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 – 30/04/2011.

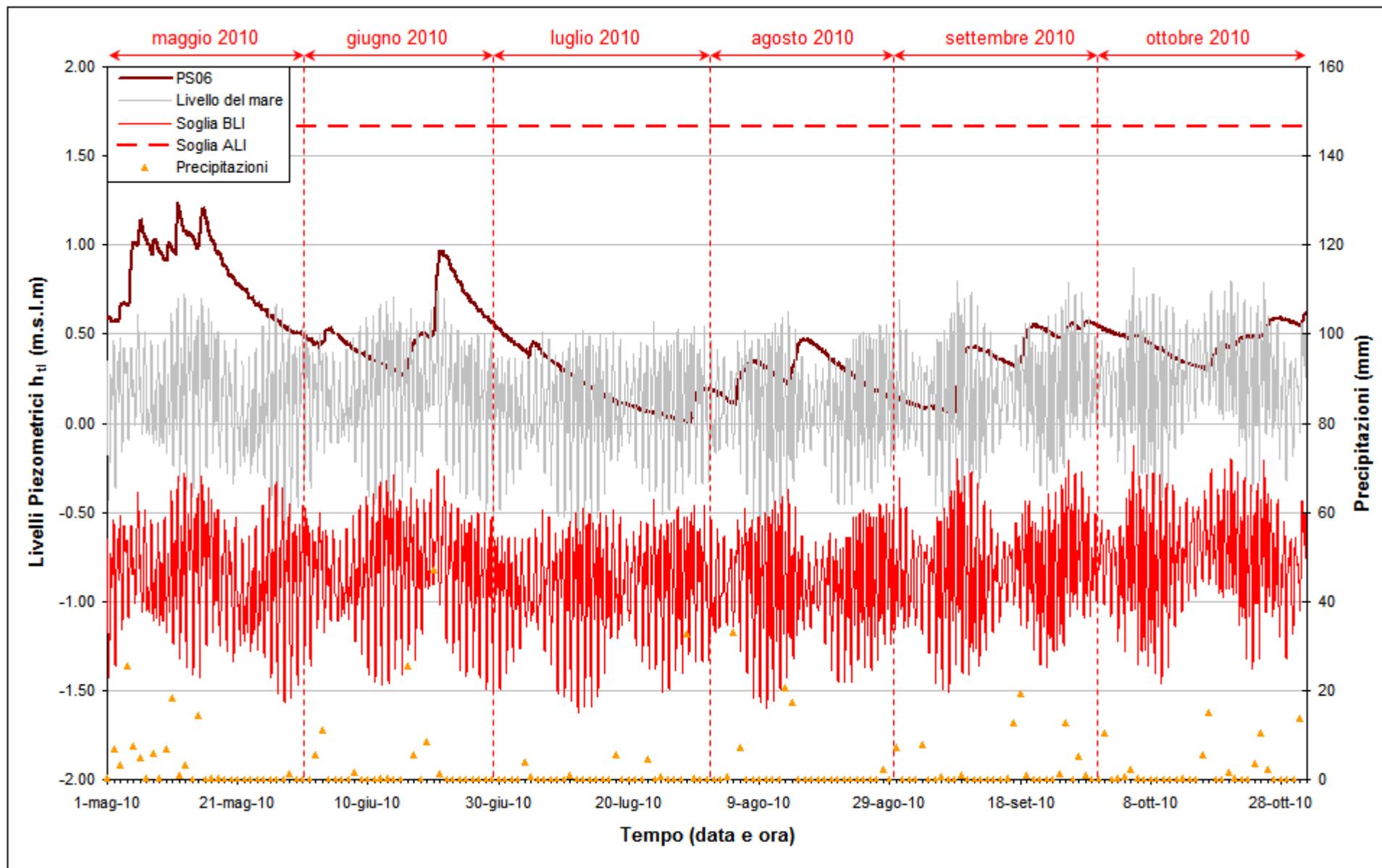


Fig. 2.21 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS06 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 – 31/10/2010.

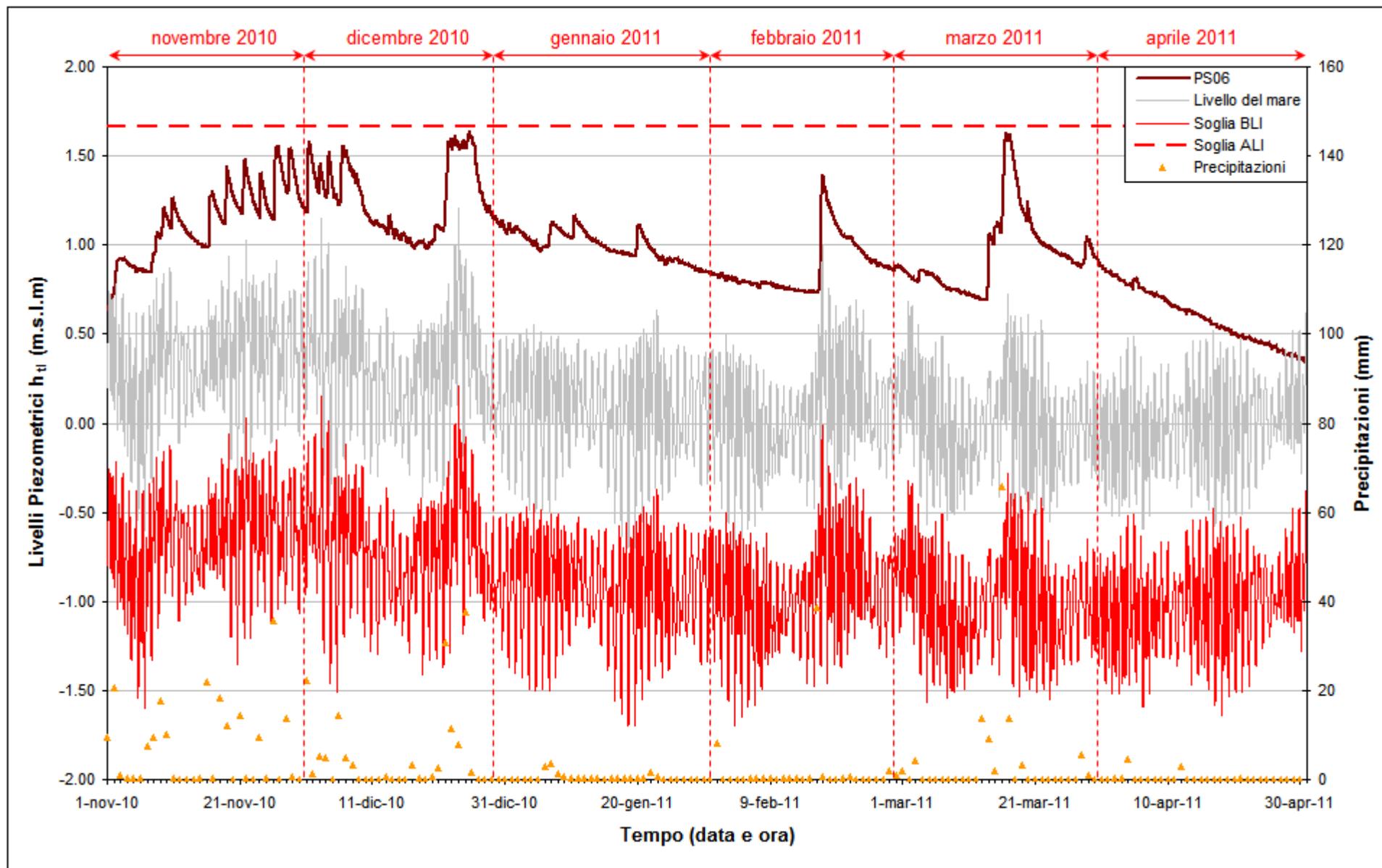


Fig. 2.22 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS06 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

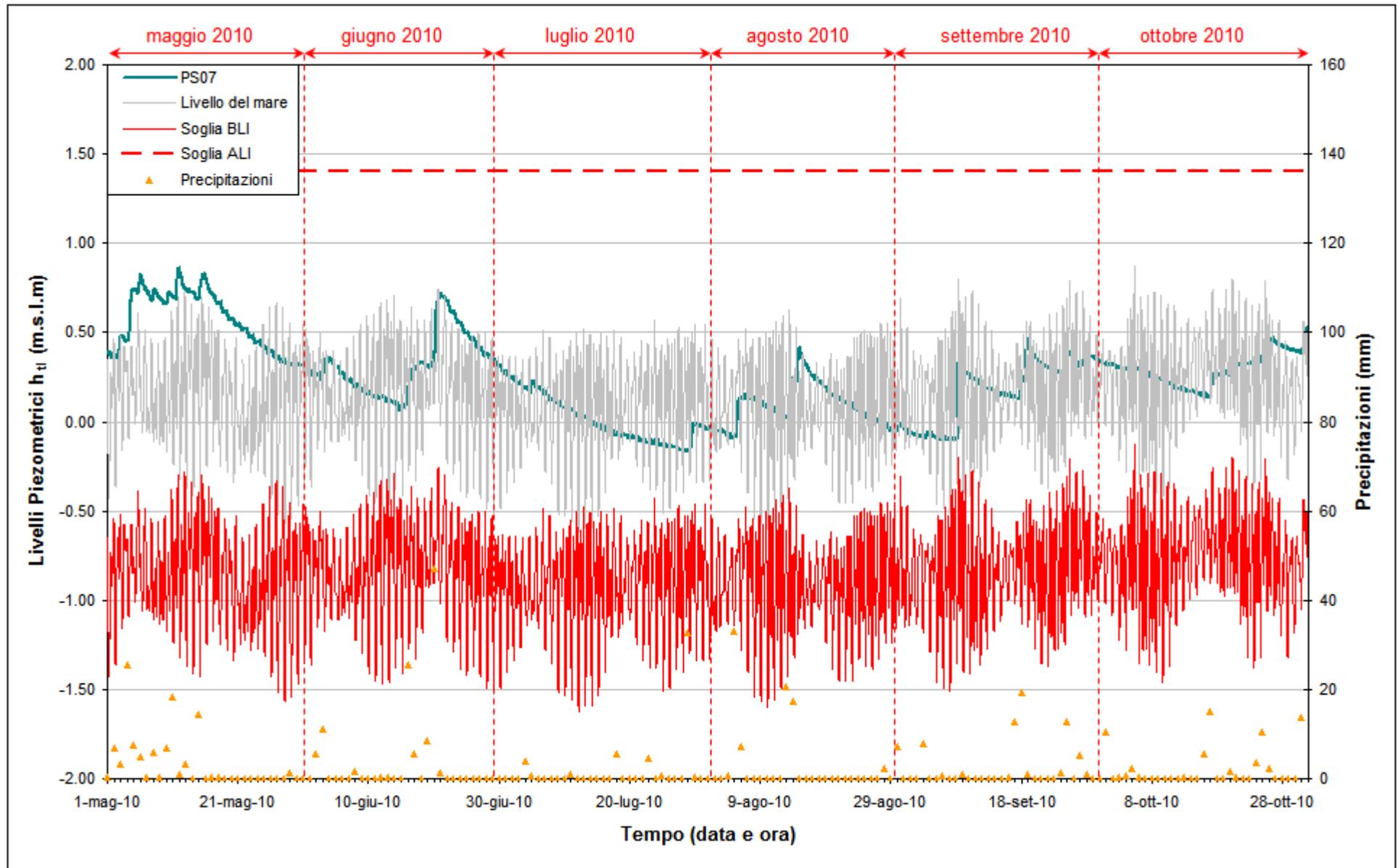


Fig. 2.23 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS07 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 – 31/10/2010.

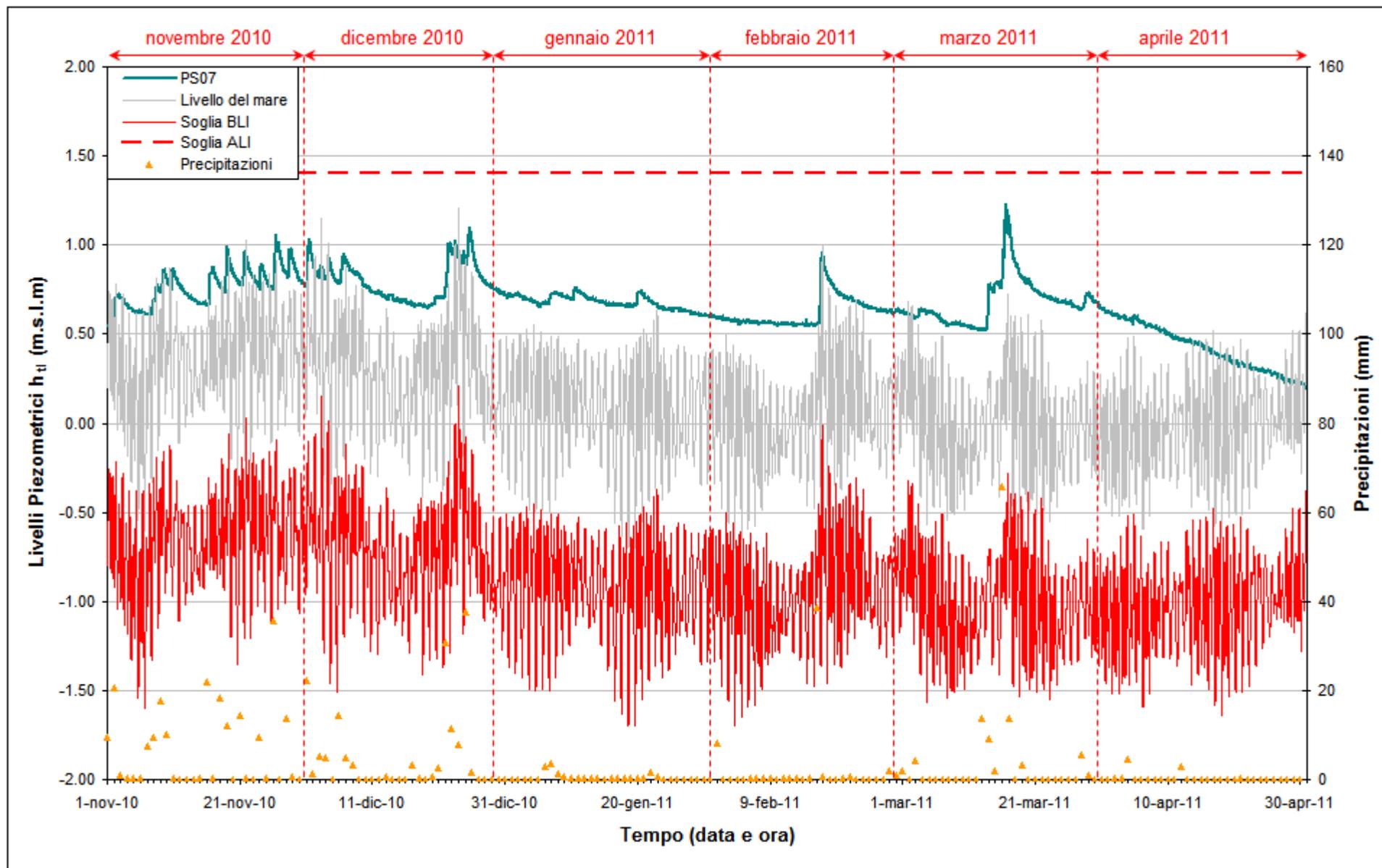


Fig. 2.24 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS07 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

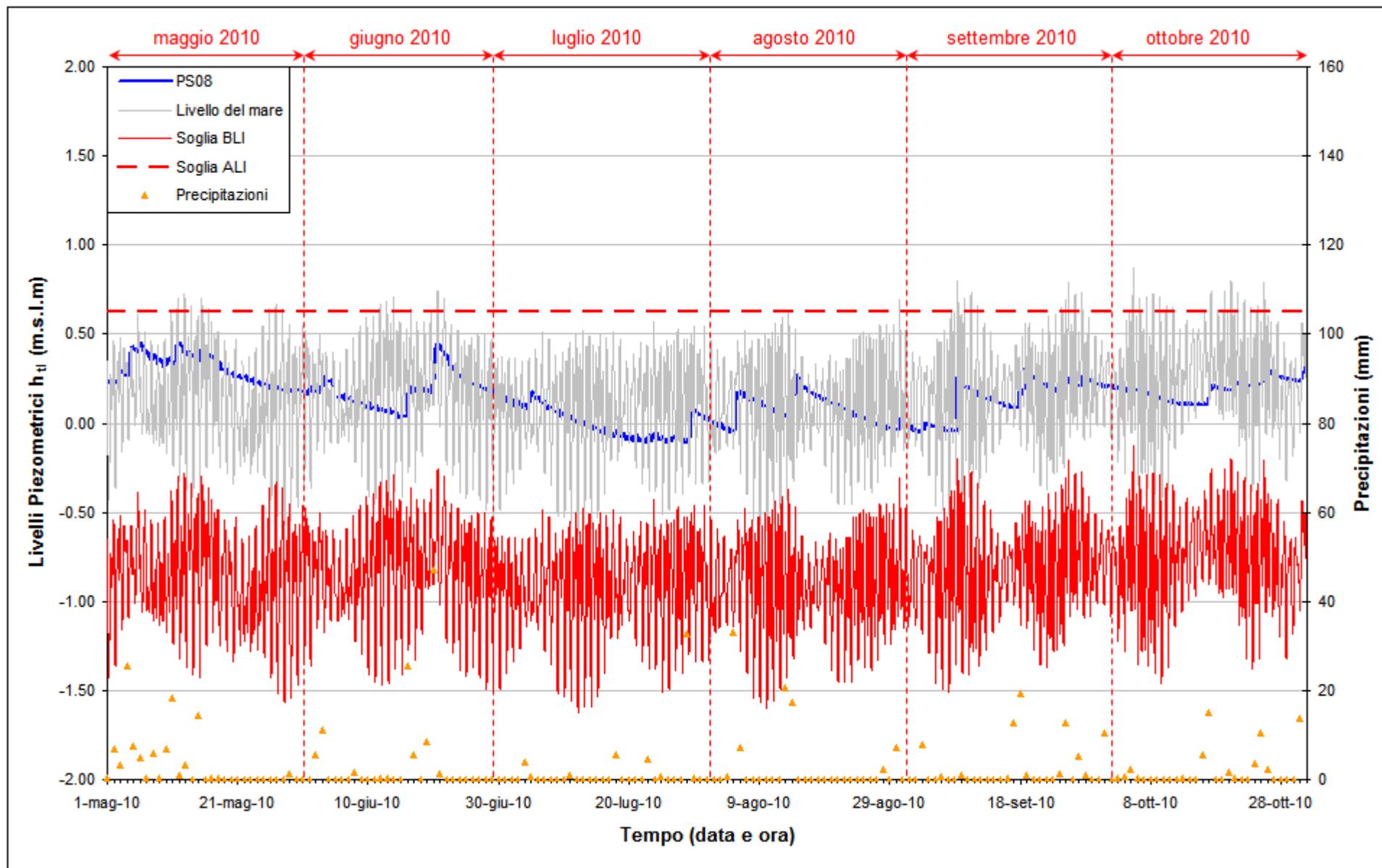


Fig. 2.25 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS08 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 – 31/10/2010.

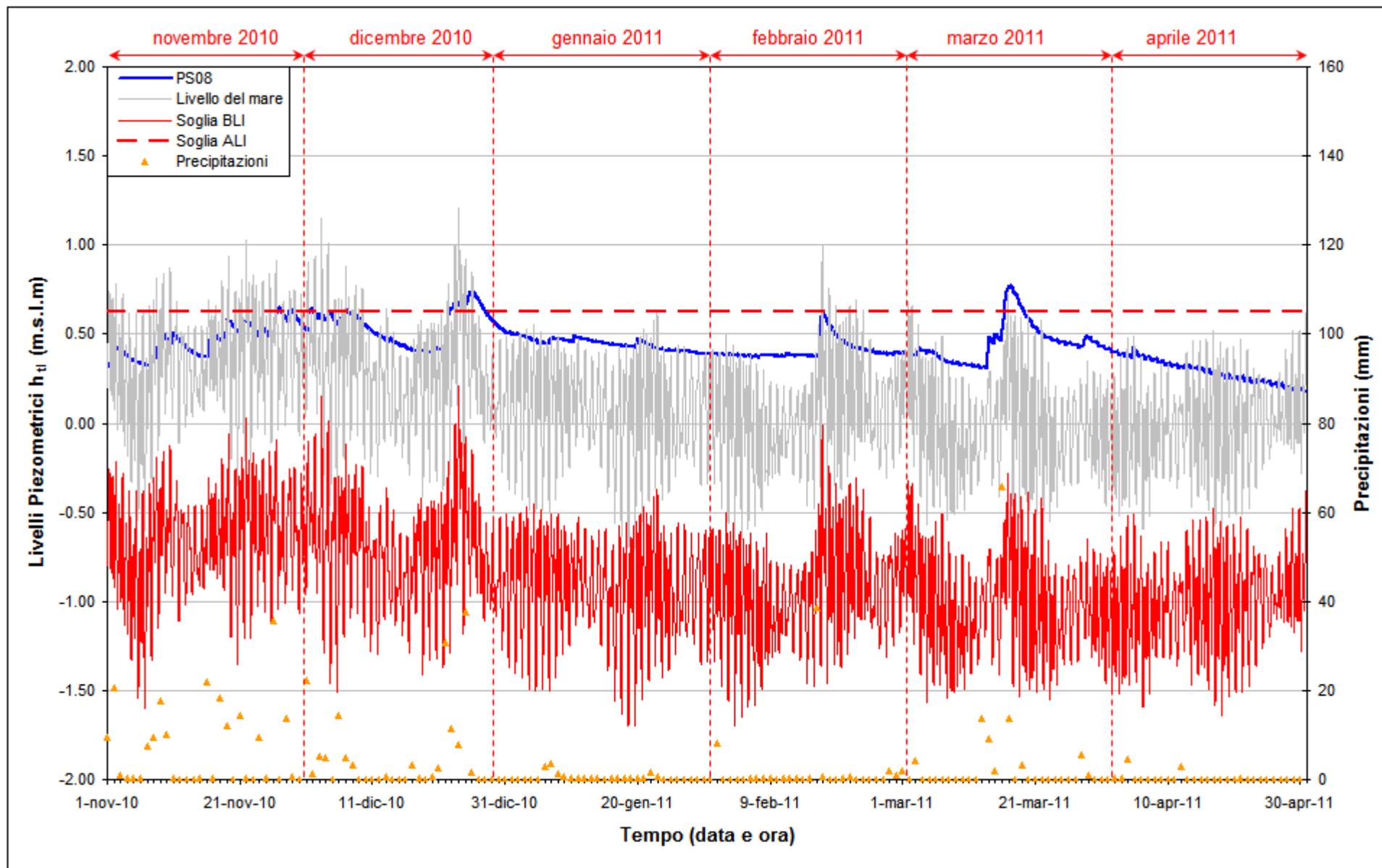


Fig. 2.26 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS08 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

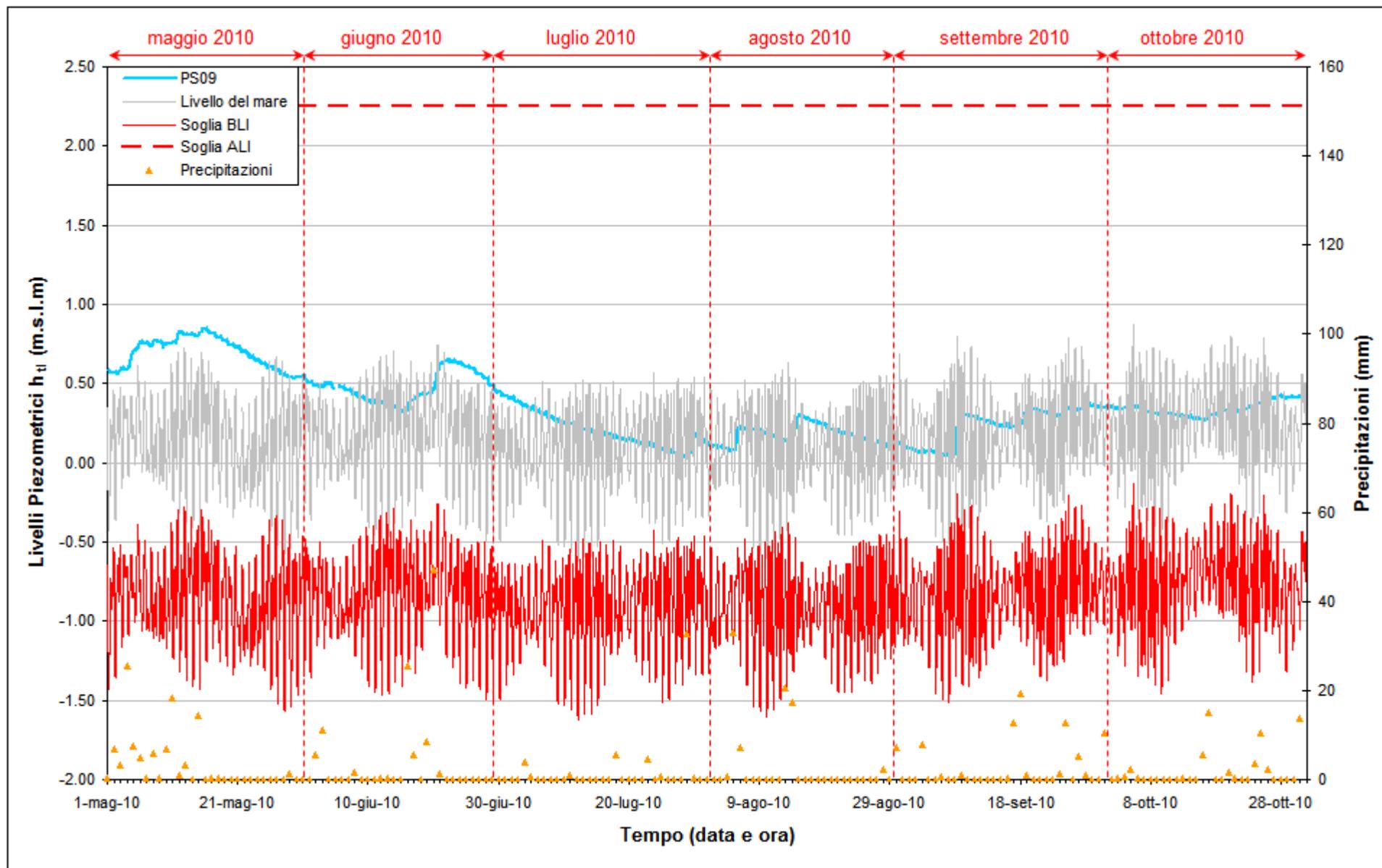


Fig. 2.27 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS09 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

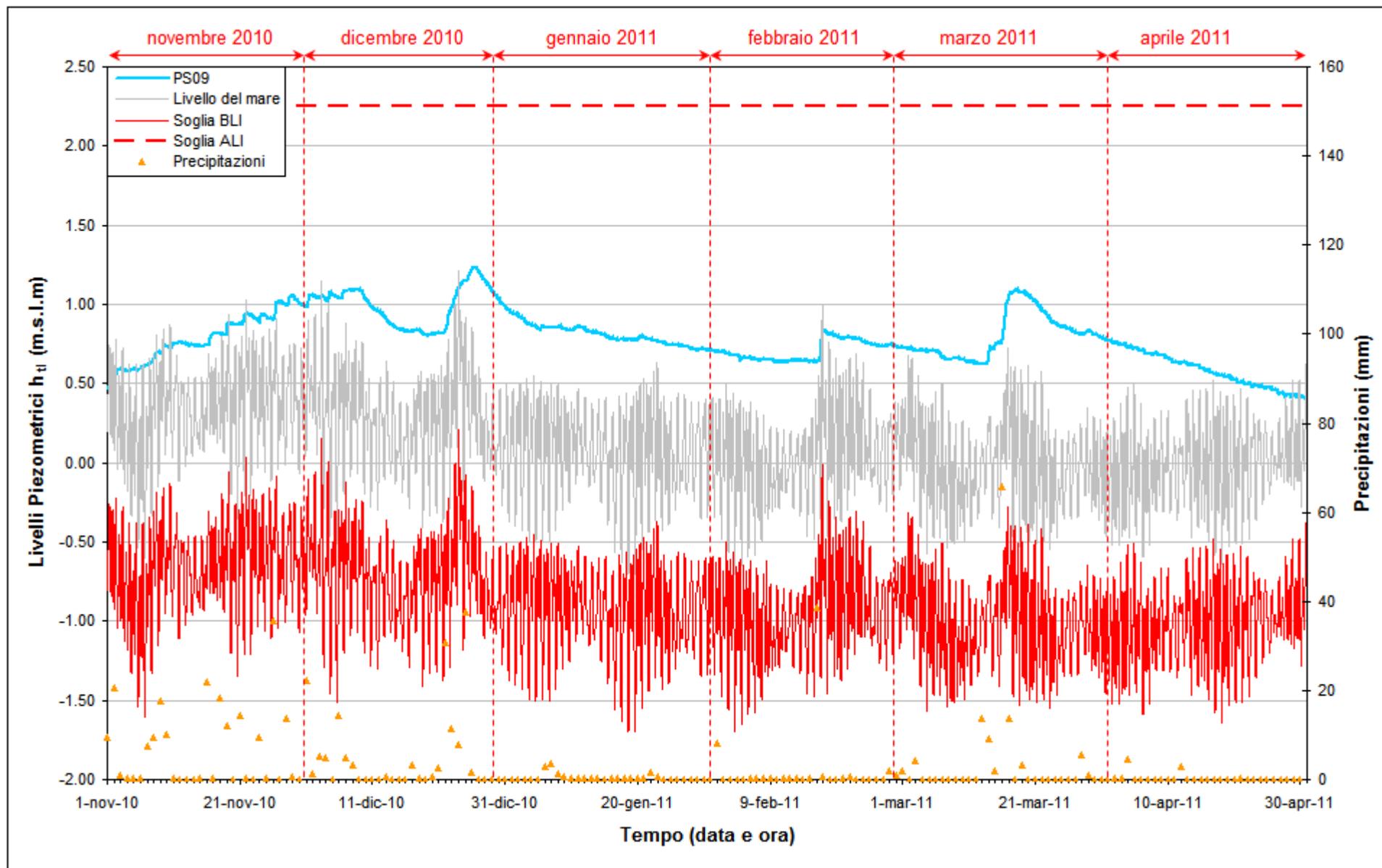


Fig. 2.28 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS09 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

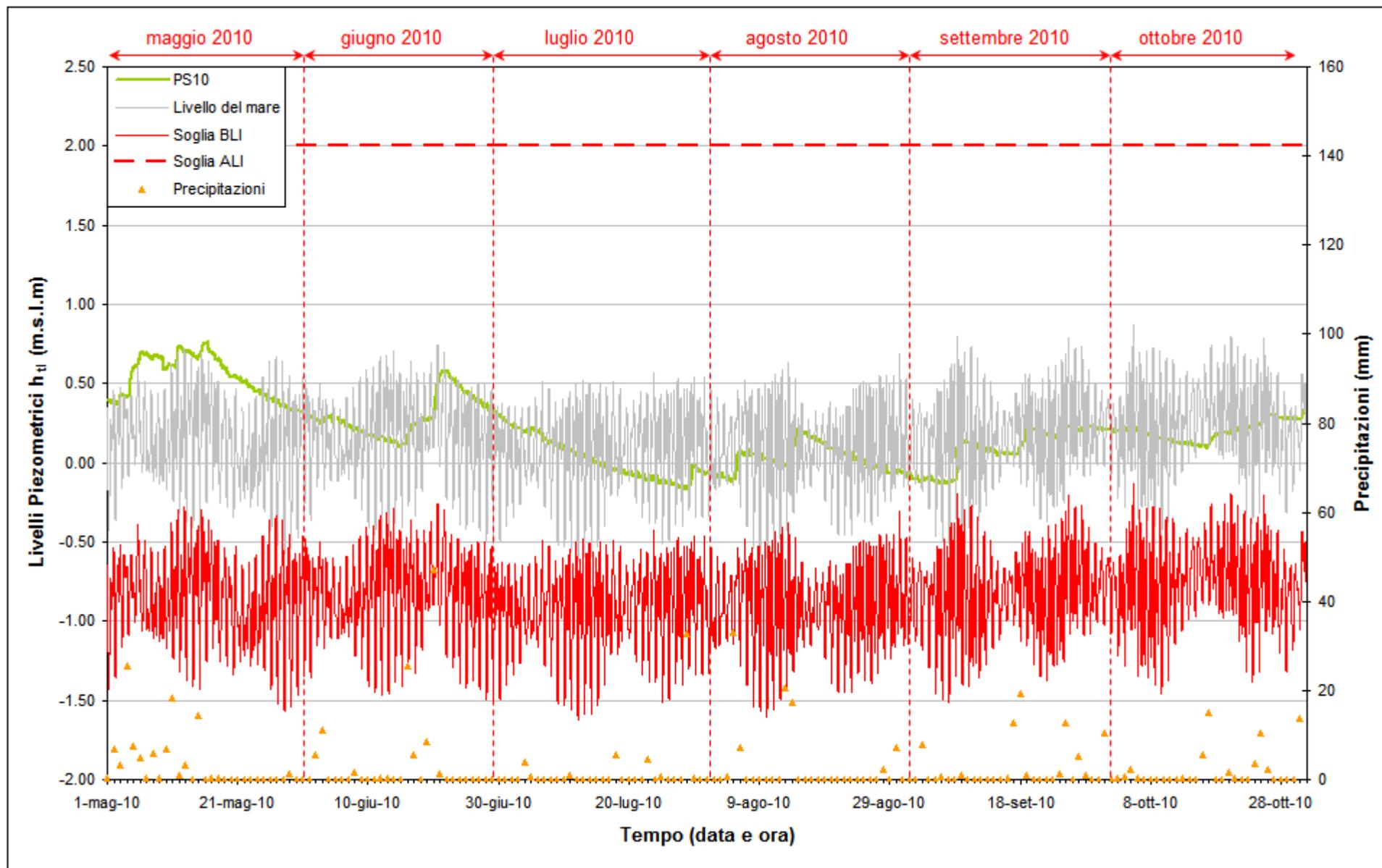


Fig. 2.29 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS10 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 – 31/10/2010.

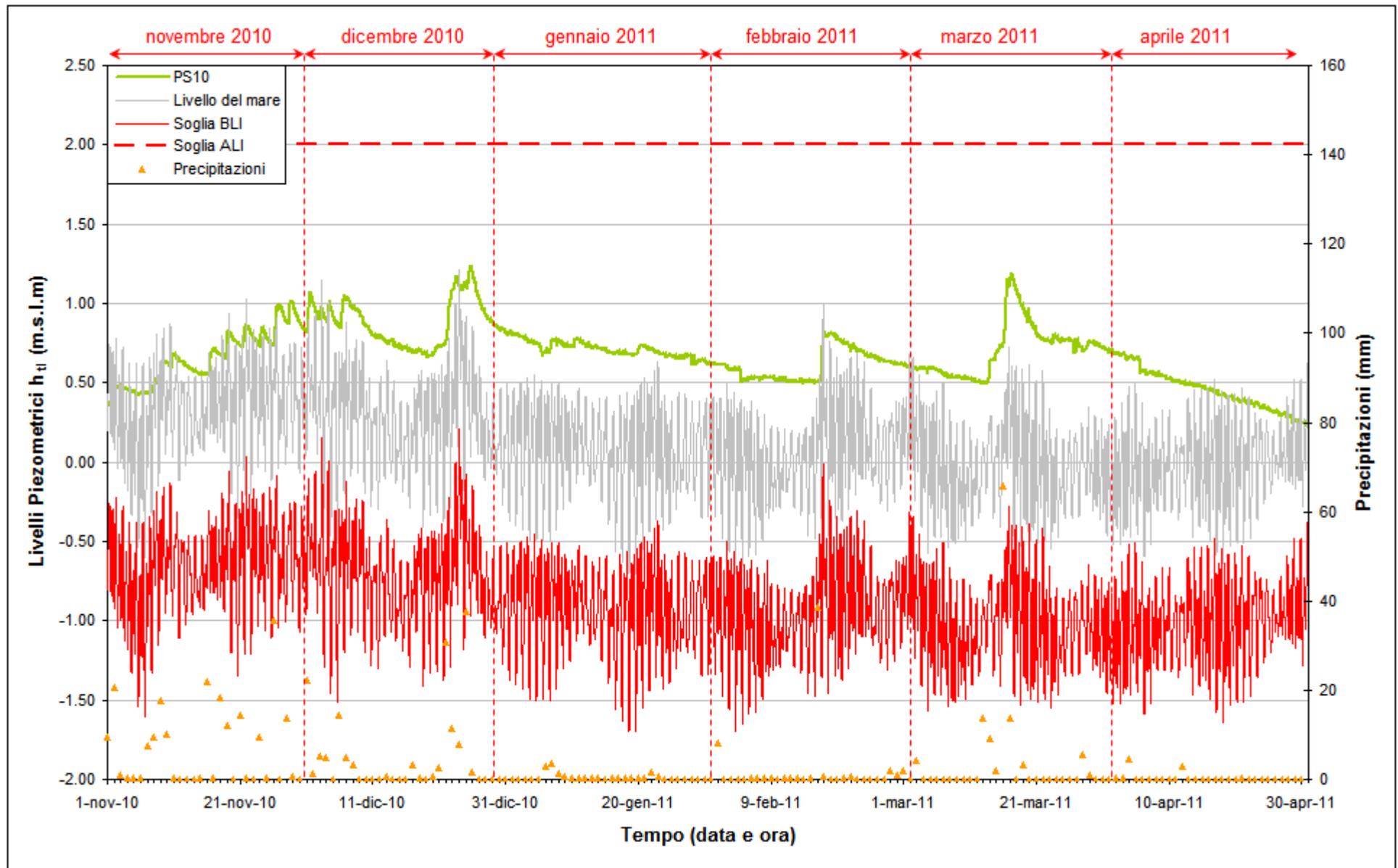


Fig. 2.30 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS10 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 – 30/04/2011.

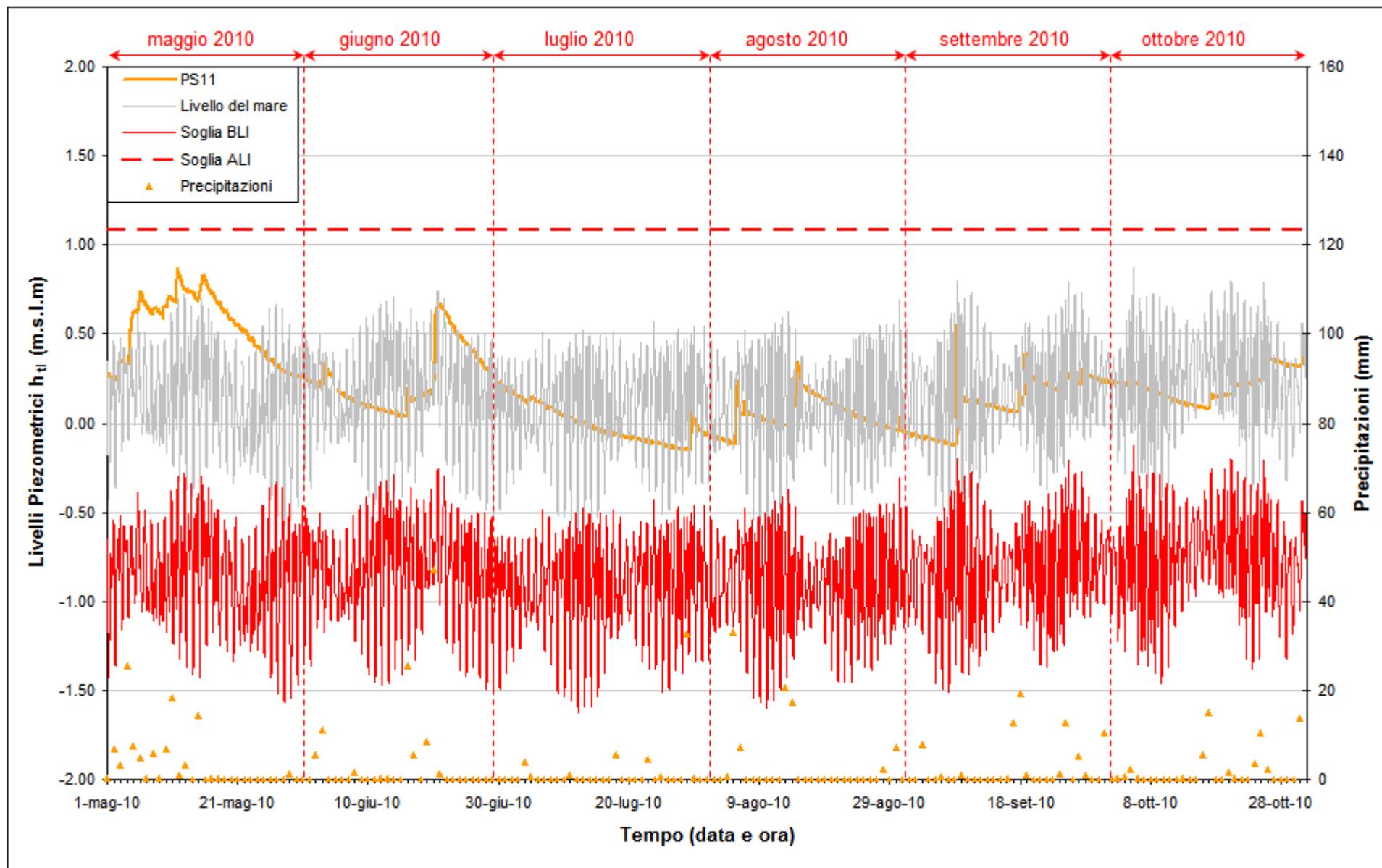


Fig. 2.31 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS11 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 – 31/10/2010.

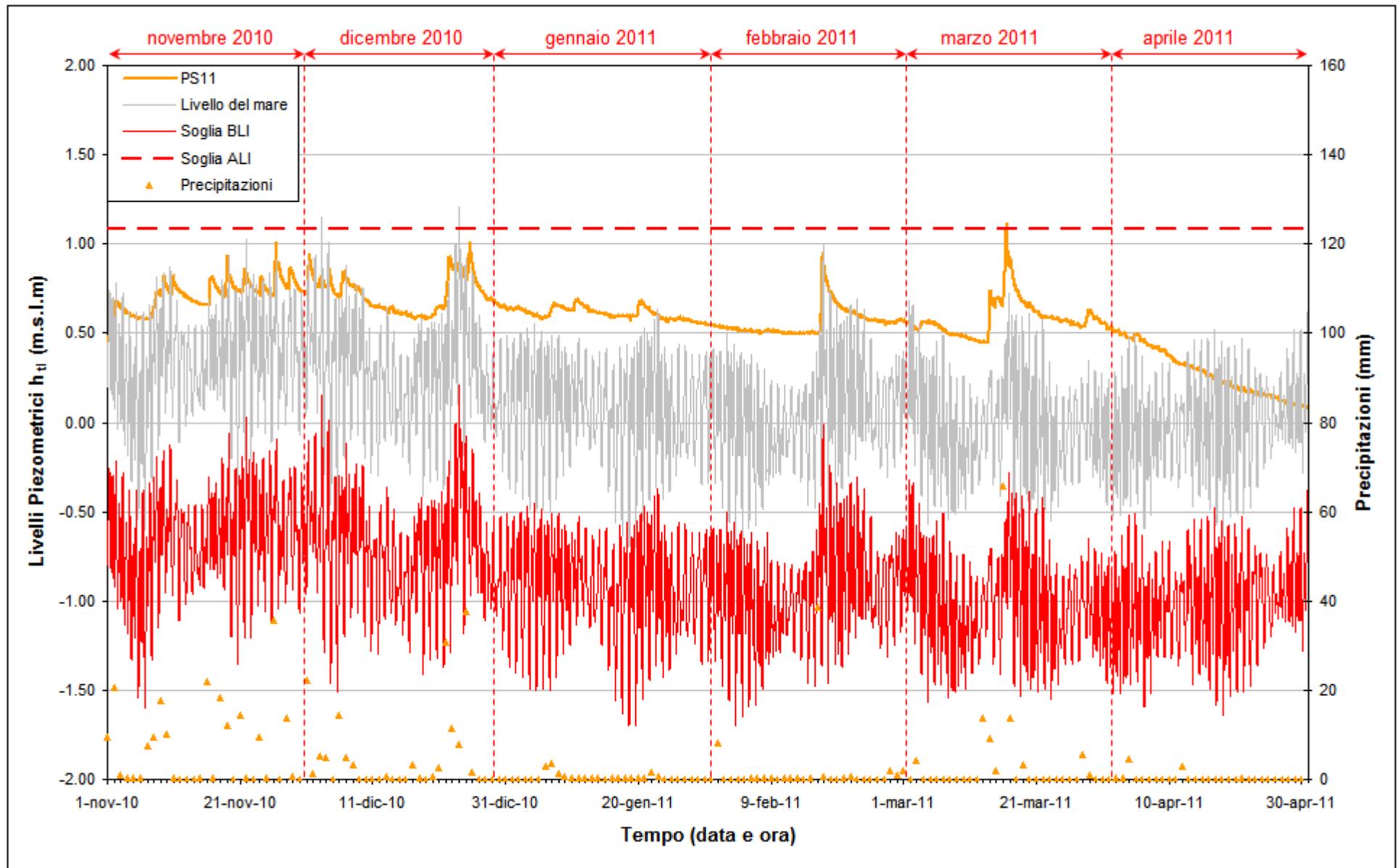


Fig. 2.32 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS11 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 – 30/04/2011.

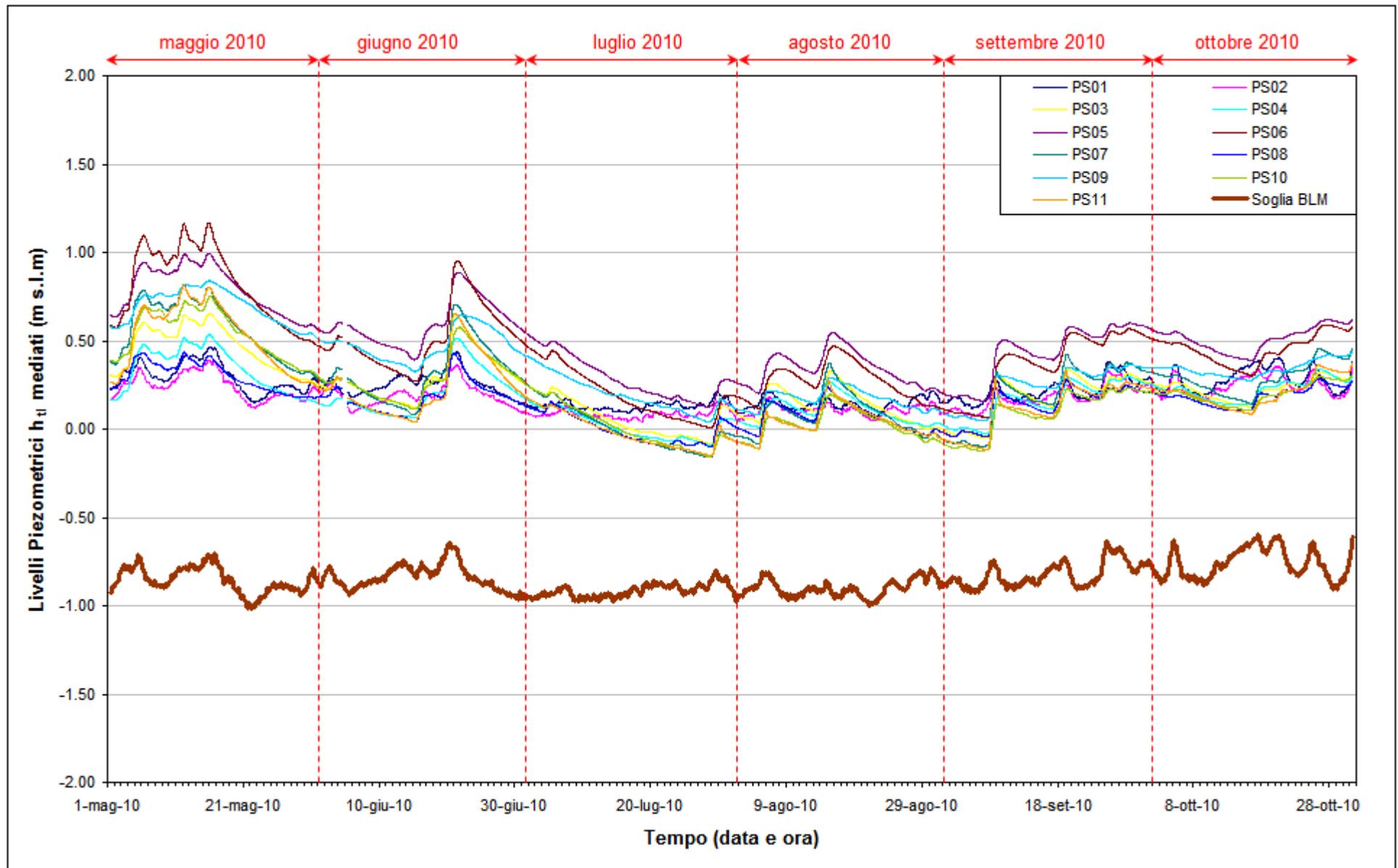


Fig. 2.33 – Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 – 31/10/2010.

