



**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/5**

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

Contratto prot.n. 21540 si/gce/fbe

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

Versione **2.0**

Emissione **2 Luglio 2010**

Redazione

Verifica

Verifica

Approvazione

Ing. Alessandro Casasso
(POLITECNICO TORINO)

Ing. Rajandrea Sethi
(POLITECNICO TORINO)

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta Ing. Pierpaolo Campostrini

Indice

| | |
|--|------------|
| INTRODUZIONE: DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' DI MONITORAGGIO..... | 3 |
| 1. INTRODUZIONE..... | 4 |
| 1.1 Monitoraggio falda - Punta Sabbioni..... | 4 |
| 1.2 Monitoraggio falda - Ca' Roman..... | 7 |
| PARTE PRIMA: MONITORAGGIO CANTIERE DI PUNTA SABBIONI..... | 8 |
| 2. MONITORAGGIO DI FALDA - PUNTA SABBIONI..... | 9 |
| 2.1 Rete di monitoraggio..... | 9 |
| 2.1.1 <i>Lavori di manutenzione alla rete di monitoraggio.....</i> | <i>11</i> |
| 2.2 Analisi dei dati..... | 12 |
| 2.2.1 <i>Descrizione delle forzanti naturali.....</i> | <i>12</i> |
| 2.2.2 <i>Piezometri superficiali - primo livello acquifero (Strato A).....</i> | <i>20</i> |
| 2.2.3 <i>Piezometri profondi - secondo livello acquifero (Strato C).....</i> | <i>48</i> |
| 2.3 Studio piezometrico..... | 83 |
| 2.3.1 <i>Piezometria superficiale.....</i> | <i>84</i> |
| 2.3.2 <i>Piezometria profonda.....</i> | <i>91</i> |
| 2.4 Verifica del rispetto delle soglie di azione..... | 98 |
| 2.5 Analisi della densità dell'acqua di falda..... | 100 |
| 2.5.1 <i>Profili verticali di densità.....</i> | <i>100</i> |
| 2.6 Conclusioni..... | 123 |
| PARTE SECONDA: MONITORAGGIO CANTIERE DI CA' ROMAN..... | 124 |
| 3. MONITORAGGIO FALDA - CA' ROMAN..... | 125 |
| 3.1 Rete di monitoraggio..... | 125 |
| 3.2 Analisi dei dati..... | 126 |
| 3.2.1 <i>Descrizione delle forzanti naturali.....</i> | <i>126</i> |
| 3.2.2 <i>Piezometro superficiale - primo livello acquifero (Strato A).....</i> | <i>134</i> |
| 3.2.3 <i>Piezometro profondo - secondo livello acquifero (Strato C).....</i> | <i>138</i> |
| 3.3 Verifica del rispetto delle soglie di azione..... | 144 |
| 3.4 Analisi della densità dell'acqua di falda..... | 146 |
| 3.4.1 <i>Profili verticali di densità.....</i> | <i>146</i> |
| 3.5 Conclusioni..... | 149 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 150 |
| ALLEGATI..... | 151 |

**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 01/05/2009 - 30/04/2010 presso le aree di cantiere poste alla bocca di porto di Lido - lato Nord (Punta Sabbioni) e alla bocca di porto 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).

I dati di livello misurati all'interno della tura, forniti dal Consorzio Venezia Nuova, sono relativi esclusivamente al periodo 01/05/09 - 03/08/09 e sono riportati in Fig. 1.2. In tale arco temporale, i livelli mostrano oscillazioni imputabili alla variazione delle portate di emungimento (non fornite alla Matrice Suolo) e si mantengono al di sotto della quota di fondo della tura.