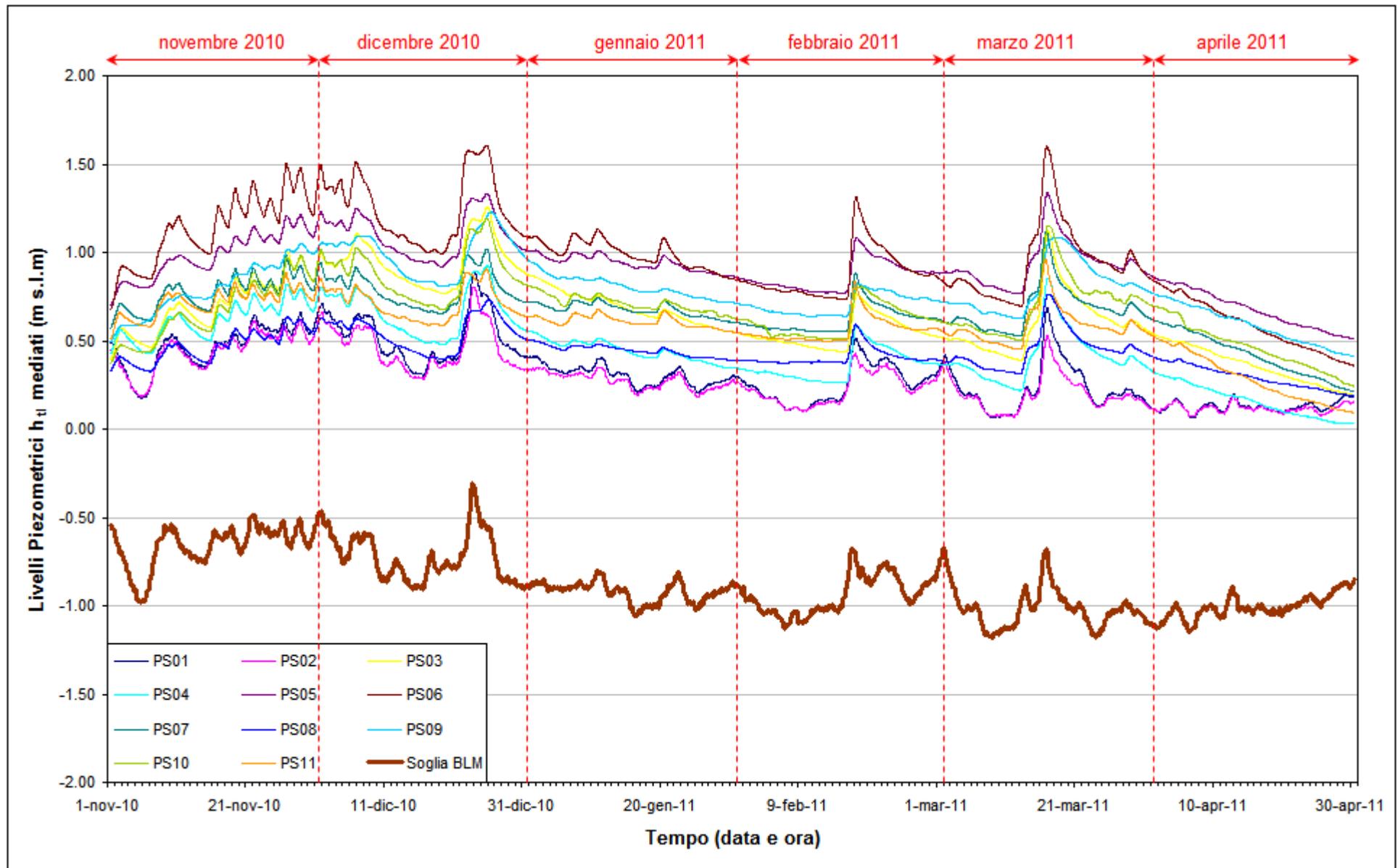


Fig. 2.34 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

### **2.2.3 Piezometri profondi – secondo livello acquifero (Strato C)**

In questo paragrafo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti dei 14 piezometri profondi finestrati in corrispondenza del secondo livello acquifero (Strato C).

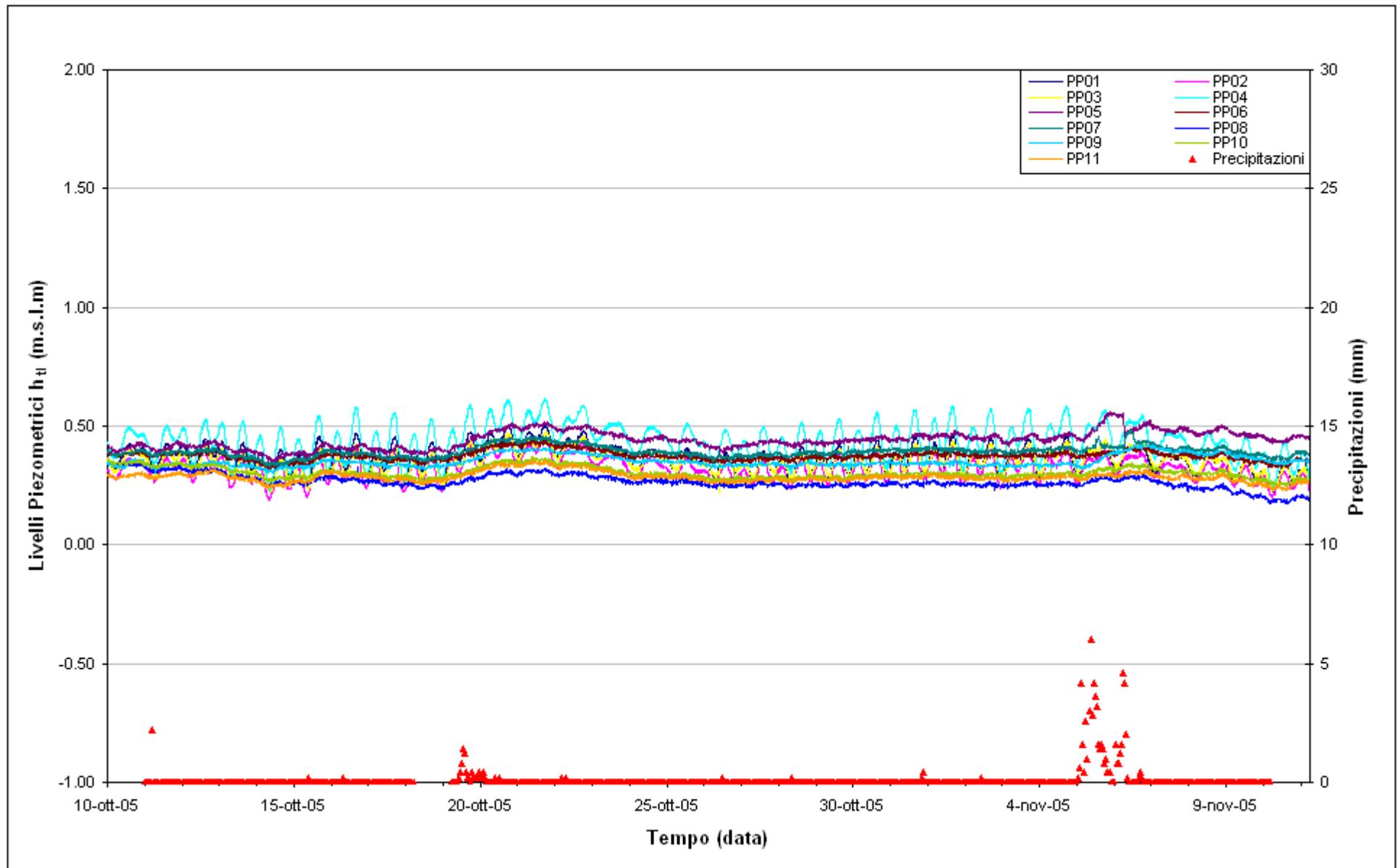
In Fig. 2.35 sono rappresentate le serie temporali degli 11 piezometri profondi e delle precipitazioni nella fase A (ottobre – novembre 2005).

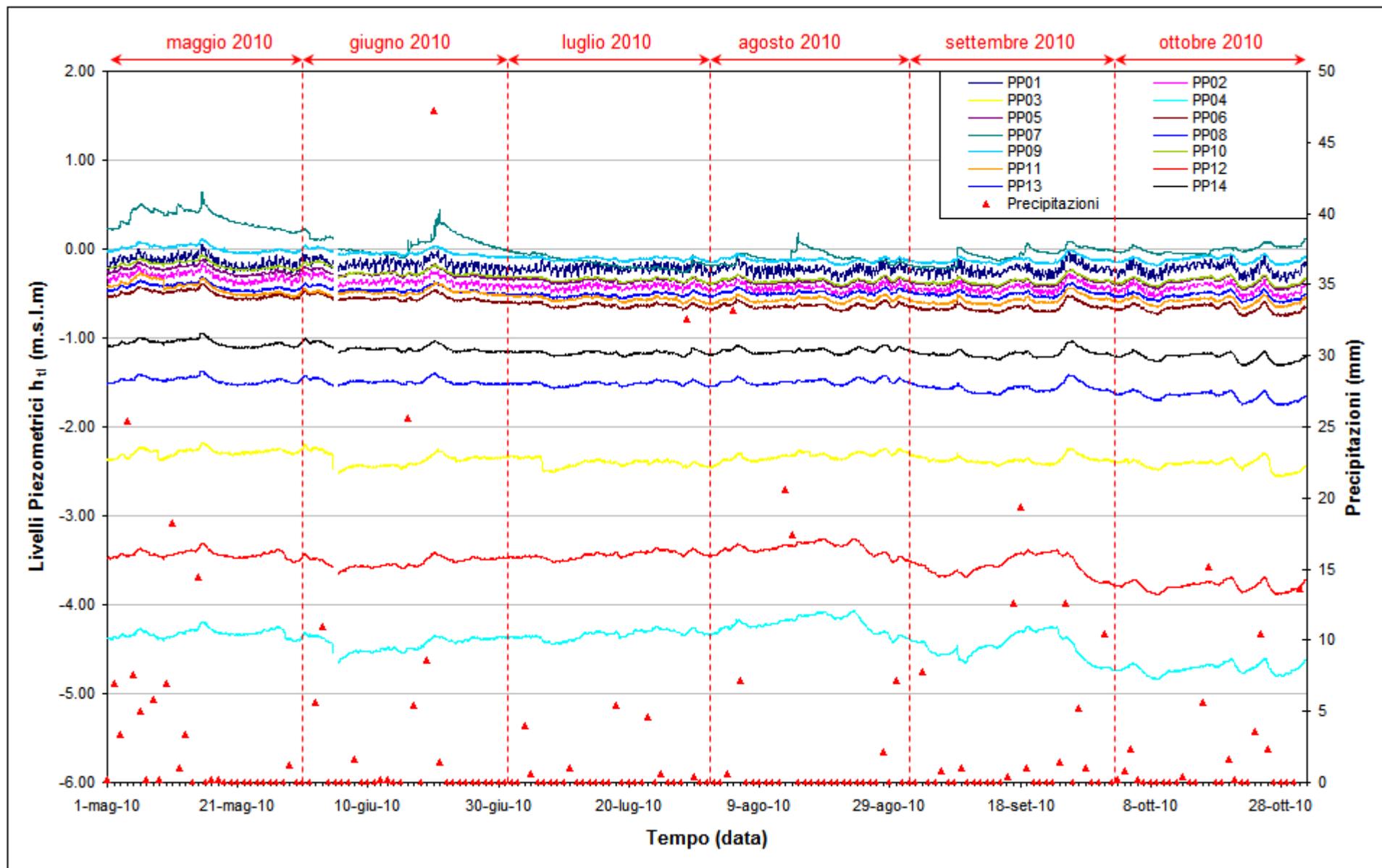
Nelle Fig.2.36-2.37 è rappresentato l'andamento complessivo dei 14 piezometri profondi e delle precipitazioni durante il periodo di monitoraggio, mentre nelle Figg. 2.38 - 2.65 sono rappresentati singolarmente i livelli assoluti di ciascun piezometro, associati alle relative soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo ed alle forzanti naturali (precipitazioni e oscillazioni mareali). Nelle Figg. 2.66 - 2.67 è rappresentato l'andamento complessivo dei livelli nei piezometri profondi mediati su un periodo di 24 ore, confrontati con la soglia di Basso Livello Medio.

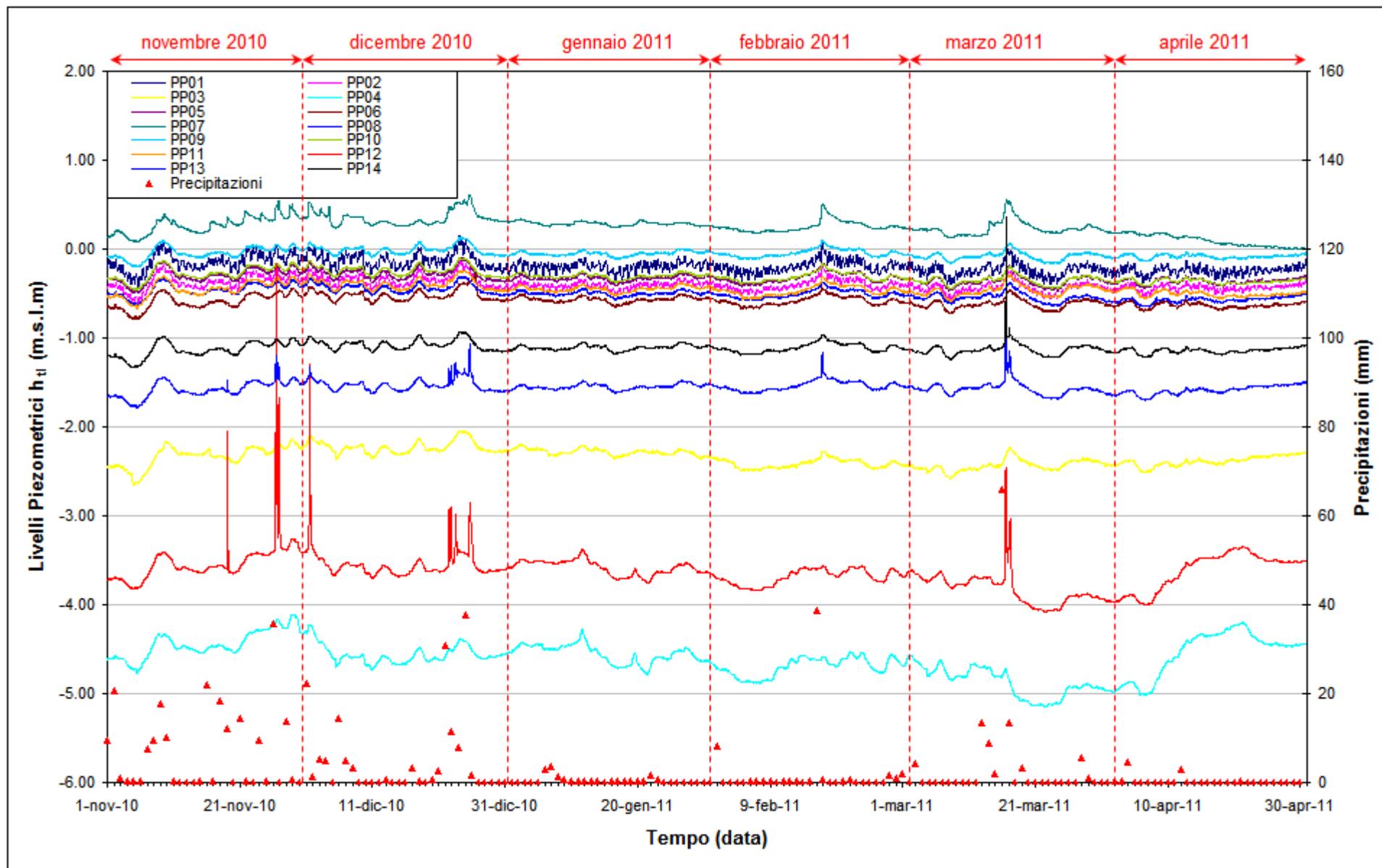
Tra l'inizio e la fine dell'anno di monitoraggio (01/05/10 – 30/04/11) non si sono verificate variazioni apprezzabili del carico idraulico nei piezometri profondi, ad eccezione del piezometro PP07 nel quale si è verificato un abbassamento di circa 25 cm.

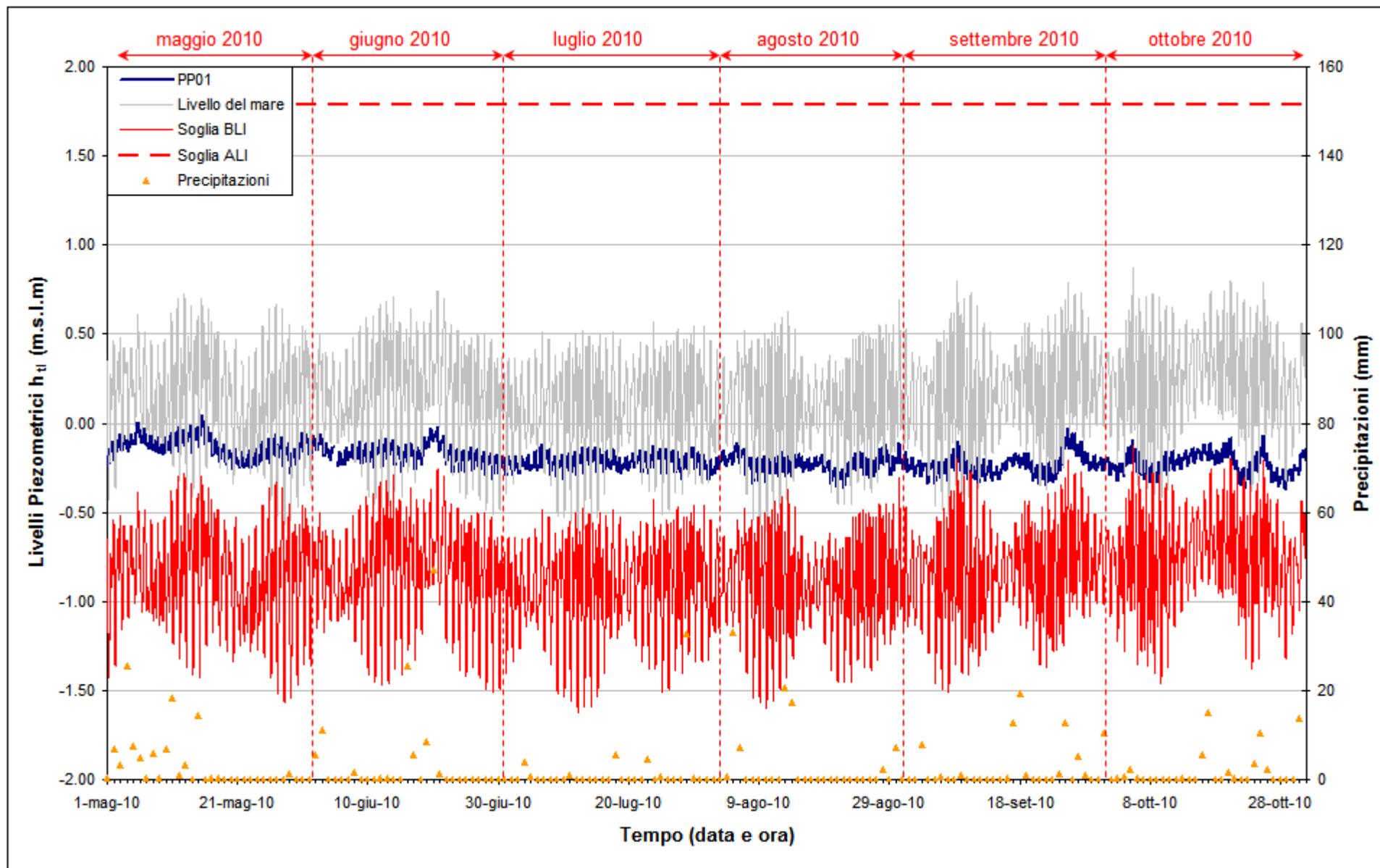
I livelli del piezometro PP04, il più vicino alla tura, oscillano in un range di circa 100 cm di ampiezza.

I dati delle portate di pompaggio all'interno della tura non sono stati resi disponibili dalla Direzione Lavori.

Fig. 2.35 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi ai piezometri profondi nella fase A (ottobre - novembre 2005).

Fig. 2.36 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi ai piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

Fig. 2.37 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi ai piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

Fig. 2.38 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

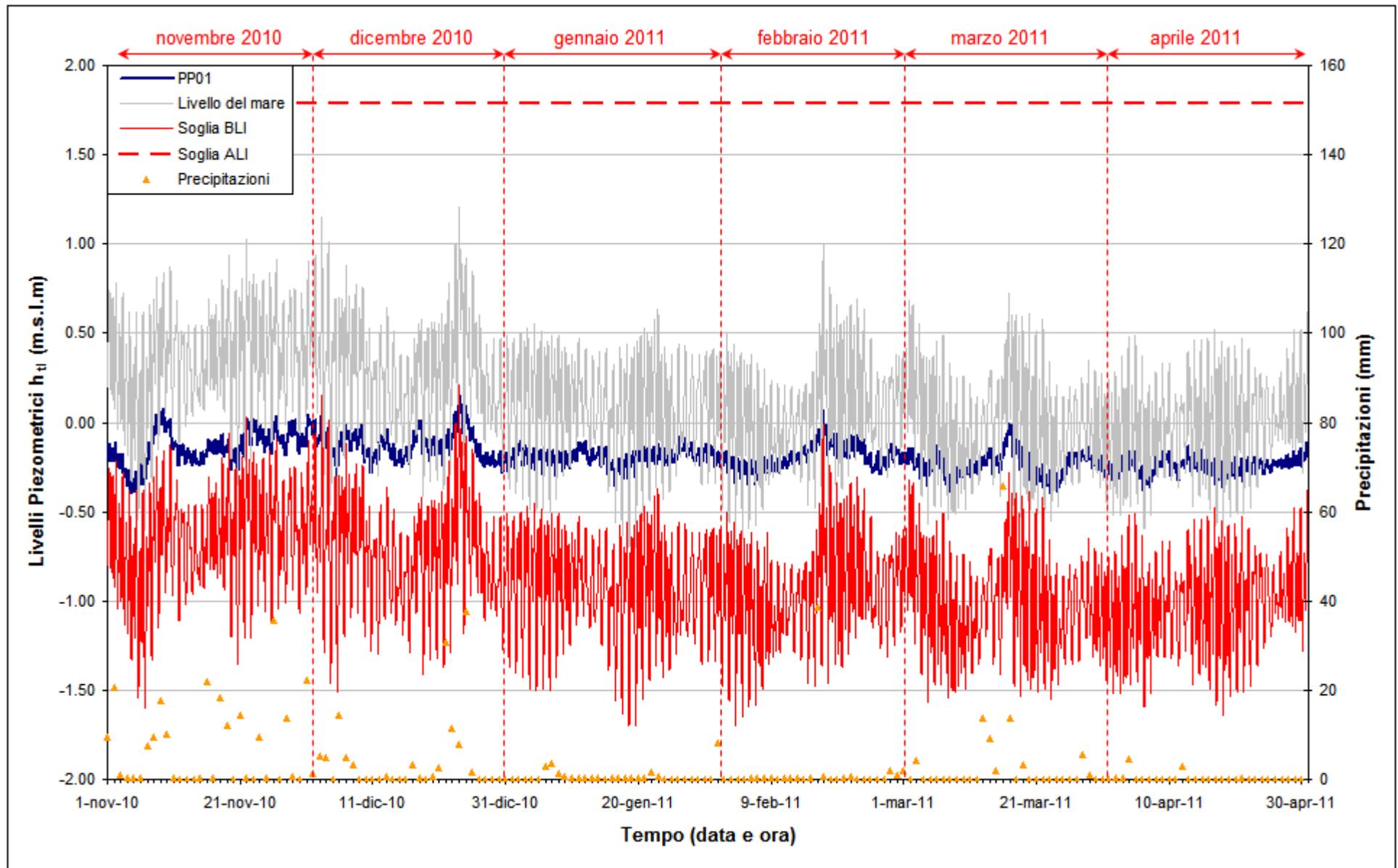


Fig. 2.39 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

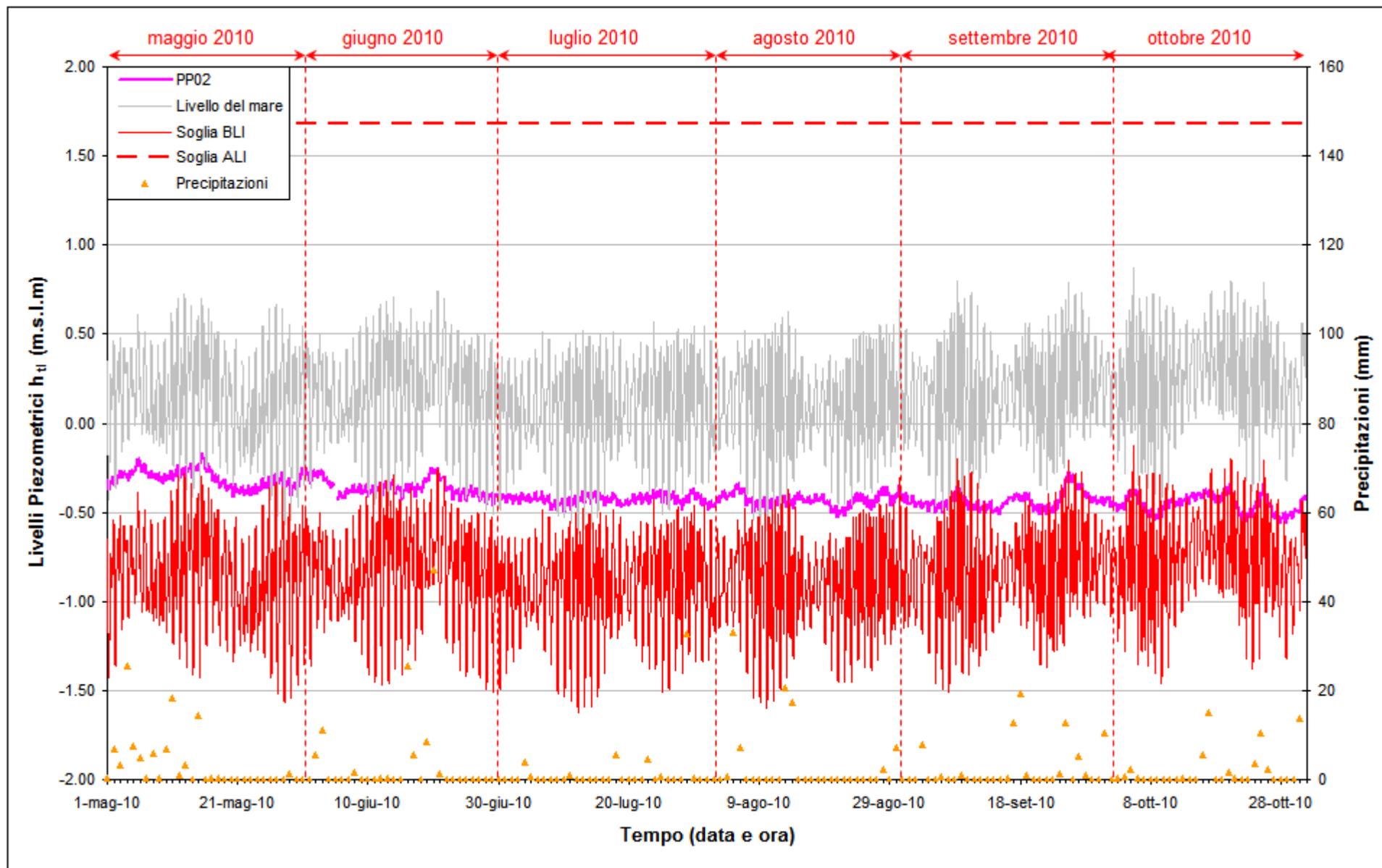


Fig. 2.40 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP02 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

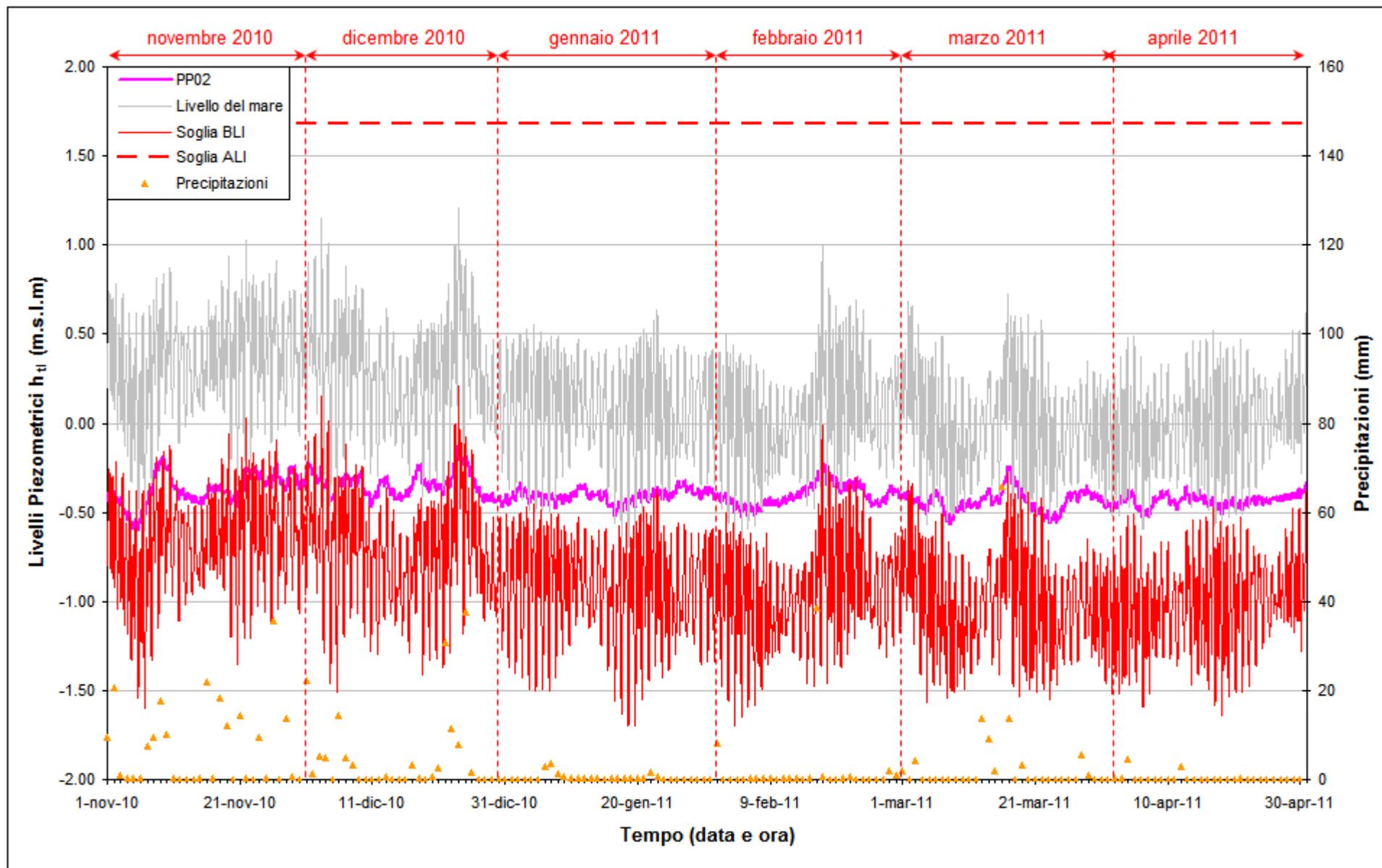


Fig. 2.41 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP02 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

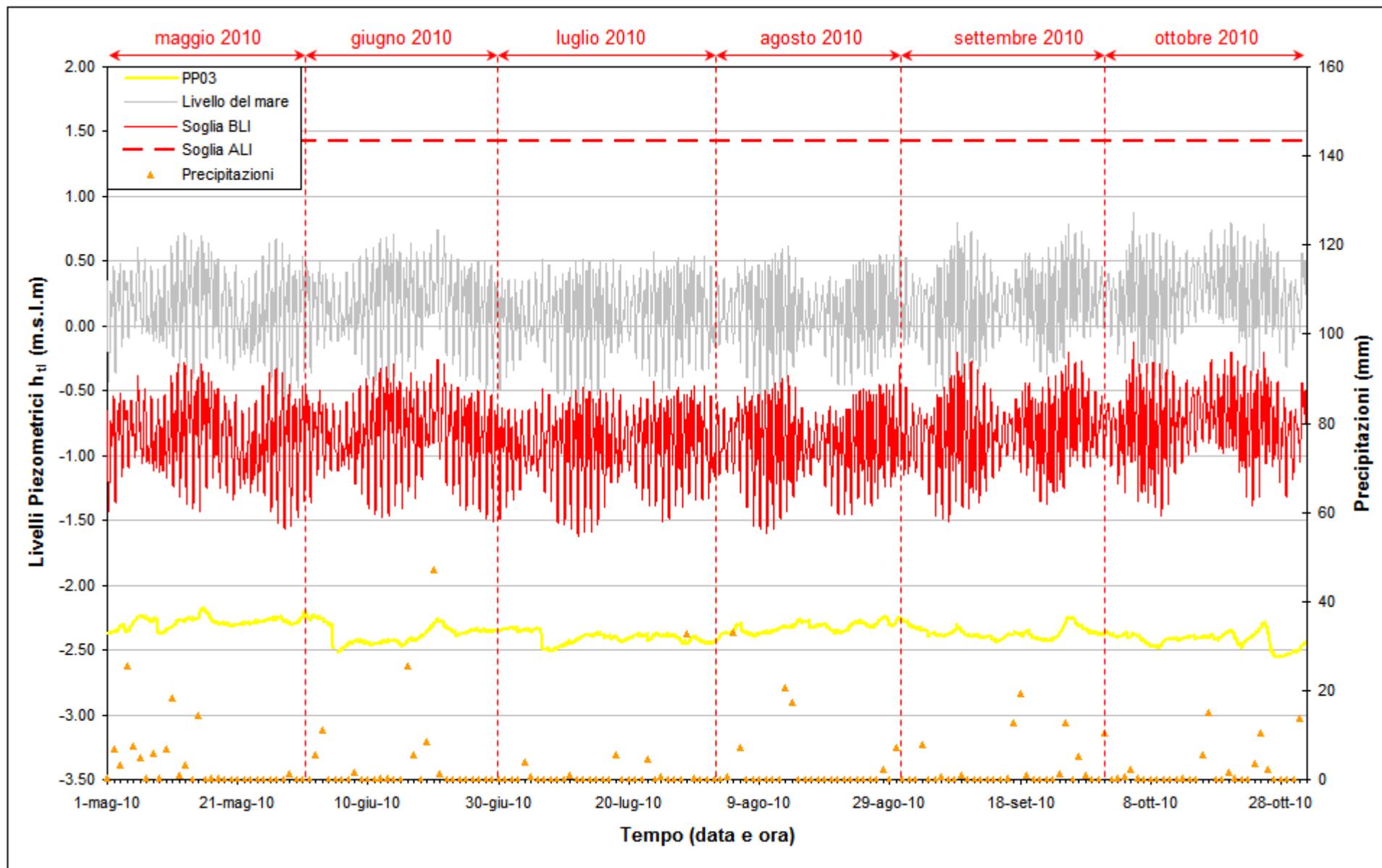


Fig. 2.42 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP03 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2011.

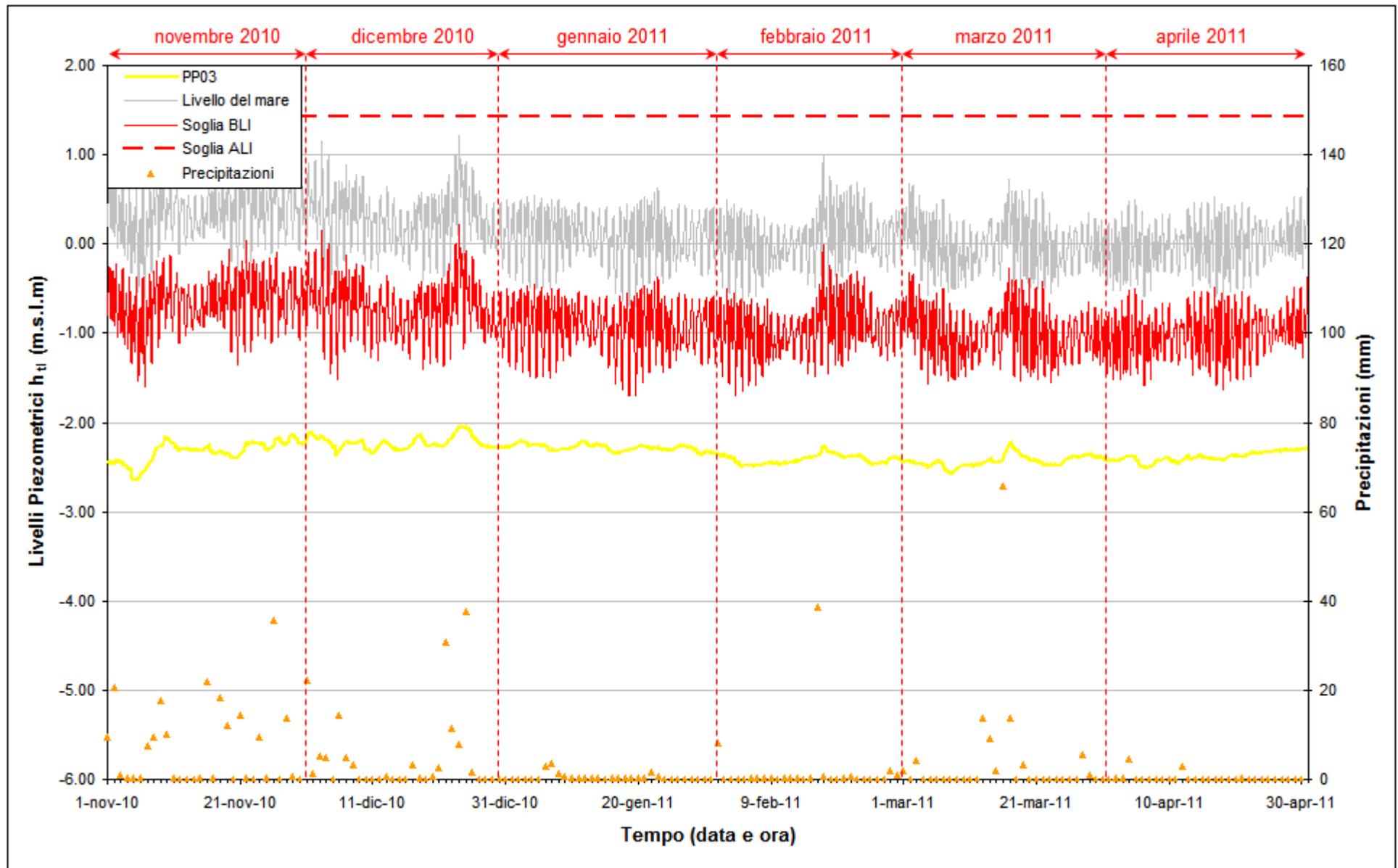


Fig. 2.43 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo PP03 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

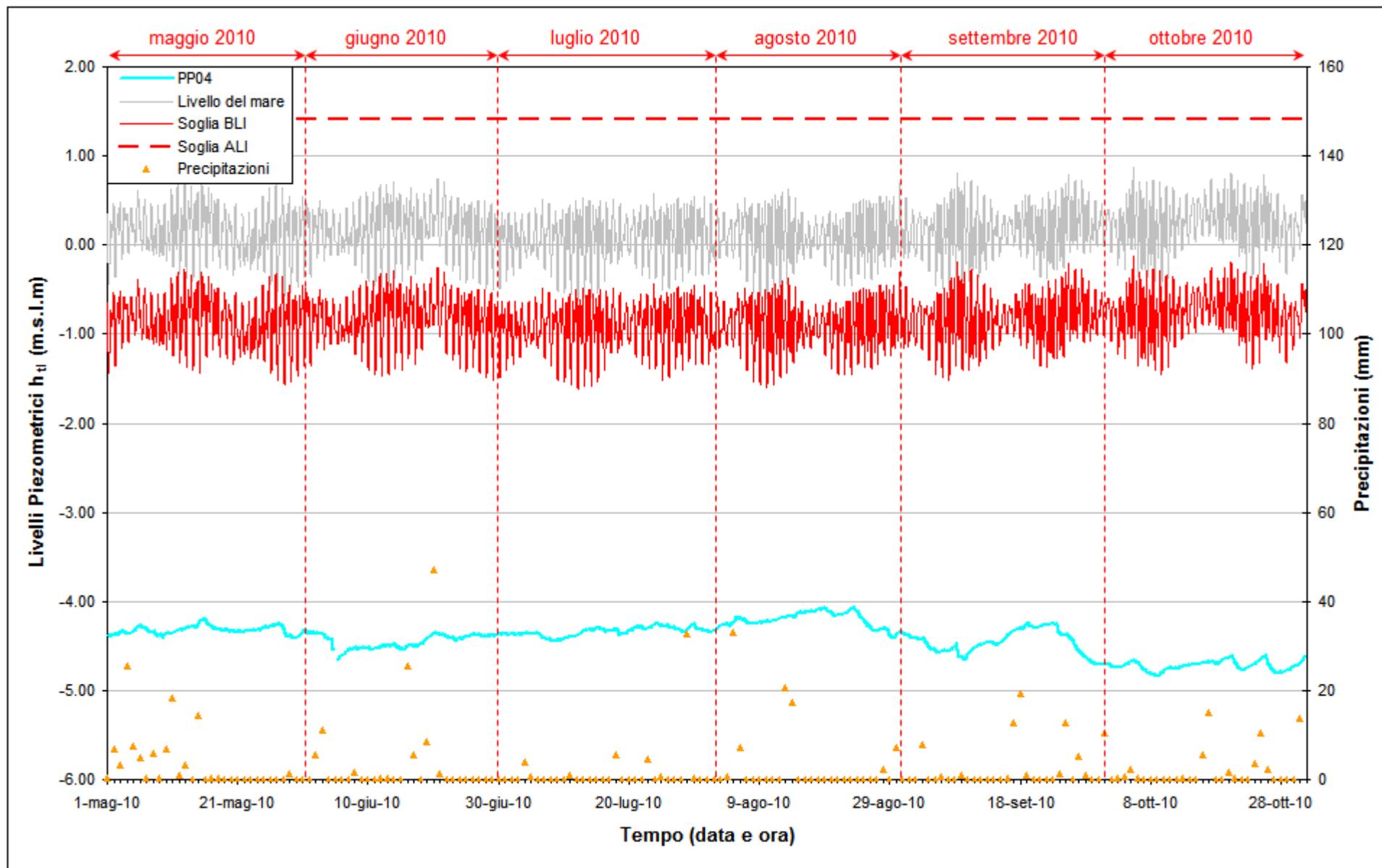


Fig. 2.44 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP04 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

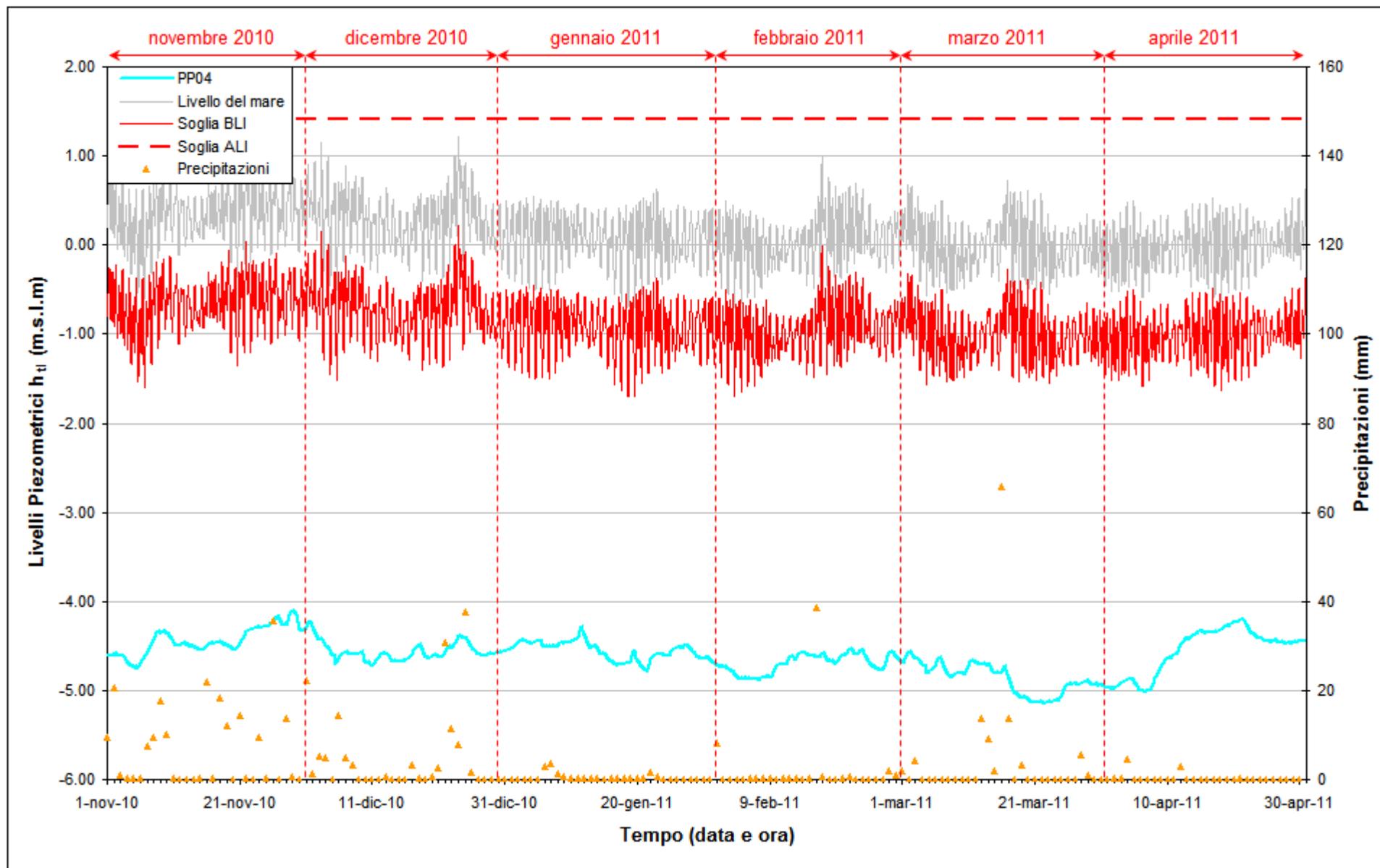


Fig. 2.45 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo PP04 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

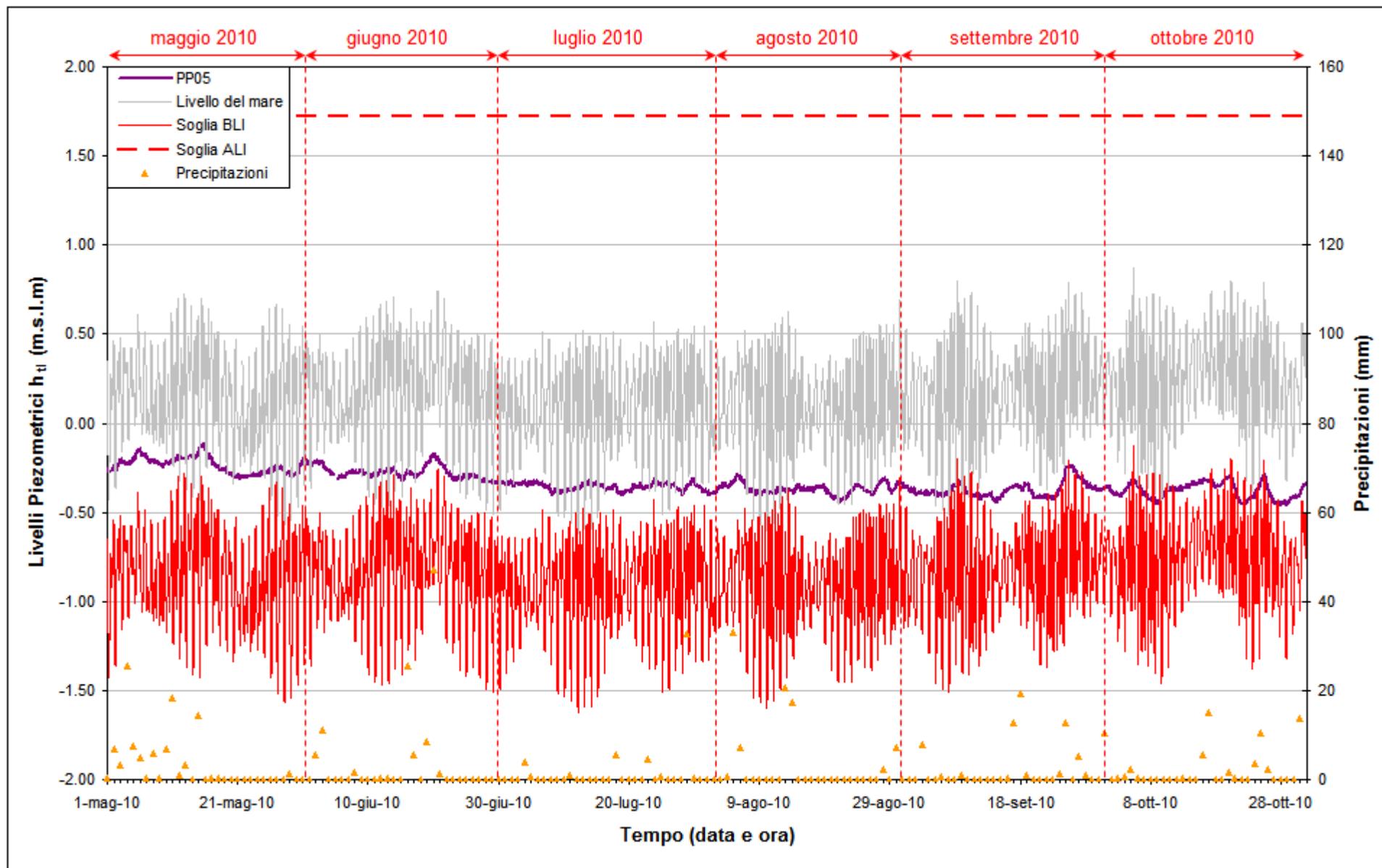


Fig. 2.46 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP05 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

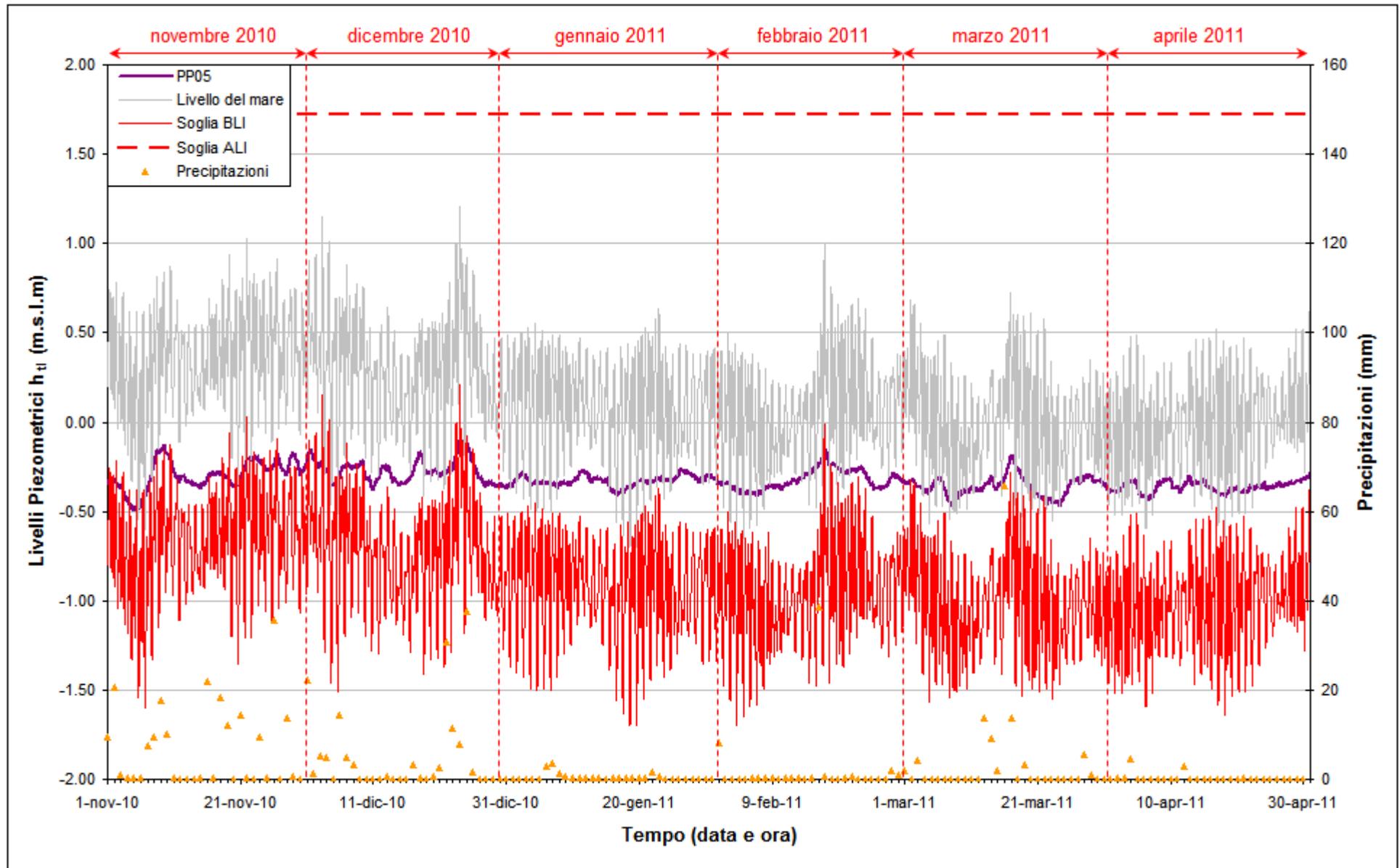
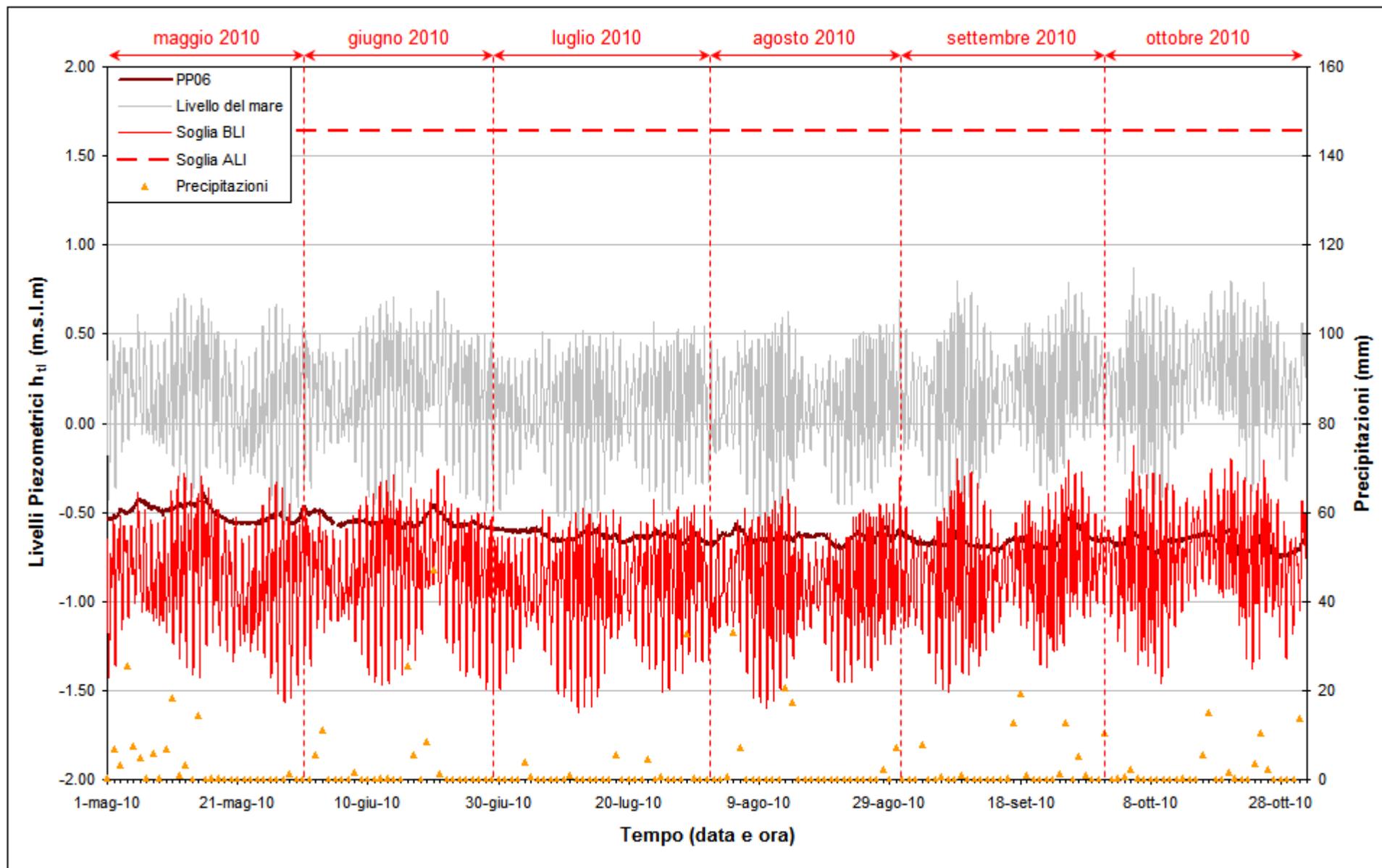


Fig. 2.47 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP05 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

Fig. 2.48 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP06 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

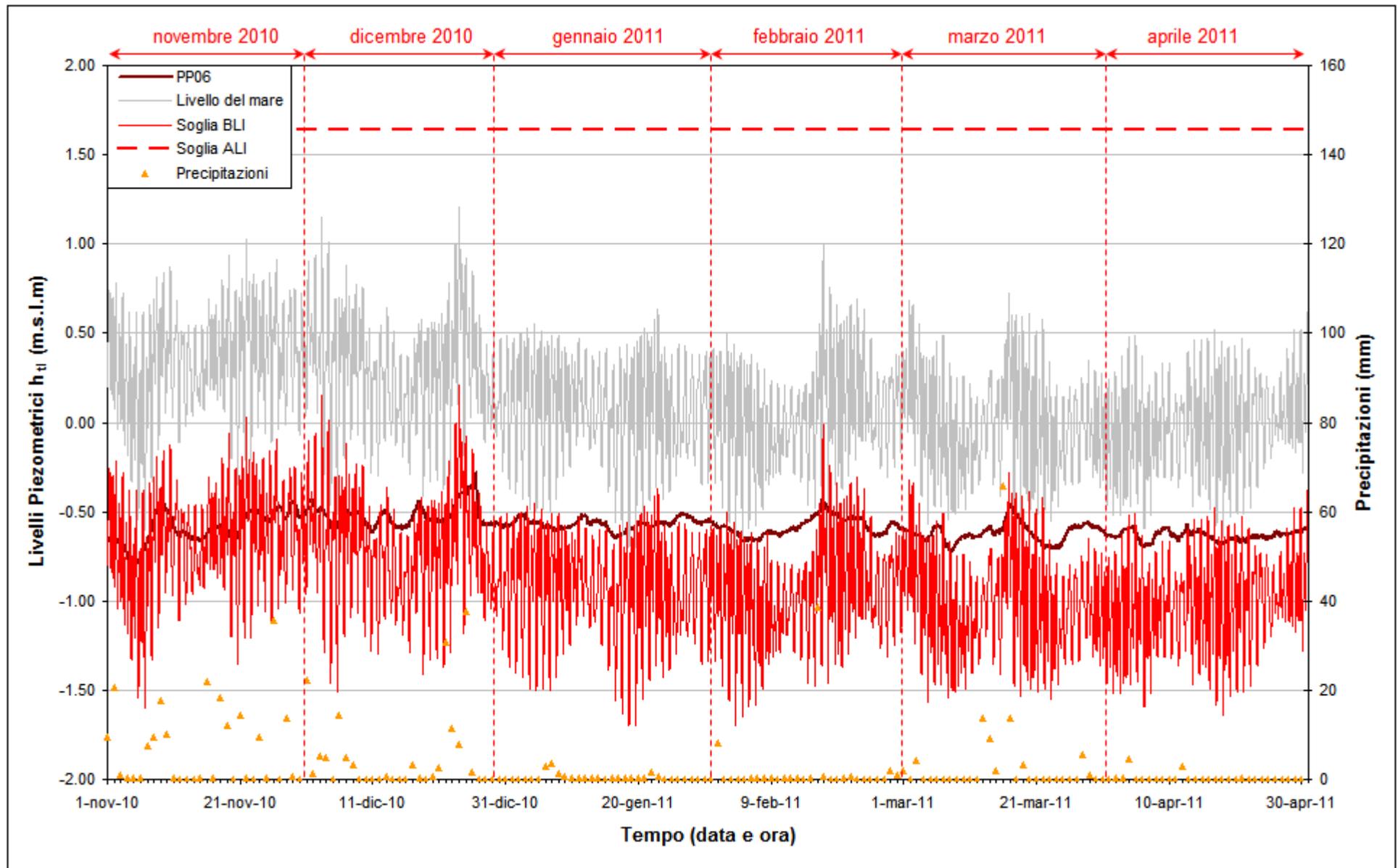


Fig. 2.49 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP06 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

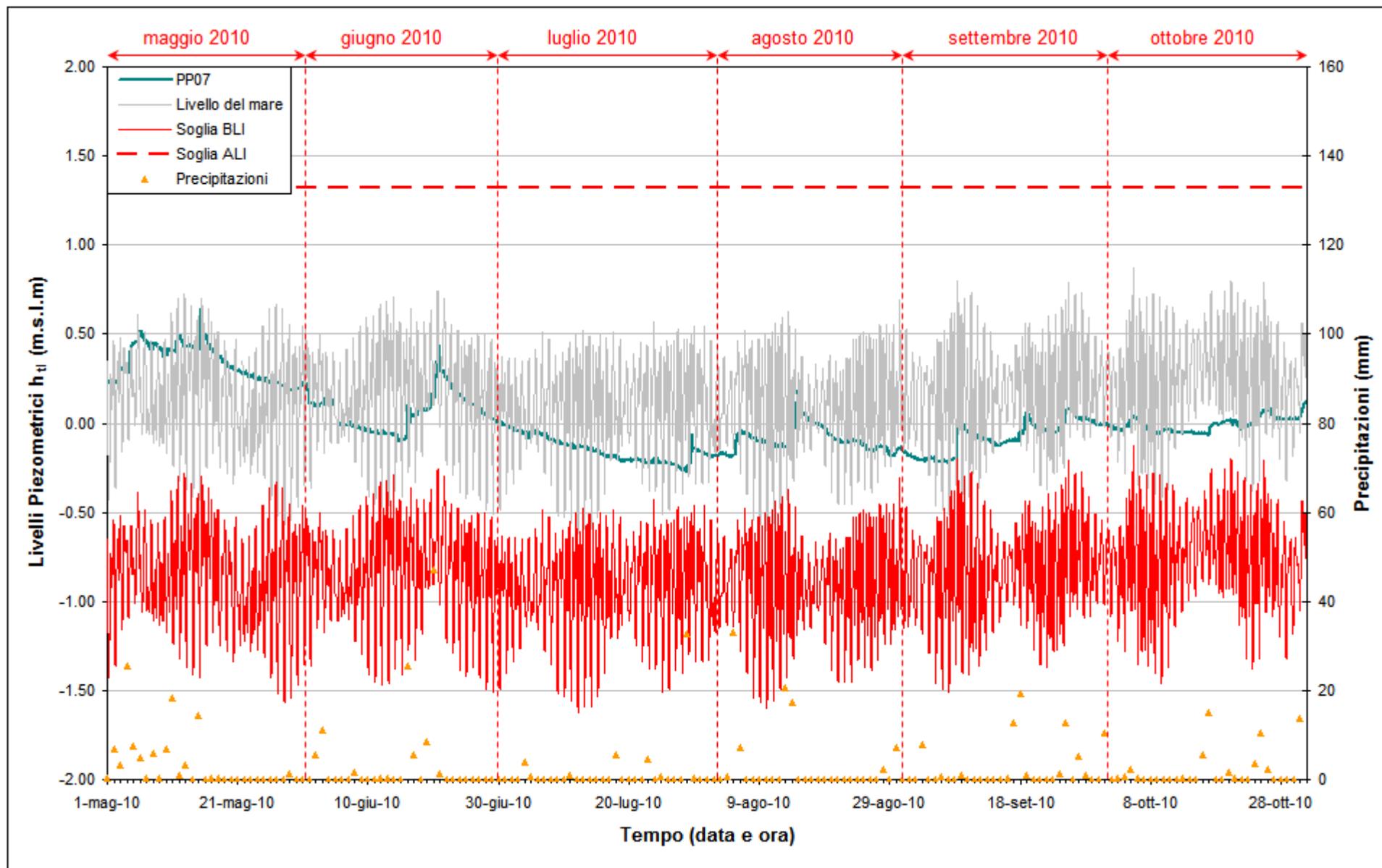


Fig. 2.50 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP07 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

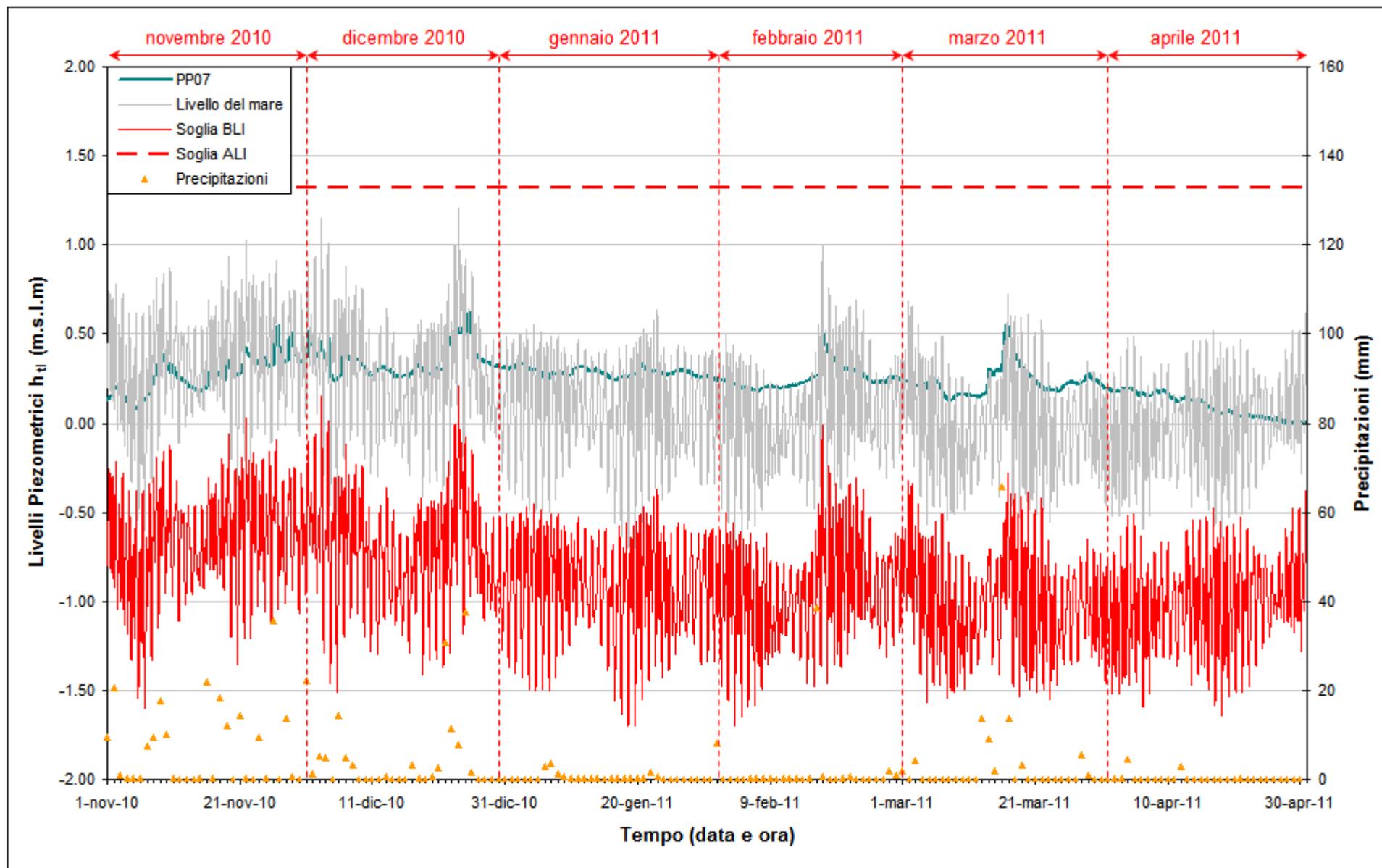


Fig. 2.51 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP07 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

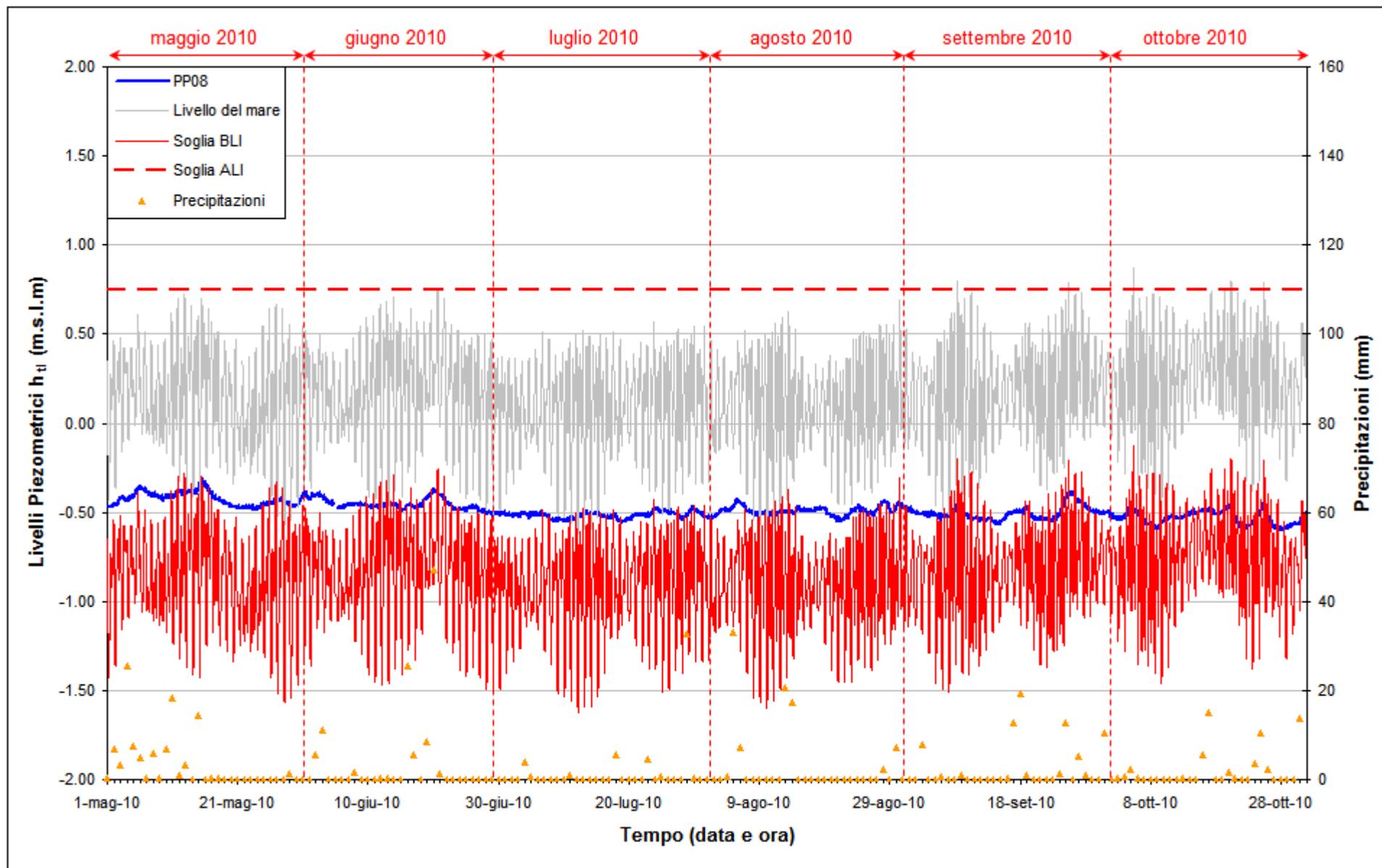


Fig. 2.52 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP08 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

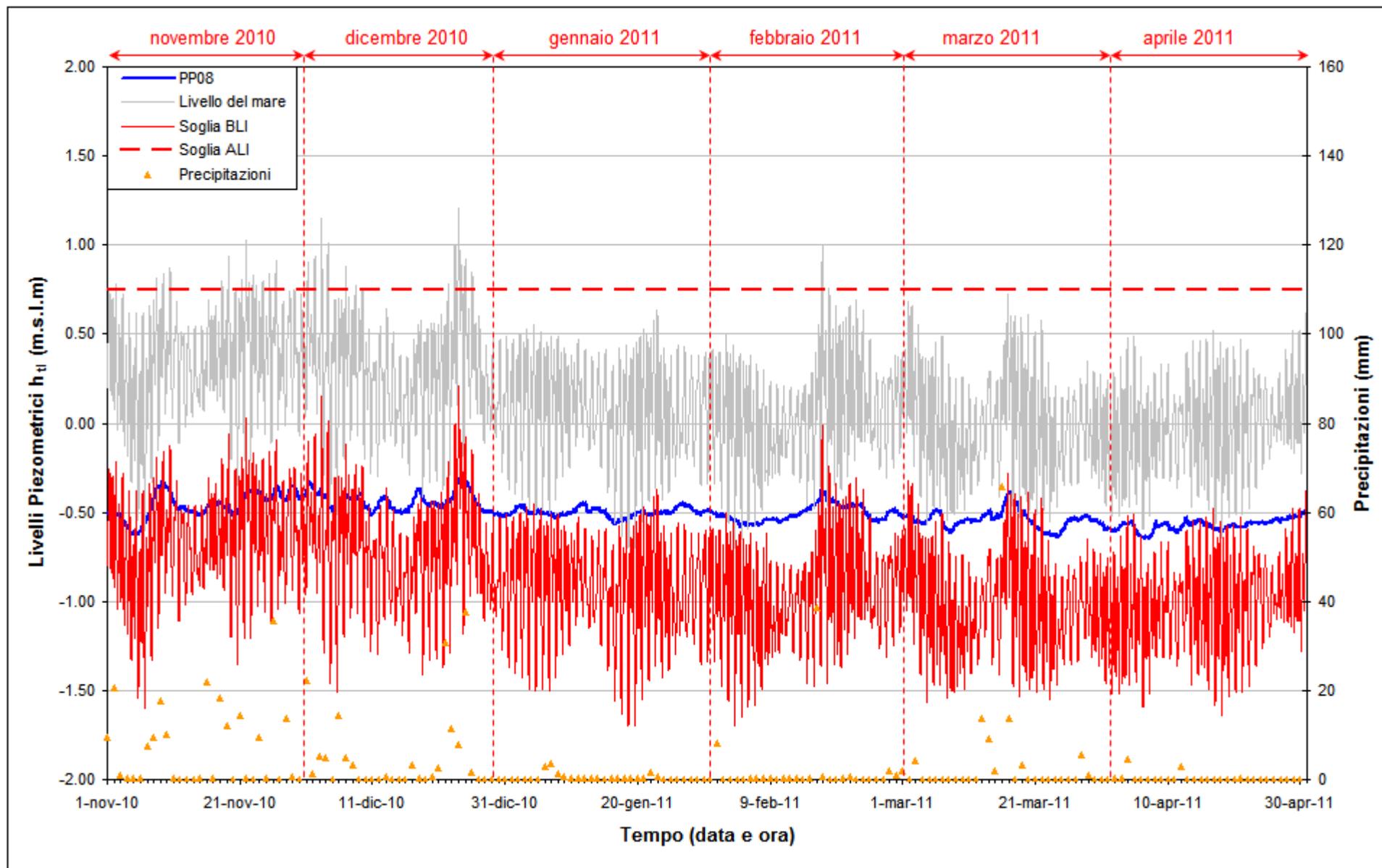


Fig. 2.53 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP08 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

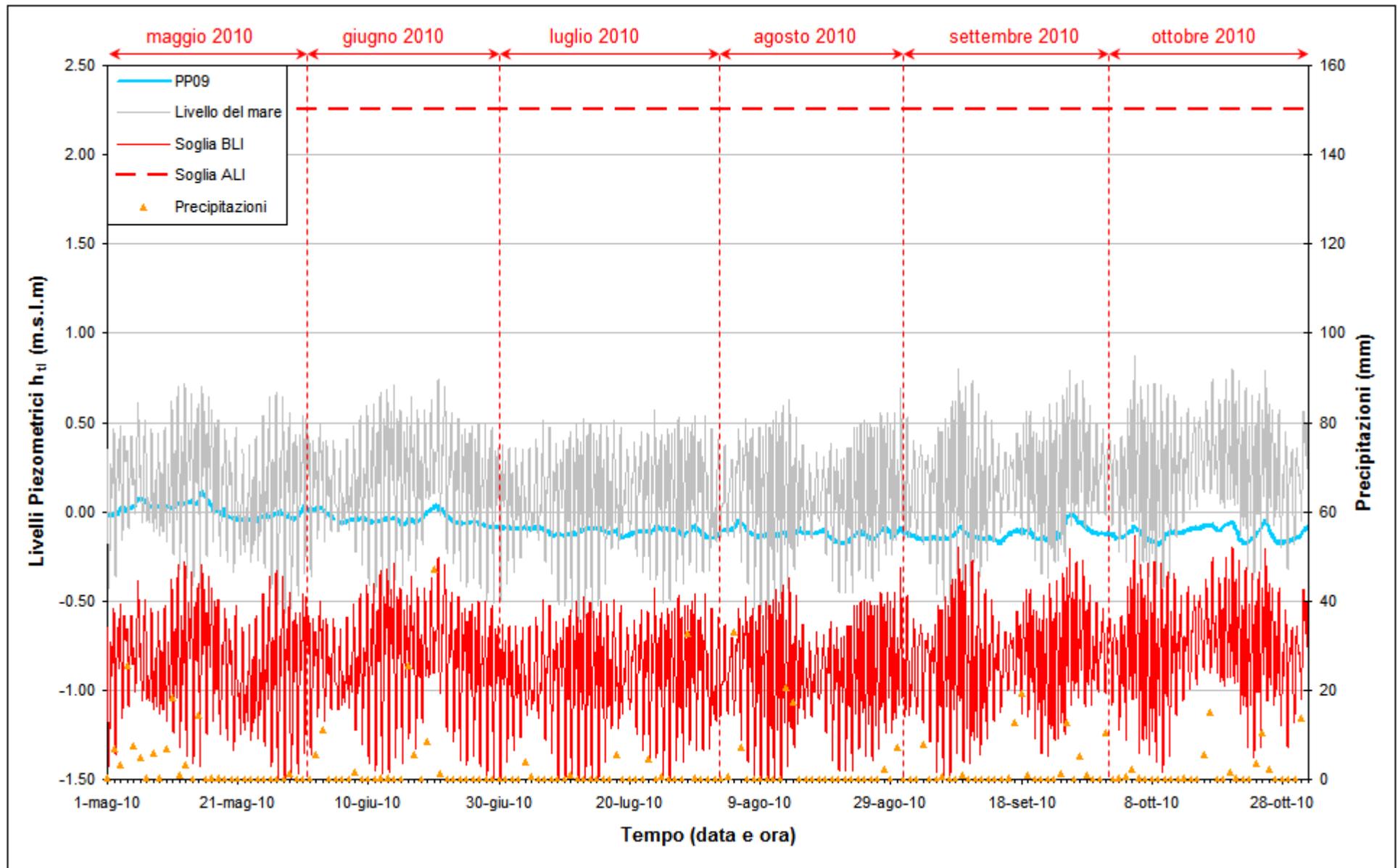


Fig. 2.54 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo PP09 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

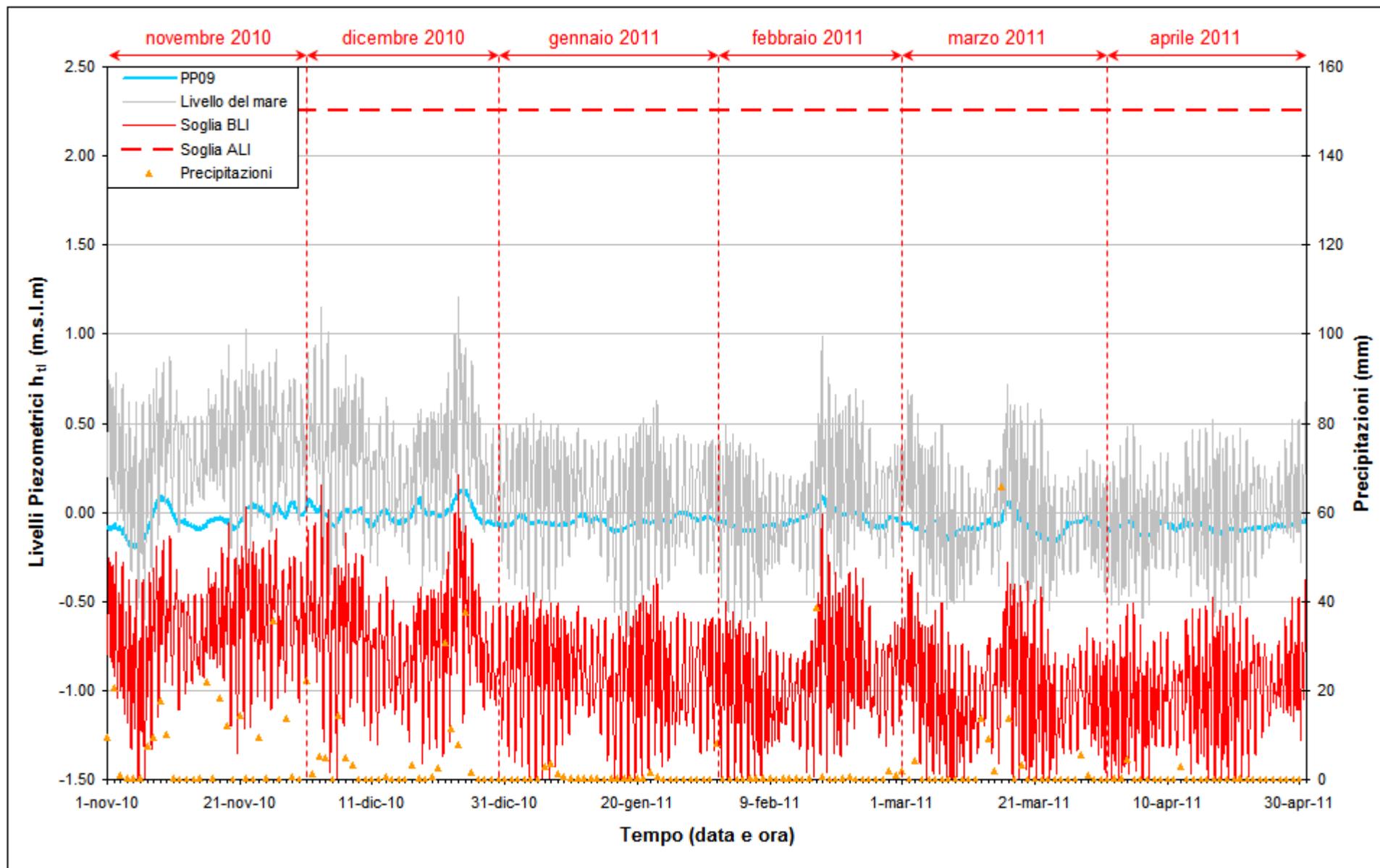


Fig. 2.55 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP09 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

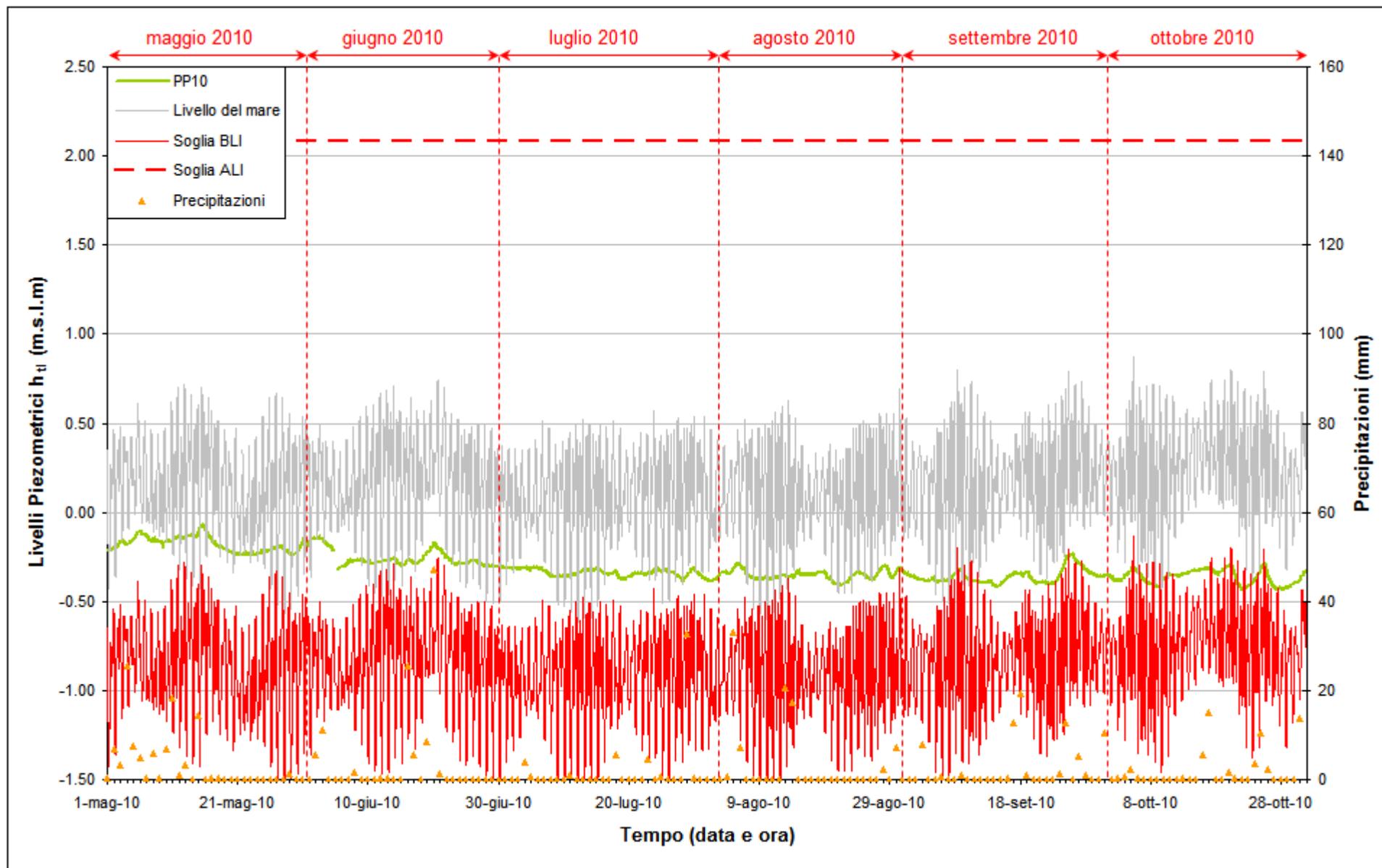


Fig. 2.56 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo PP10 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

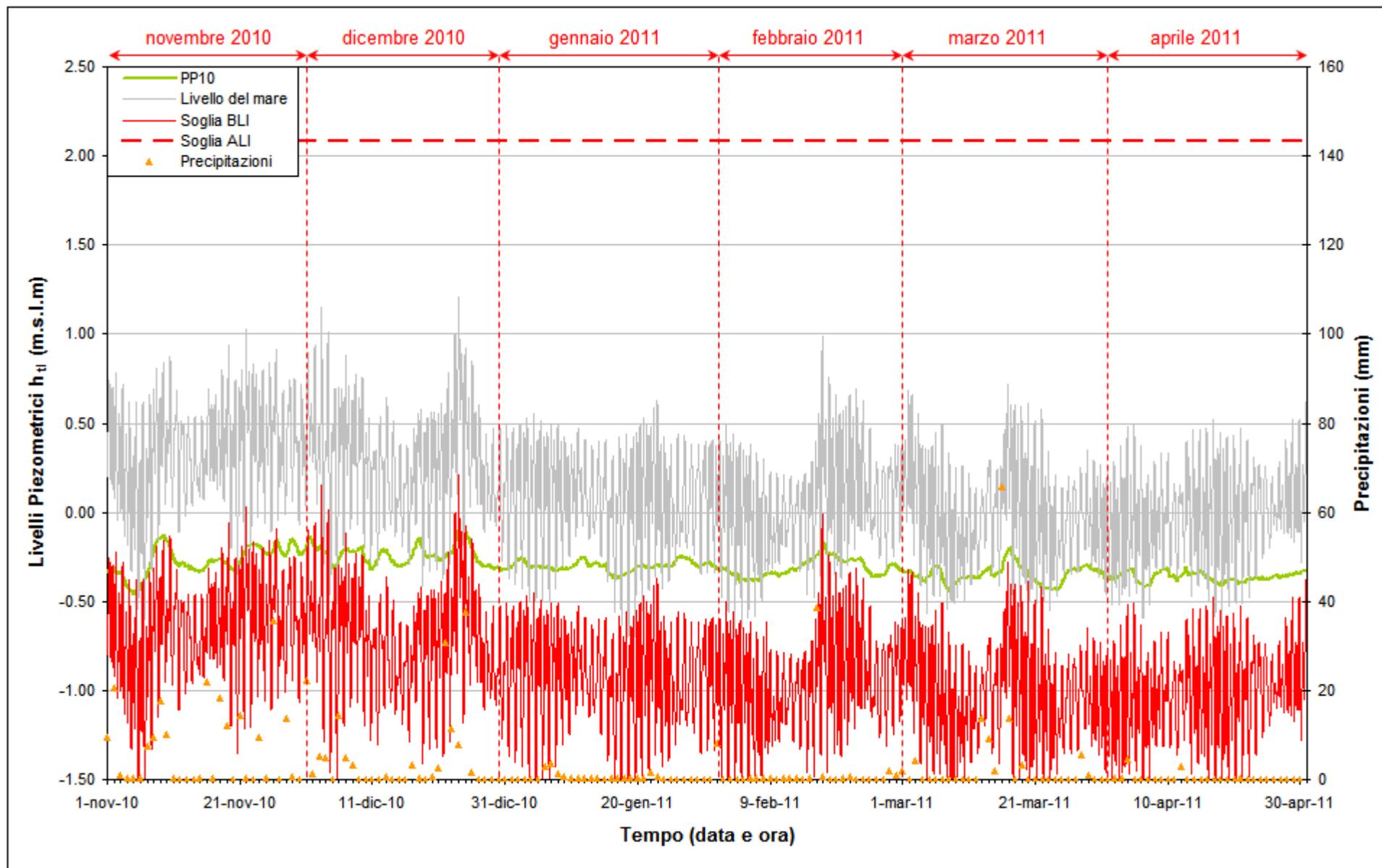


Fig. 2.57 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP10 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

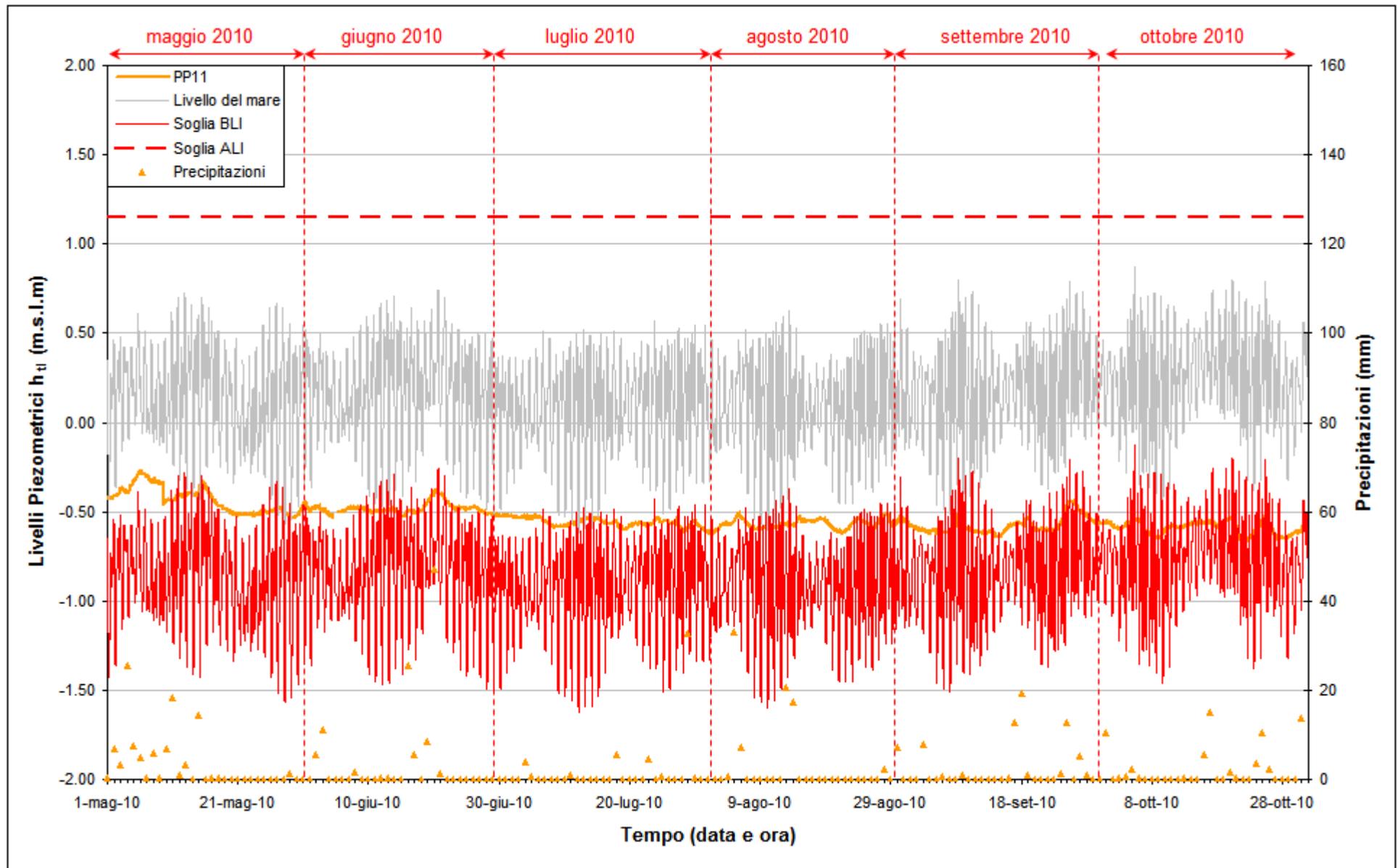


Fig. 2.58 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP11 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

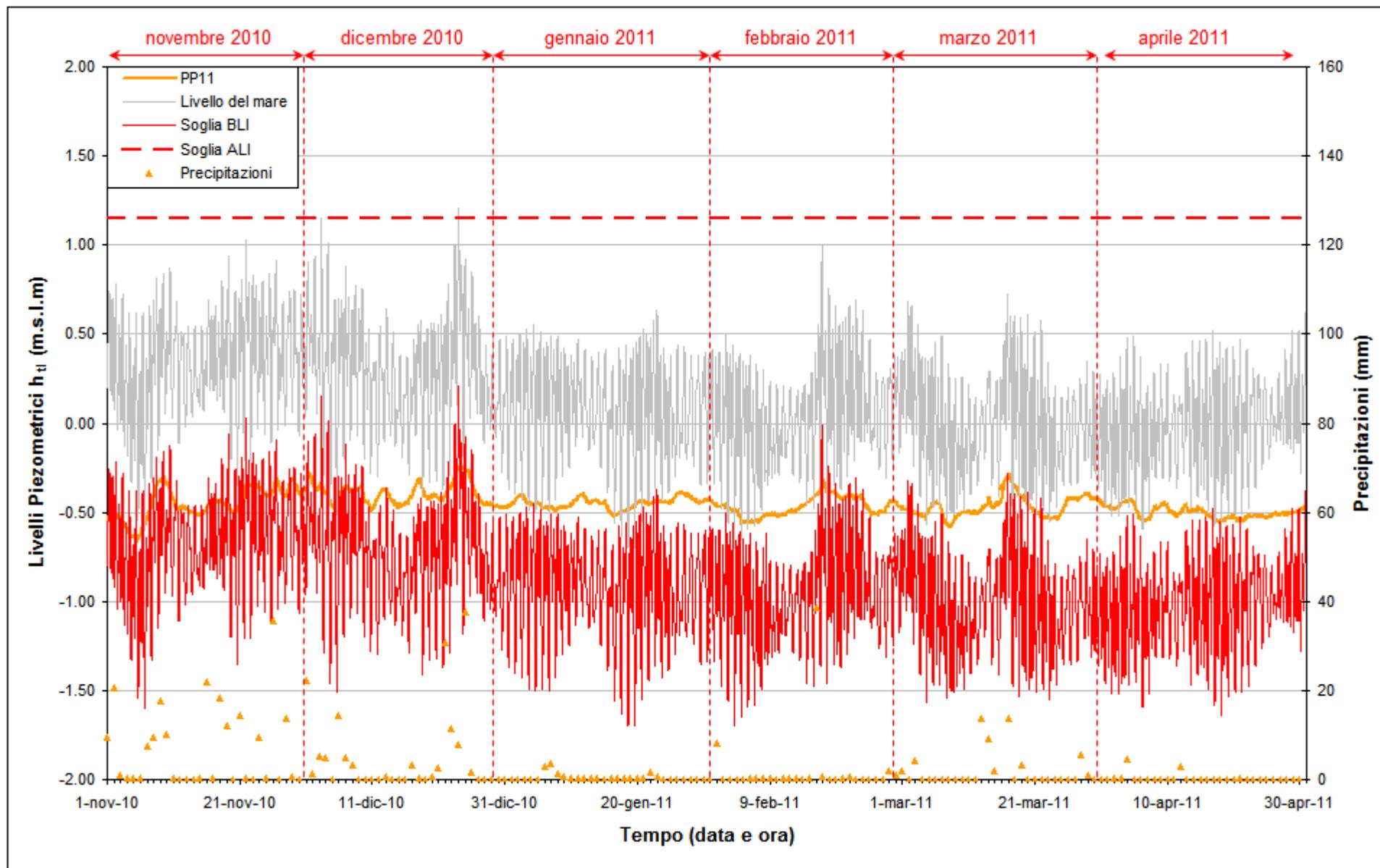


Fig. 2.59 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP11 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

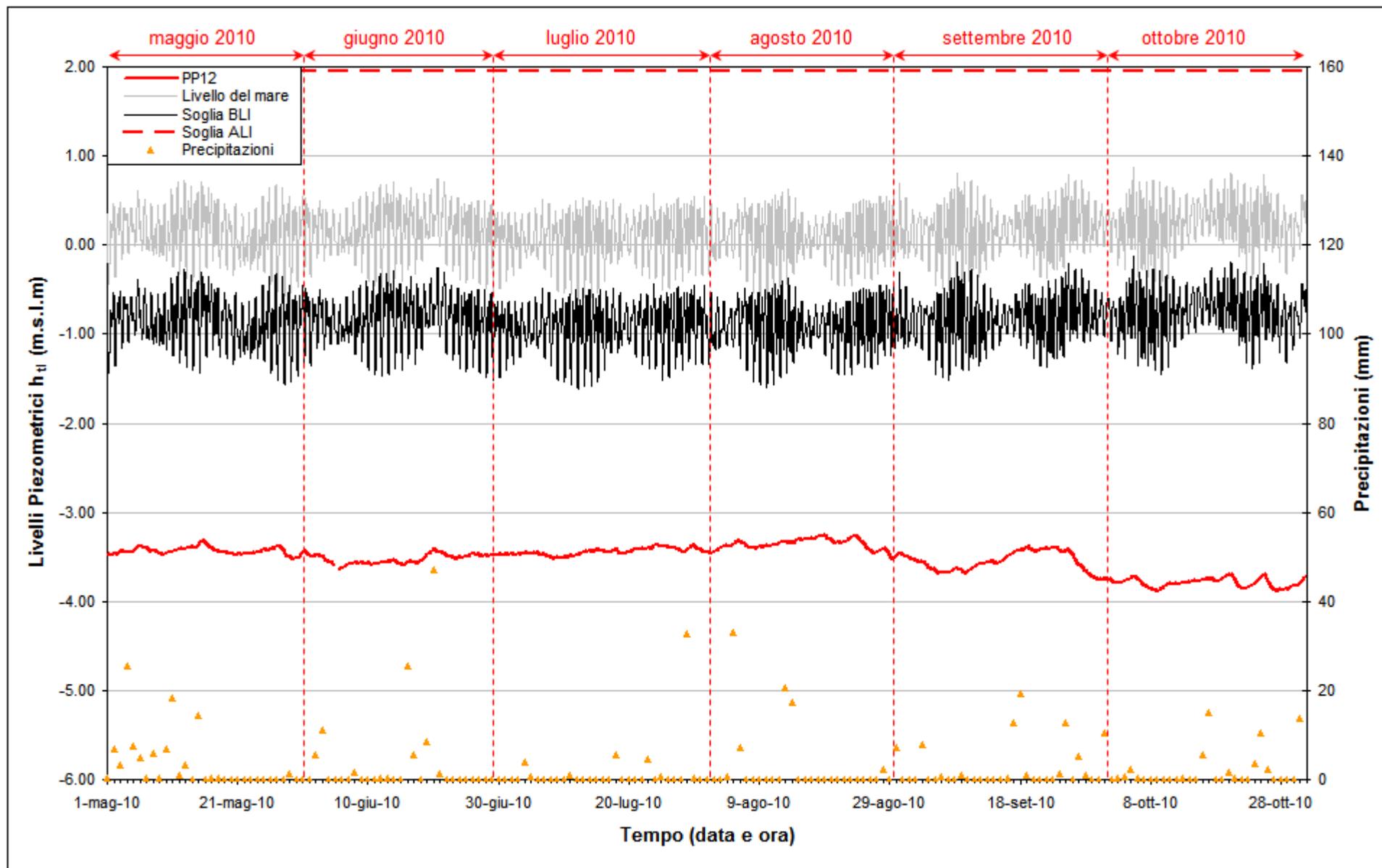


Fig. 2.60 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP12 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