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

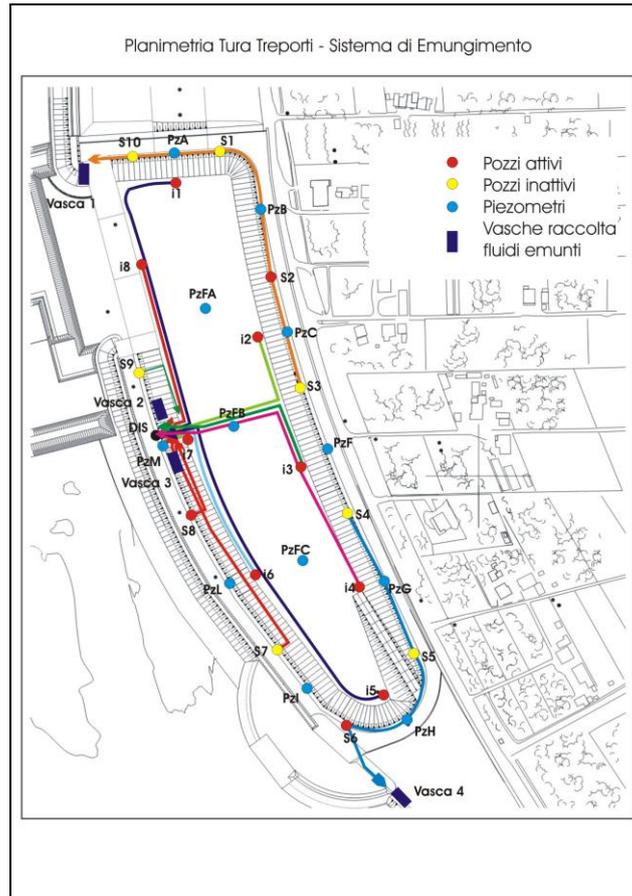


Fig. 1.1 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

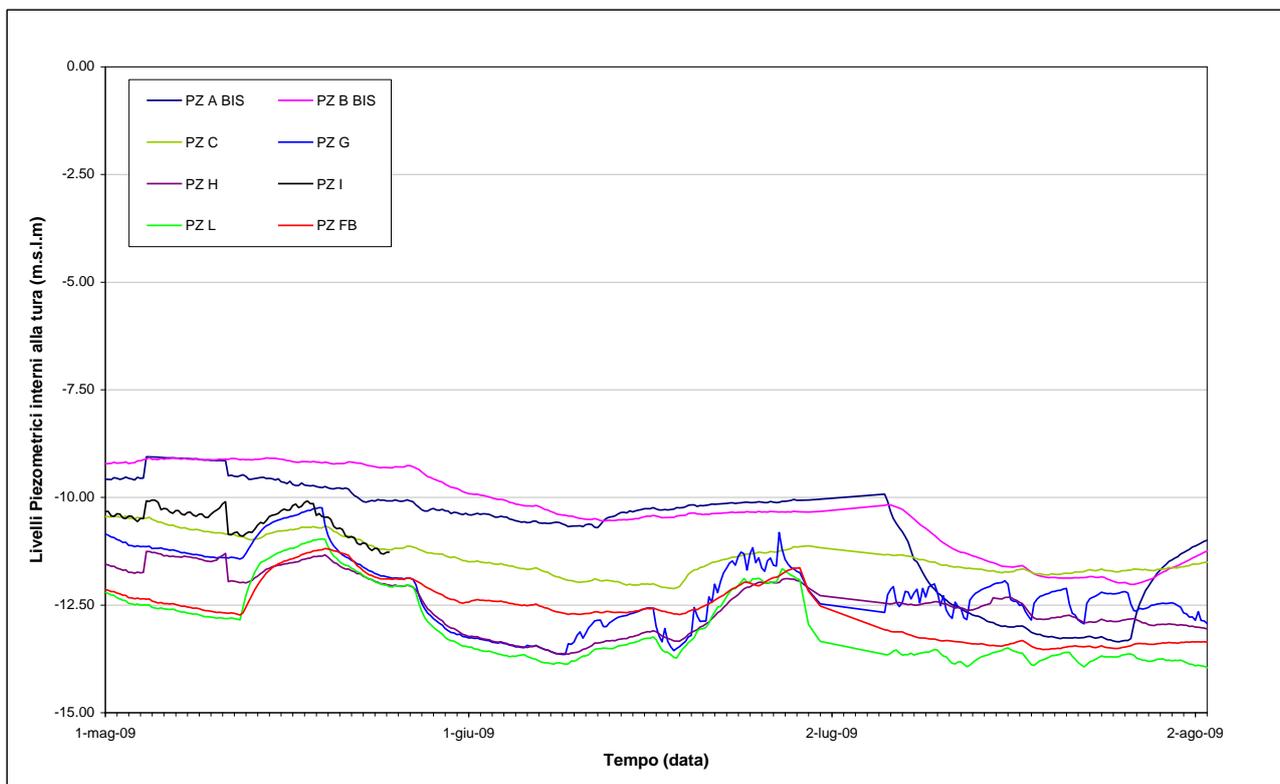


Fig. 1.2 - Livelli di falda all'interno della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

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, Il 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, Il Rapporto di Valutazione, Febbraio 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 falda. La rete è attiva da 54 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 38 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 2009 e il 30 aprile 2010.

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 plano-altimetriche dei piezometri della rete di monitoraggio, rilevate nel mese di maggio 2008, 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; 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