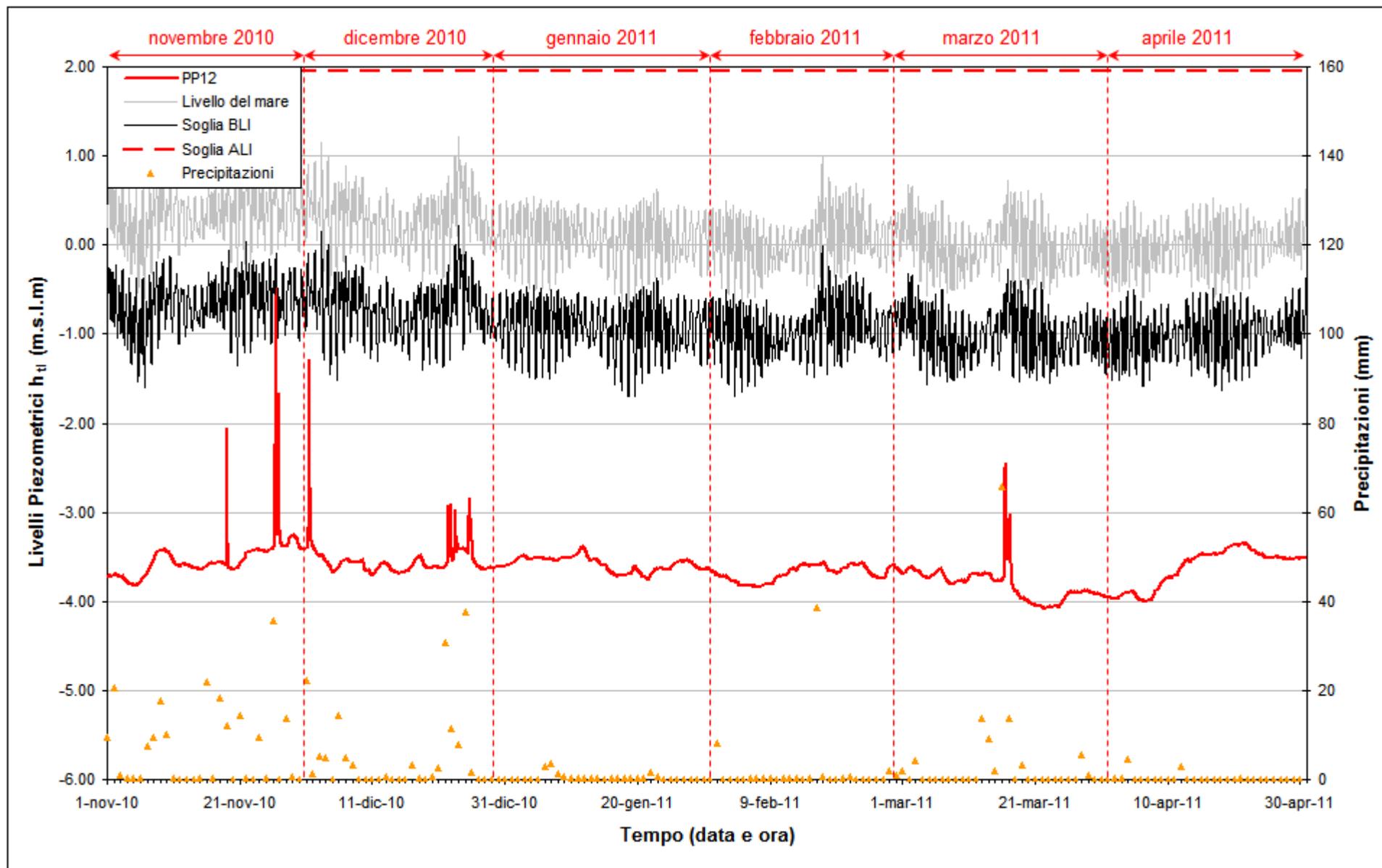


Fig. 2.61 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo PP12 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

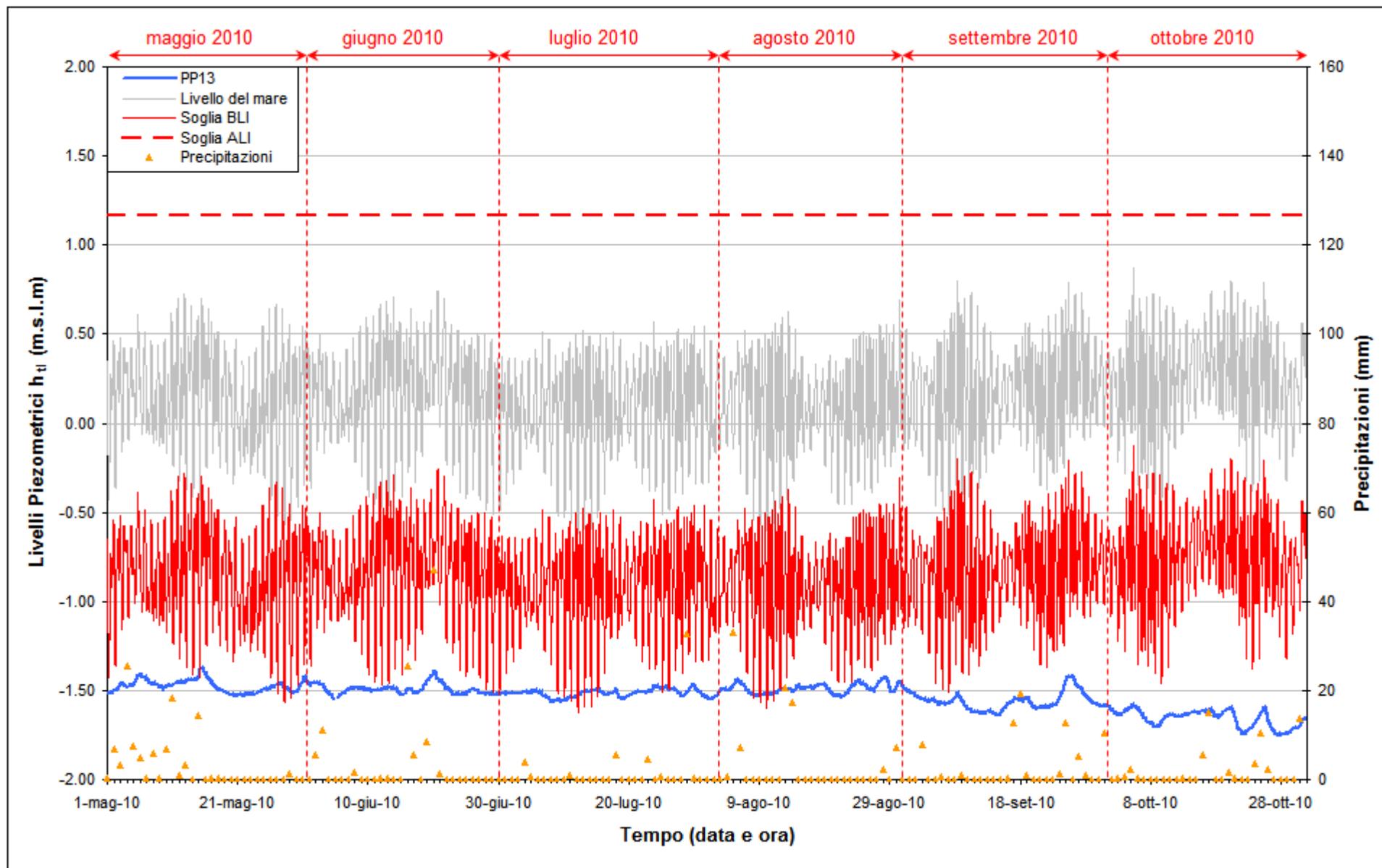


Fig. 2.62 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP13 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

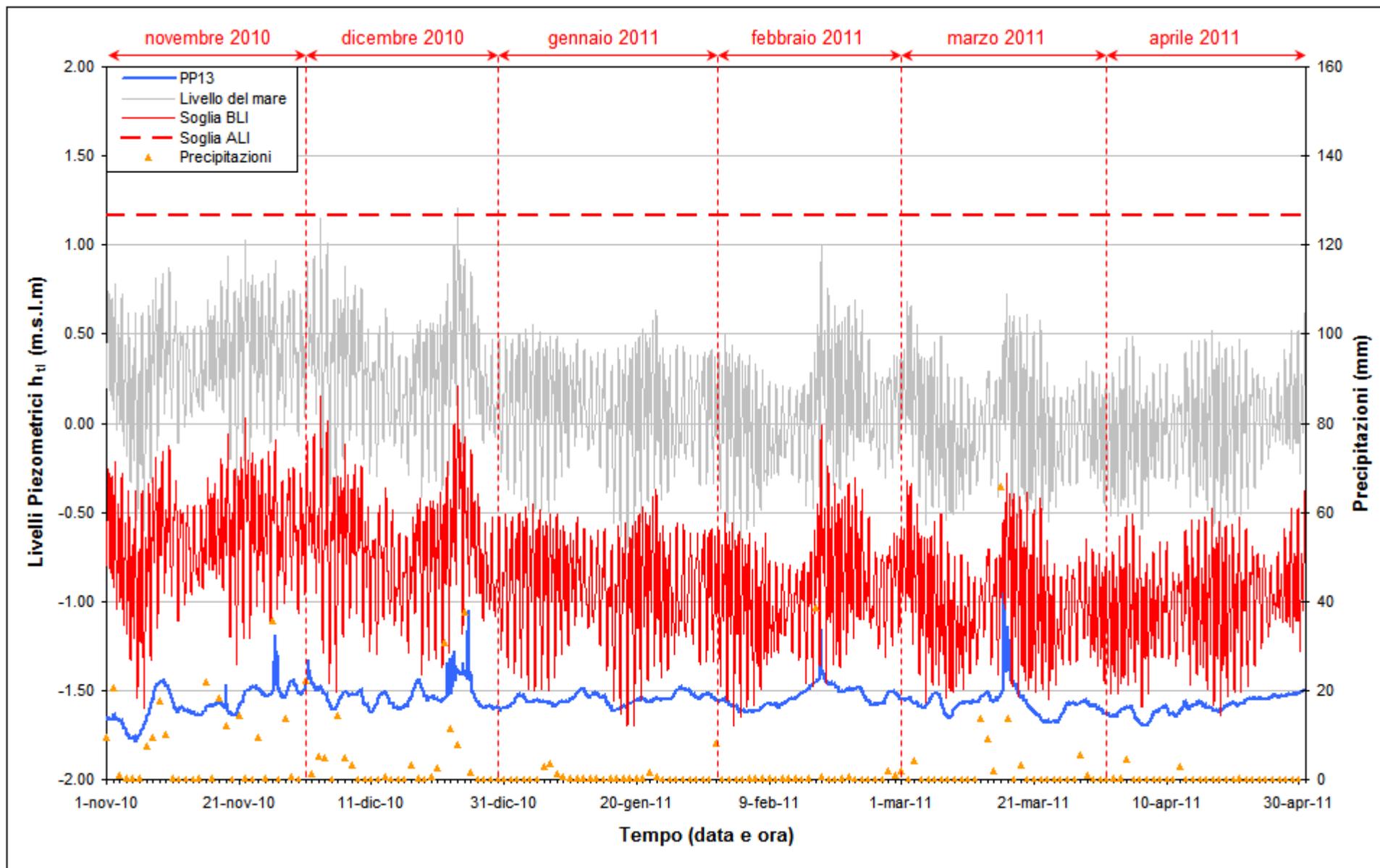


Fig. 2.63 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo PP13 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

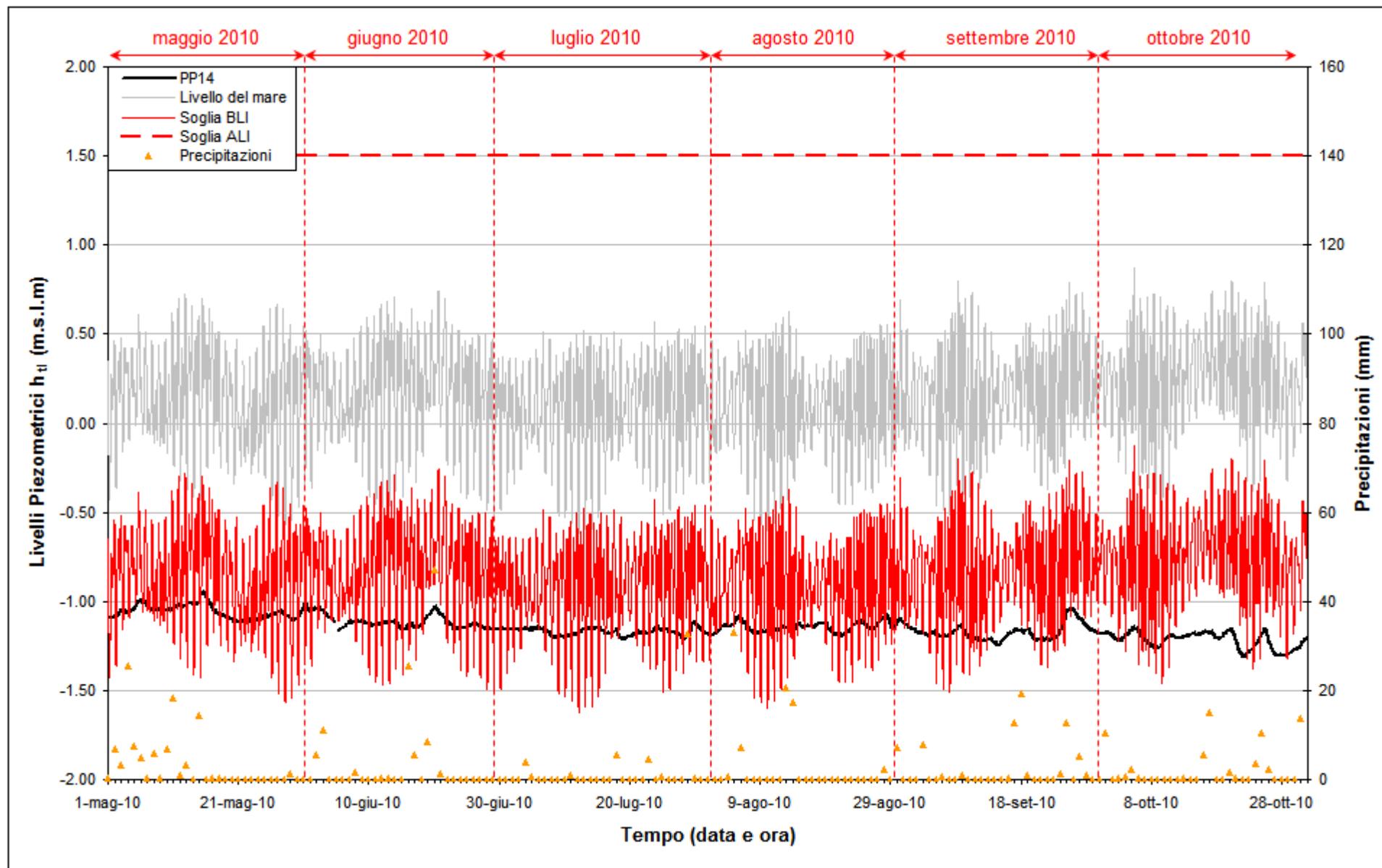


Fig. 2.64 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo PP14 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

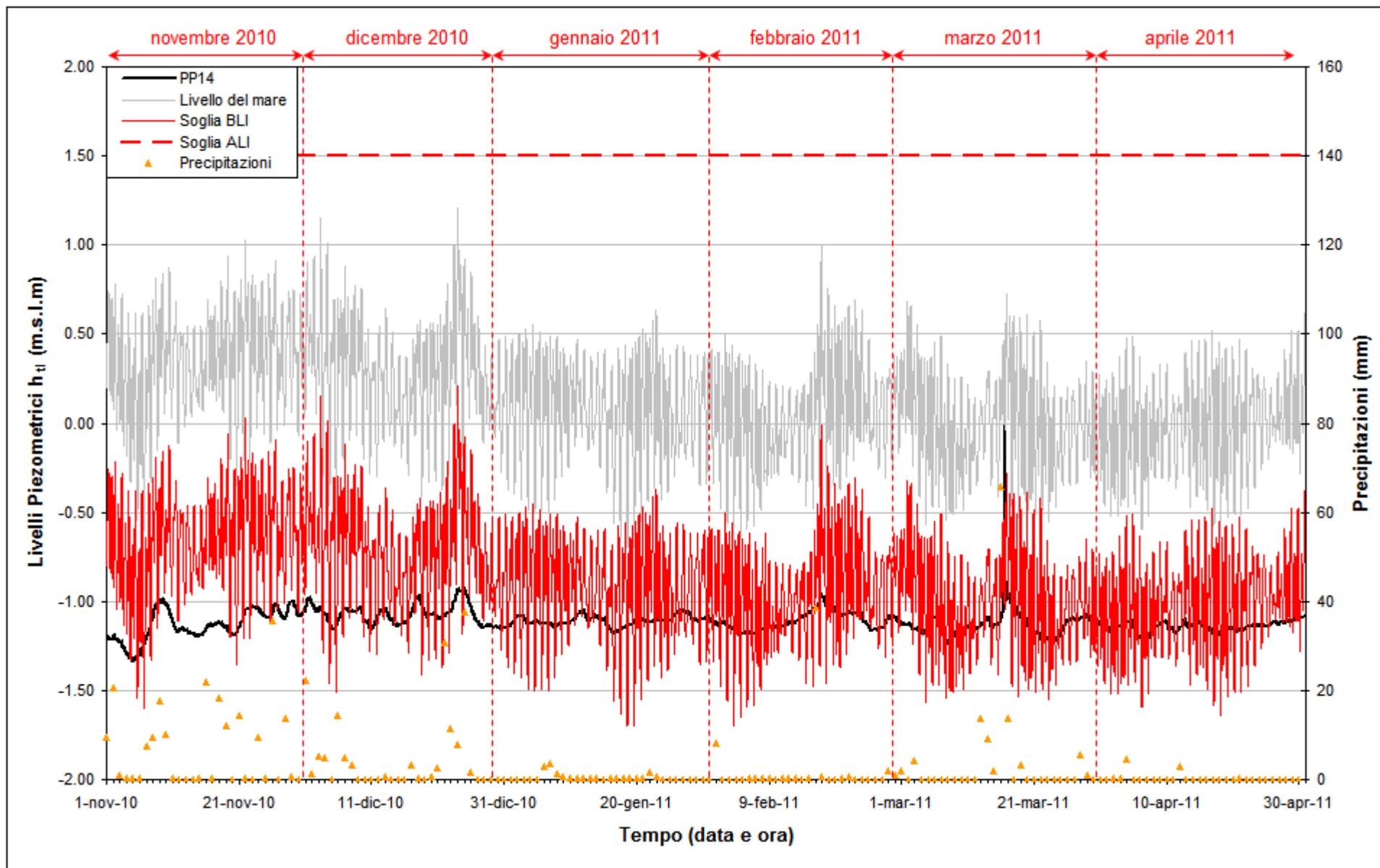


Fig. 2.65 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo PP14 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

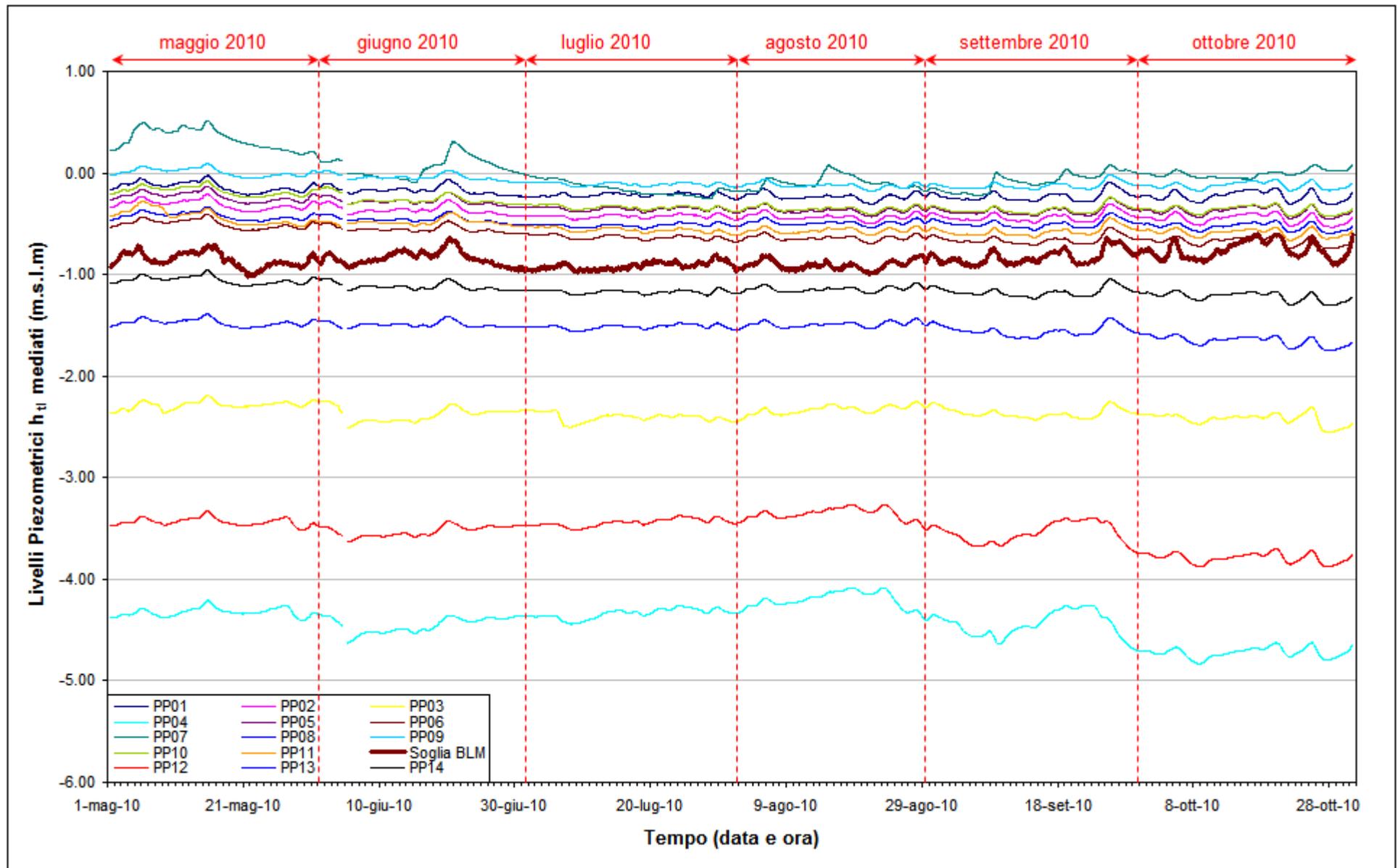


Fig. 2.66 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

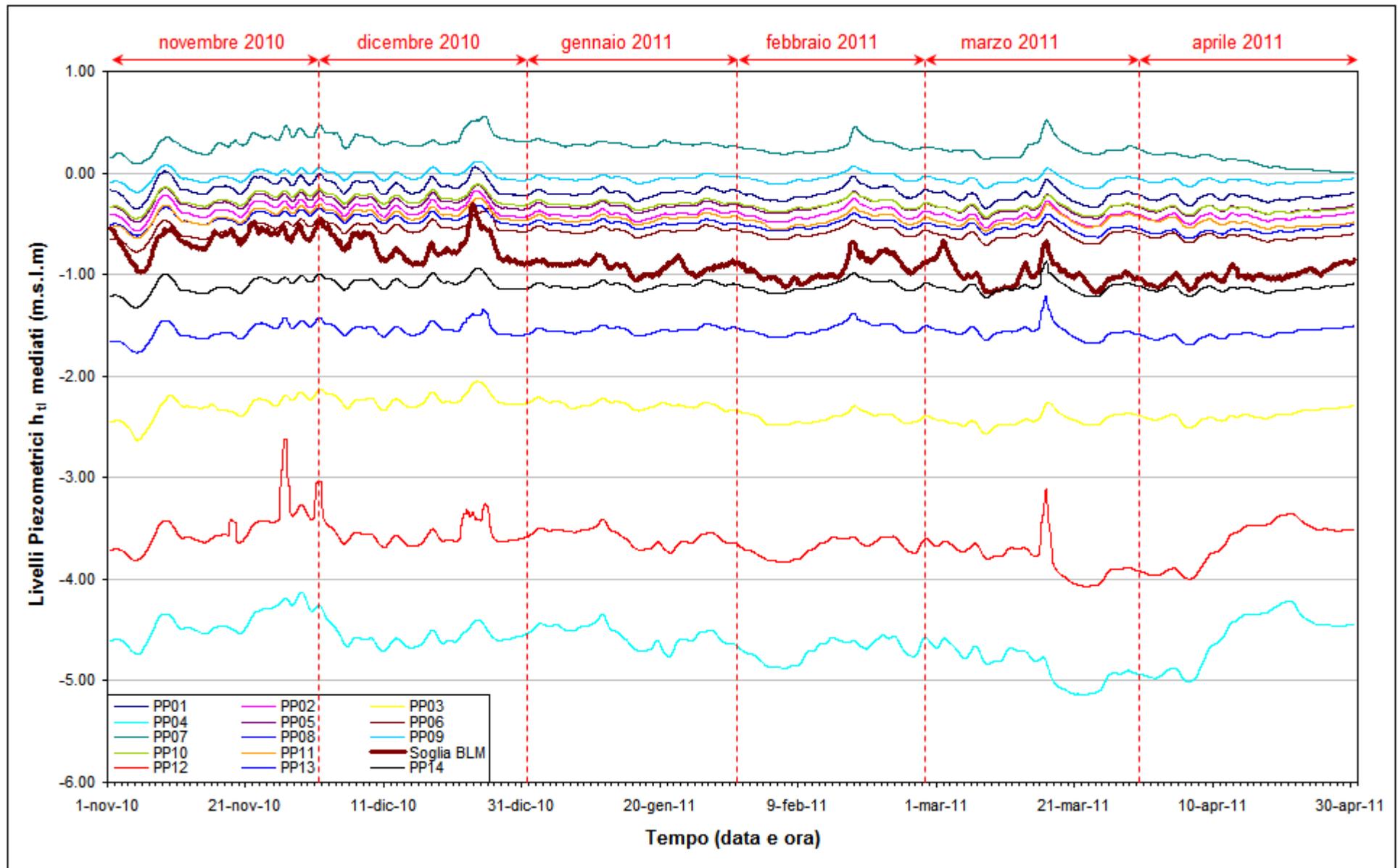


Fig. 2.67 – Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 – 30/04/2011.

### 2.3 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 cinque 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.2.6). Dalle carte piezometriche è possibile effettuare un confronto con la situazione osservata in Fase A.

Le piezometrie riportate nella presente sono da intendersi come ricostruzioni dei carichi idraulici riferiti alla densità  $\rho_0$  ed alla quota media  $z_m = -6.036$  m s.l.m. (quota media di installazione dei trasduttori).

Tab. 2.3- Istanti temporali utilizzati per l'elaborazione delle piezometrie

| Mese      | Data e ora                   |
|-----------|------------------------------|
| Fase A    | 12 novembre 2005 - h. 14:00  |
| Maggio    | 14 maggio 2010 - h. 9.00     |
| Giugno    | 15 giugno 2010 - h. 5.00     |
| Settembre | 14 settembre 2010 - h. 10.00 |
| Gennaio   | 14 gennaio 2011 - h.10.00    |
| Aprile    | 16 aprile 2011 - h. 8.00     |

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

**2.3.1** *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. 2.7 sono riportati i livelli piezometrici riferiti ai cinque istanti temporali scelti per le elaborazioni grafiche e alla Fase A. Nelle Figg. 2.68 - 2.73 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab. 2.4- Livelli piezometrici  $h_{fl}$  relativi al primo livello acquifero: Fase A e cinque date di riferimento.

| Piezometro | X          | Y          | $z_t$<br>(m<br>s.l.m.) | Fase A                 | Maggio                 | Giugno                 | Settembre           | Gennaio                | Aprile                 |
|------------|------------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
|            |            |            |                        | $h_{fl}$ (m<br>s.l.m.) | $h_{fl}$ (m<br>s.l.m.) | $h_{fl}$ (m<br>s.l.m.) | $h_{fl}$ (m s.l.m.) | $h_{fl}$ (m<br>s.l.m.) | $h_{fl}$ (m<br>s.l.m.) |
| PS01       | 2318325.88 | 5035253.68 | 1.790                  | 0.271                  | 0.293                  | 0.150                  | 0.211               | 0.342                  | 0.087                  |
| PS02       | 2318303.30 | 5034900.48 | 1.687                  | nd                     | 0.256                  | 0.005                  | 0.185               | 0.268                  | 0.100                  |
| PS03       | 2318377.62 | 5034552.61 | 1.459                  | 0.331                  | 0.593                  | 0.130                  | 0.168               | 0.702                  | 0.355                  |
| PS04       | 2318449.34 | 5034373.27 | 1.344                  | 0.147                  | 0.467                  | 0.068                  | 0.145               | 0.454                  | 0.156                  |
| PS05       | 2318582.01 | 5034989.80 | 1.816                  | 0.799                  | 0.931                  | 0.408                  | 0.411               | 0.947                  | 0.662                  |
| PS06       | 2318658.27 | 5034750.84 | 1.664                  | 0.843                  | 1.035                  | 0.272                  | 0.368               | 0.999                  | 0.574                  |
| PS07       | 2318785.95 | 5034898.62 | 1.403                  | 0.654                  | 0.722                  | 0.084                  | 0.156               | 0.687                  | 0.409                  |
| PS08       | 2318799.69 | 5034032.43 | 0.623                  | 0.345                  | 0.369                  | 0.044                  | 0.126               | 0.455                  | 0.292                  |
| PS09       | 2318764.67 | 5035448.00 | 2.248                  | 0.638                  | 0.810                  | 0.331                  | 0.239               | 0.815                  | 0.577                  |
| PS10       | 2318792.99 | 5035043.94 | 2.003                  | 0.634                  | 0.674                  | 0.123                  | 0.060               | 0.714                  | 0.456                  |
| PS11       | 2318787.28 | 5034652.23 | 1.086                  | 0.673                  | 0.719                  | 0.045                  | 0.092               | 0.608                  | 0.262                  |

Confrontando le ricostruzioni piezometriche del periodo di monitoraggio con quella relativa alla Fase A (novembre 2005) è possibile notare:

- nel mese di maggio 2010 (Fig.2.69) i livelli sono in linea con la configurazione *ante operam*;
- nel periodo estivo si verifica un consistente abbassamento dei livelli di falda, con variazioni comprese tra 25 e 65 cm dovute all'evapotraspirazione, come si può osservare nelle piezometrie di mese di giugno e settembre 2010 (Figg.2.70-2.71);
- i livelli di falda superficiale hanno continuato a crescere per tutto l'autunno, raggiungendo il loro massimo nei mesi di gennaio 2011 (Fig.2.72);
- da gennaio ad aprile 2011 (Fig.2.73) il livello di falda è gradualmente sceso a causa delle scarse precipitazioni piovose e dell'evapotraspirazione.

Analogamente a quanto osservato durante la Fase A, in tutte le piezometrie elaborate si evidenzia un chiaro deflusso diretto dalla terraferma verso il mare. Anche durante il periodo estivo, i livelli di falda superficiali si sono mantenuti sopra il livello medio del mare.

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

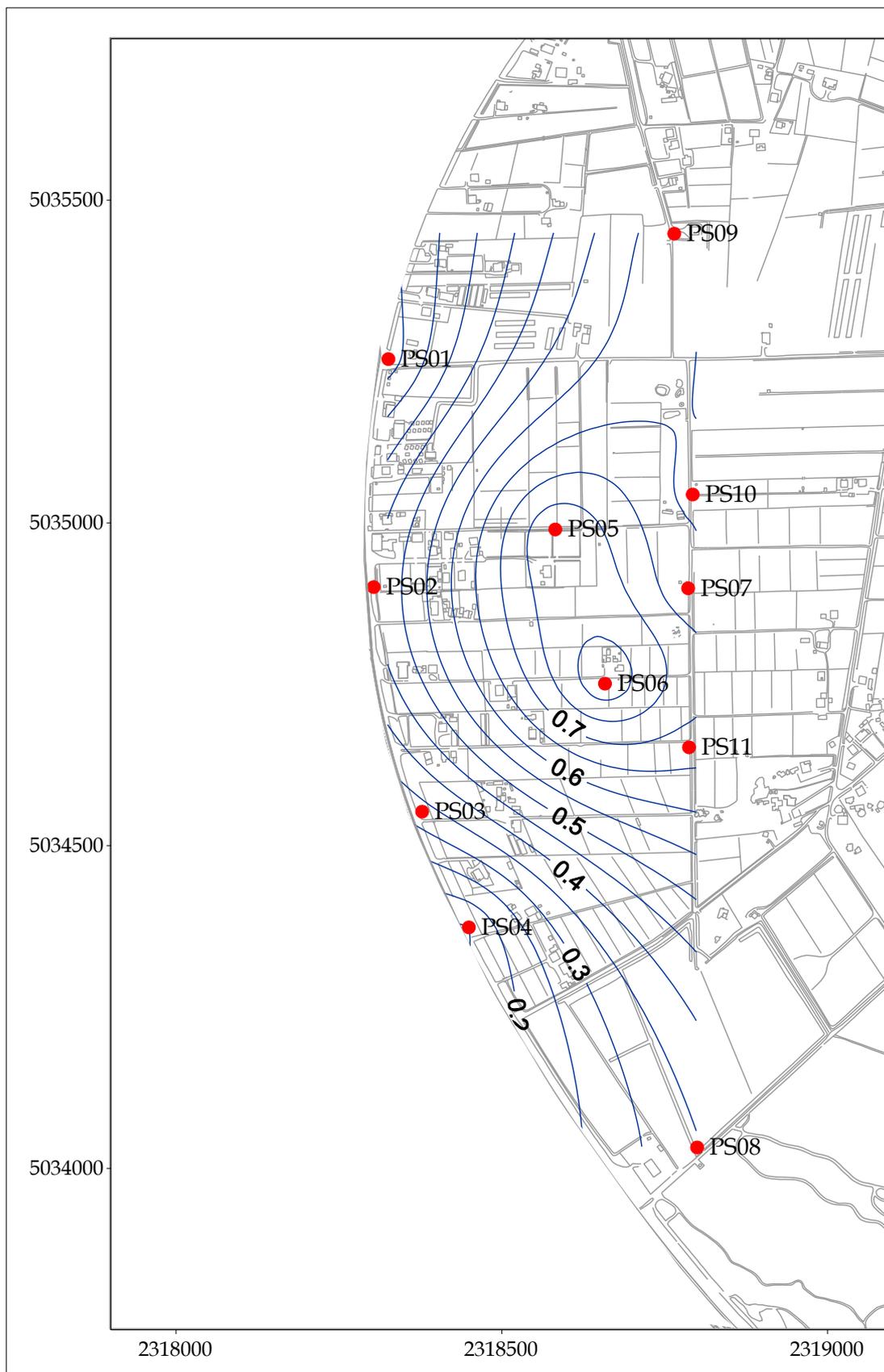


Fig. 2.68 - Piezometri superficiale Fase A - novembre 2005 ( $h_{fl}$  - m s.l.m.).

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

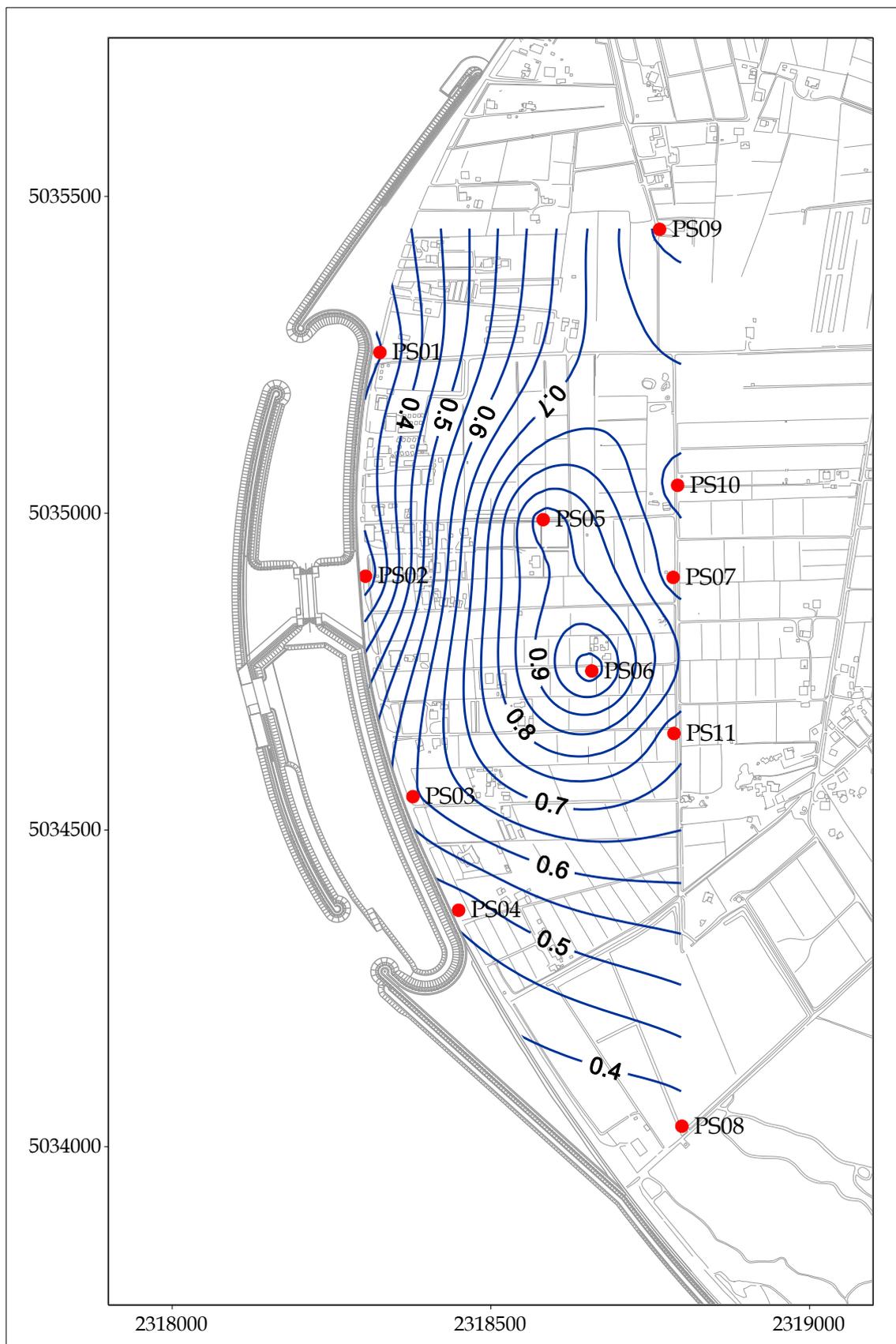


Fig. 2.69- Piezometria superficiale - maggio 2010 ( $h_{dl}$  - m s.l.m.).

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

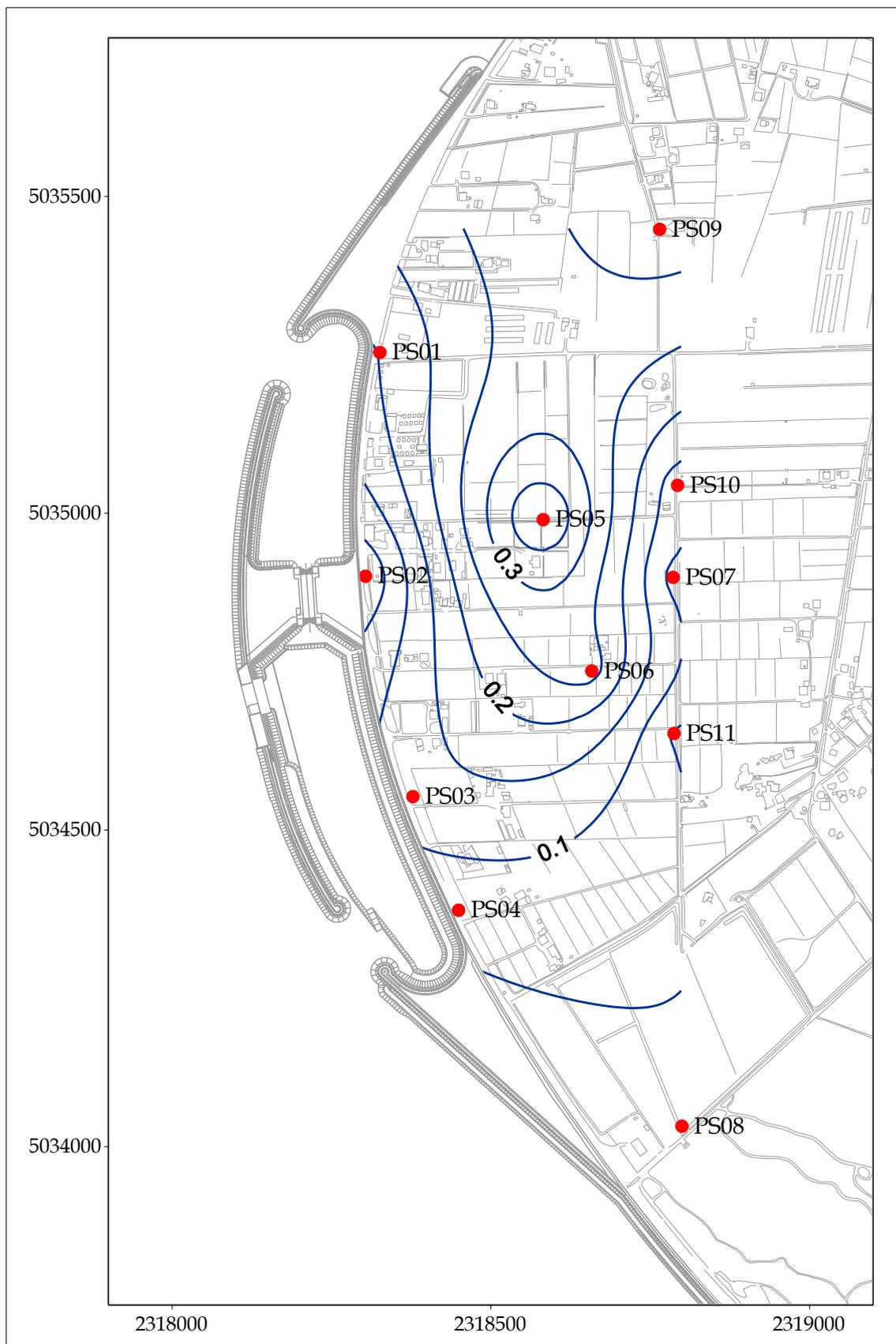


Fig. 2.70 - Piezometria superficiale - giugno 2010 ( $h_{il}$  - m s.l.m.).

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

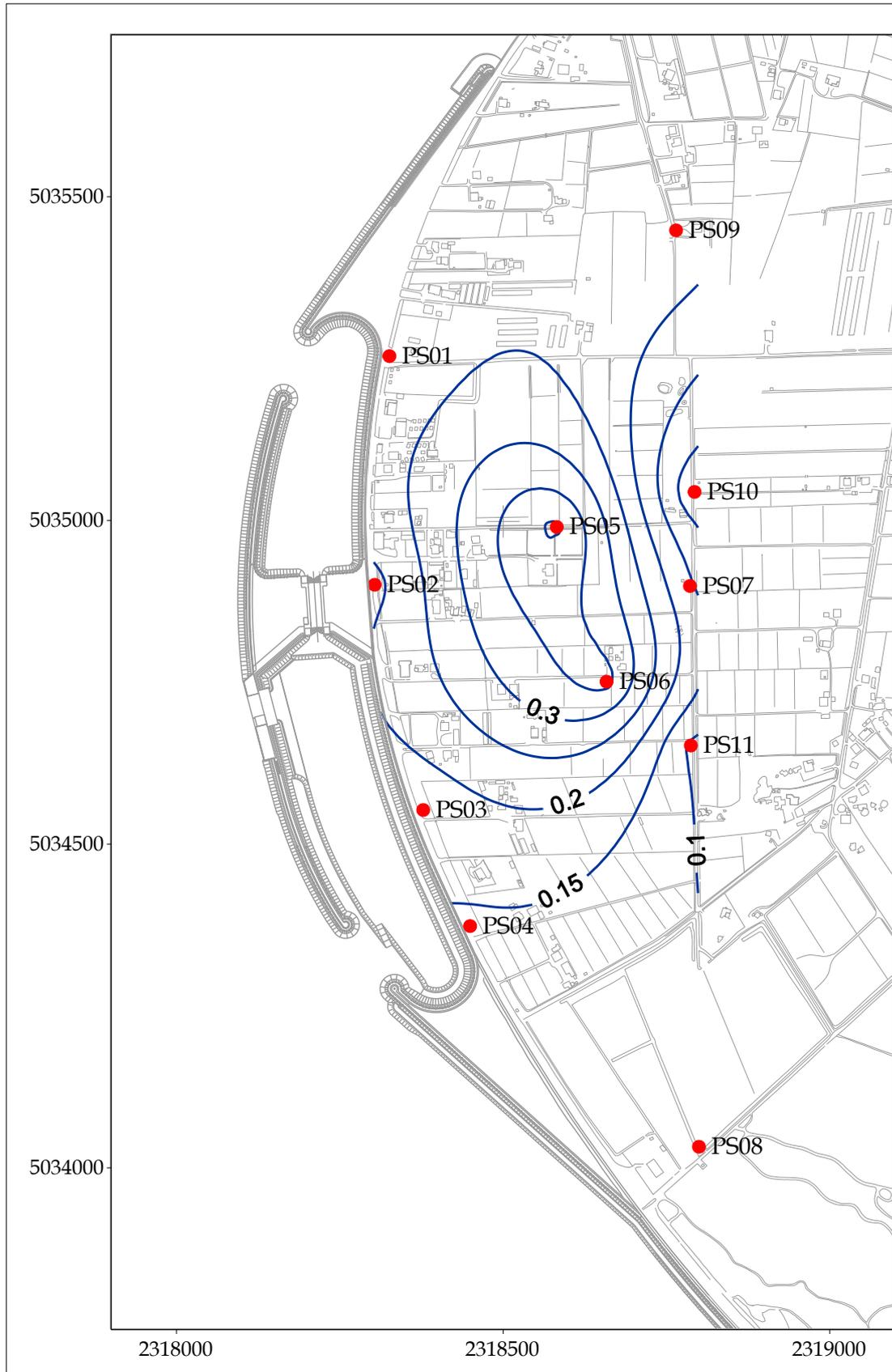


Fig. 2.71 - Piezometria superficiale - settembre 2010 ( $h_{el}$  - m s.l.m.).

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

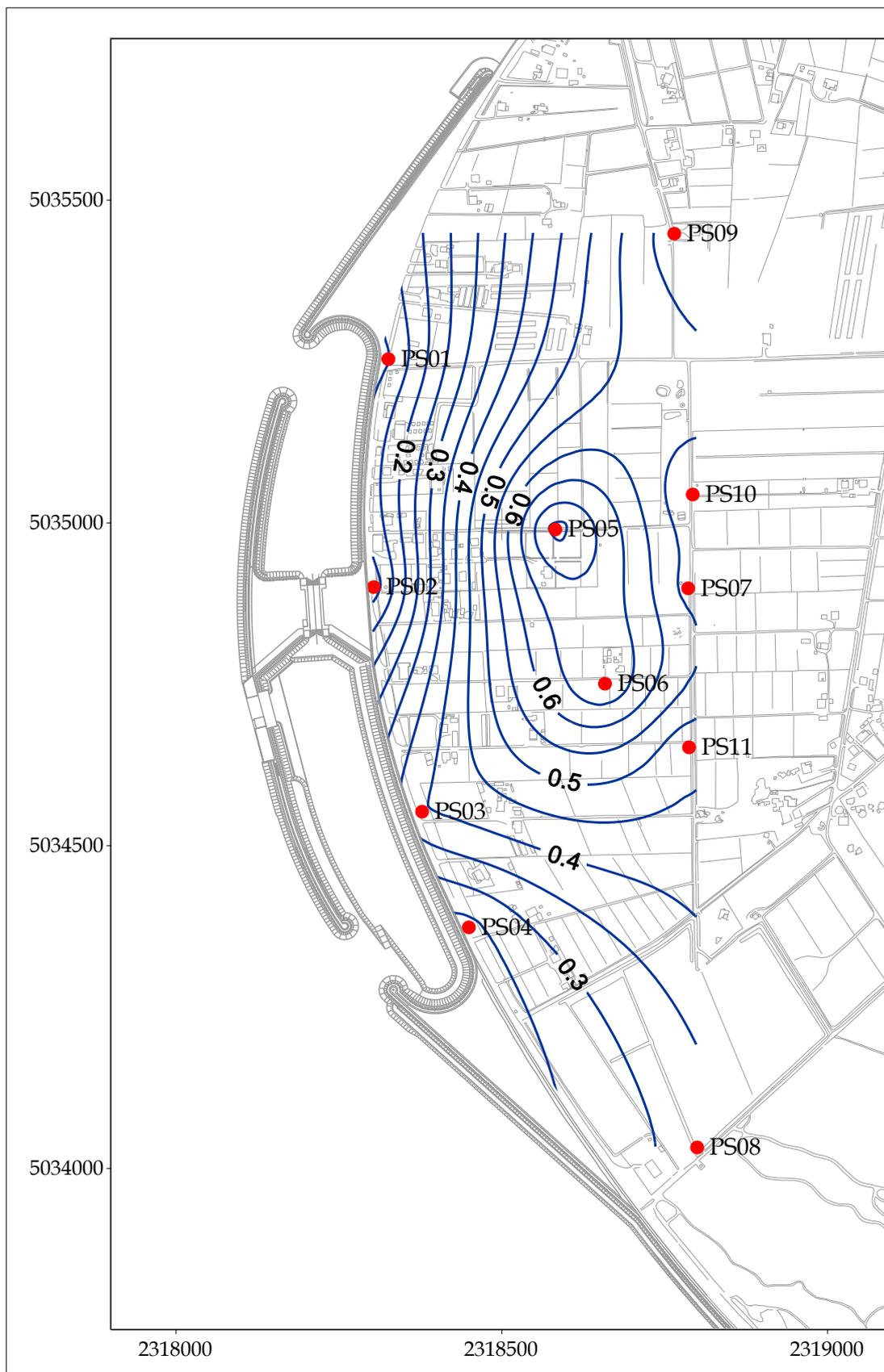


Fig. 2.72 - Piezometria superficiale - gennaio 2011 (htl - m s.l.m.).

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

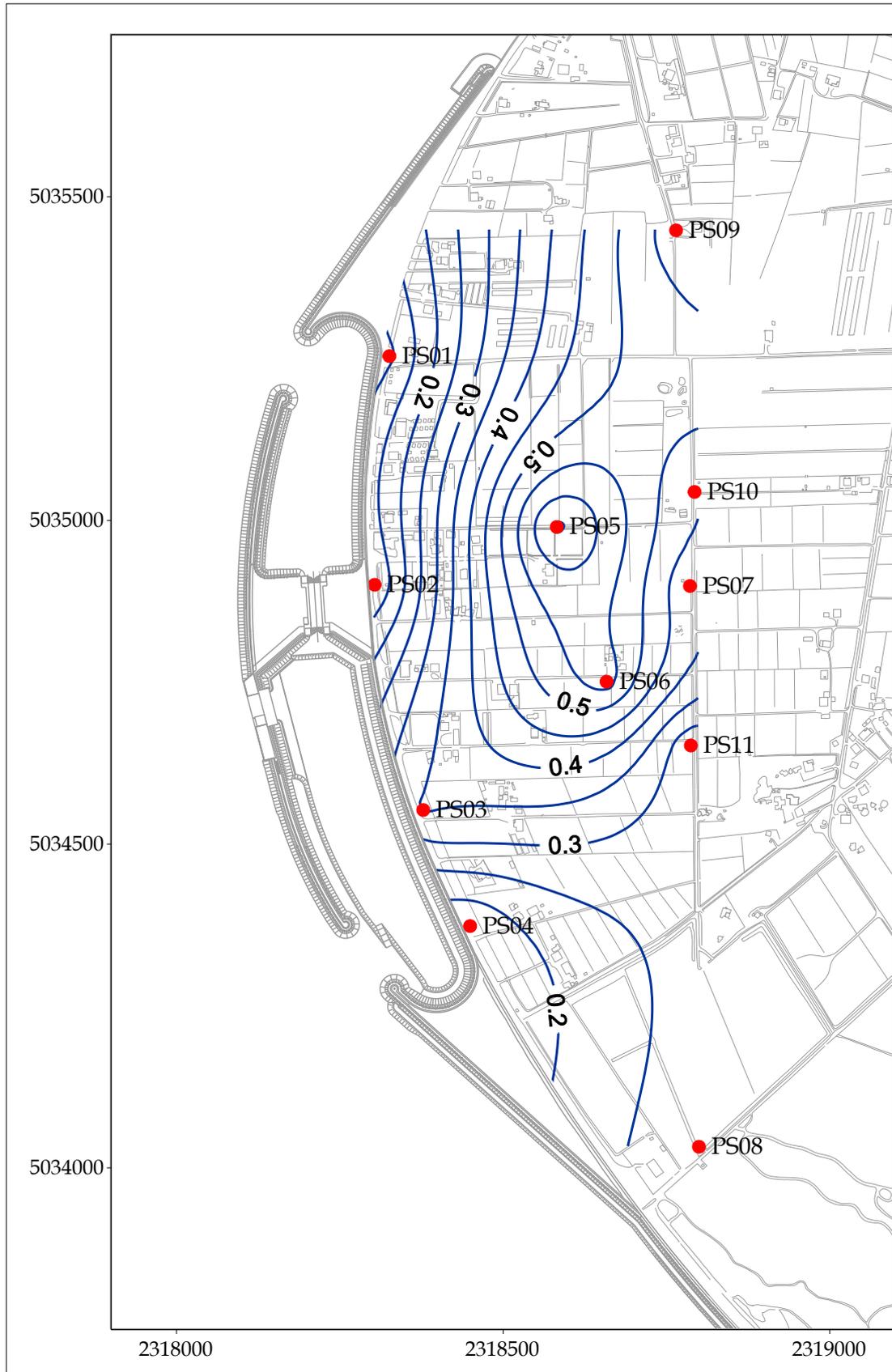


Fig. 2.73 - Piezometria superficiale - aprile 2011 ( $h_t$  - m s.l.m.).

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

**2.3.2** *Piezometria profonda*

La piezometria del secondo livello acquifero (Strato C) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levelogger posti nei piezometri profondi. In Tab. 2.8 sono riportati i livelli piezometrici riferiti ai cinque istanti temporali scelti per le elaborazioni grafiche e alla Fase A. Nelle Figg. 2.74 - 2.77 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab. 2.5 - Livelli piezometrici  $h_{\text{fl}}$  relativi al secondo livello acquifero: Fase A e cinque date di riferimento.

| Piezometro | X          | Y          | $z_t$<br>(m<br>s.l.m.) | Fase A                        | Maggio                        | Giugno                        | Settembre                  | Gennaio                       | Aprile                        |
|------------|------------|------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|            |            |            |                        | $h_{\text{fl}}$ (m<br>s.l.m.) | $h_{\text{fl}}$ (m<br>s.l.m.) | $h_{\text{fl}}$ (m<br>s.l.m.) | $h_{\text{fl}}$ (m s.l.m.) | $h_{\text{fl}}$ (m<br>s.l.m.) | $h_{\text{fl}}$ (m<br>s.l.m.) |
| PP01       | 2318325.44 | 5035252.10 | 1.801                  | 0.337                         | -0.088                        | -0.269                        | -0.279                     | -0.205                        | -0.238                        |
| PP02       | 2318303.40 | 5034898.36 | 1.681                  | 0.298                         | -0.271                        | -0.423                        | -0.493                     | -0.406                        | -0.436                        |
| PP03       | 2318378.37 | 5034550.49 | 1.431                  | 0.353                         | -2.263                        | -2.474                        | -2.441                     | -2.259                        | -2.408                        |
| PP04       | 2318448.54 | 5034374.67 | 1.416                  | 0.394                         | -4.288                        | -4.538                        | -4.488                     | -4.523                        | -4.292                        |
| PP05       | 2318579.81 | 5034989.68 | 1.718                  | 0.469                         | -0.193                        | -0.312                        | -0.447                     | -0.324                        | -0.384                        |
| PP06       | 2318658.29 | 5034748.80 | 1.636                  | 0.375                         | -0.449                        | -0.589                        | -0.719                     | -0.565                        | -0.648                        |
| PP07       | 2318786.12 | 5034900.50 | 1.318                  | 0.401                         | 0.425                         | -0.095                        | -0.127                     | 0.287                         | 0.093                         |
| PP08       | 2318800.26 | 5034031.14 | 0.747                  | 0.260                         | -0.379                        | -0.495                        | -0.565                     | -0.499                        | -0.564                        |
| PP09       | 2318765.07 | 5035445.93 | 2.255                  | 0.339                         | 0.055                         | -0.073                        | -0.170                     | -0.049                        | -0.083                        |
| PP10       | 2318793.08 | 5035045.83 | 2.086                  | 0.302                         | -0.130                        | -0.303                        | -0.419                     | -0.302                        | -0.372                        |
| PP11       | 2318787.40 | 5034654.31 | 1.149                  | 0.288                         | -0.400                        | -0.523                        | -0.642                     | -0.452                        | -0.526                        |
| PP12       | 2318498.26 | 5034363.43 | 1.071                  | nd                            | -3.395                        | -3.587                        | -3.579                     | -3.579                        | -3.479                        |
| PP13       | 2318631.11 | 5034397.36 | 1.169                  | nd                            | -1.434                        | -1.527                        | -1.641                     | -1.535                        | -1.591                        |
| PP14       | 2318619.38 | 5034536.86 | 1.502                  | nd                            | -1.010                        | -1.161                        | -1.243                     | -1.102                        | -1.154                        |

La configurazione della piezometria profonda risulta molto differente rispetto a 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 pari a circa 4.5 - 5 m; negli altri piezometri i livelli risultano inferiori rispetto a quelli registrati nella Fase A, con differenze comprese tra 10 e 110 cm.

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

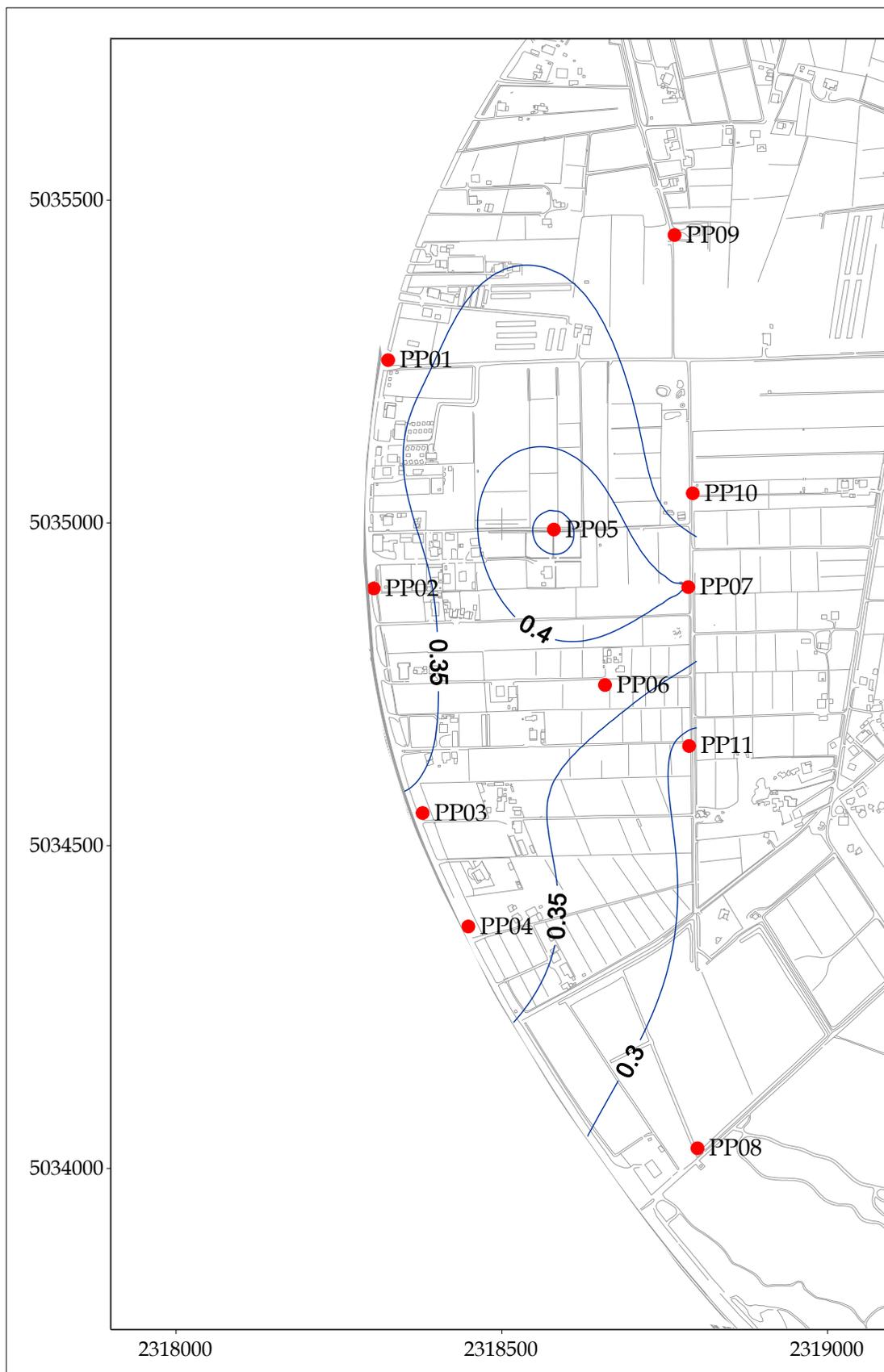


Fig. 2.74- Piezometria profonda Fase A - novembre 2005 ( $h_d$  - m s.l.m.).

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

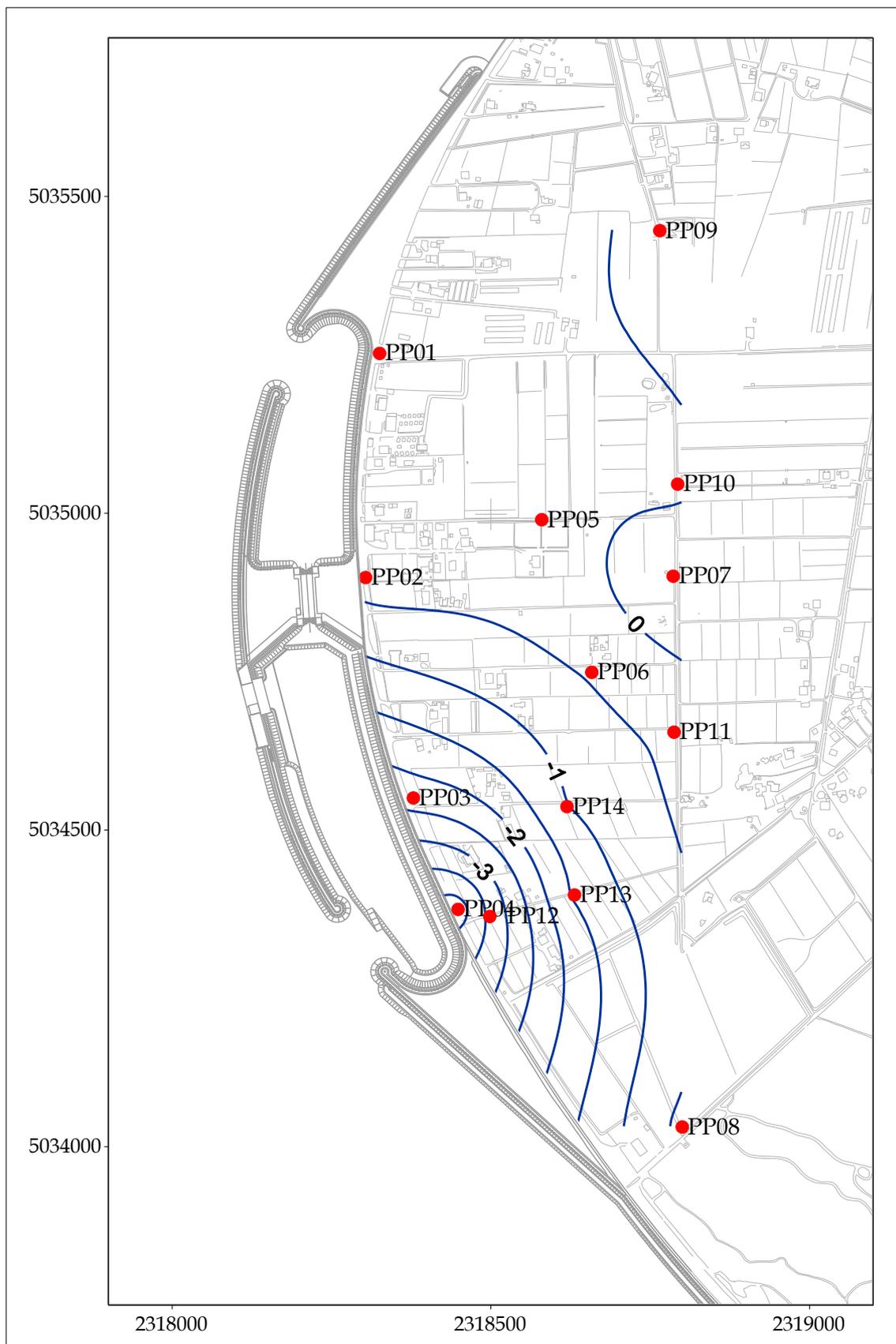


Fig. 2.75 - Piezometria profonda - maggio 2010 ( $h_{fl}$  - m s.l.m.)

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

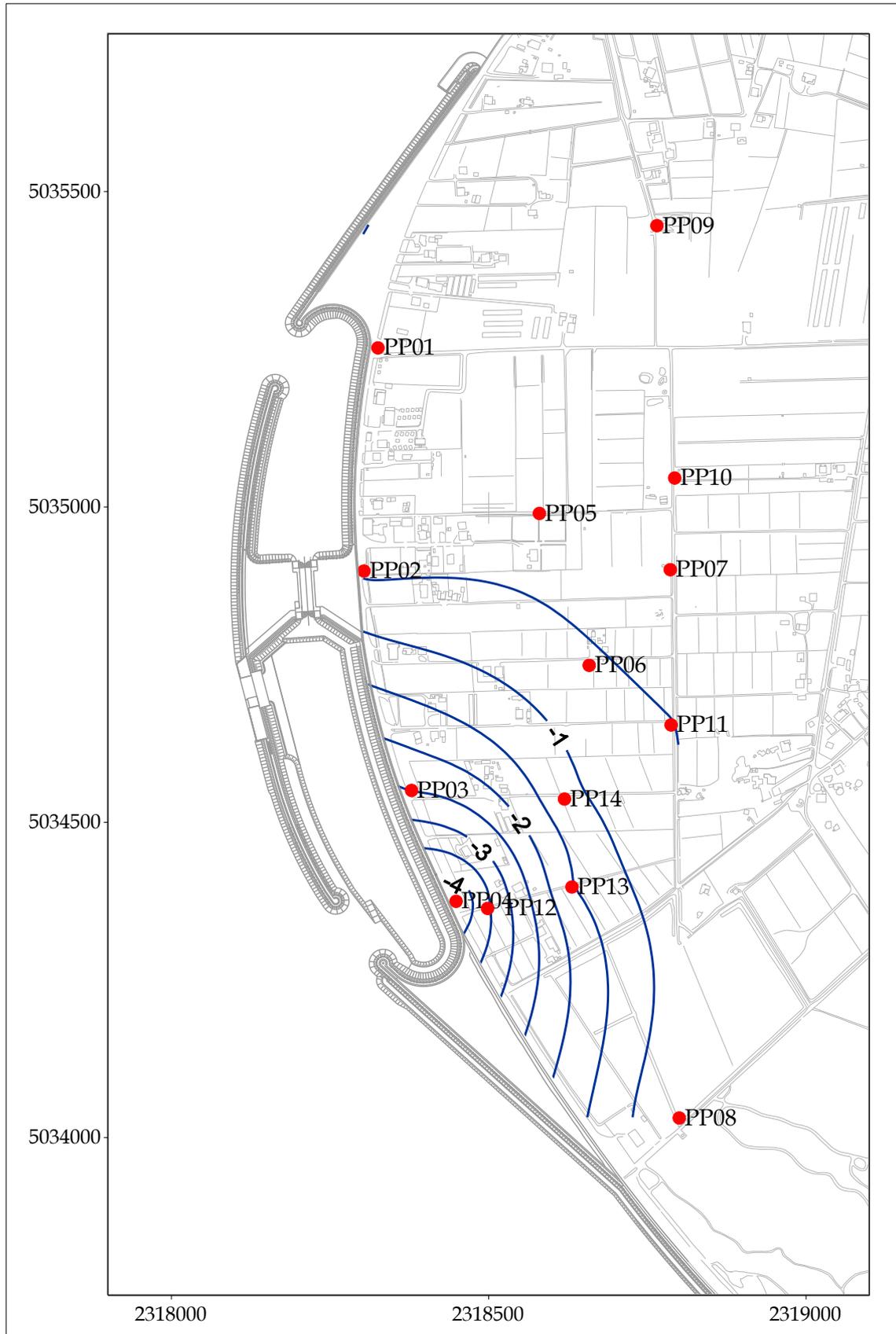


Fig. 2.76 - Piezometria profonda - giugno 2010 ( $h_{dl}$  - m s.l.m.).

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

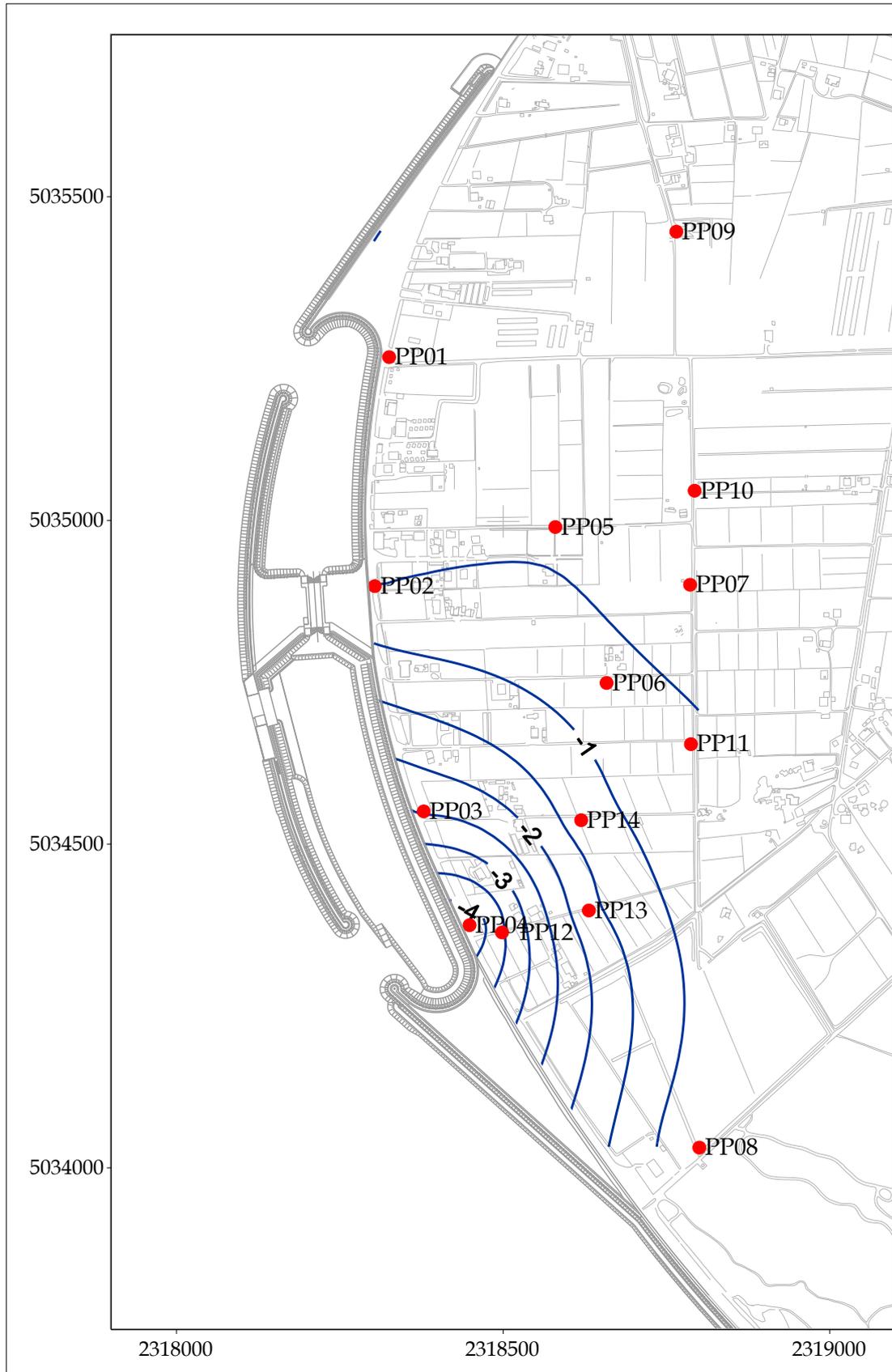


Fig. 2.77 - Piezometria profonda - settembre 2010 ( $h_{PI}$  - m s.l.m.).

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

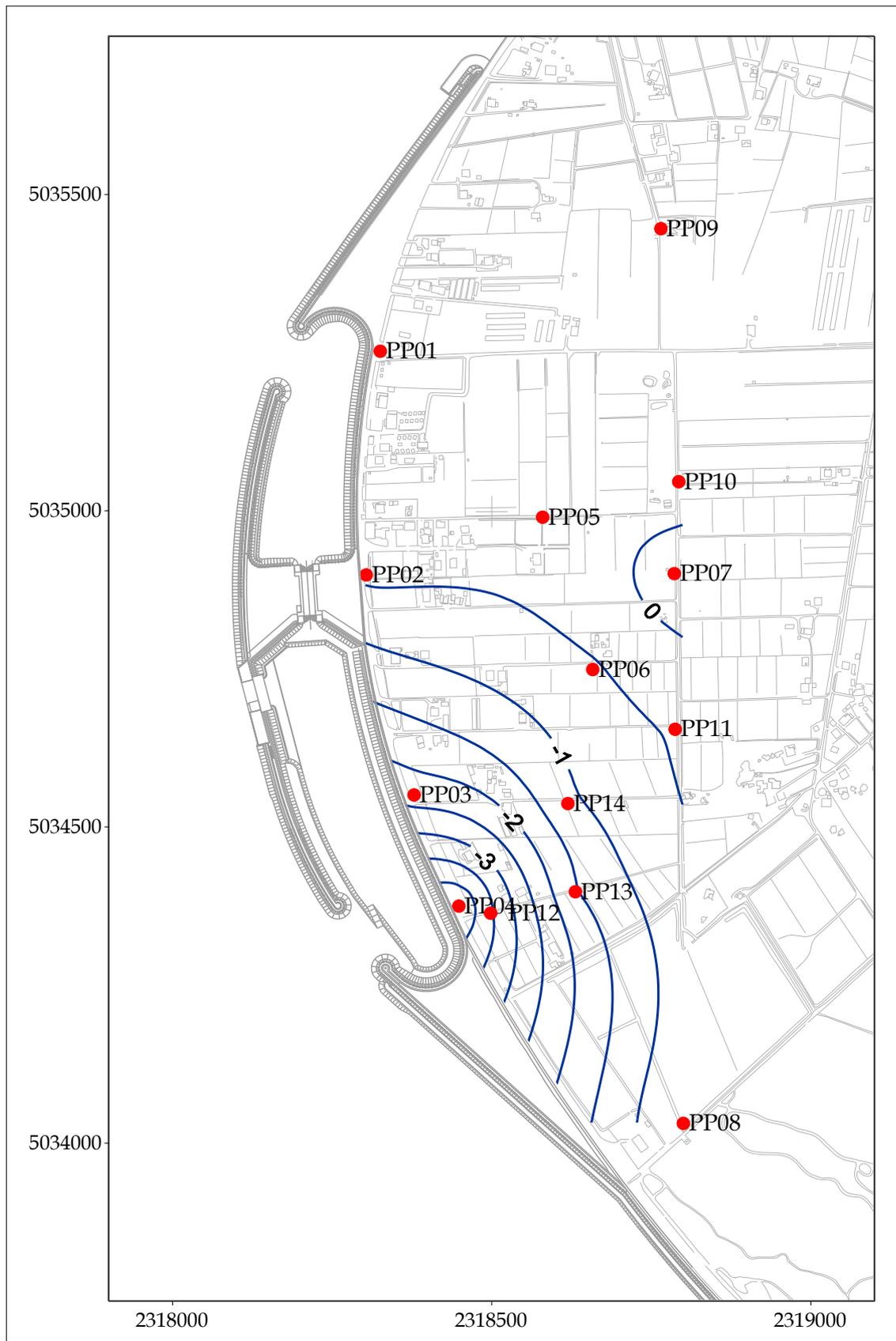


Fig. 2.78 - Piezometria profonda - gennaio 2011 ( $h_{tl}$  - m s.l.m.).

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

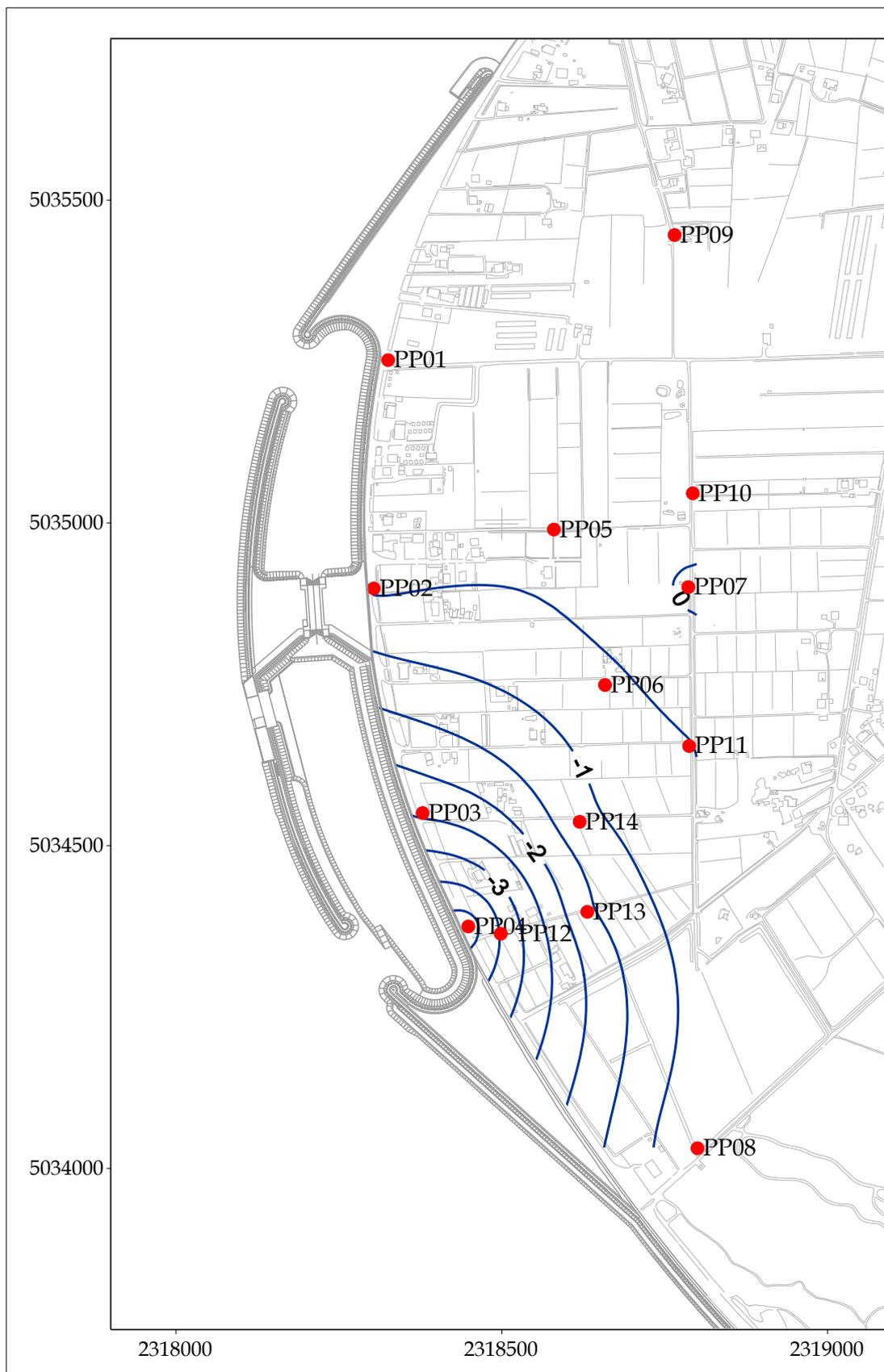


Fig. 2.79 - Piezometria profonda - aprile 2011 ( $h_d$  - m s.l.m.).

## 2.4 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.2.9):

- 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. 2.6 - 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 lato terra |

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

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

Nel corso del periodo di monitoraggio è stato verificato il rispetto di tutte le soglie indicate in Tab.2.9.

Per quanto riguarda il primo livello acquifero (Strato A), le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate per tutto il periodo monitorato (01/05/10 - 30/04/11).

La soglia di Alto Livello Istantaneo è stata superata nel piezometro PS08 nei giorni 27-28/11/10, 01-08/12/10, 22-28/12/10 e 16-18/03/11 e nel piezometro PS11 in data 16/03/11; tali superamenti sono dovuti all'infiltrazione di acqua piovana durante eventi meteorici intensi.

Per quanto riguarda il secondo livello acquifero (Strato C), le soglie di Alto Livello Istantaneo e Medio sono sempre state rispettate.

In tutti i piezometri profondi, la soglia di Basso Livello Istantaneo è stata superata almeno una volta nel periodo monitorato (01/05/10 - 30/04/11). I superamenti della soglia di BLI sono avvenuti:

- nei piezometri PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14 per tutto il periodo monitorato;
- negli altri piezometri profondi si sono registrati superamenti della soglia di BLI in occasione dei massimi mareali. In particolare, i superamenti più frequenti sono stati registrati nei piezometri PP06, PP08 e PP11.

Nei piezometri profondi, la soglia di Basso Livello Medio è stata superata:

- per tutto il periodo di monitoraggio (01/05/10 - 30/04/11) nei piezometri PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14;
- nel PP06 si sono verificati numerosi superamenti durante i massimi mareali, nei mesi tra ottobre e dicembre 2010;
- nel PP08 e PP11 in data 24/12/10;
- negli altri piezometri profondi (PP01, PP02, PP05, PP07, PP09, PP10) la soglia di Basso Livello Medio è stata rispettata per tutto il periodo monitorato.

#### **2.4.1** 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 ad esempio la disattivazione del pozzo S5).

Nonostante ciò si osserva, in corrispondenza di tale livello acquifero, una distribuzione piezometrica fortemente dissimile da quella registrata in fase A. Per contenere ulteriormente il cono di depressione si suggerisce, come misura di mitigazione, la riduzione delle portate di pompaggio dei pozzi lato terra che risultano essere ancora attivi (S2, i2, i3, i4).

## **2.5 Analisi della densità dell'acqua di falda**

### **2.5.1 Profili verticali di densità**

In questo paragrafo sono presentati i profili di densità dell'acqua di falda, calcolati utilizzando i dati grezzi di conduttanza misurati tramite sonda multiparametrica durante i rilievi mensili. Il calcolo della densità dell'acqua di falda è stato effettuato utilizzando le formule empiriche riportate nel rapporto "Studio B.6.72 B/2, Il Rapporto di Valutazione (Febbraio 2007)".

Nelle Figg. 2.80 - 2.90 sono rappresentati i profili di densità dei piezometri superficiali, mentre nelle Figg. 2.91 - 2.101 quelli relativi ai piezometri profondi.

Nelle figure riguardanti i piezometri profondi è evidenziata (con un tratto più spesso) la posizione della finestratura. In ogni grafico la retta tratteggiata orizzontale indica la quota in cui è posto il trasduttore di pressione.

In ciascuna figura è inoltre riportato il confronto con il profilo di conducibilità elettrica misurato in fase A (ottobre 2005), rispetto al quale si osservano forti diminuzioni di questo parametro nei piezometri superficiali PS01, PS02, PS04, PS08, PS11 e nei piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP07, PP08, PP09, PP10 e PP11. Tale diminuzione può essere in parte motivata dalla presenza della barriera impermeabile della tura, che ha causato l'isolamento di una porzione dei due acquiferi dal mare. La diminuzione della salinità dell'acqua di falda appare come fatto generalmente positivo per le colture agricole.

La diminuzione può essere attribuita all'effetto di sbarramento indotto dalla realizzazione della barriera impermeabile in corrispondenza della tura. Non si ritiene che la variazione della salinità dell'acqua di falda possa comportare un rischio per le attività agricole della zona.

Nei piezometri superficiali si osservano i seguenti comportamenti:

- nei piezometri PS01 e PS02, i più vicini alla linea di costa, si osserva una modesta variabilità della densità dell'acqua di falda durante l'anno;
- nei piezometri PS03, PS04, PS09, PS10 si osserva un aumento della densità nel periodo estivo e una diminuzione in seguito alle piogge autunnali e invernali;
- nel piezometro PS08 si osserva invece la tendenza opposta, con valori massimi durante l'inverno, probabilmente a causa dell'influenza del vicino canale di scolo (Capofosso Basson); una tendenza simile, ma con una variabilità più ridotta, si osserva anche nei piezometri PS05, PS06, PS07, PS11.

Nei piezometri profondi, si osservano i seguenti comportamenti:

- nei piezometri PP02, PP05, PP08, PP10 la densità raggiunge il suo valore minimo nel periodo estivo e cresce nel periodo autunnale e invernale;
- nel piezometro PP06, la densità raggiunge il suo valore massimo nel periodo estivo;
- nei piezometri PP03, PP07, PP11 non si osservano variazioni apprezzabili della densità dell'acqua di falda;
- negli altri piezometri non si osservano trend riconoscibili.

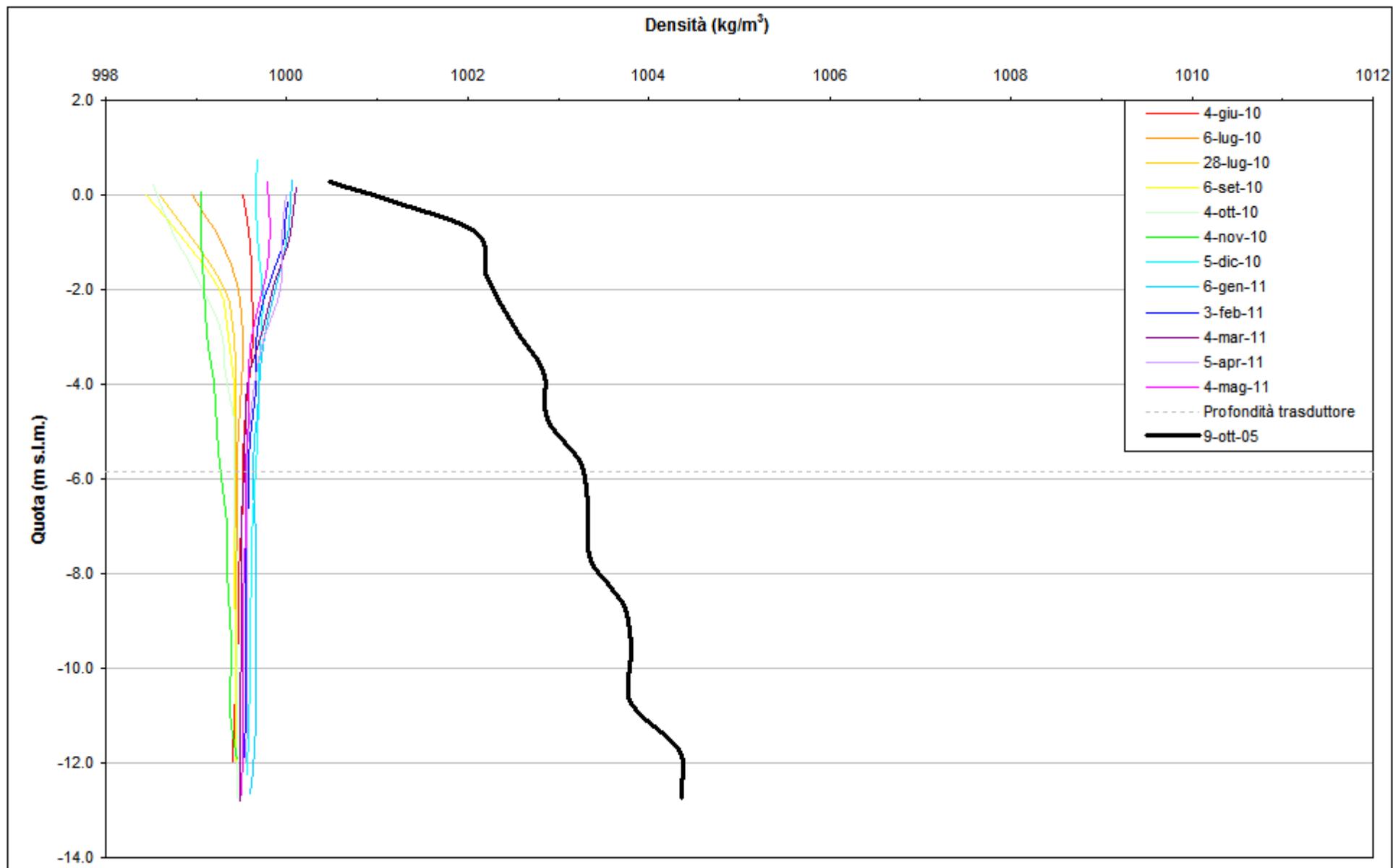


Fig. 2.80 - Profili verticali di densità PS01.

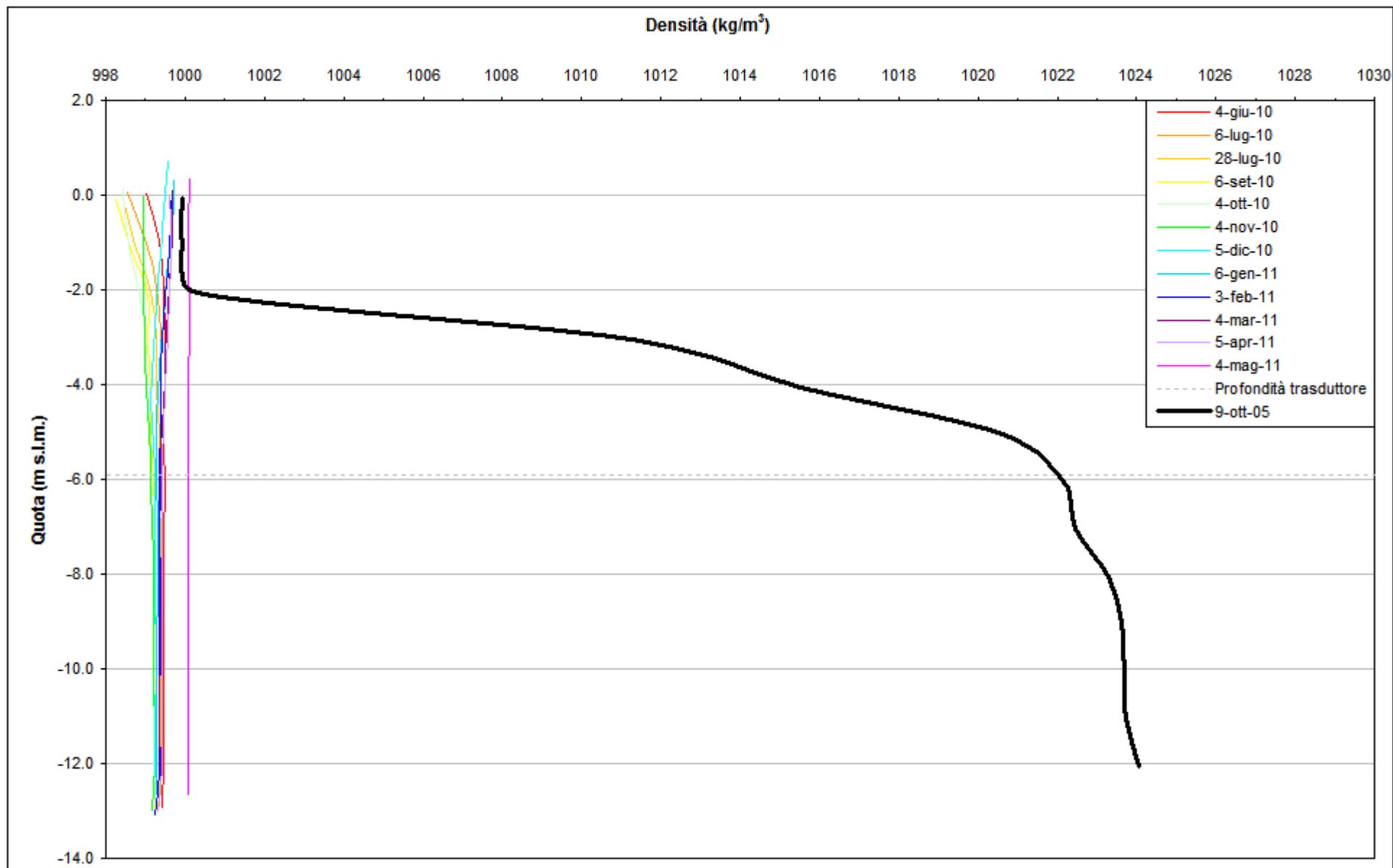


Fig. 2.81 - Profili verticali di densità PS02.

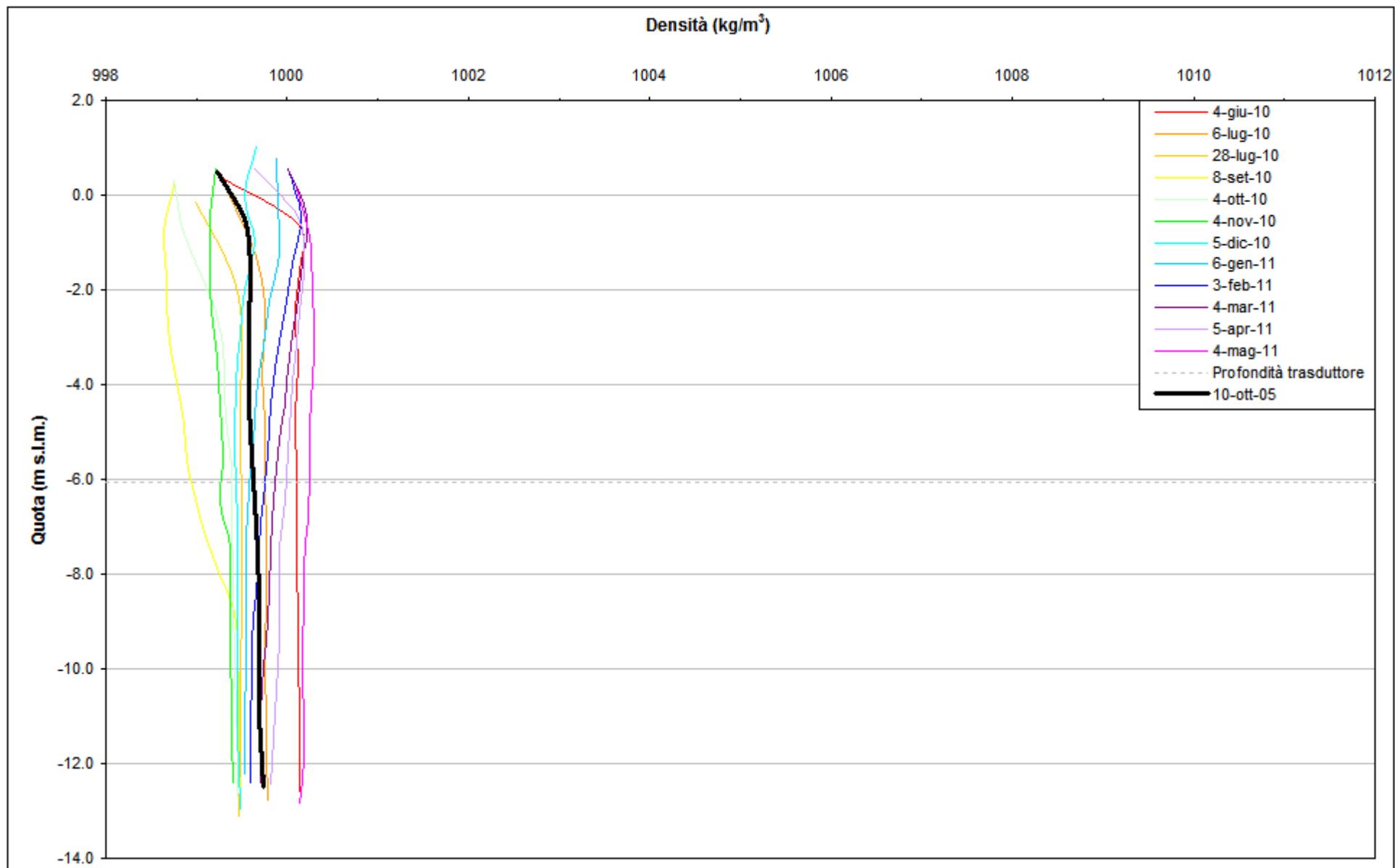


Fig. 2.82 - Profili verticali di densità PS03.