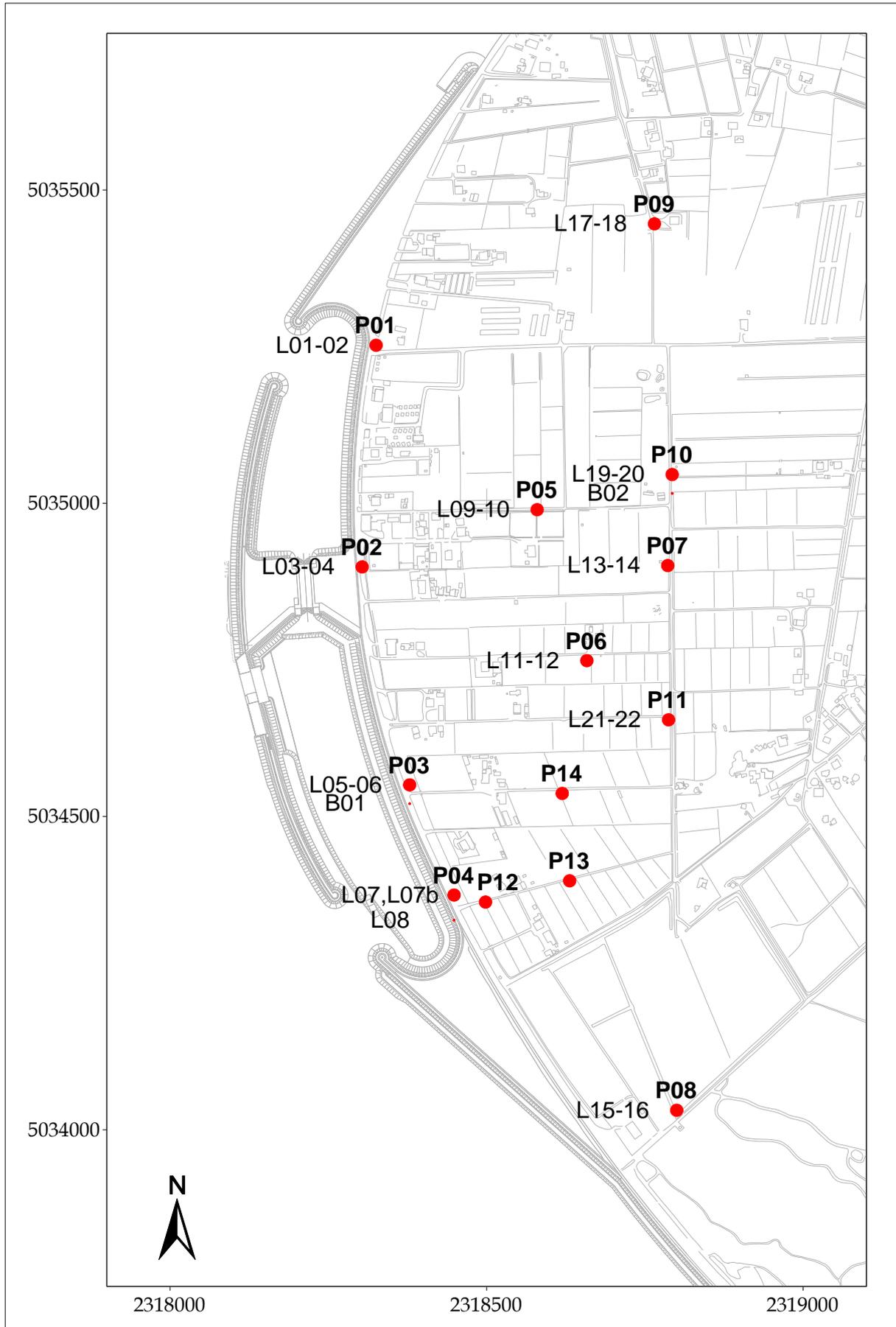


Fig. 2.1- Ubicazione delle postazioni di monitoraggio, dei Levellogger e dei Barologger.

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.

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

2.1.1 *Lavori di manutenzione alla rete di monitoraggio*

In occasione di ogni campionamento è stato effettuato il controllo dei trasduttori e della strumentazione di monitoraggio e la sostituzione dei lucchetti dei chiusini danneggiati.

In data 04/05/2009 sono stati eseguiti i seguenti lavori di manutenzione sulla rete di monitoraggio:

- sostituzione del chiusino metallico, del telaio e rifacimento del colletto in calcestruzzo nei piezometri PP02, PS02, PS05, PP08, PS08;
- rifacimento del colletto in calcestruzzo nei piezometri PS04, PP07, PS07, PS10.

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” e - per i mesi di maggio 2009, dicembre 2009, gennaio 2010 - dalla stazione meteorologica “ARPAV - Cavallino Treporti”;
- 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 maggio e dicembre 2009, gennaio 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) |
|-------------|------------|-------------|
| 04-05/05/09 | 48 | 9.4 |
| 31/05/09 | 24 | 6.2 |
| 05/06/09 | 2 | 7.2 |
| 20/06/09 | 11 | 29.8 |
| 27/06/09 | 12 | 47.2 |
| 07/07/09 | 1 | 7.4 |
| 14/08/09 | 2 | 12.0 |
| 14/09/09 | 13 | 13.4 |
| 16/09/09 | 21 | 139.2 |
| 10/10/09 | 13 | 17.0 |
| 21-22/10/09 | 19 | 24.6 |
| 23-24/10/09 | 26 | 15.8 |
| 02-03/11/09 | 23 | 28.6 |
| 06/11/09 | 9 | 15.4 |
| 08-09/11/09 | 30 | 32.8 |
| 23/11/09 | 5 | 5.2 |
| 30/11/09 | 7 | 5.4 |
| 04-05/12/09 | 48 | 22 |
| 07-08/12/09 | 48 | 30 |
| 21-25/12/09 | 120 | 60.8 |
| 30-31/12/09 | 48 | 6 |
| 02/01/10 | 24 | 19.6 |
| 05/01/10 | 24 | 6.0 |
| 08-09/01/10 | 48 | 29.0 |

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

| DATA | DURATA (h) | ENTITÀ (mm) |
|-------------|------------|-------------|
| 29-31/01/10 | 72 | 9.6 |
| 05-06/02/10 | 30 | 47.4 |
| 10/02/10 | 14 | 9.8 |
| 17-18/02/10 | 14 | 8.6 |
| 19/02/10 | 15 | 25 |
| 26/02/10 | 11 | 8.6 |
| 03-04/03/10 | 19 | 16.4 |
| 11/03/10 | 5 | 7.4 |
| 22-23/03/10 | 26 | 11.8 |
| 30-31/03/10 | 10 | 6.8 |
| 01/04/10 | 8 | 15.6 |
| 04-05/04/10 | 8 | 26 |
| 10-11/04/10 | 4 | 5.8 |
| 17-18/04/10 | 4 | 9.8 |

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.