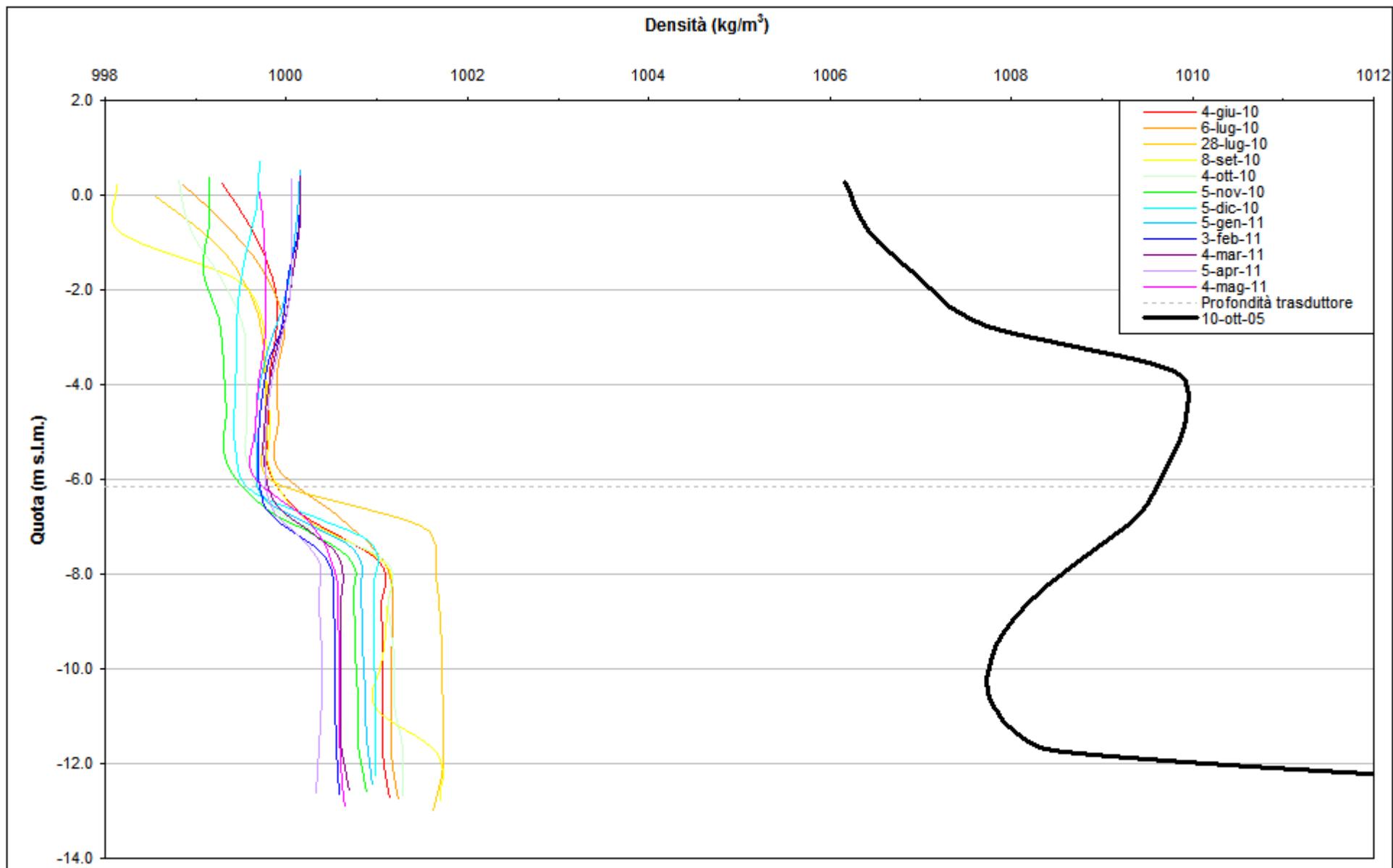


Fig. 2.83 - Profili verticali di densità PS04.

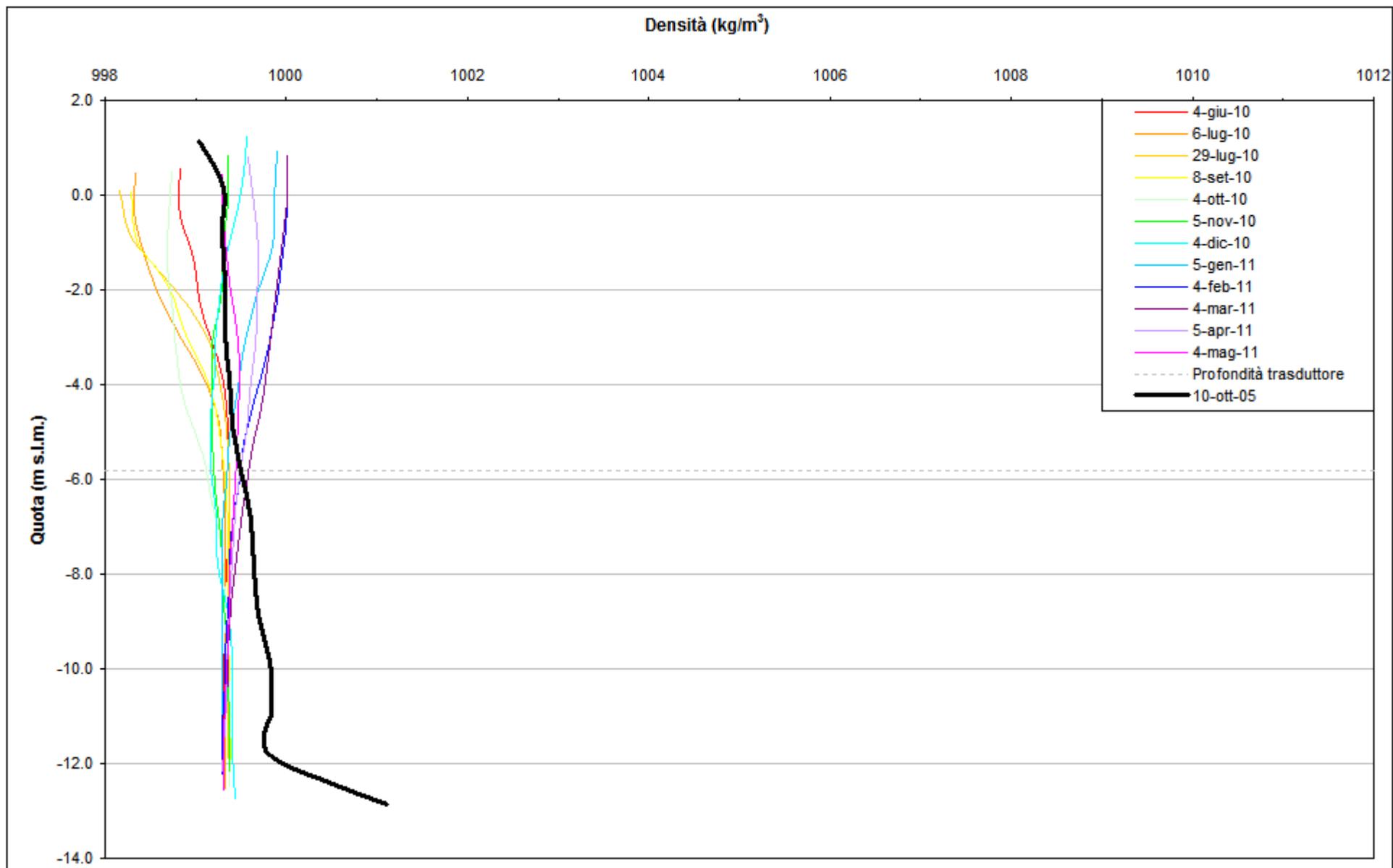


Fig. 2.84 - Profili verticali di densità PS05.

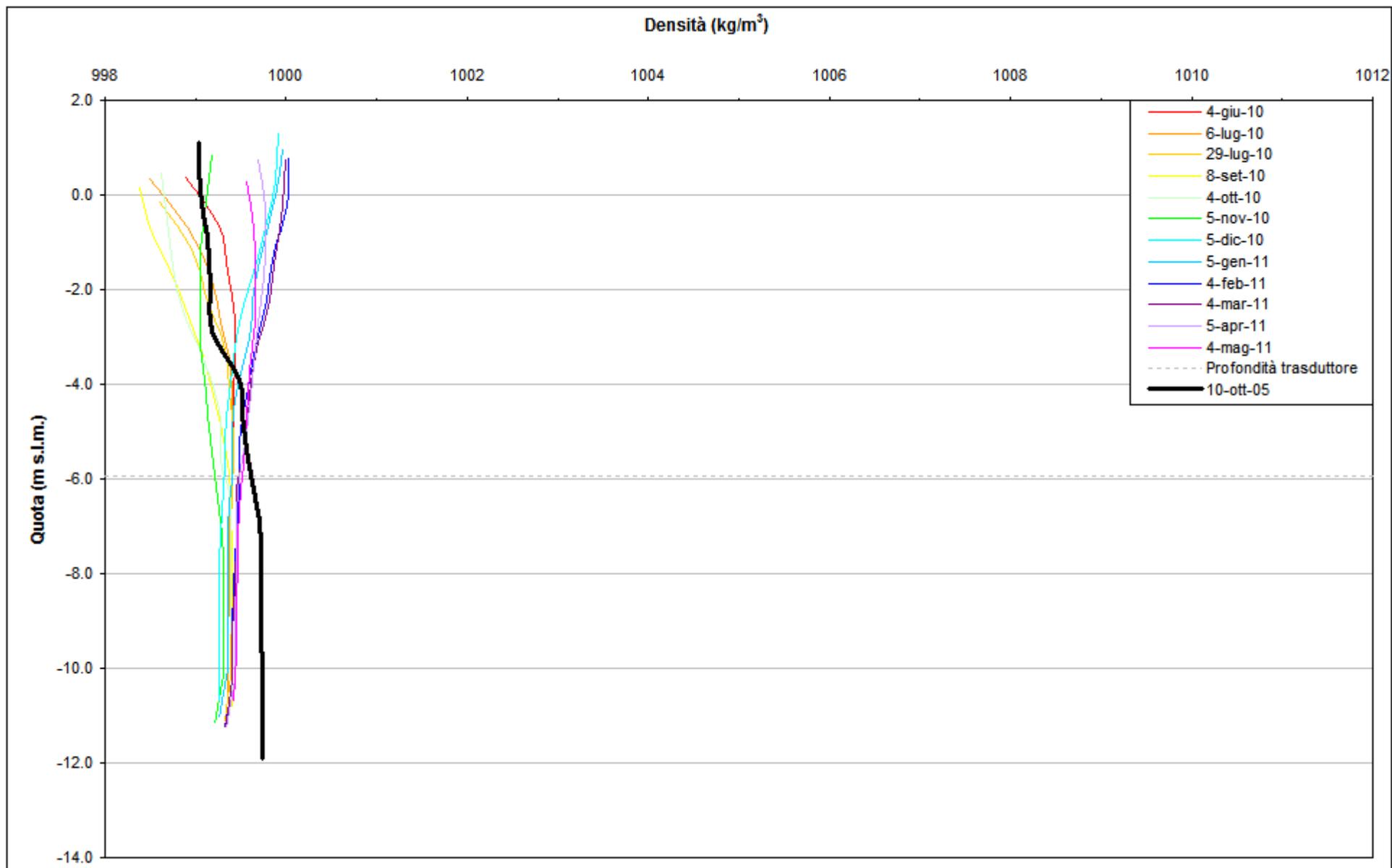


Fig. 2.85 - Profili verticali di densità PS06.

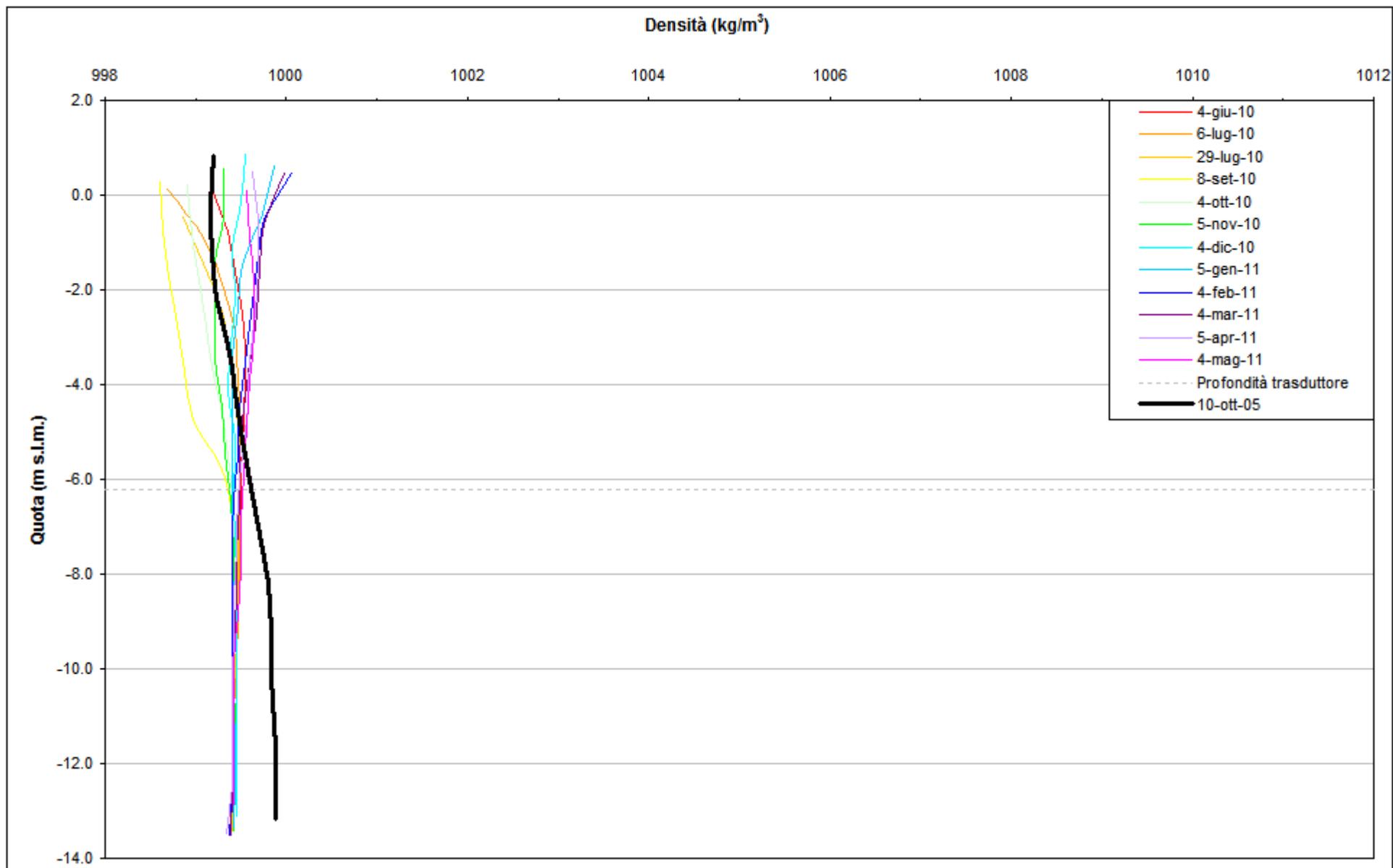


Fig. 2.86 - Profili verticali di densità PS07.

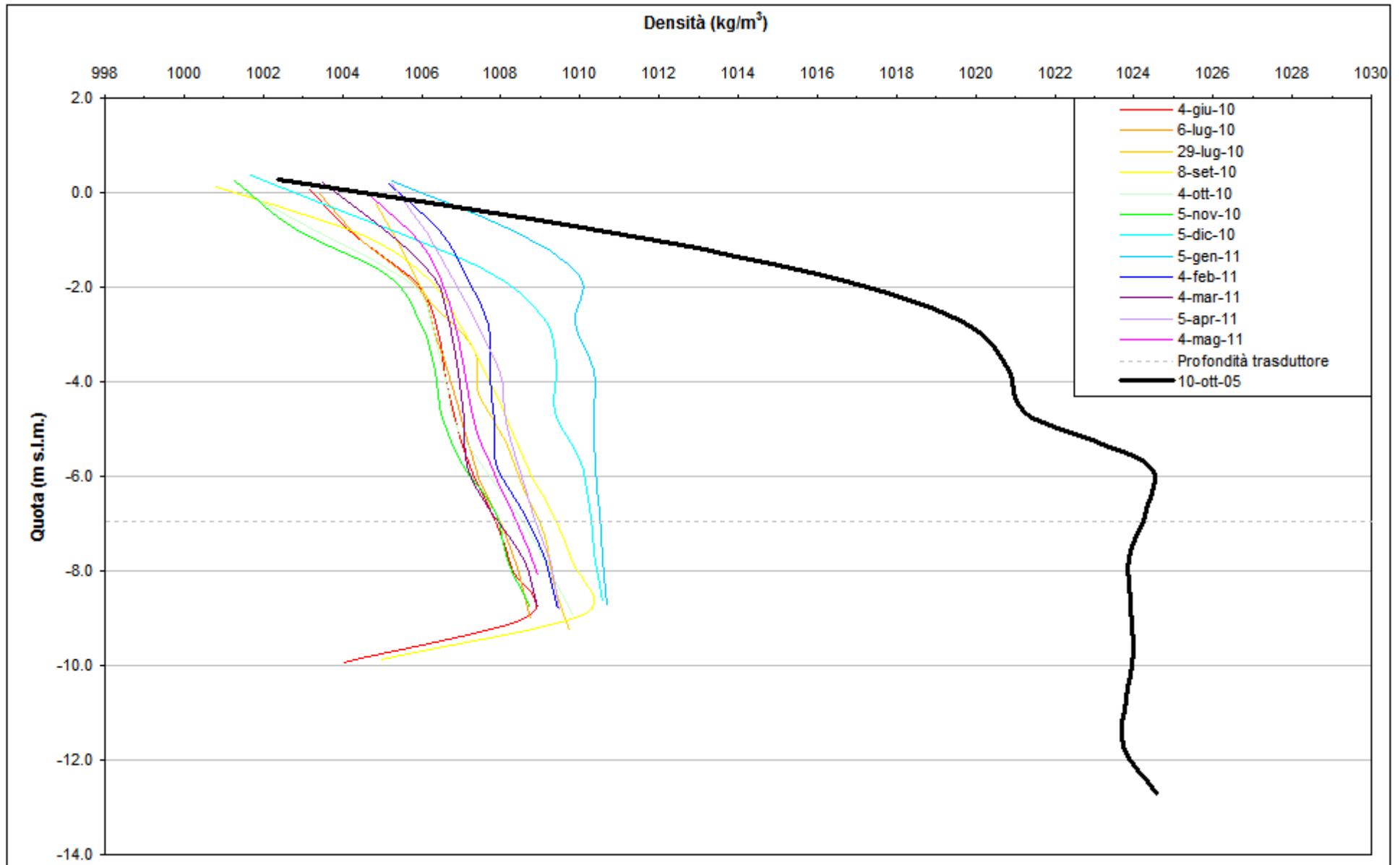


Fig. 2.87 - Profili verticali di densità PS08.

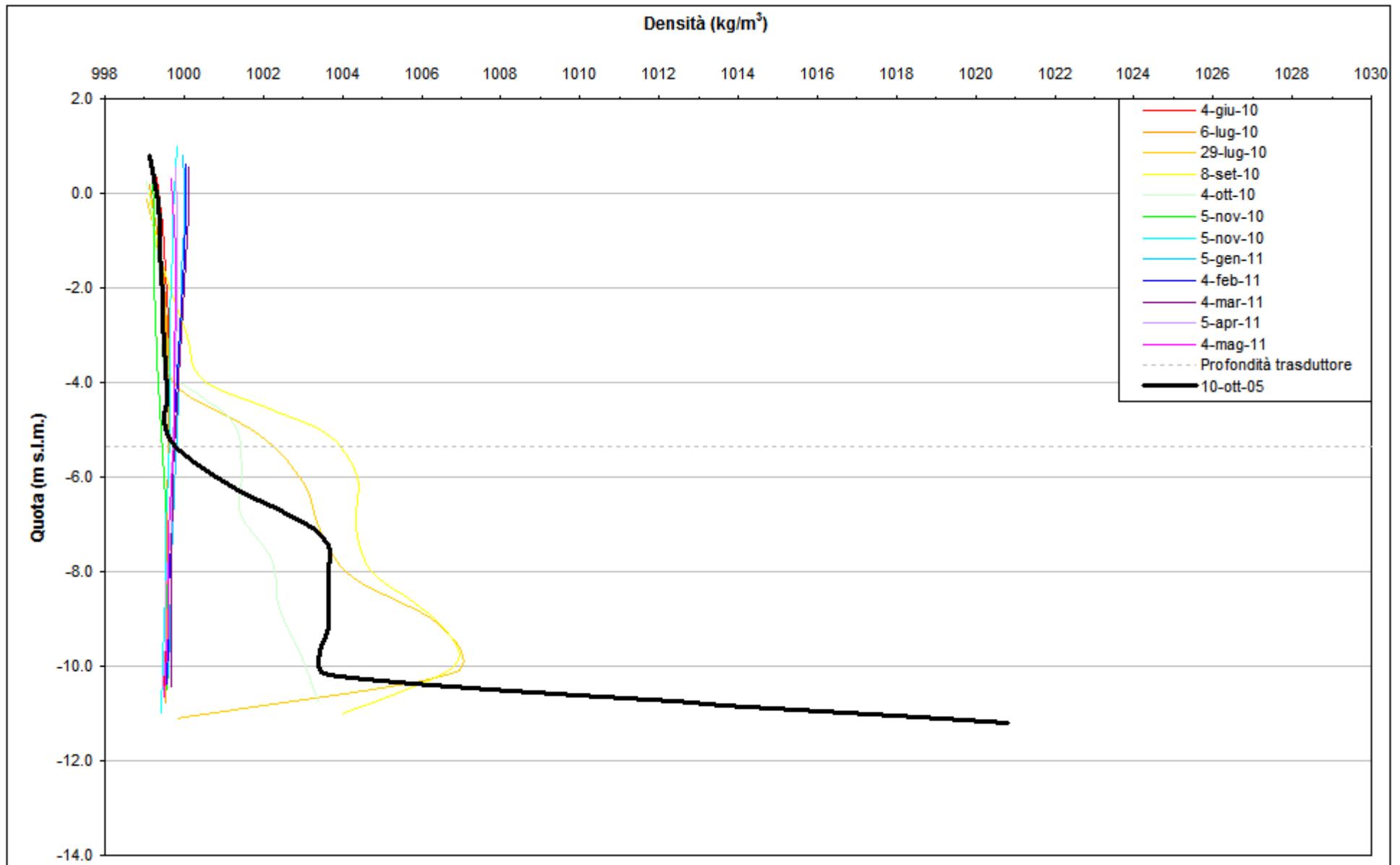


Fig. 2.88 - Profili verticali di densità PS09.

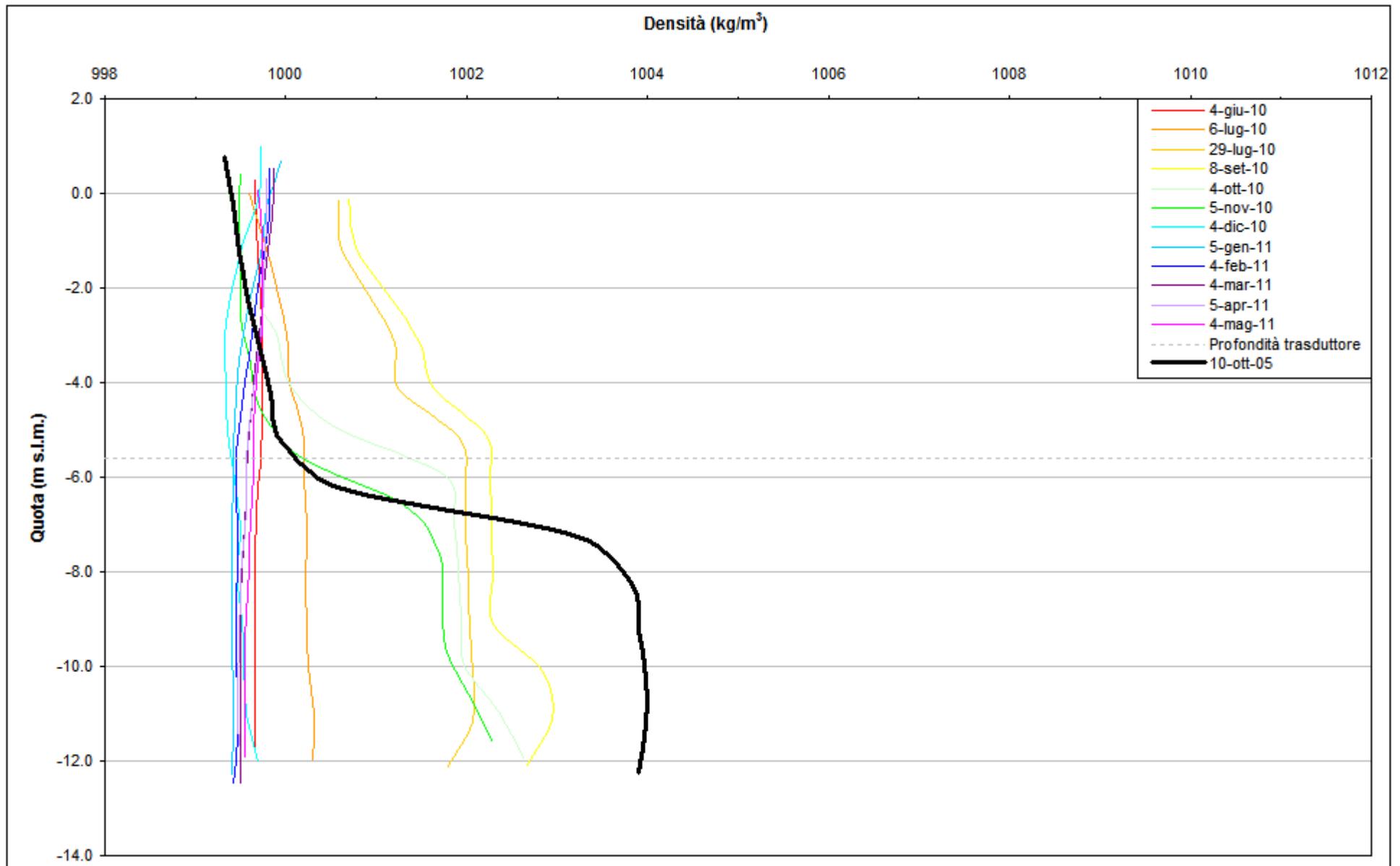


Fig. 2.89 - Profili verticali di densità PS10.

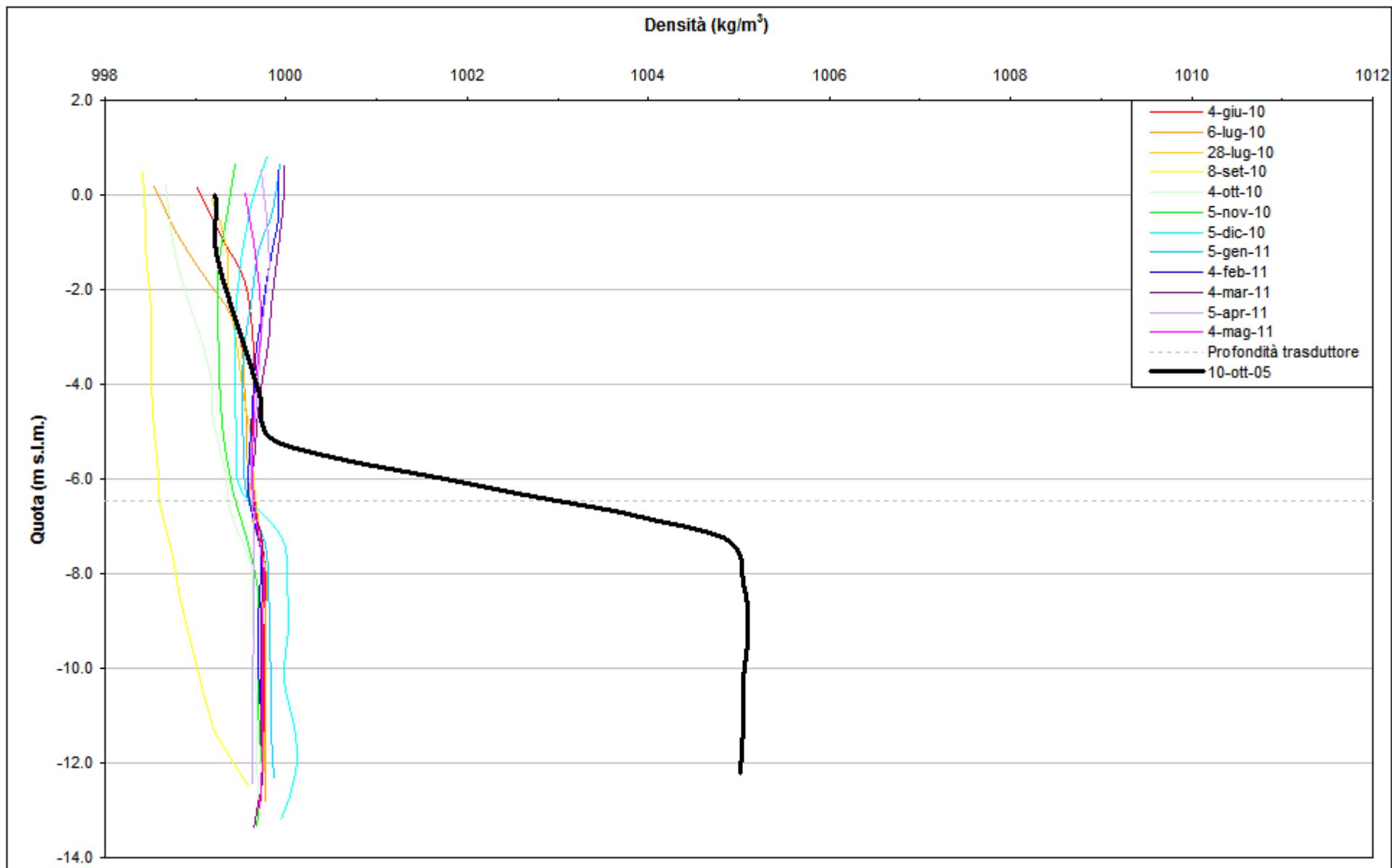


Fig. 2.90 - Profili verticali di densità PS11.

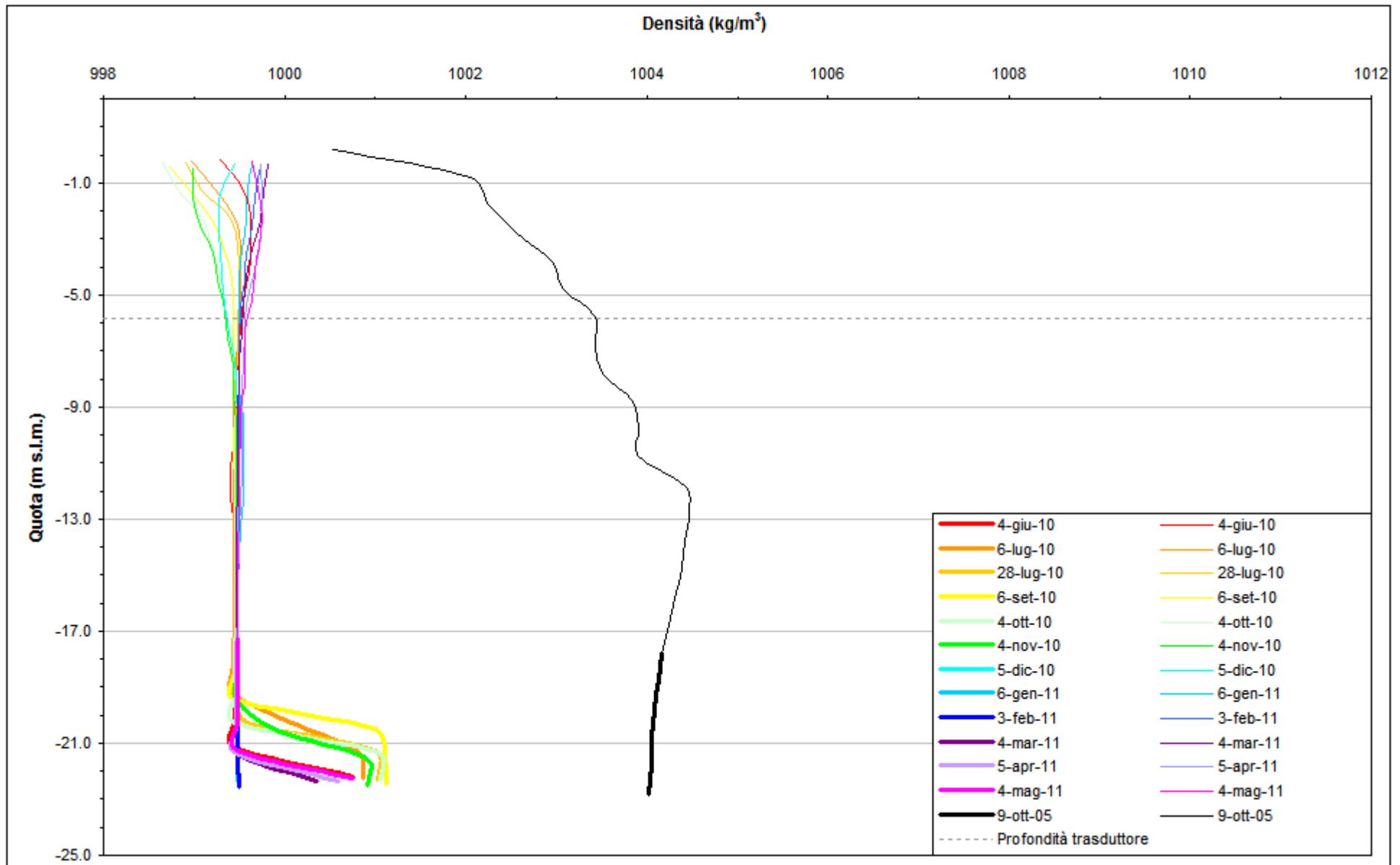


Fig. 2.91 - Profili verticali di densità PP01.

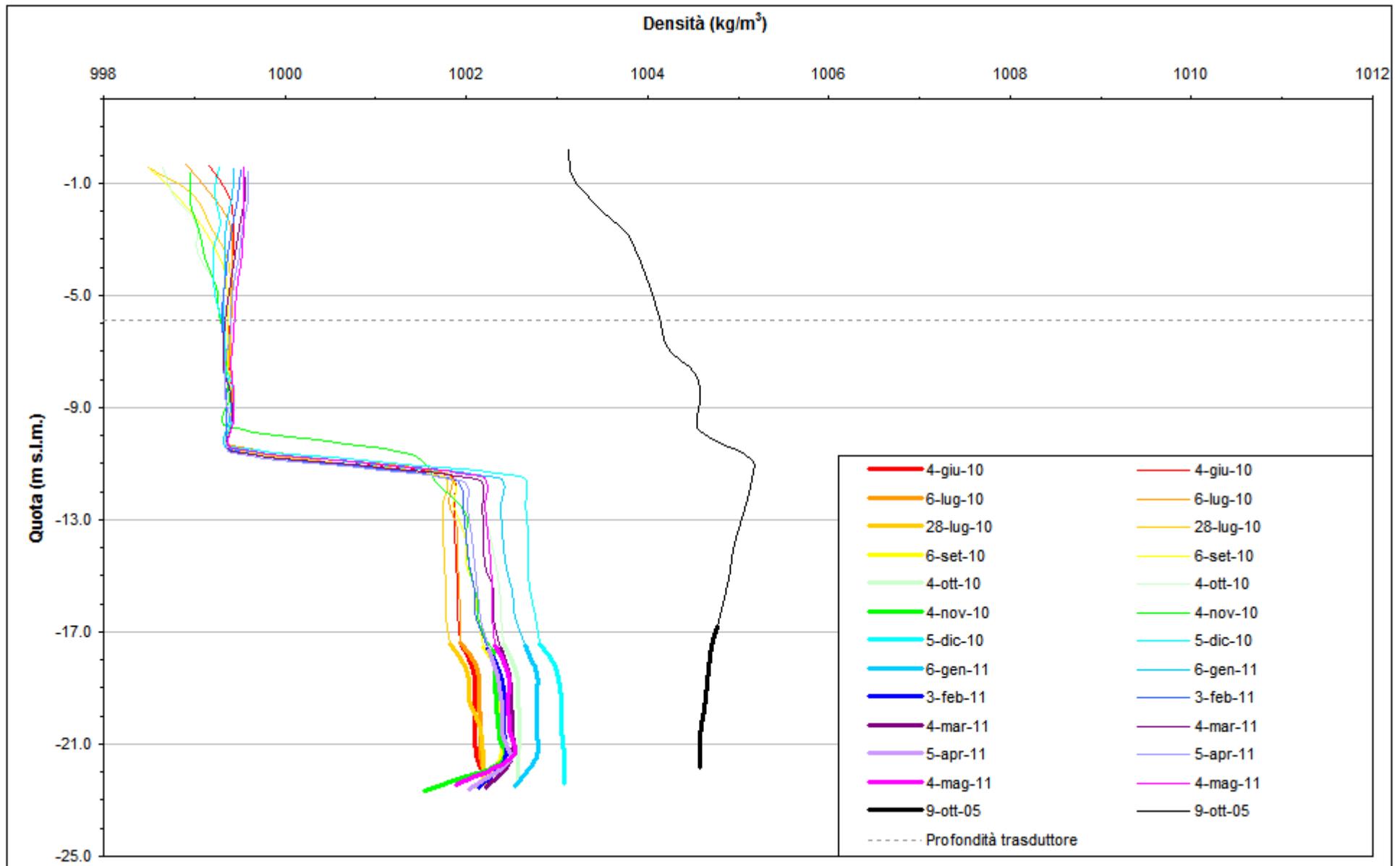


Fig. 2.92 - Profili verticali di densità PP02.

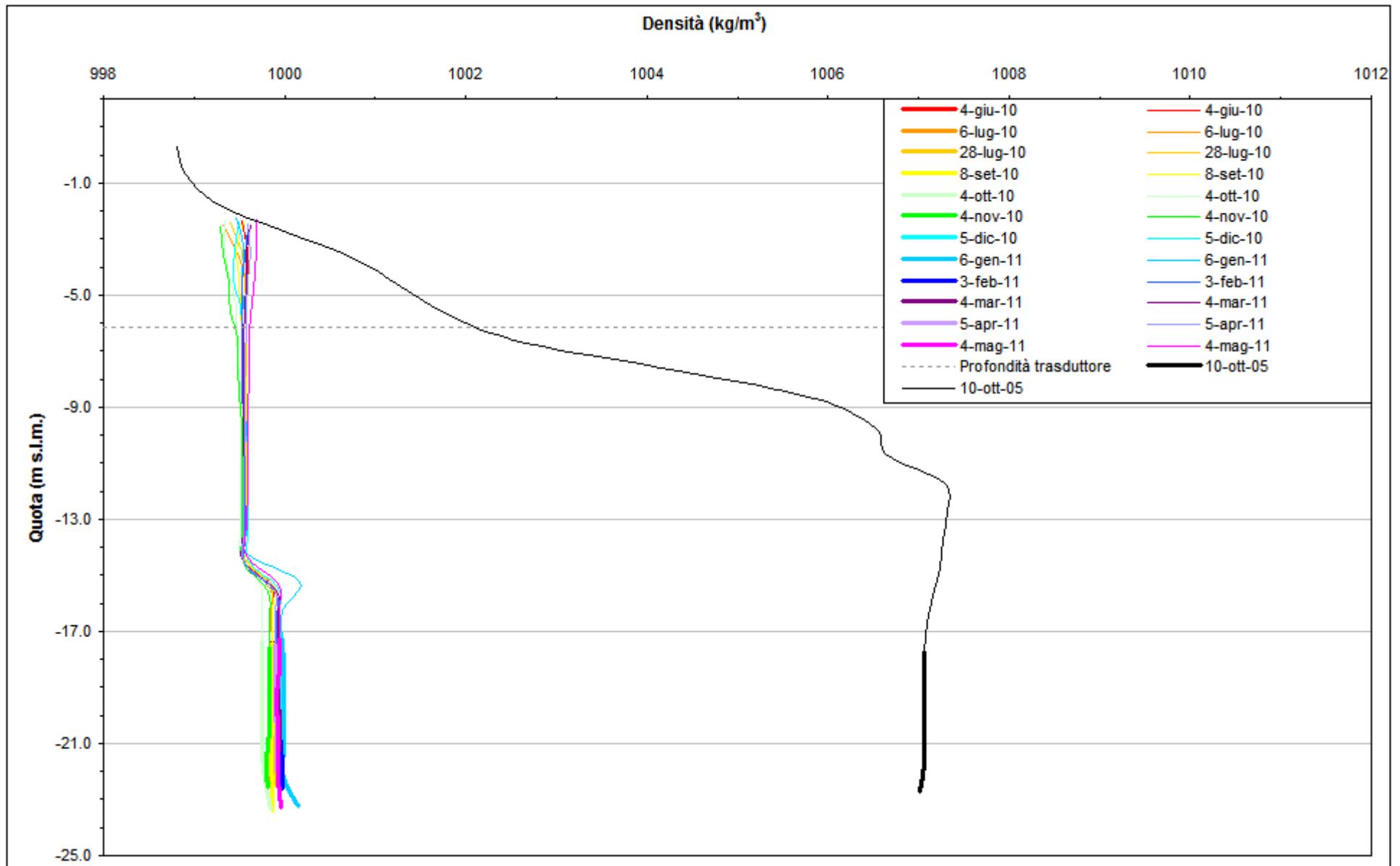


Fig. 2.93 - Profili verticali di densità PP03.

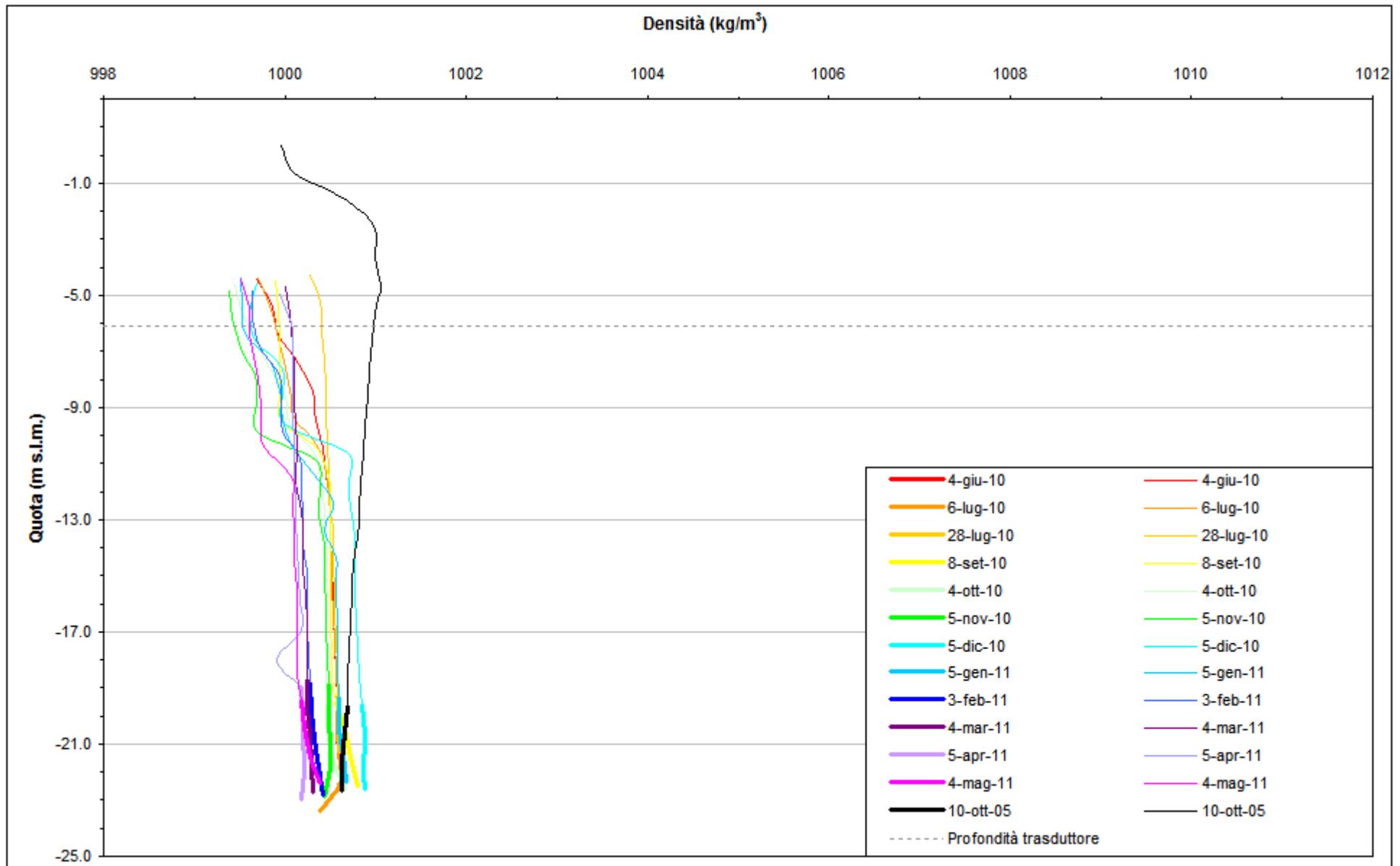


Fig. 2.94 - Profili verticali di densità PP04.

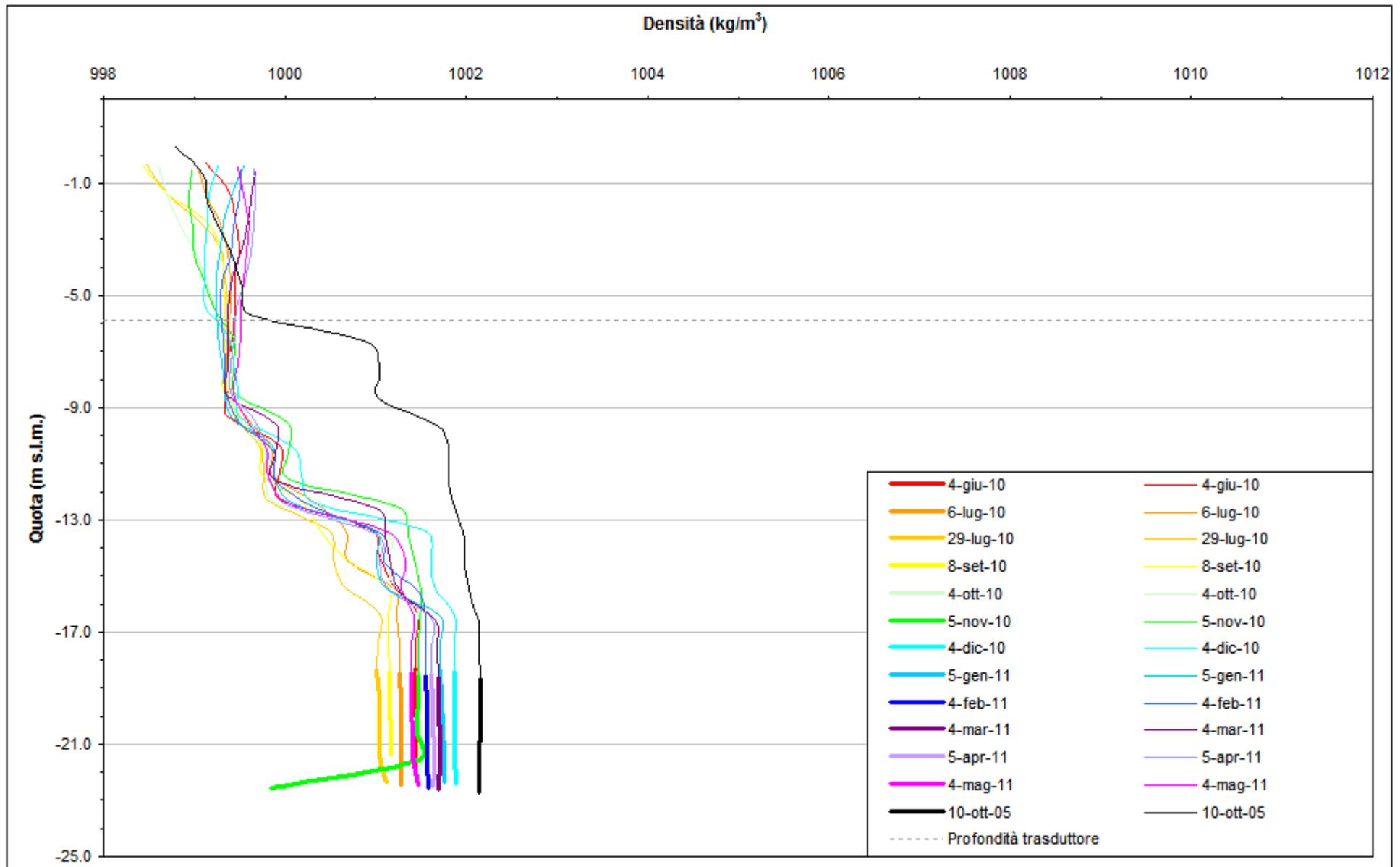


Fig. 2.95 - Profili verticali di densità PP05.

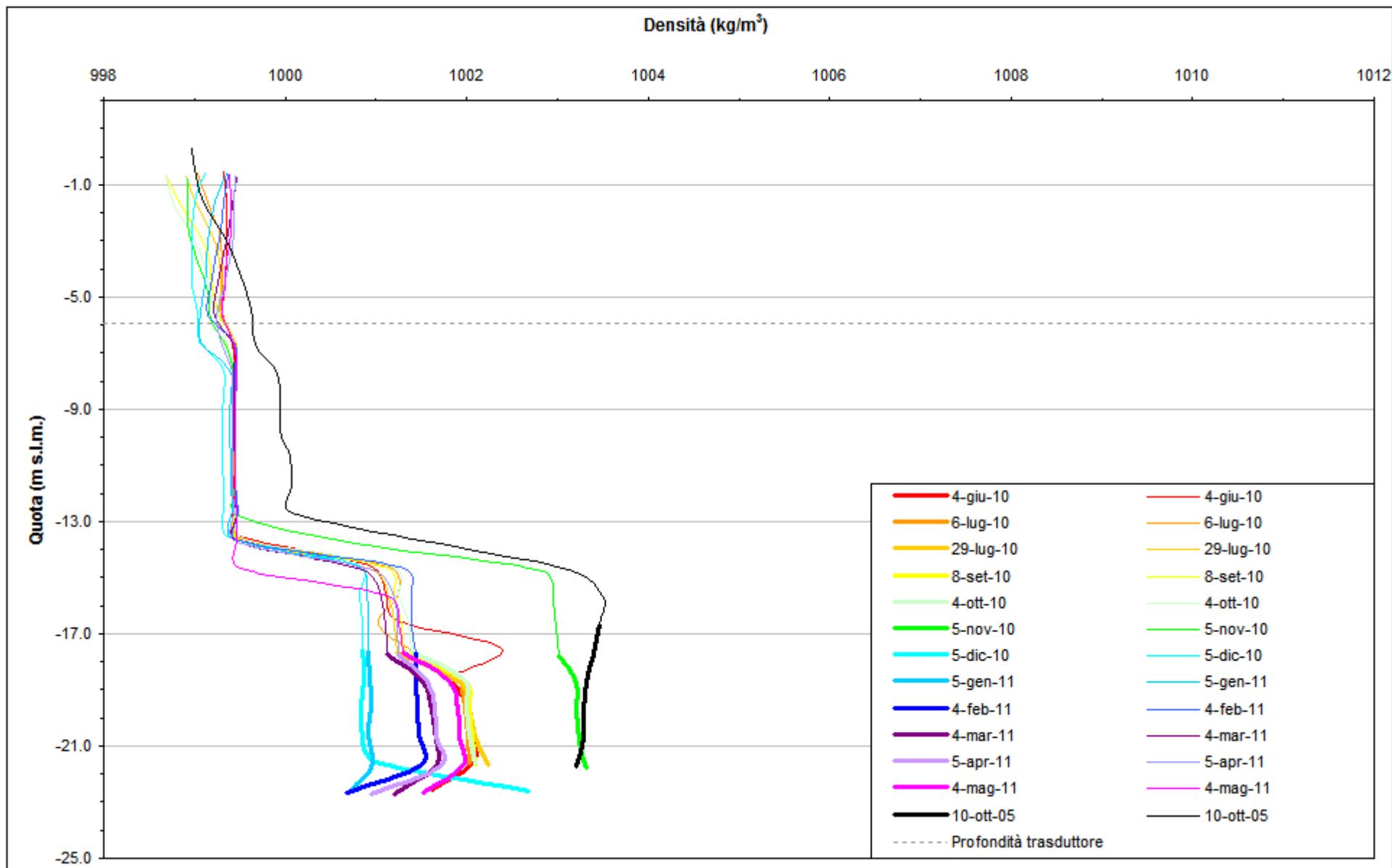


Fig. 2.96 - Profili verticali di densità PP06.

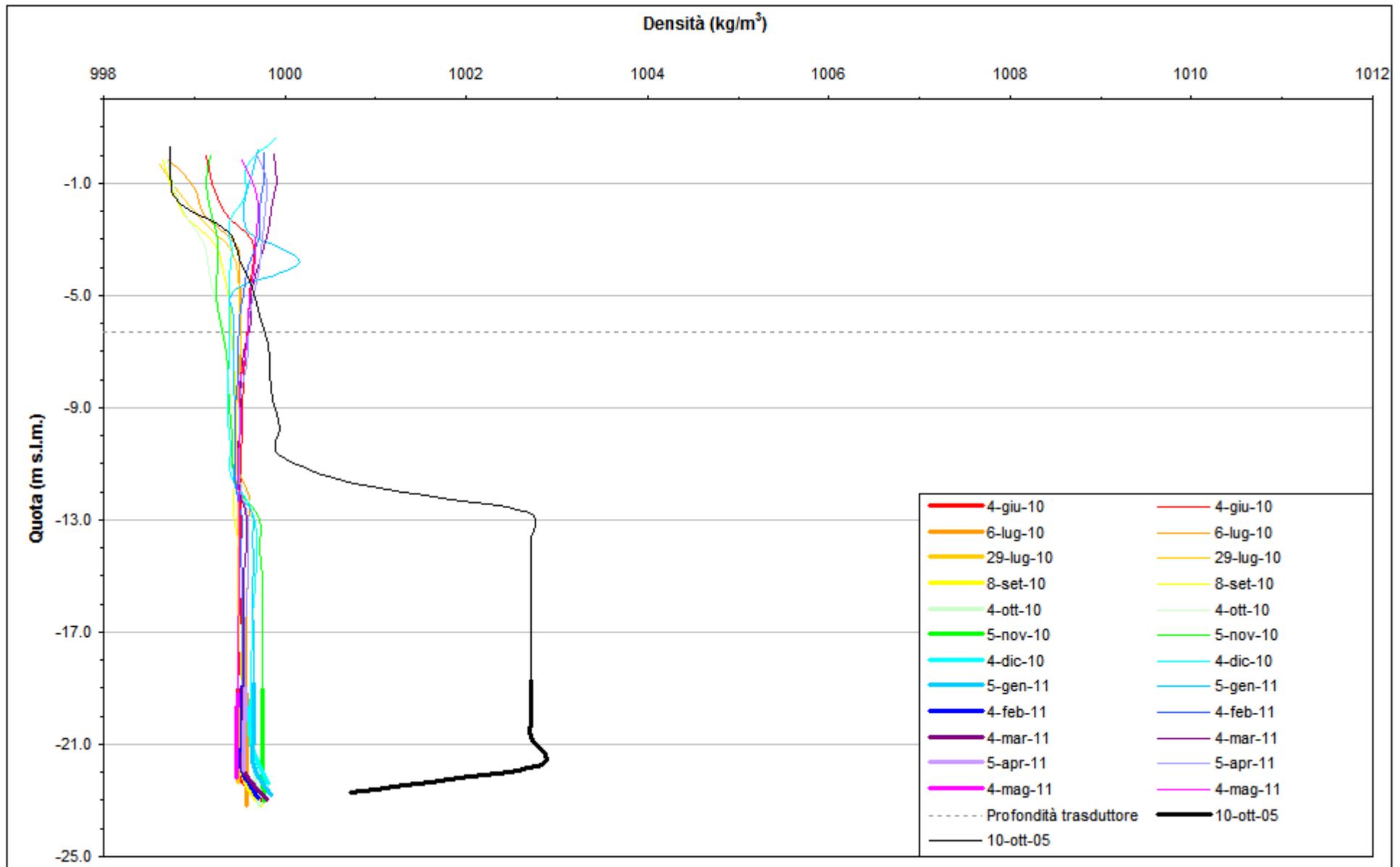


Fig. 2.97 - Profili verticali di densità PP07.

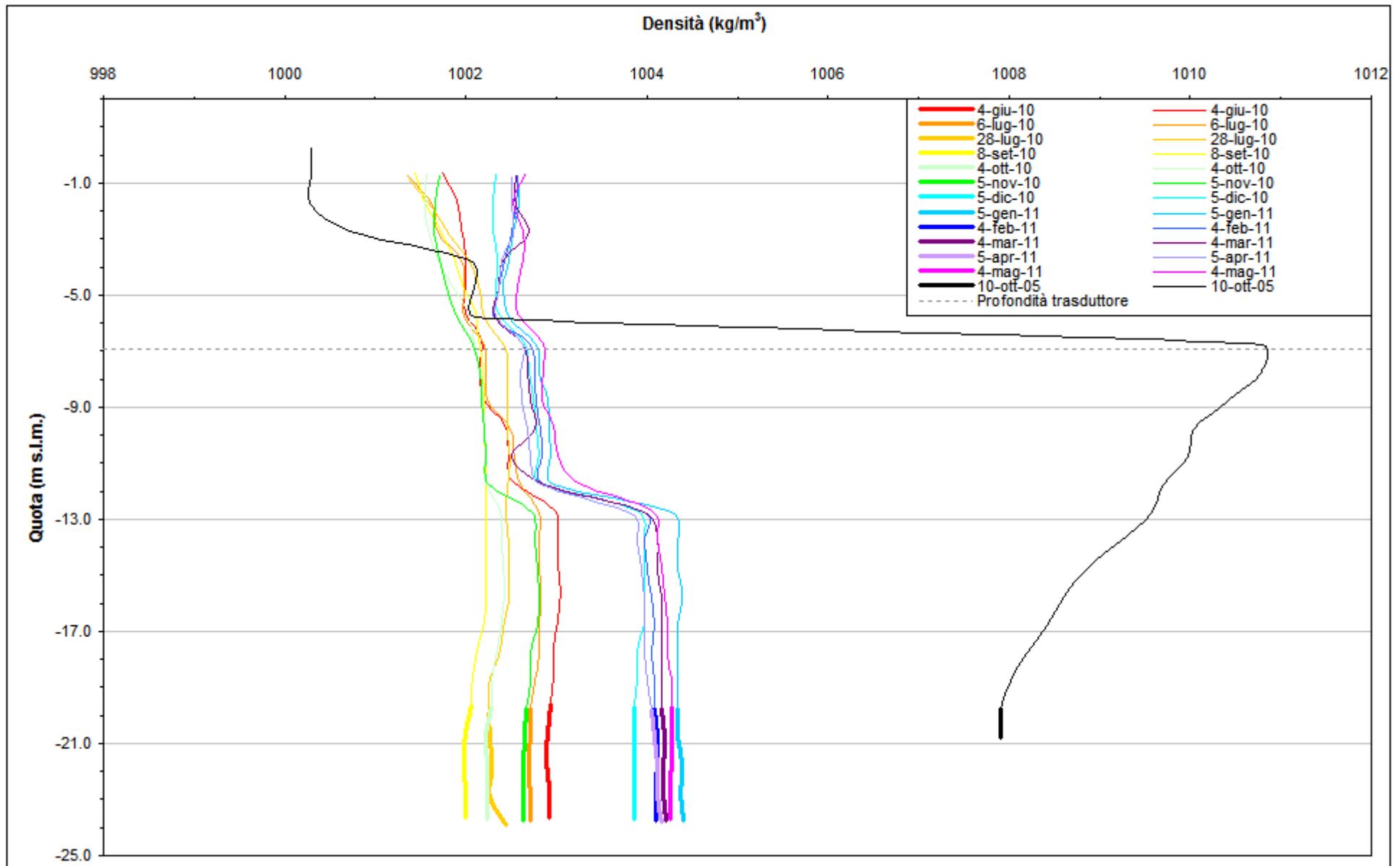


Fig. 2.98 - Profili verticali di densità PP08.

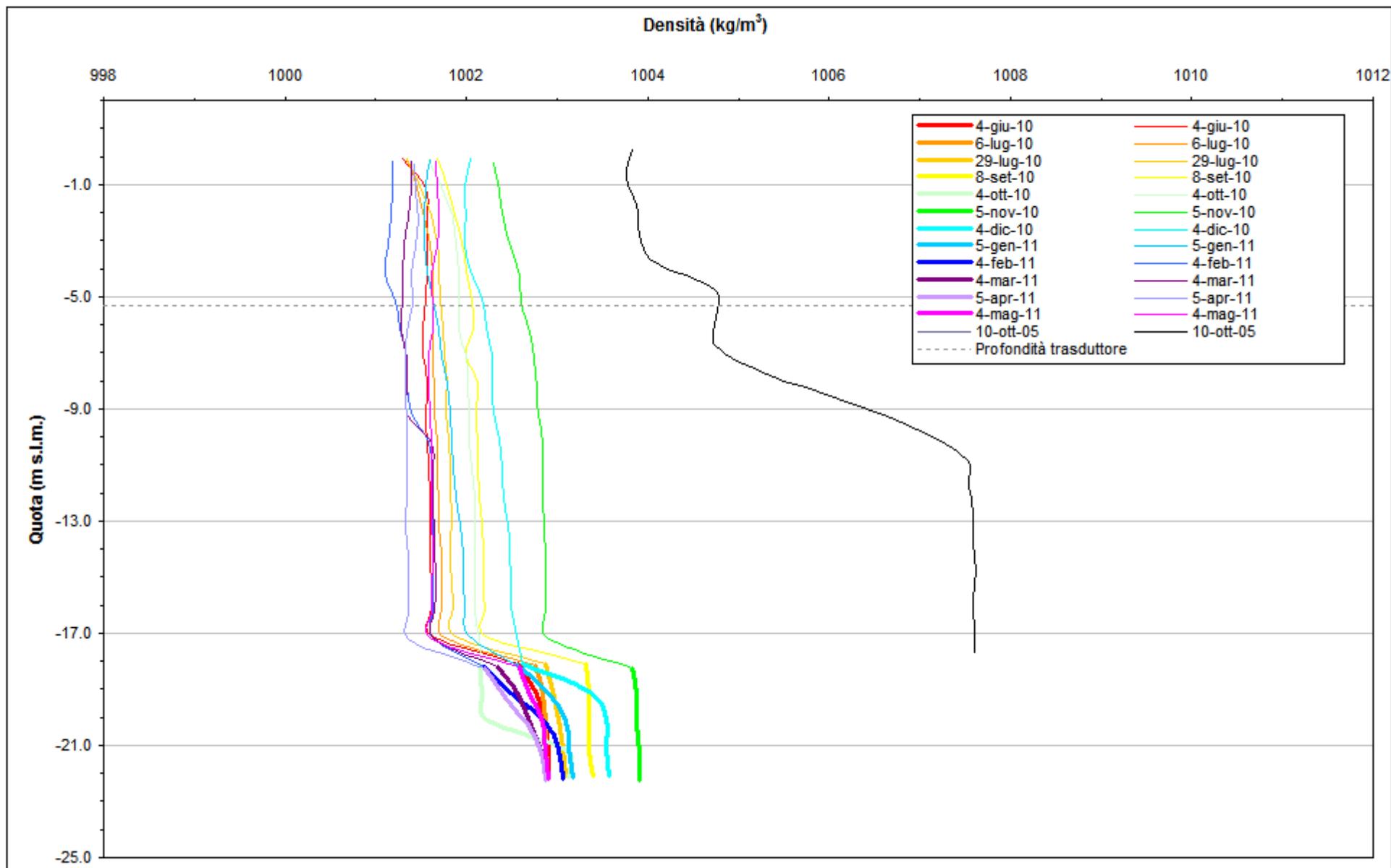


Fig. 2.99 - Profili verticali di densità PP09.

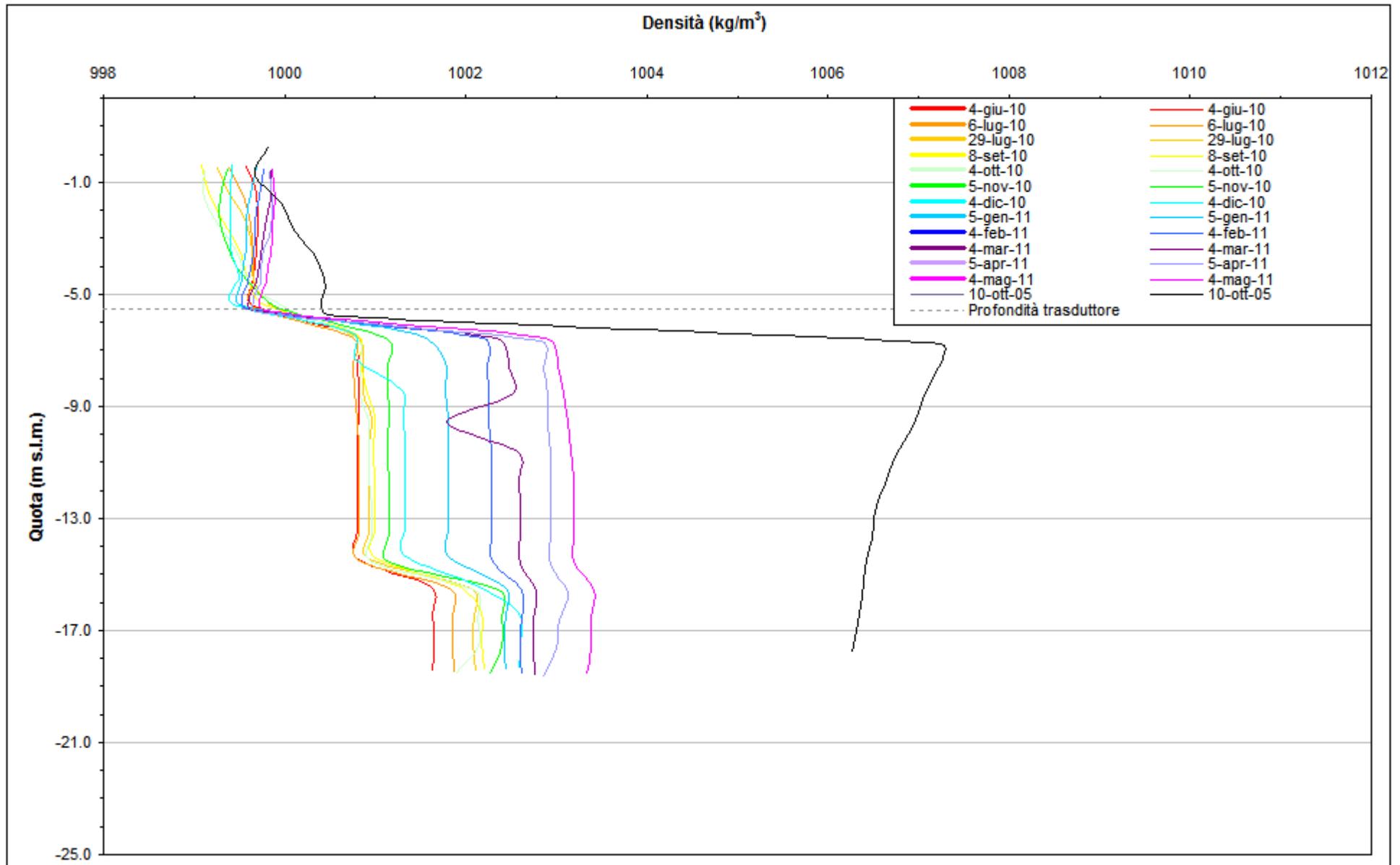


Fig. 2.100 - Profili verticali di densità PP10.

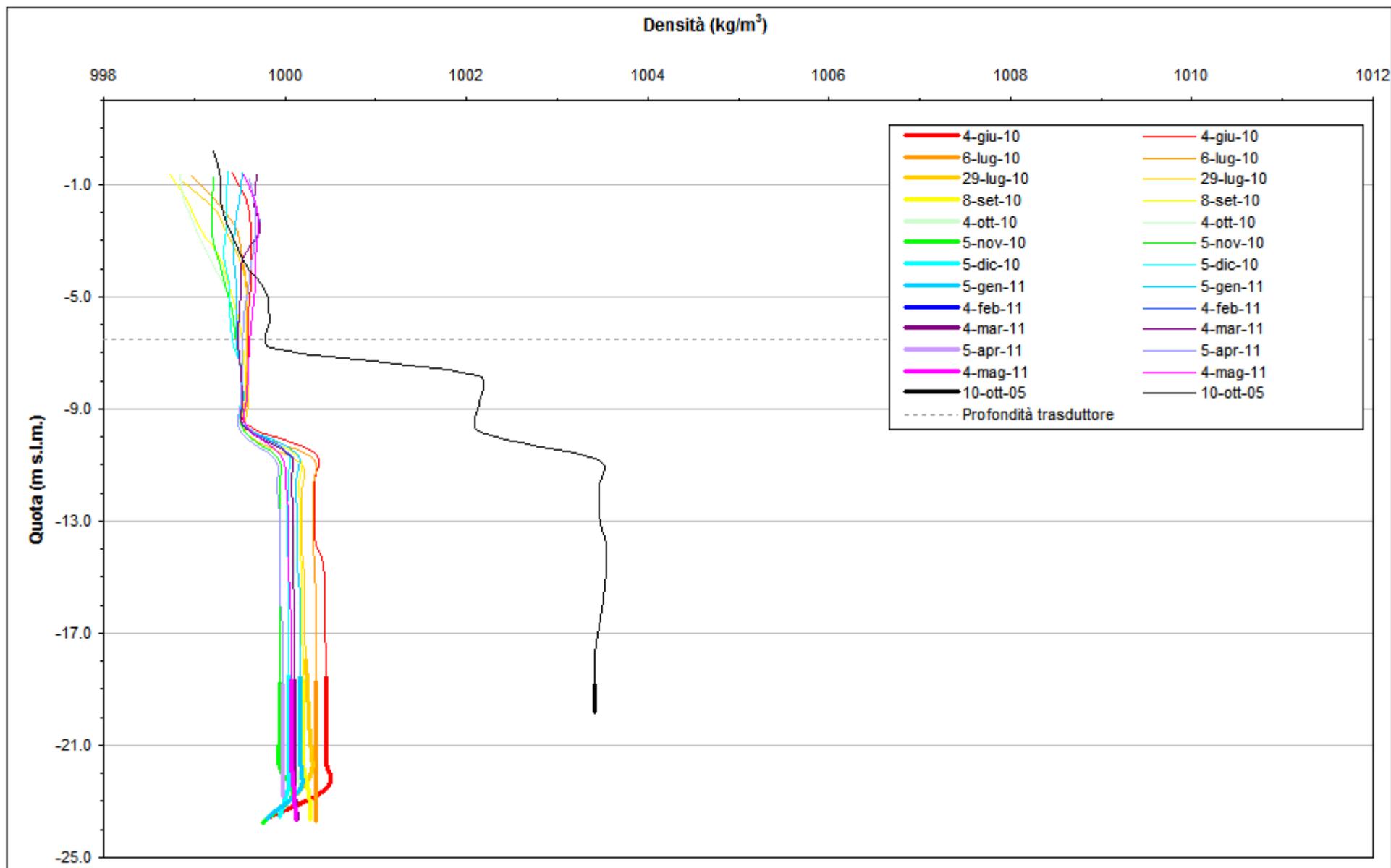


Fig. 2.101 - Profili verticali di densità PP11.

## 2.6 Conclusioni

L'analisi delle serie temporali dimostra lo stretto legame esistente tra le forzanti naturali e antropiche e i livelli di falda.

Nell'acquifero superficiale, i due piezometri costieri PS01 e PS02 mostrano oscillazioni forzate indotte dalla marea, mentre l'influenza delle piogge è trascurabile. Viceversa, nei piezometri interni (PS05÷11) e nei piezometri posti a ridosso del diaframma impermeabile della tura (PS03 e PS04) si osservano repentini innalzamenti di livello legati a singoli eventi meteorici, e una lenta discesa di livello dovuta all'evapotraspirazione. A differenza di quanto registrato nell'estate 2010, i livelli di falda superficiale si sono mantenuti superiori al livello medio del mare, pertanto il flusso di falda è rimasto diretto dalla terraferma al mare, come dimostrato dalla rappresentazione grafica della piezometria (Cap.2.5).

Rispetto al precedente anno di monitoraggio, i livelli di falda hanno subito una lieve diminuzione (5-25 cm circa).

In conclusione, rispetto alla situazione *ante operam* non si osservano variazioni rilevanti di livello riconducibili ad attività di cantiere, ad eccezione dei piezometri PS03 e PS04, posti a ridosso della barriera della tura, nei quali sono scomparse le oscillazioni forzate indotte dalla marea e si è verificato un innalzamento dei livelli dovuto all'isolamento dal mare di questa parte della falda superficiale.

Nell'acquifero profondo la configurazione piezometrica è molto differente rispetto alla situazione *ante operam*; si osserva infatti un cono di depressione originato dal pompaggio di dewatering della tura. In particolare, gli abbassamenti più consistenti si osservano nei piezometri PP04 (4.5 - 5 m) e PP03 (2.5 - 3 m), mentre negli altri piezometri (PP01, PP02, PP05÷11) tali abbassamenti diminuiscono con la distanza dalla tura e sono compresi tra 0.1 e 1.1 m. Nel periodo monitorato sono state osservate alcune oscillazioni del carico idraulico nei piezometri più vicini alla tura (PP04, PP12, PP03), attribuibili a variazioni nelle portate di emungimento del sistema di dewatering della tura, con ampiezza massima di circa 1m nel piezometro PP04, il più vicino alla tura; i dati relativi a tali portate non sono però stati resi disponibili alla Matrice Suolo.

Dall'analisi dei profili di densità dell'acqua di falda, ricavata a partire dai valori di conducibilità misurati nei sopralluoghi mensili, si osserva che:

- in molti piezometri, rispetto alla fase A (ottobre 2005), si è verificata una diminuzione della densità (e della salinità). Le variazioni più forti sono registrate nei piezometri superficiali PS01, PS02, PS04, PS08, PS11 e nei piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP07, PP08, PP09, PP10 e PP11. Tale diminuzione può essere attribuita all'effetto di sbarramento indotto dalla realizzazione della barriera impermeabile in corrispondenza della tura. Non si ritiene che la variazione della salinità dell'acqua di falda possa comportare un rischio per le attività agricole della zona;
- in alcuni piezometri superficiali si osservano delle variazioni stagionali della densità: in particolare, nei piezometri PS03, PS04, PS09, PS10 si osserva un aumento della densità nel periodo estivo e una diminuzione in seguito alle piogge autunnali e invernali. Nel piezometro PS08 e, in misura minore, nei piezometri PS05, PS06, PS07, PS11, si osserva una dinamica opposta, con valori più elevati durante l'inverno;
- nei piezometri profondi PP02, PP05, PP08, PP10 la densità raggiunge il suo valore minimo nel periodo estivo e cresce nel periodo autunnale e invernale, mentre nel piezometro PP06 i valori massimi sono registrati in estate.

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

### 3. MONITORAGGIO FALDA - CA' ROMAN

#### 3.1 Rete di monitoraggio

Vengono di seguito descritti i dati raccolti in corrispondenza del sito di Ca' Roman durante il periodo di monitoraggio di Fase B compreso tra il 1 maggio 2010 e il 30 aprile 2011.

Sono riportati i tracciati relativi ai livelli piezometrici nell'intero periodo di osservazione in corrispondenza della postazione doppia di monitoraggio (Fig.3.1), le cui coordinate sono riportate in Tab.3.1. I dati sono messi in relazione alle forzanti naturali (precipitazioni, oscillazioni mareali e pressione atmosferica) che concorrono alla determinazione dei livelli piezometrici dei due livelli acquiferi (Cap. 3.2). Ogni grafico riporta il livello piezometrico assoluto per ciascun piezometro, il livello del mare, le precipitazioni e le Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo. Sono infine proposti i profili verticali di densità calcolati (Cap. 3.3), per ciascun piezometro, a partire dai dati grezzi di conduttanza. Nel Cap. 3.4 sono riportate le conclusioni.

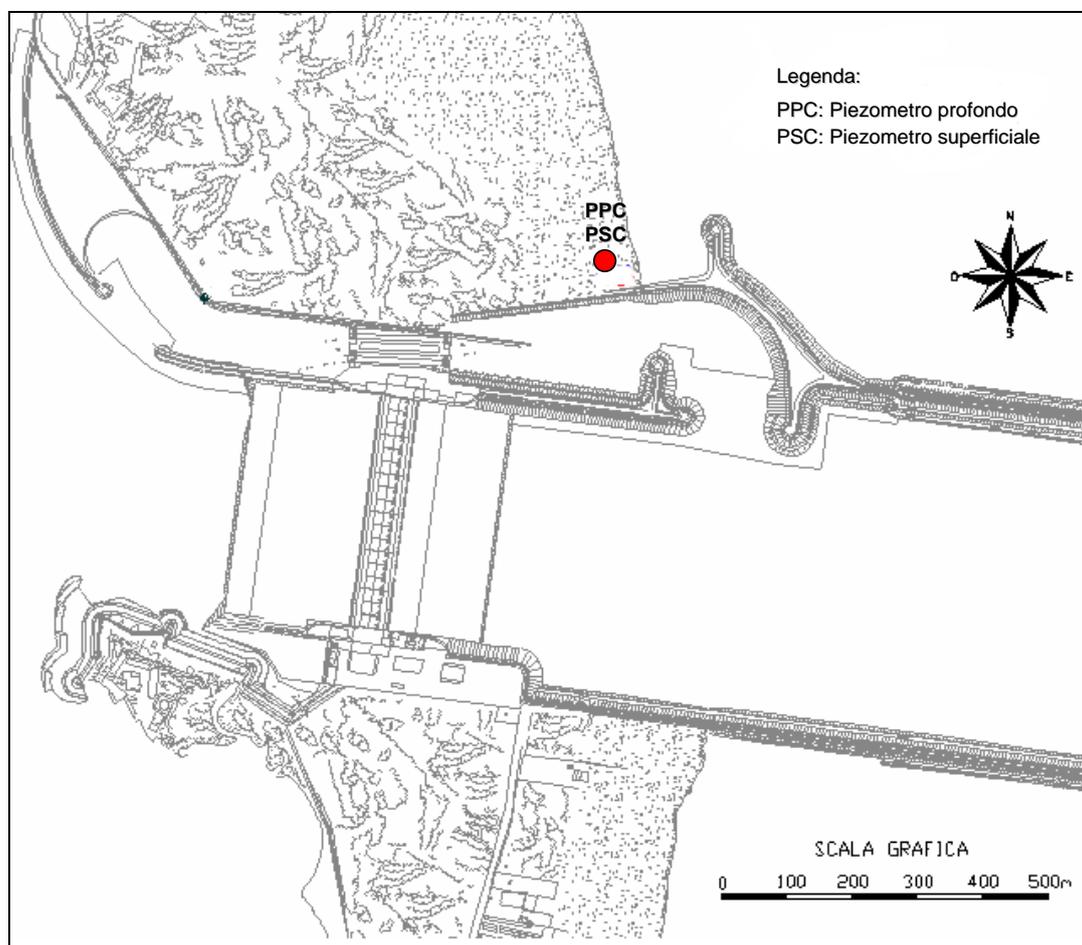


Fig. 3.1- Ubicazione dei piezometri

Tab. 3.1- Coordinate planoaltimetriche 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   |

## 3.2 Analisi dei dati

### 3.2.1 *Descrizione delle forzanti naturali*

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

- Precipitazioni, registrate dalla stazione meteorologica MAV-CVN “Ceppe” situata alla bocca Nord di Malamocco e, per i mesi di maggio, luglio 2010 e gennaio 2011, dalla stazione meteorologica “ARPAV - Chioggia”;
- oscillazioni mareali registrate dal mareografo “Diga Sud Chioggia” e, per i mesi di maggio e giugno 2010 e aprile 2011, dal mareografo “Chioggia Città” (stazioni di monitoraggio meteorologico dell’Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Comune di Venezia);
- pressione atmosferica registrata dal barologger BC01, installato in corrispondenza piezometro superficiale PSC01.

#### 3.2.1.1 Precipitazioni

I dati di precipitazione sono stati acquisiti dalla centralina MAV-CVN “Ceppe” di Malamocco per tutto il periodo monitorato, ad eccezione dei mesi di maggio, luglio 2010 e gennaio 2011, nei quali sono stati utilizzati i dati della centralina “ARPAV - Chioggia”. Nelle Figg.3.2-3.3 è riportato l’andamento delle precipitazioni registrate nel periodo di riferimento. In Tab.3.2 sono riportati gli eventi piovosi di entità maggiore o uguale a 5 mm.

Tab. 3.2 - Eventi piovosi significativi verificatesi nel periodo di monitoraggio.

| DATA        | DURATA (h) | ENTITÀ (mm) |
|-------------|------------|-------------|
| 02/05/10    | 24         | 8.0         |
| 04-06/05/10 | 72         | 39.4        |
| 10-11/05/10 | 48         | 14.8        |
| 13/05/10    | 24         | 41.4        |
| 15/05/10    | 24         | 17.4        |
| 27/05/10    | 24         | 10.8        |
| 02/06/10    | 3          | 7.5         |
| 03/06/10    | 5          | 9           |
| 16/06/10    | 16         | 14.2        |
| 23/06/10    | 1          | 10.7        |
| 18/07/10    | 24         | 25.2        |
| 05-06/08/10 | 23         | 11.6        |
| 13/08/10    | 8          | 25.4        |
| 14/08/10    | 9          | 9.7         |
| 03-04/09/10 | 20         | 15.9        |
| 08/09/10    | 6          | 39.5        |
| 17-18/09/10 | 17         | 5.3         |
| 24-26/09/10 | 28         | 9.4         |
| 04-05/10/10 | 29         | 11.6        |
| 16-17/10/10 | 21         | 18.9        |
| 24-26/10/10 | 39         | 12.3        |
| 31/10/10    | 20         | 6.5         |
| 01-02/11/10 | 32         | 26.8        |
| 07-08/11/10 | 21         | 14.5        |

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

| DATA        | DURATA (h) | ENTITÀ (mm) |
|-------------|------------|-------------|
| 09/11/10    | 6          | 9.9         |
| 10/11/10    | 4          | 5.8         |
| 16/11/10    | 15         | 9.5         |
| 18-19/11/10 | 10         | 12.5        |
| 21-22/11/10 | 17         | 13          |
| 24/11/10    | 3          | 5.7         |
| 26/11/10    | 18         | 18.1        |
| 28/11/10    | 13         | 14.6        |
| 01/12/10    | 10         | 19.6        |
| 03/12/10    | 7          | 6.8         |
| 04/12/10    | 13         | 5           |
| 06/12/10    | 14         | 9.5         |
| 21-22/12/10 | 26         | 25.6        |
| 23-26/12/10 | 72         | 26.4        |
| 16/02/11    | 19         | 28.7        |
| 13-14/03/11 | 11         | 15.6        |
| 14-15/03/11 | 13         | 8.1         |
| 15-17/03/11 | 33         | 52.7        |

### 3.2.1.2 Livello del mare

Nelle Fig.3.4-3.5 è tracciato l'andamento del livello del mare durante l'anno di monitoraggio, registrato dal mareografo "Diga Sud Chioggia" e, per i mesi di maggio e giugno 2010 e aprile 2011, dal mareografo "Chioggia Città". 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.

### 3.2.1.3 Pressione atmosferica - $h_b$

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

Nelle Fig.3.6-3.7 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 Levellogger installati nei piezometri PSC01 e PPC01.

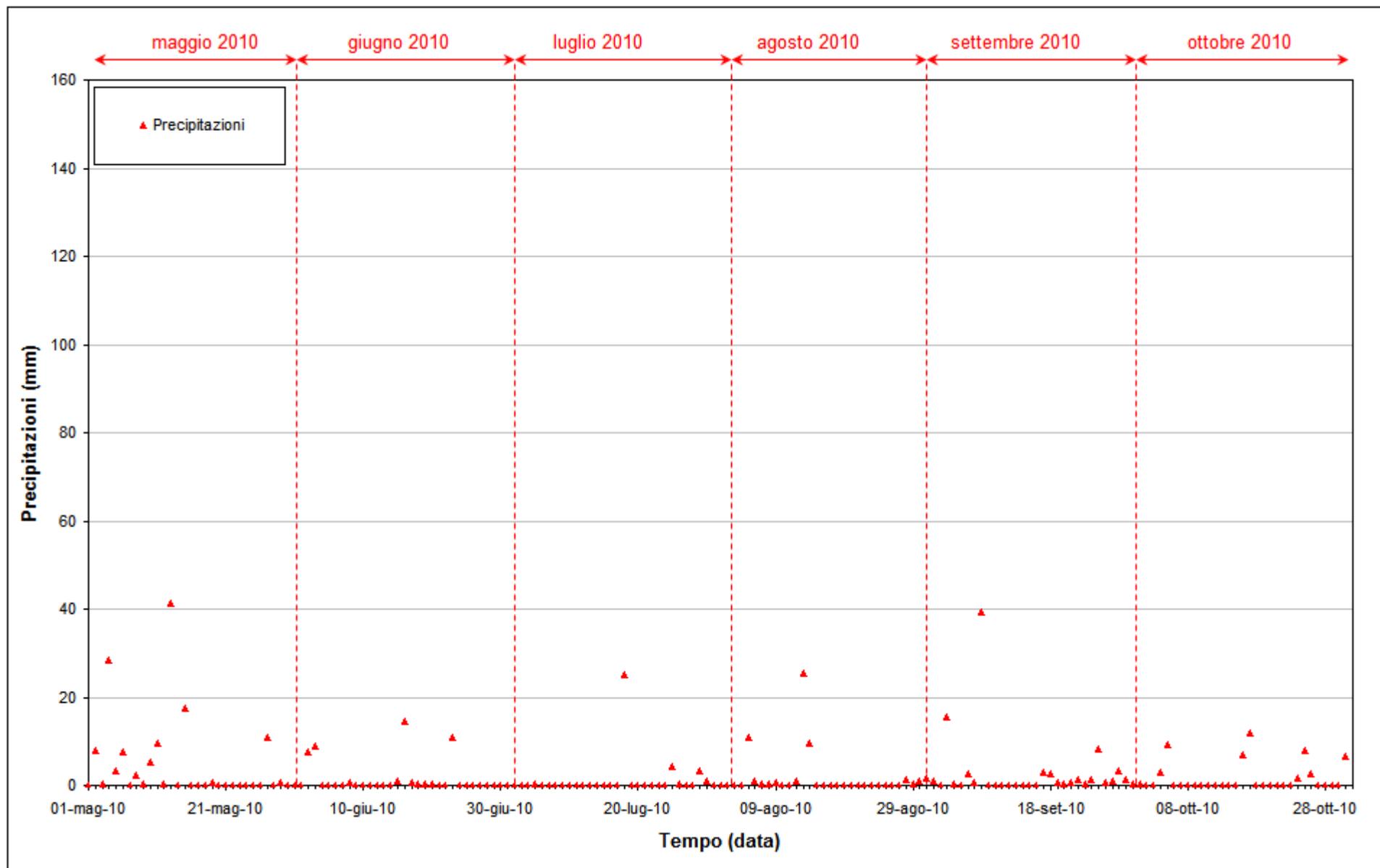


Fig. 3.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

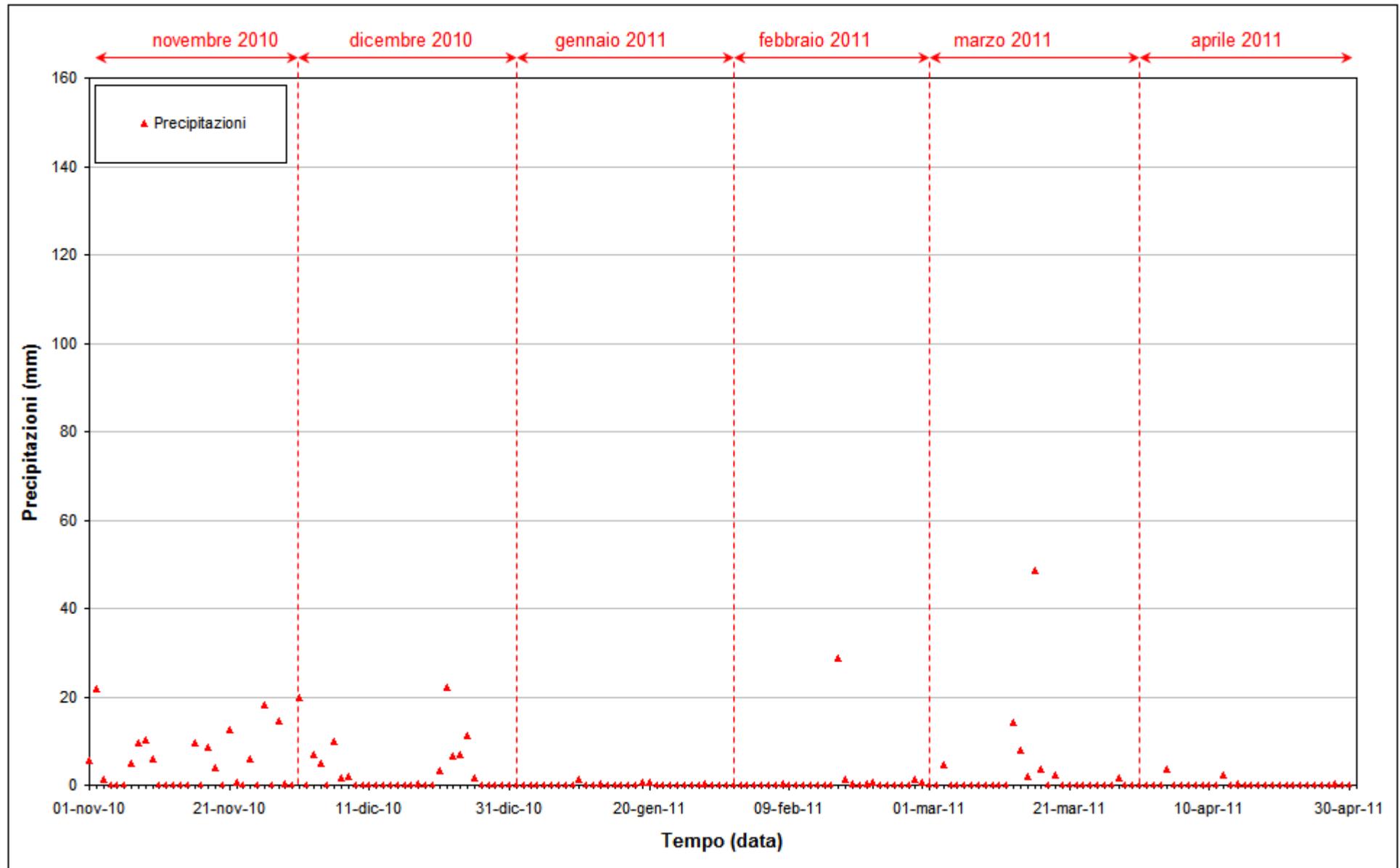


Fig. 3.3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

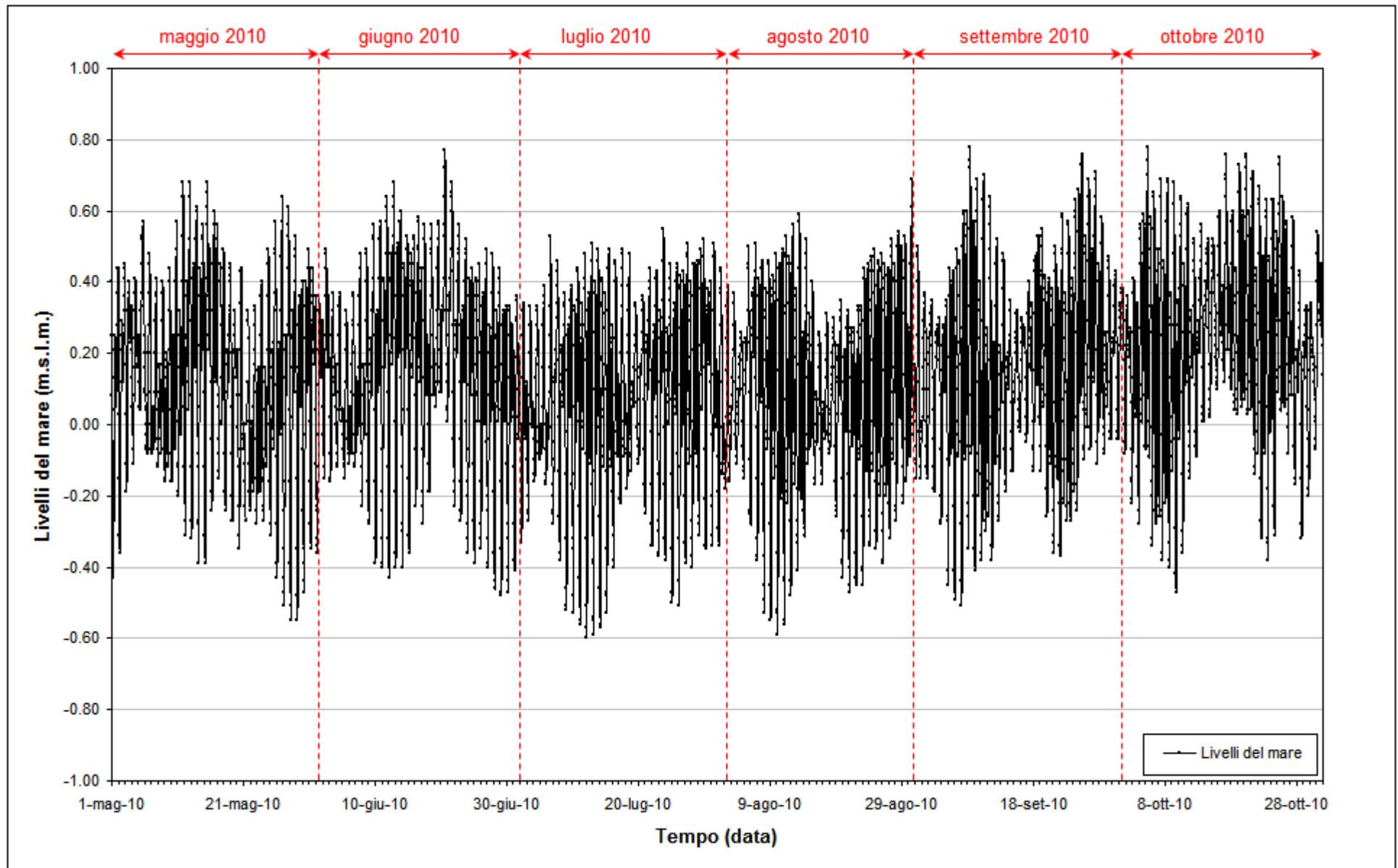


Fig. 3.4 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

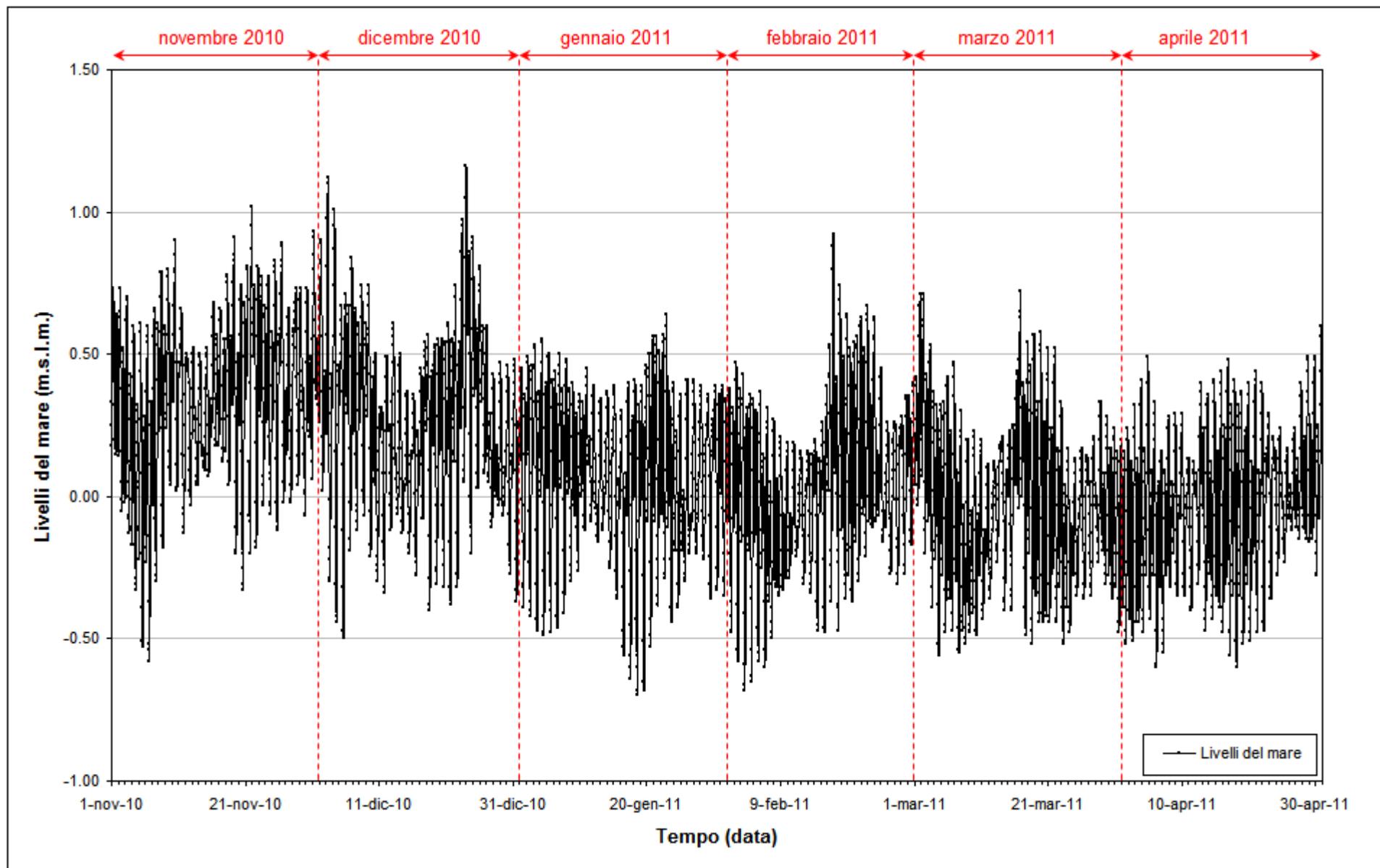


Fig. 3.5 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

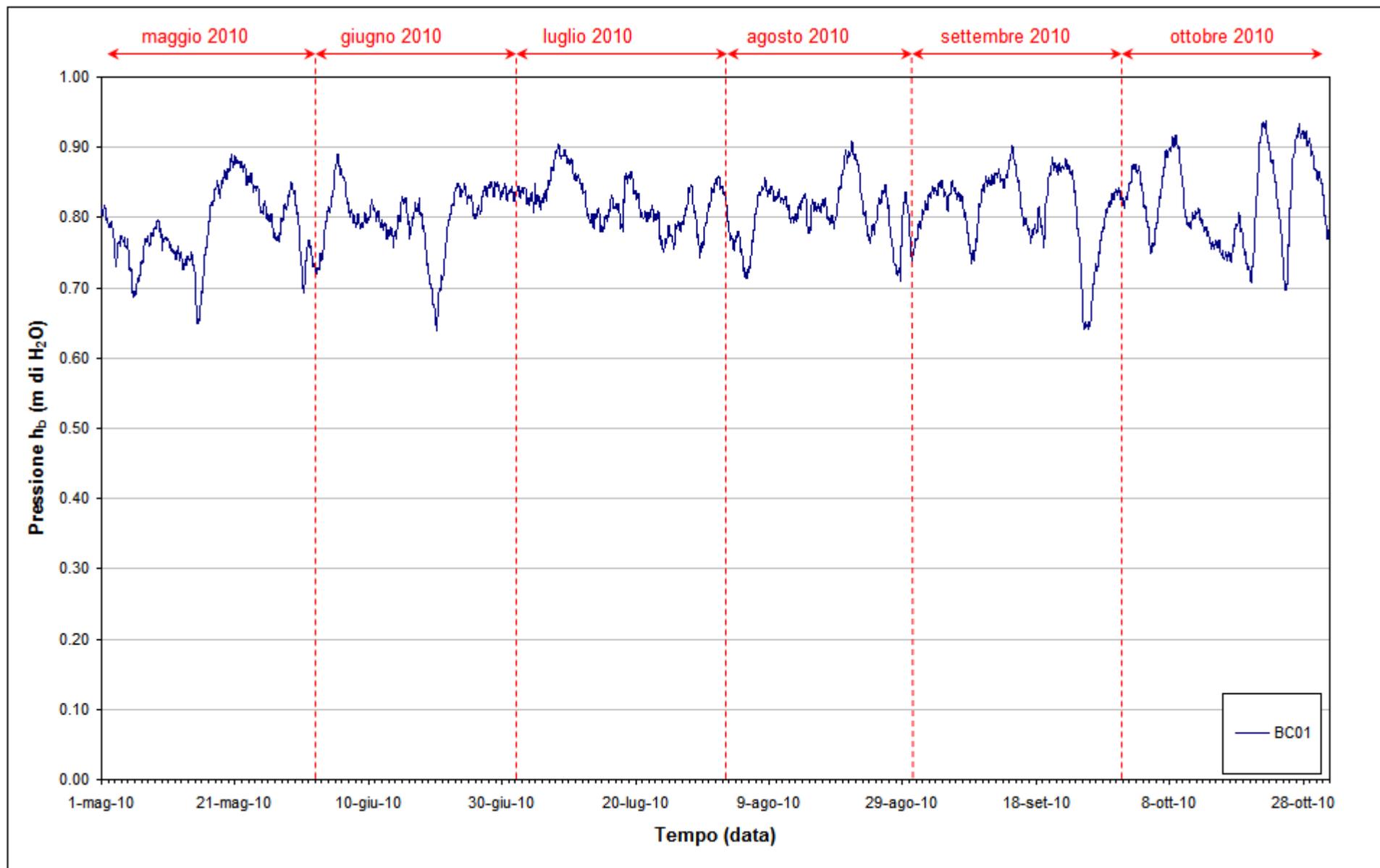


Fig. 3.6 - Tracciato di misura del Barologger BC01 ( $h_b$ ) nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