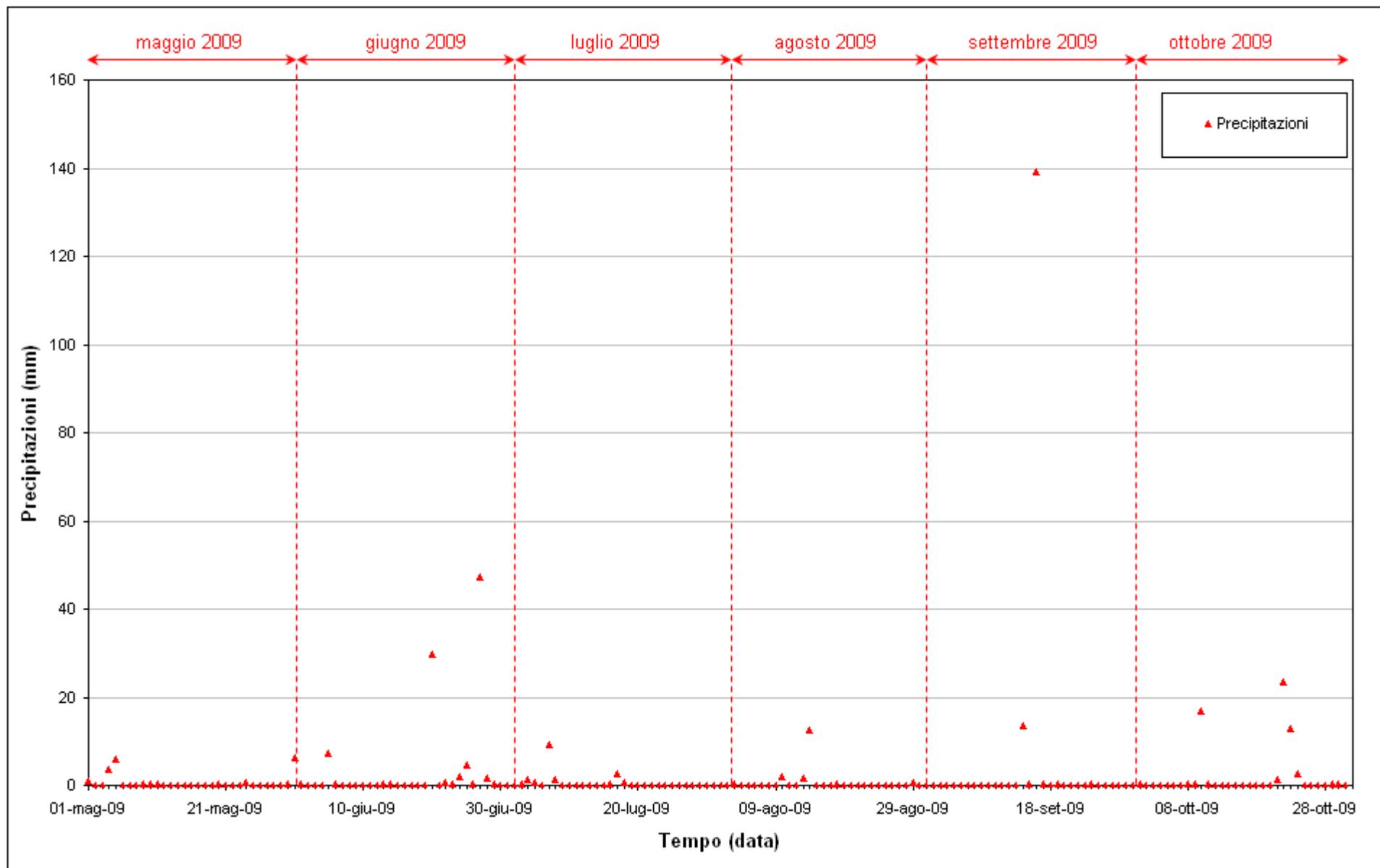


Fig. 2.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

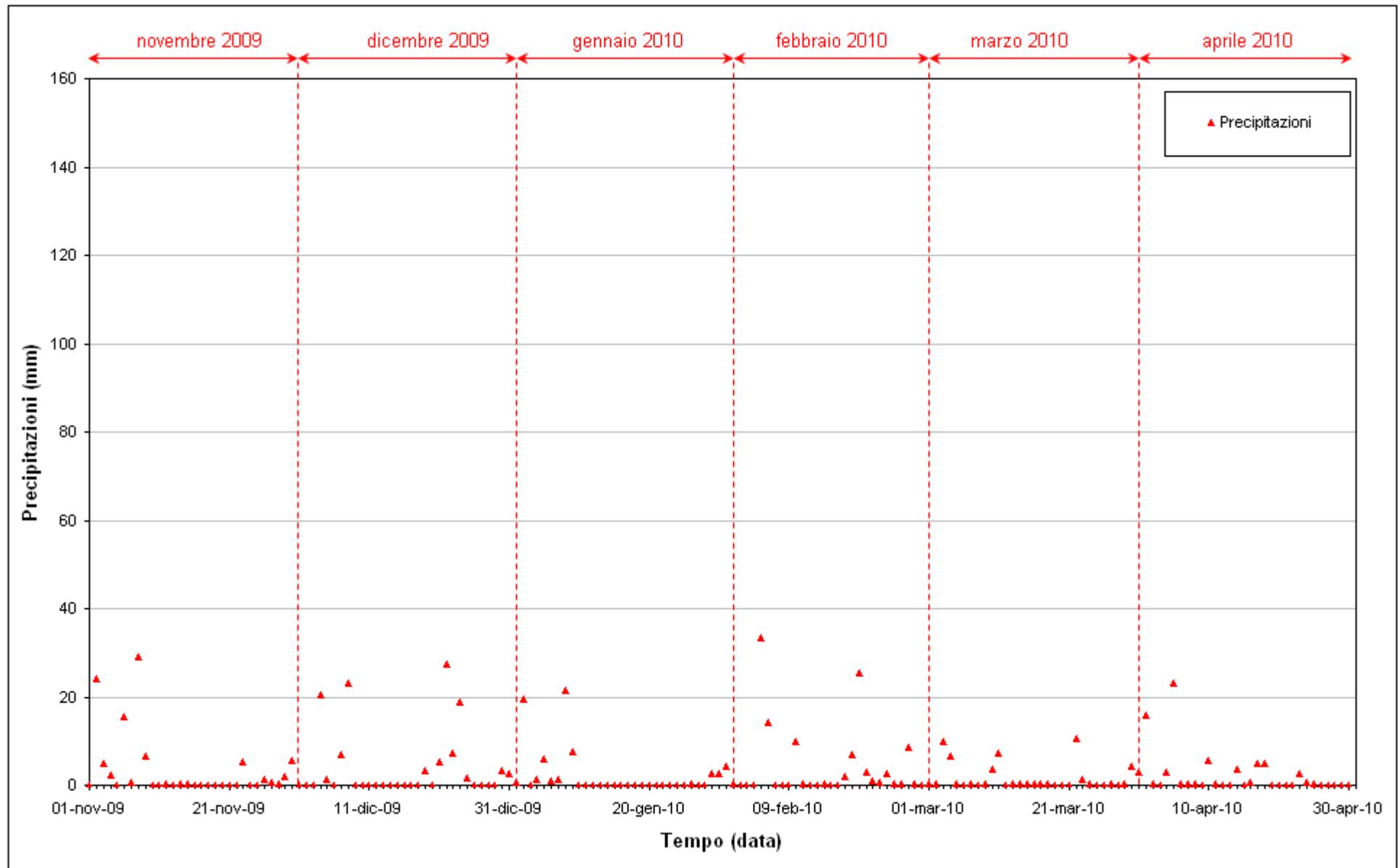