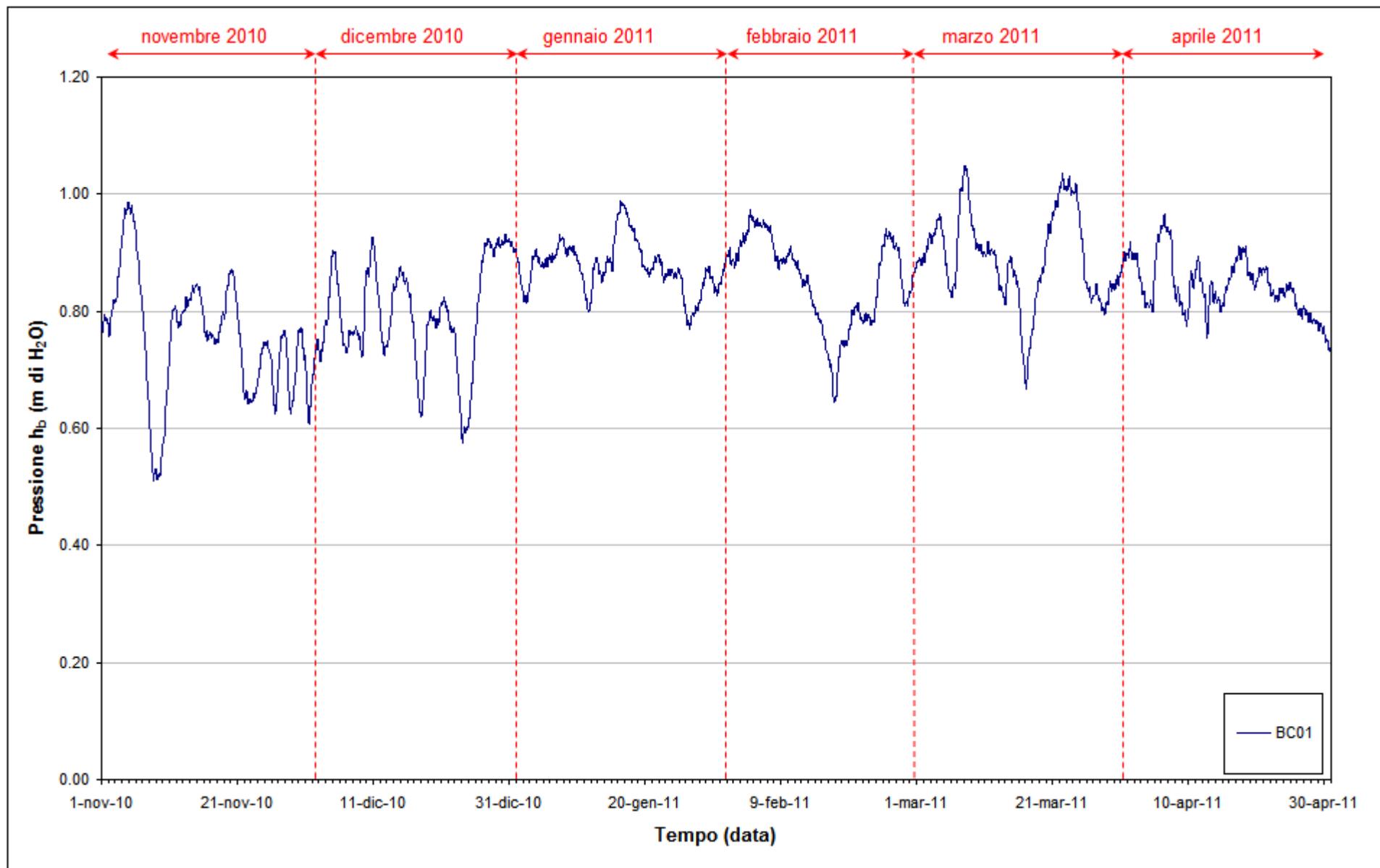


Fig. 3.7 - Tracciato di misura del Barologger BC01 (h<sub>b</sub>) nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

### **3.2.2 Piezometro superficiale – primo livello acquifero (Strato A)**

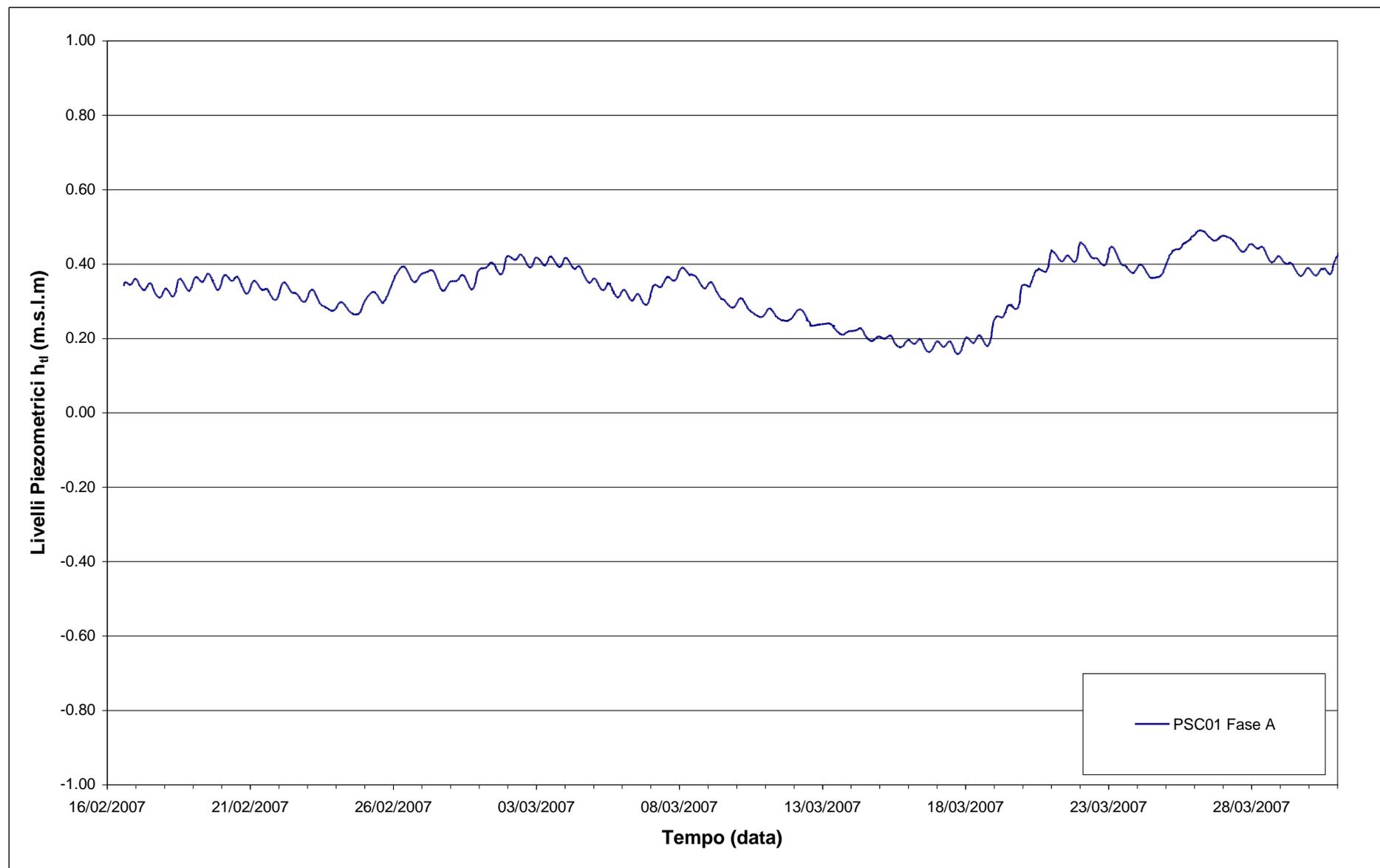
In questo capitolo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti relativi al piezometro superficiale PSC01, finestrato in corrispondenza del primo livello acquifero (Strato A).

In Fig. 3.8 è riportato l'andamento dei livelli piezometrici nel piezometro superficiale PSC01 durante la fase A (febbraio – marzo 2007).

Nelle Fig.3.9-3.10 sono rappresentati singolarmente i livelli assoluti del piezometro PSC01, associati alle relative soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo ed alle forzanti naturali (precipitazioni e oscillazioni mareali).

Dall'analisi dei tracciati si può notare che i livelli di falda nell'acquifero superficiale sono svincolati dalle oscillazioni mareali in seguito all'infissione dei palancolati nella porzione perimetrale della tura in prossimità dei piezometri, avvenuta nel gennaio 2008.

Tra l'inizio e la fine del periodo monitorato (01/05/10 – 30/04/11) non si osservano variazioni apprezzabili del livello di falda nel piezometro superficiale PSC01.

Fig. 3.8 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale durante la Fase A.

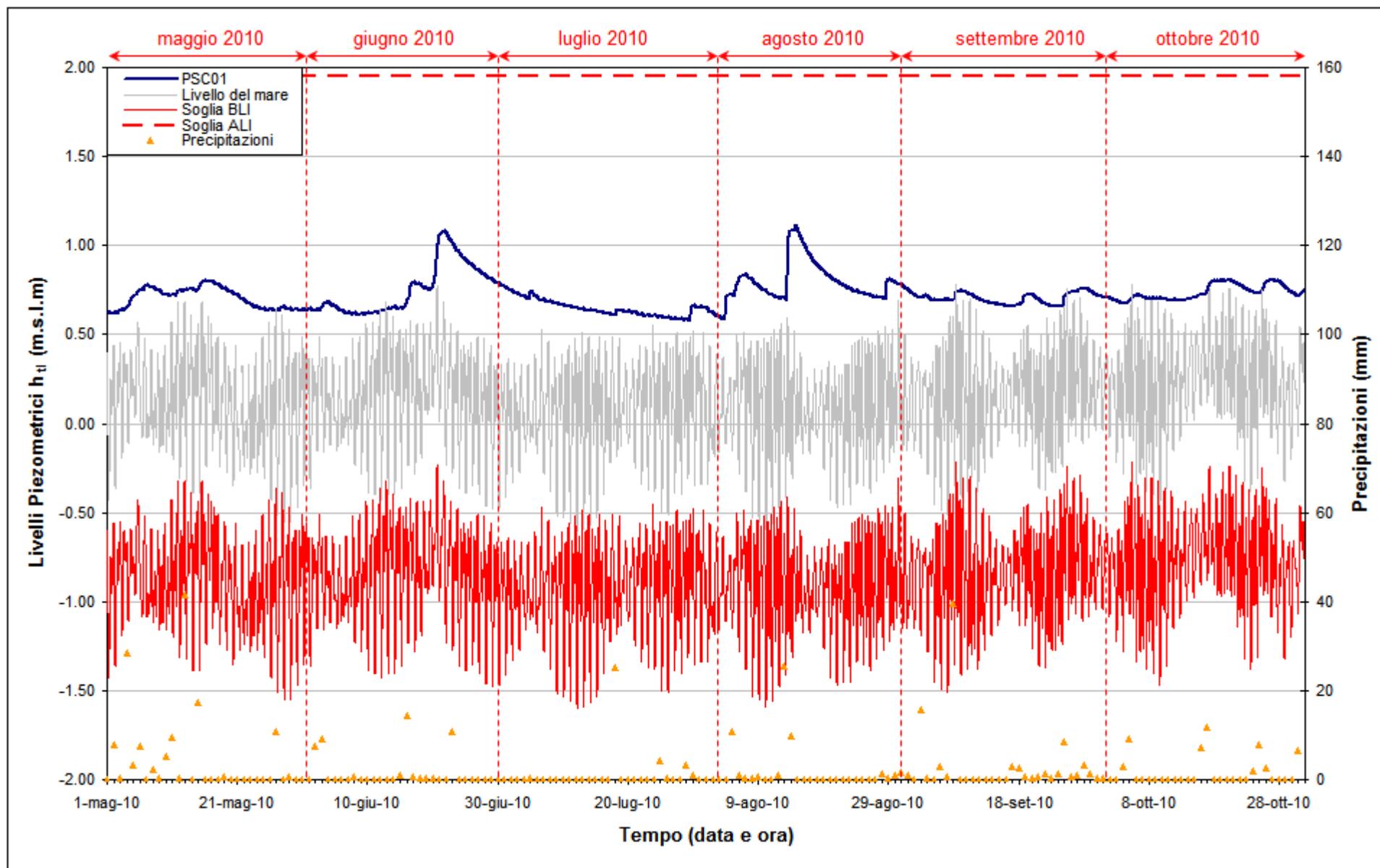


Fig. 3.9 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PSC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 – 31/10/2010.

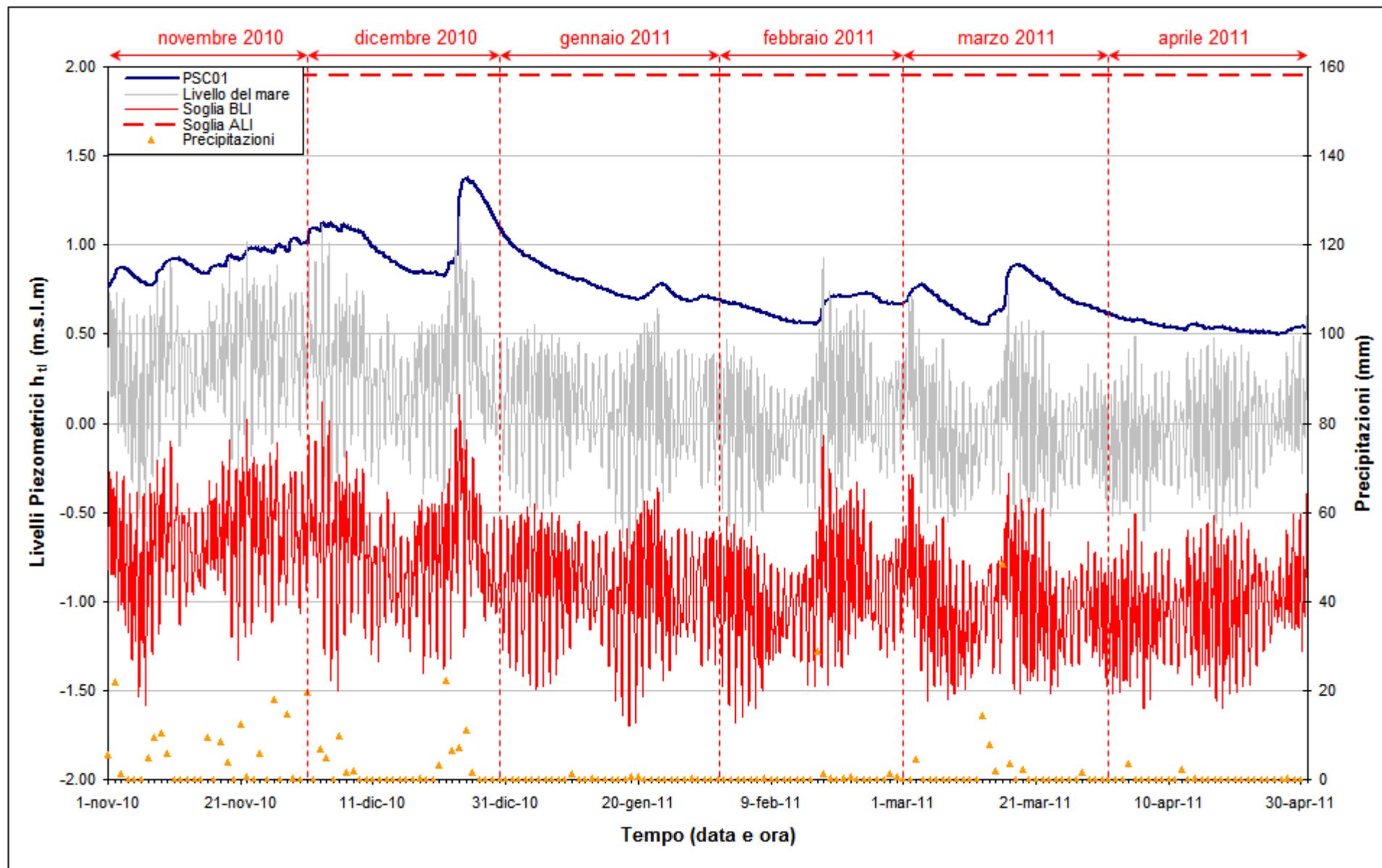


Fig. 3.10 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro superficiale PSC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

### **3.2.3** *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).

In Fig.3.11 è riportato l'andamento dei livelli piezometrici nel piezometro profondo PPC01 durante la fase A (febbraio – marzo 2007).

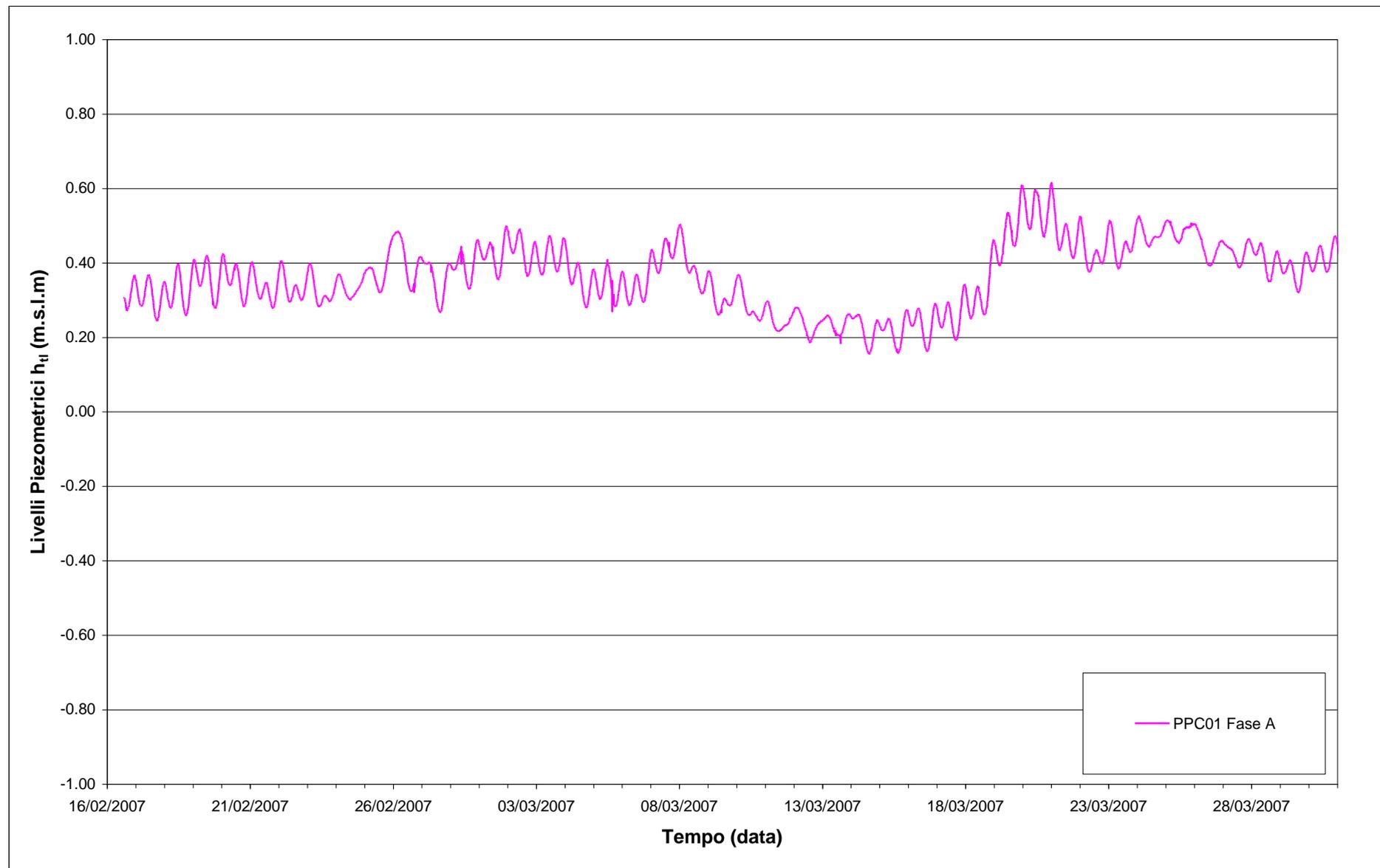
Nelle Figg.3.12-3.13 sono rappresentati singolarmente i livelli assoluti del piezometro PPC01 associati alle relative soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo ed alle forzanti naturali (precipitazioni e oscillazioni mareali).

Nelle Figg.3.14-3.15 sono rappresentati i livelli dei piezometri PSC01 e PPC01 mediati su 24 ore e confrontati con la soglia di Basso Livello Medio.

Il piezometro PPC01 non rispetta le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio per tutto il periodo monitorato, a causa del funzionamento del sistema di dewatering iniziato nel mese di aprile 2008; dal confronto con i dati della fase A, l'abbassamento indotto è di circa 3.5 - 5 m.

Tra l'inizio e la fine dell'anno di monitoraggio (01/05/10 – 30/04/11) si è verificato un consistente innalzamento del carico idraulico (circa 150 cm) nel piezometro profondo PPC01, attribuibile ad una diminuzione delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering della tura.

I dati relativi alle portate di pompaggio di dewatering non sono stati resi disponibili dalla Direzione Lavori.

Fig. 3.11- Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo durante la Fase A.

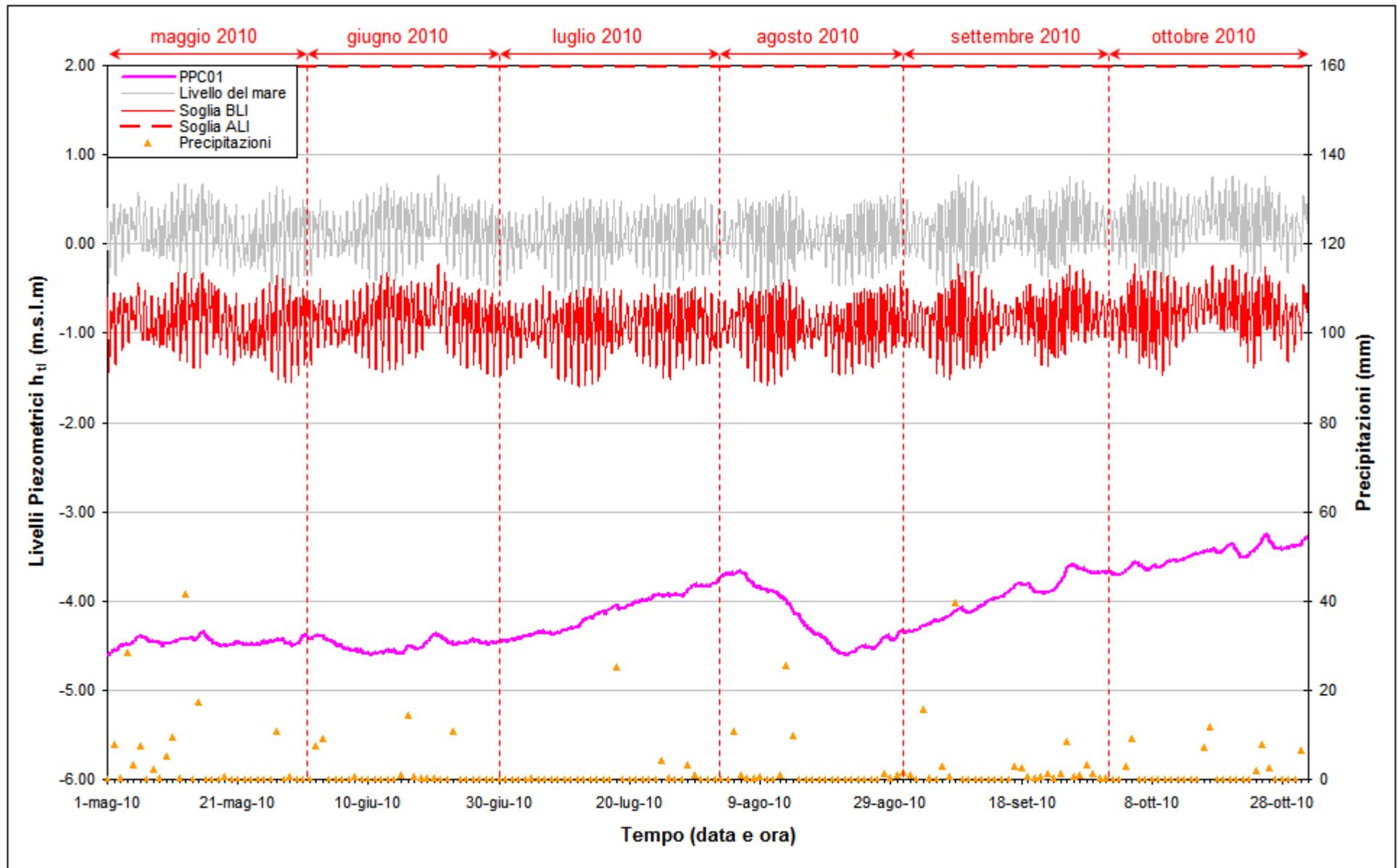


Fig. 3.12 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

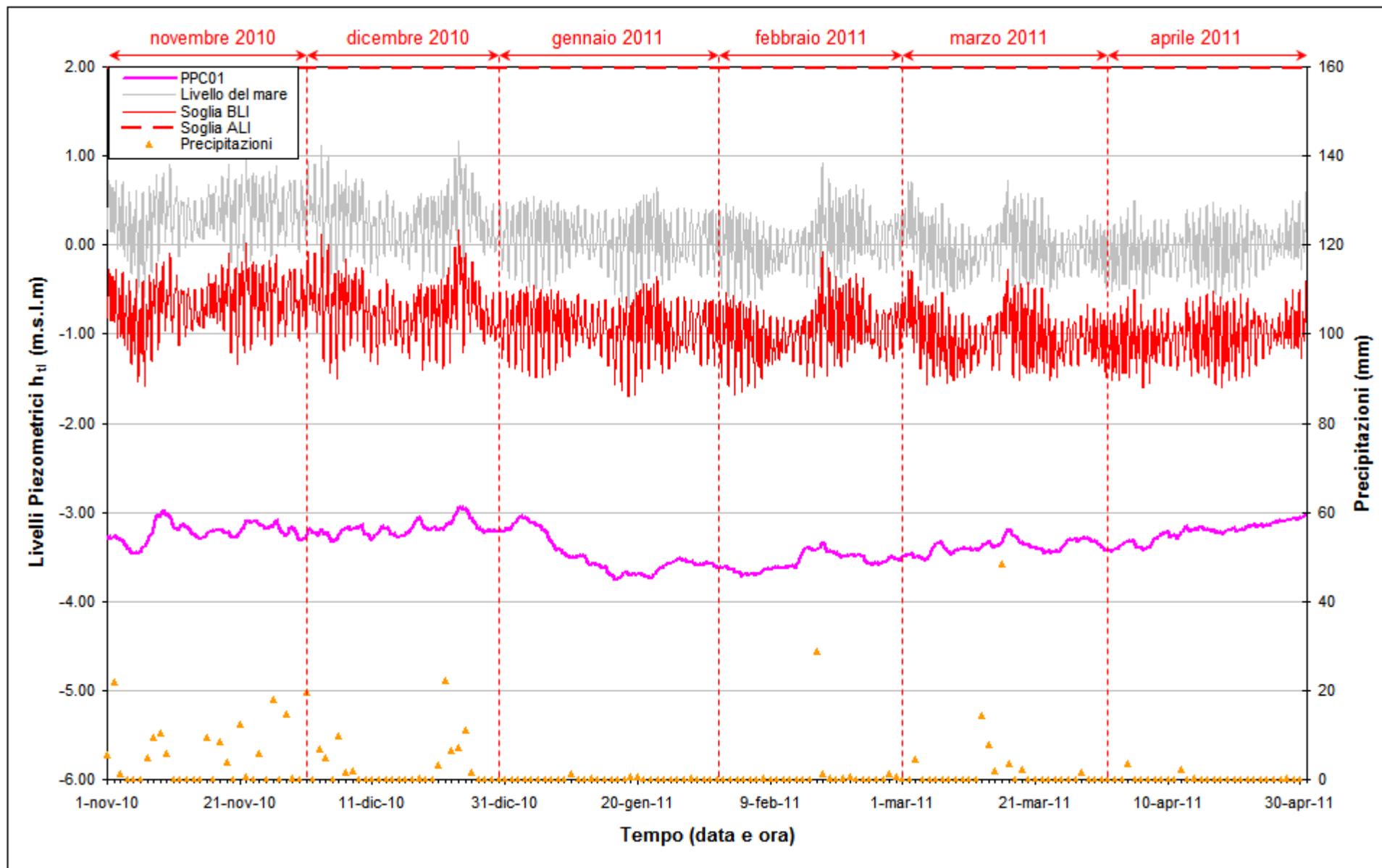


Fig. 3.13 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

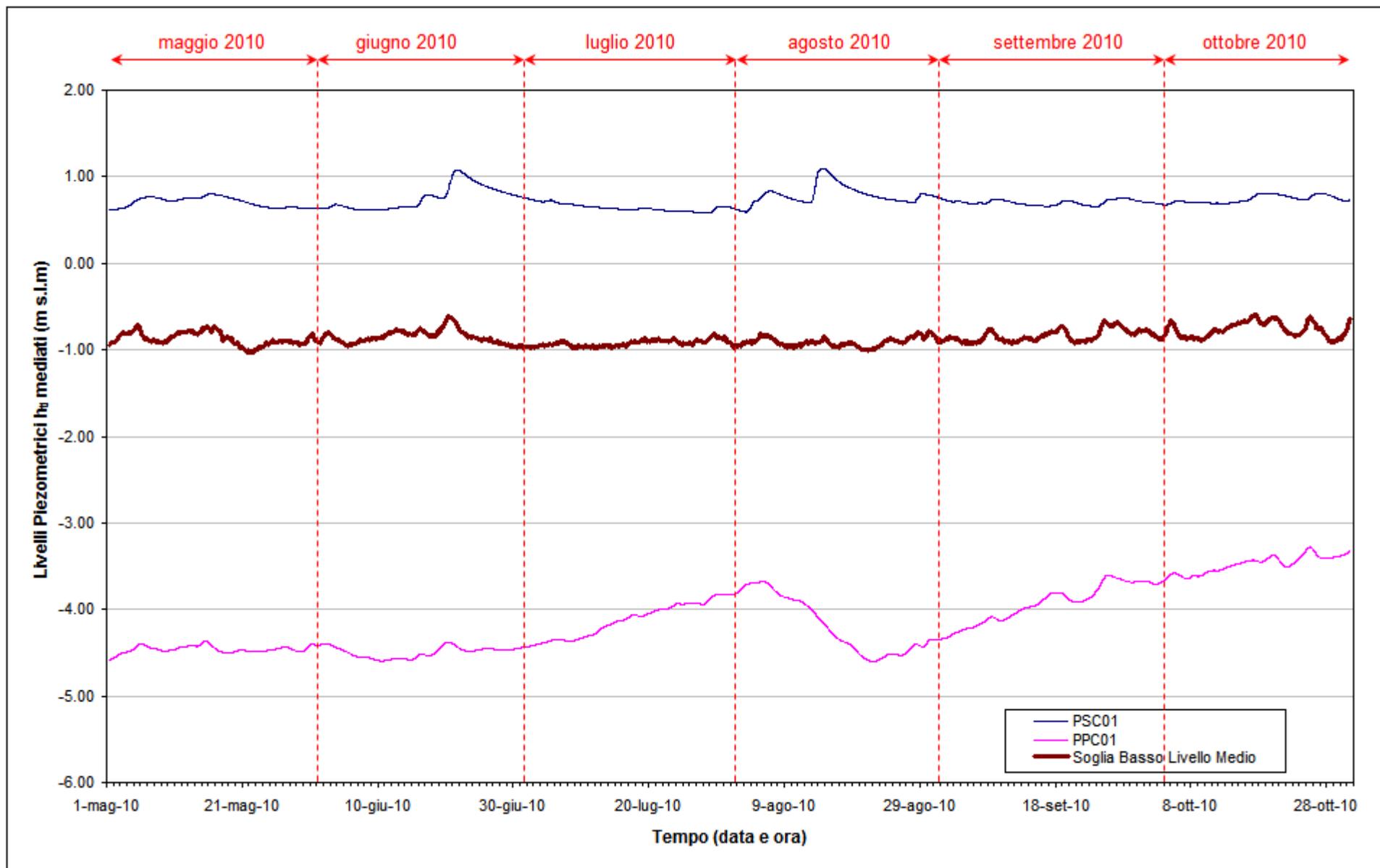


Fig. 3.14 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri PSC01 e PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2010 - 31/10/2010.

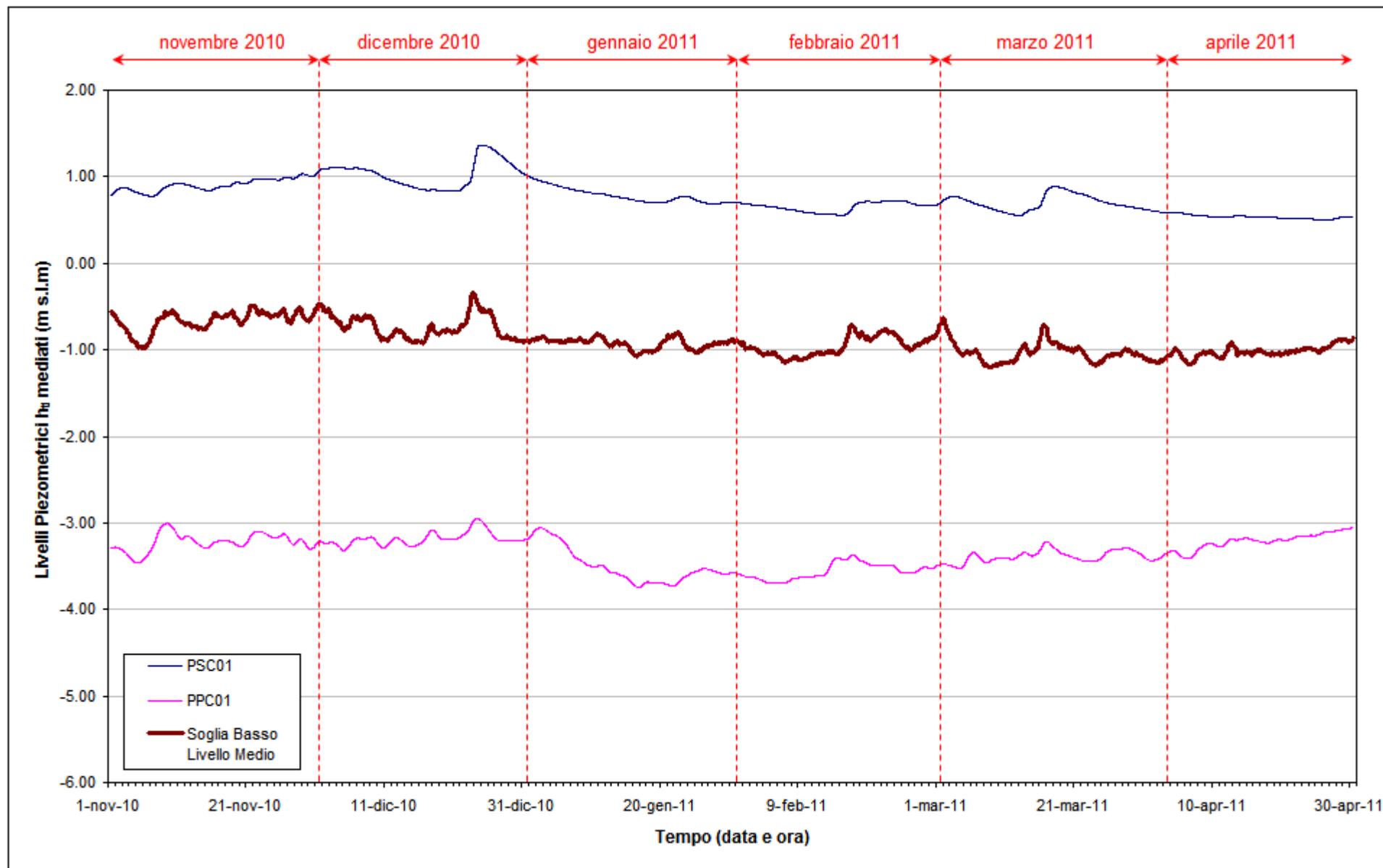


Fig. 3.15 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri PSC01 e PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2010 - 30/04/2011.

### 3.3 Verifica del rispetto delle soglie di azione

Le soglie identificate nel “Rapporto di Variabilità Attesa” (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.3.3):

- 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. 3.3 - 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 lato mare |

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

Nel corso del periodo di monitoraggio è stato verificato il rispetto di tutte le soglie indicate in Tab.3.3.

Durante tutto il periodo monitorato, in corrispondenza del PSC01 non sono stati rilevati superamenti delle soglie.

Nel piezometro profondo PPC01 sono state superate le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio per tutto il periodo monitorato (01/05/10 - 30/04/11).

### **3.3.1** *Misure di mitigazione*

La dinamica piezometrica in corrispondenza del livello acquifero profondo ha raggiunto una condizione di stabilità. 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.

## **3.4** **Analisi della densità dell'acqua di falda**

### **3.4.1** *Profili verticali di densità*

In questo paragrafo sono presentati i profili di densità dell'acqua di falda, calcolati utilizzando i dati grezzi di conduttanza misurati tramite sonda multiparametrica durante i rilievi mensili. Il calcolo della densità dell'acqua di falda è stato effettuato utilizzando le formule empiriche riportate nel rapporto "Studio B.6.72 B/2, II Rapporto di Valutazione (Febbraio 2007)".

In Fig.3.16 sono rappresentati i profili di densità del piezometro superficiale; in Fig.3.17 quelli relativi al piezometro profondo.

Nei profili riguardanti il piezometro profondo è evidenziata (con un tratto più spesso) la posizione della finestratura.

In ciascuna figura è inoltre riportato il confronto con il profilo di conducibilità elettrica misurato in fase A (aprile 2007), rispetto al quale si osserva una diminuzione di questo parametro sia nel piezometro superficiale PSC01 che nel piezometro profondo PPC01. Non si ritiene che la variazione della salinità dell'acqua di falda possa comportare un rischio per la vegetazione presente della zona.

Nel piezometro superficiale PSC01 si osserva una leggera crescita dei valori di densità nel periodo estivo (luglio, agosto, settembre 2010) e una diminuzione a partire dall'autunno a causa dell'infiltrazione delle piogge.

Nel piezometro profondo PPC01 si osserva una lieve crescita della densità dell'acqua di falda tra giugno 2010 e maggio 2011.

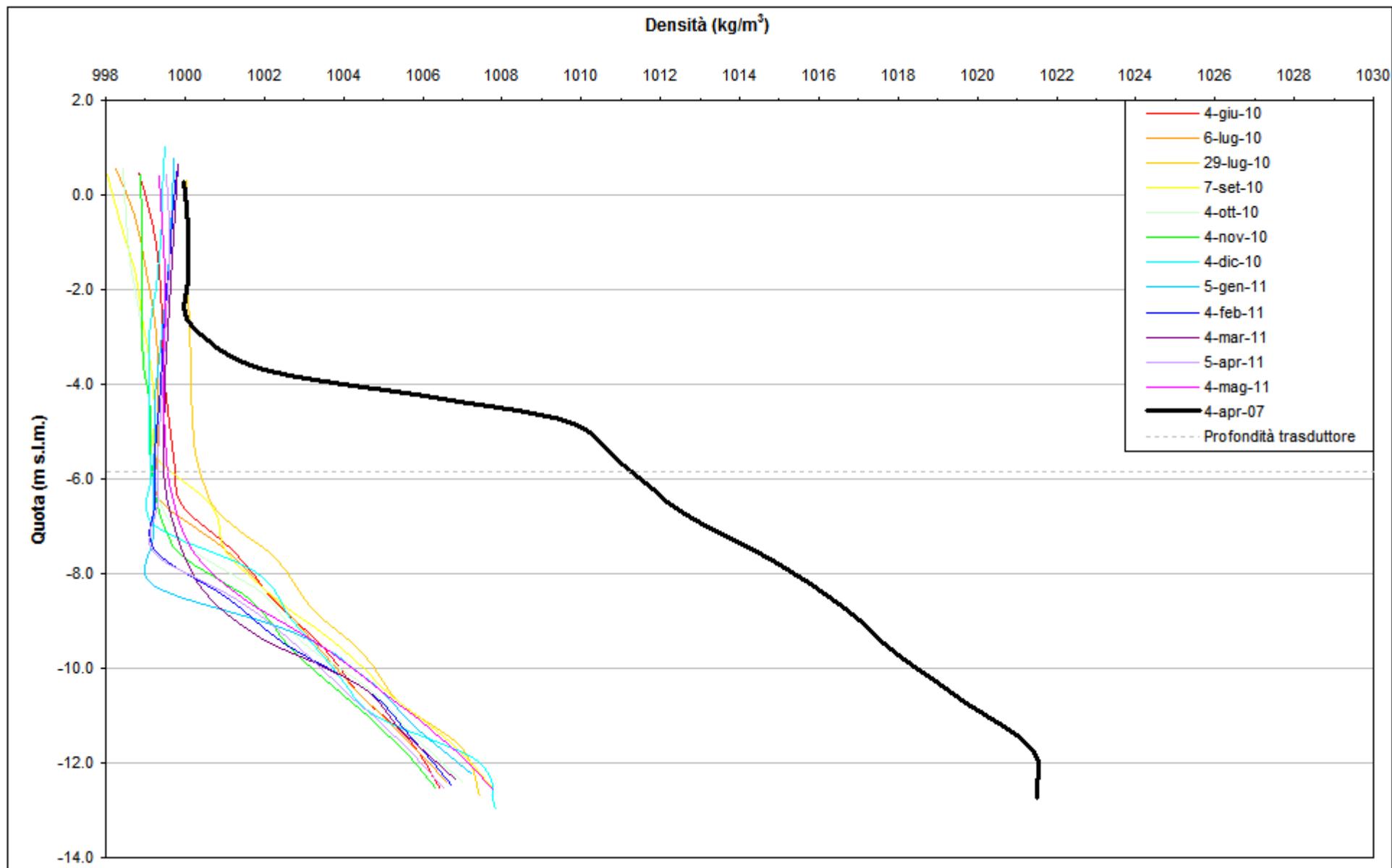


Fig. 3.16 - Profili verticali di densità PSC01.

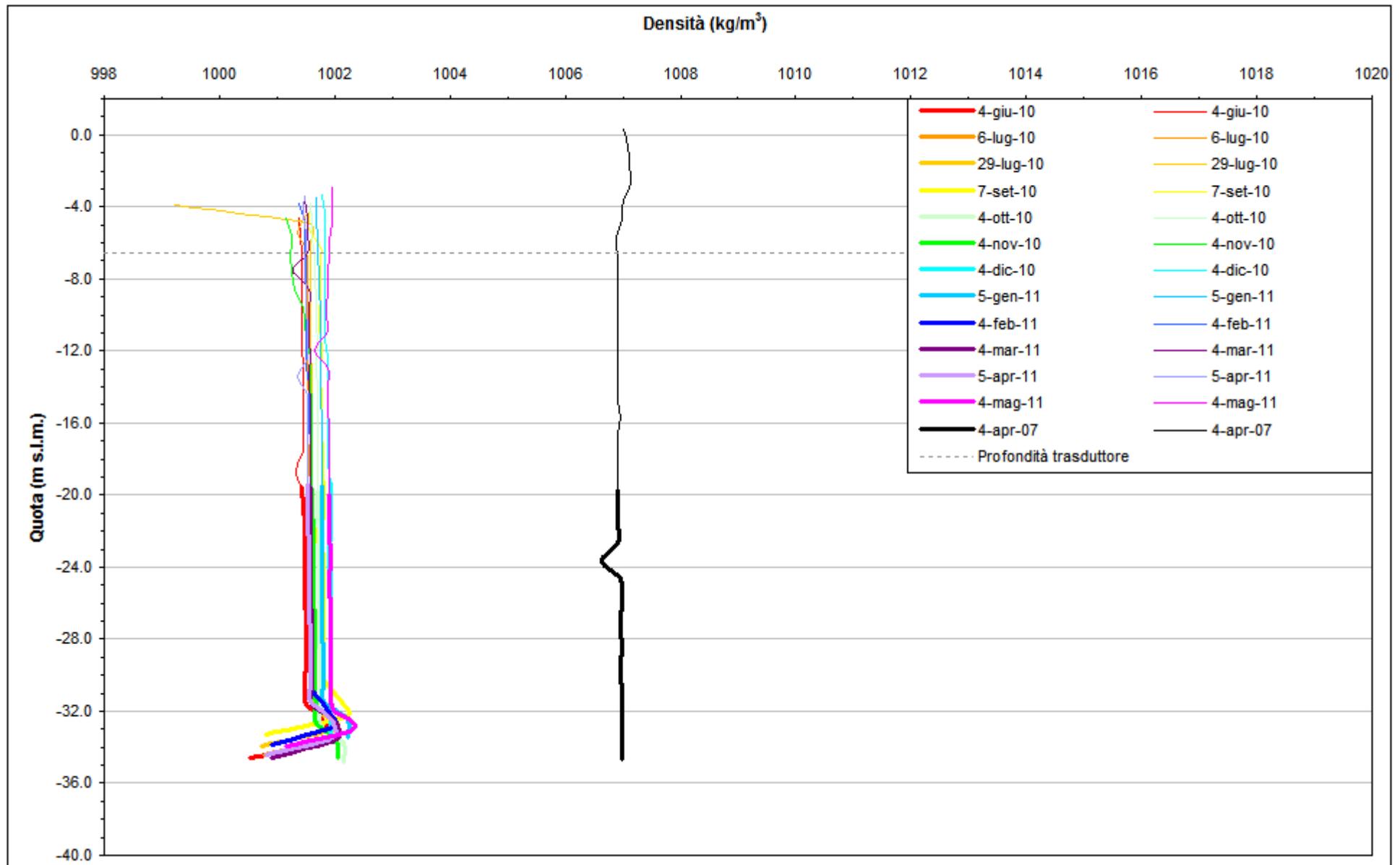


Fig. 3.17 - Profili verticali di densità PPC01.

### 3.5 Conclusioni

L'analisi delle serie temporali dimostra lo stretto legame esistente tra le forzanti naturali e antropiche ed i livelli di falda.

Nell'acquifero superficiale, in seguito all'installazione della barriera impermeabile lato terra della tura, si osserva una variazione del regime piezometrico: i livelli registrati dal piezometro superficiale PSC01 risultano svincolati dalle oscillazioni mareali in seguito all'infissione dei palancolati e allo scavo del diaframma impermeabile della tura nel mese di gennaio 2008. L'isolamento dal mare dell'acquifero superficiale ha anche provocato un leggero innalzamento del livello di falda nel piezometro PSC01 (circa 50 cm).

L'attivazione del sistema di dewatering della tura, avvenuta nel mese di aprile 2008, ha provocato un abbassamento del carico idraulico dell'acquifero profondo, con variazioni comprese tra 3.5 e 5m nel piezometro PPC01.

Nel periodo monitorato (01/05/10 - 30/04/11), i carichi idraulici nel piezometro PSC01 non hanno subito variazioni apprezzabili, mentre nel piezometro profondo PPC01 si osserva una risalita di circa 150 cm attribuibile ad una diminuzione delle portate di emungimento nella tura (tali dati non sono stati tuttavia resi disponibili alla Matrice Suolo). Dal confronto con i livelli misurati nella fase A, l'abbassamento di livello indotto dal pompaggio si è portato da circa 5 m (maggio 2010) a circa 3.5 m (aprile 2011).

Come registrato nel sito di Punta Sabbioni, anche nel sito di Ca' Roman si osserva una diminuzione della densità dell'acqua di falda (e quindi della sua salinità) rispetto alla fase A, dovuta all'effetto isolante della barriera impermeabile della tura.

Nel piezometro superficiale PSC01, nell'ultimo anno di monitoraggio (maggio 2010 - aprile 2011) si osserva un trend di aumento della densità nel periodo estivo ed una diminuzione a partire dall'autunno, a causa delle infiltrazioni meteoriche. Nel piezometro profondo PPC01 si osserva un lieve aumento della densità durante il periodo monitorato.

## **BIBLIOGRAFIA**

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA, 2005. Studio B.6.72 B/1. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: livelli di falda. Rapporto di Pianificazione Operativa. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA, 2005. Studio B.6.72 B/1. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: livelli di falda. Rapporto di Variabilità Attesa. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA, 2007. Studio B.6.72 B/2. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: livelli di falda. II Rapporto di Valutazione. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA, 2008. Studio B.6.72 B/4. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: livelli di falda. II Rapporto di Valutazione. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA, 20010-11. Studio B.6.72 B/6. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: livelli di falda. Rapporti mensili da Maggio 2010 ad Aprile 2011. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA, 2010. Studio B.6.72 B/6. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: livelli di falda. I Rapporto di Valutazione. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA, 2011. Studio B.6.72 B/6. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: livelli di falda. II Rapporto di Valutazione. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA, 2011. Studio B.6.72 B/6. Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: livelli di falda. III Rapporto di Valutazione. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.