Fig. 2.3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

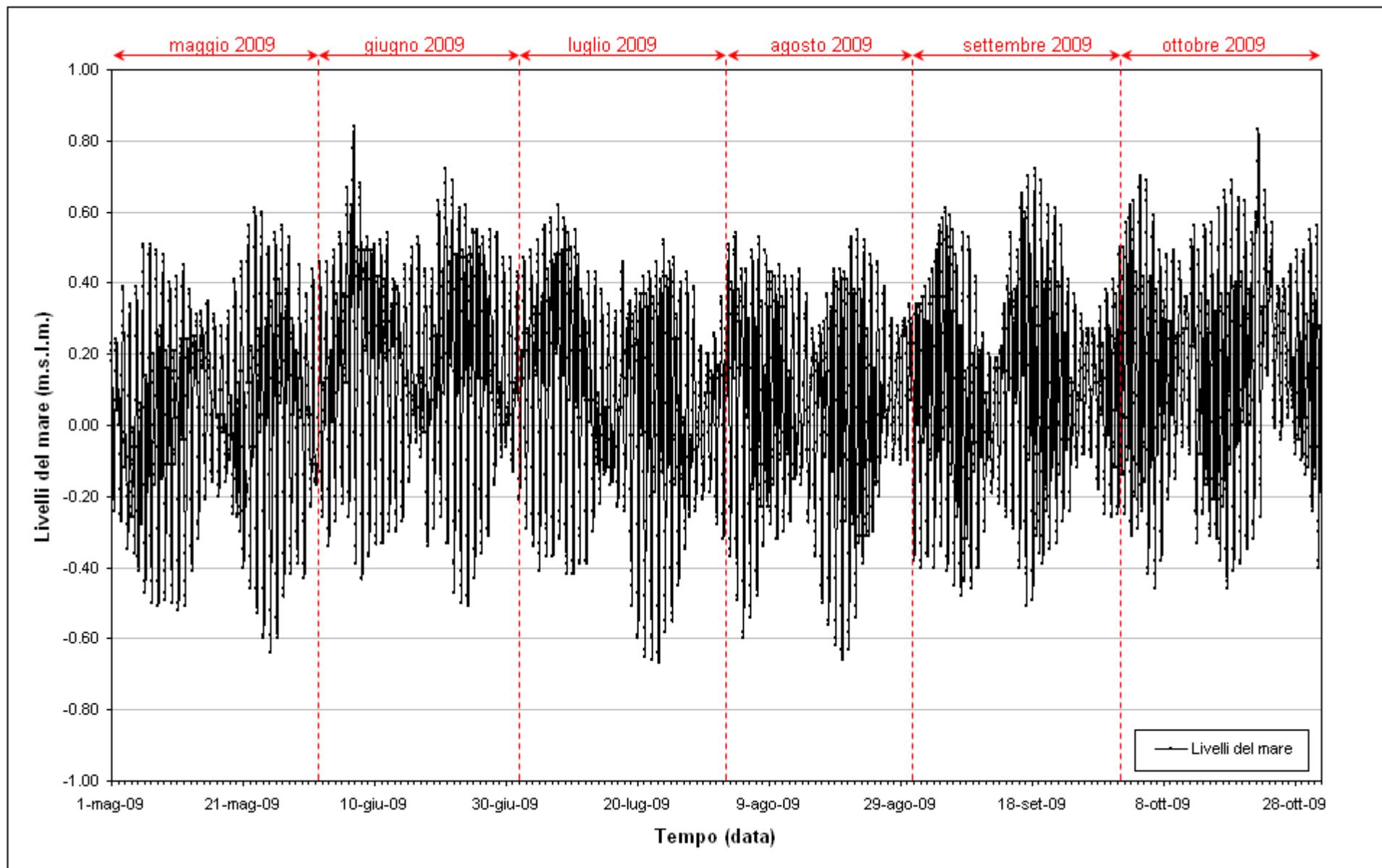


Fig. 2.4 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

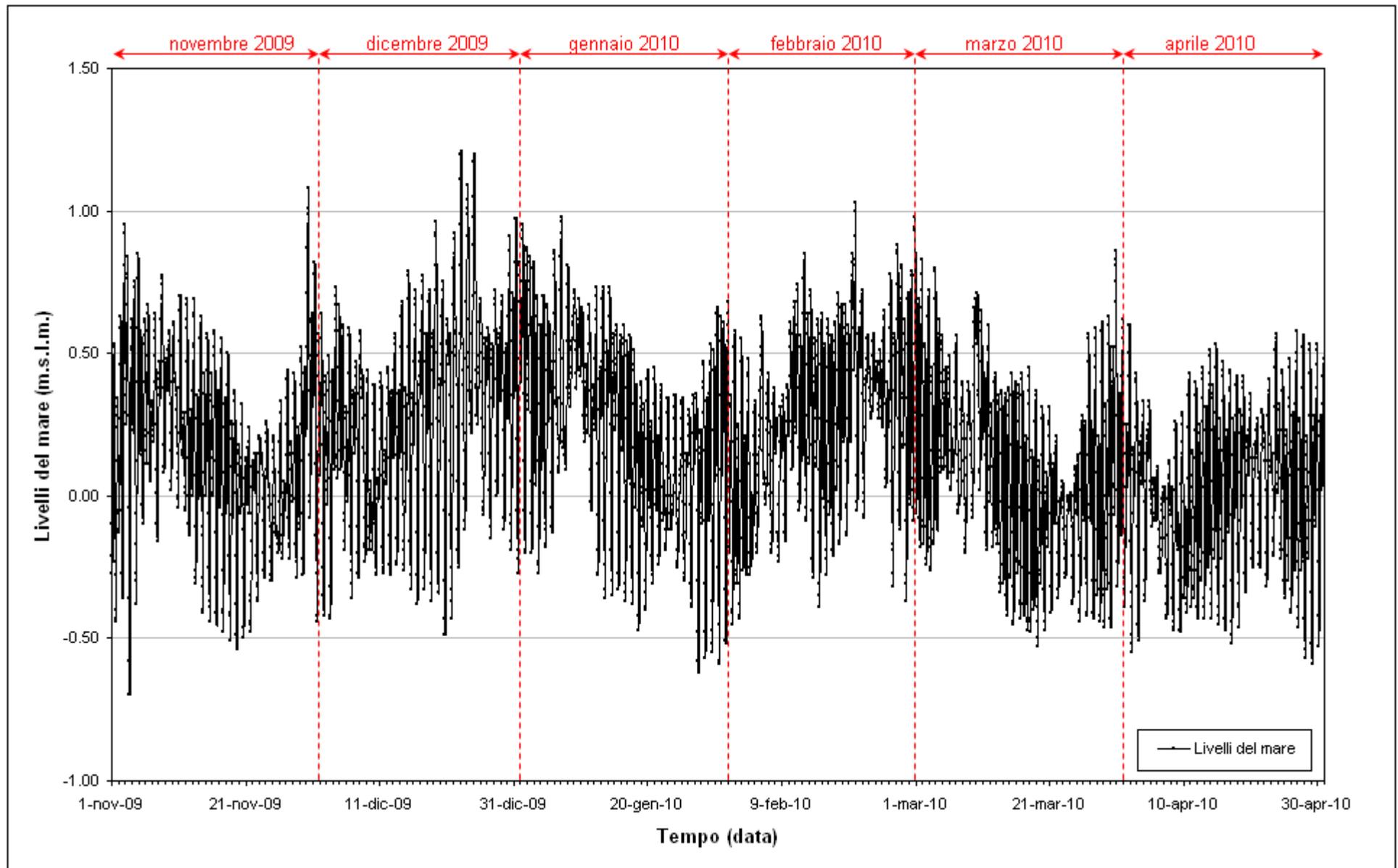


Fig. 2.5 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

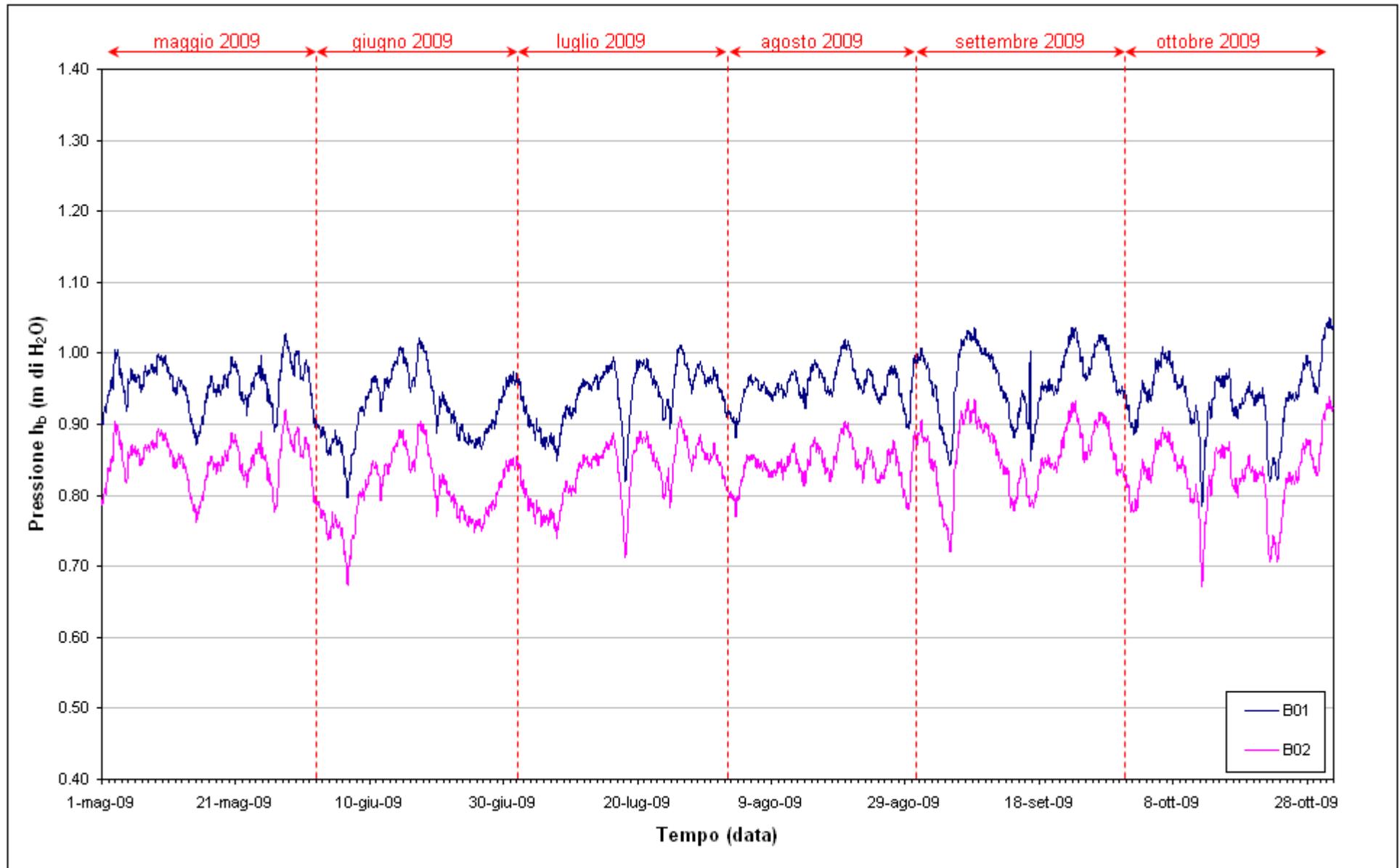


Fig. 2.6 - Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 (h_b) nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

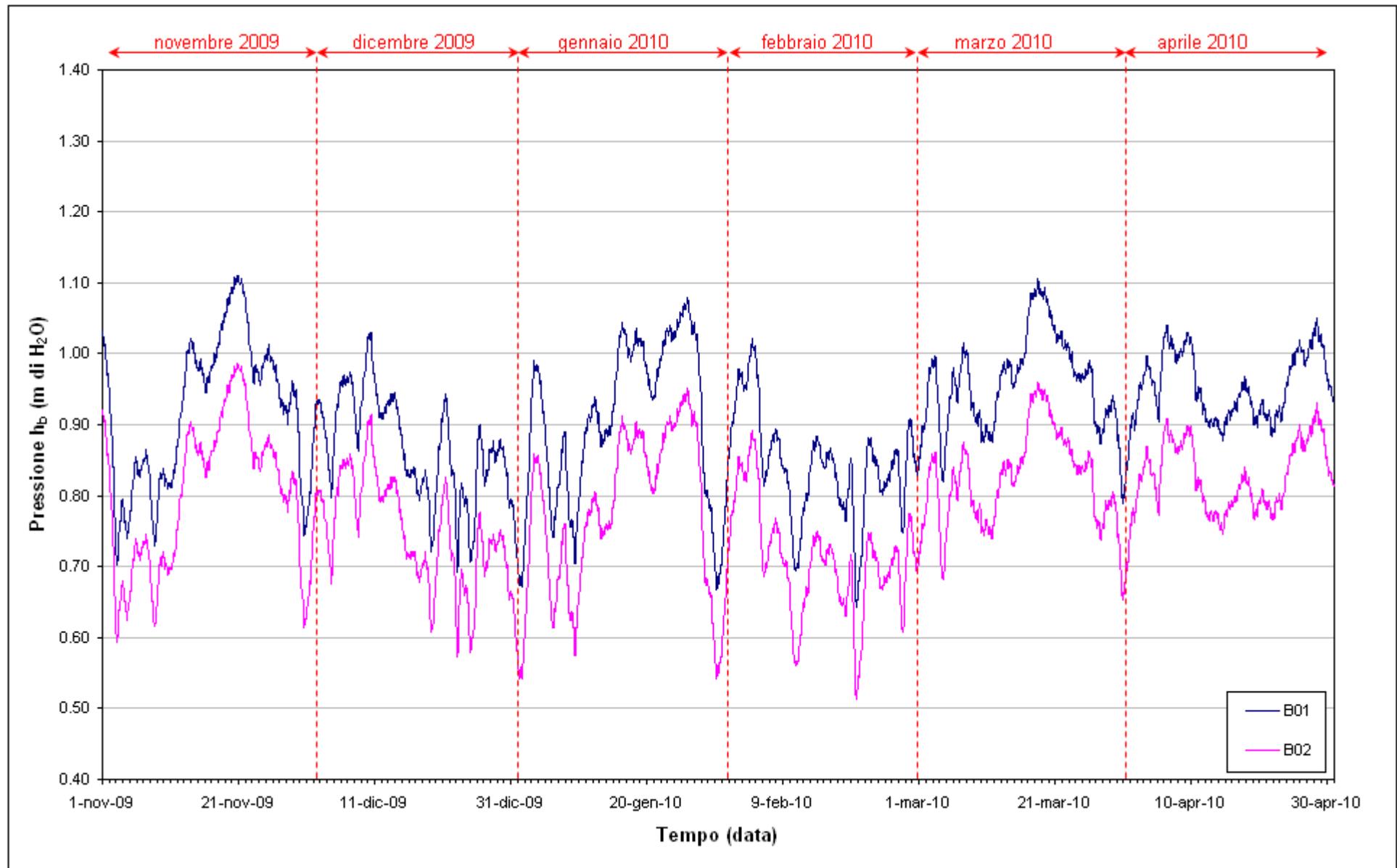


Fig. 2.7 - Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 (h_b) nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

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).

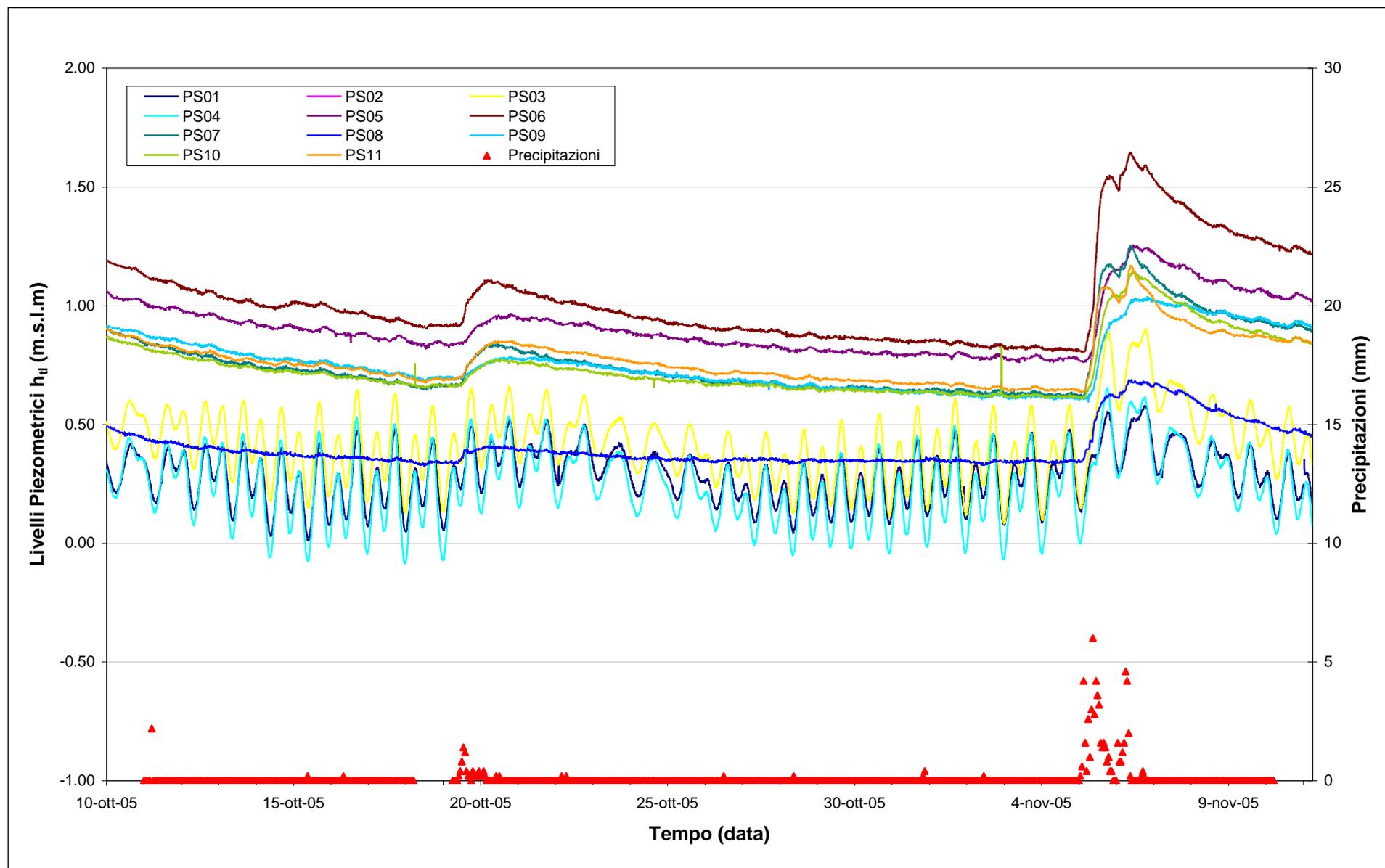
In Fig. 2.8 sono rappresentate le serie temporali degli 11 piezometri superficiali e delle precipitazioni nella fase A (ottobre – novembre 2005).

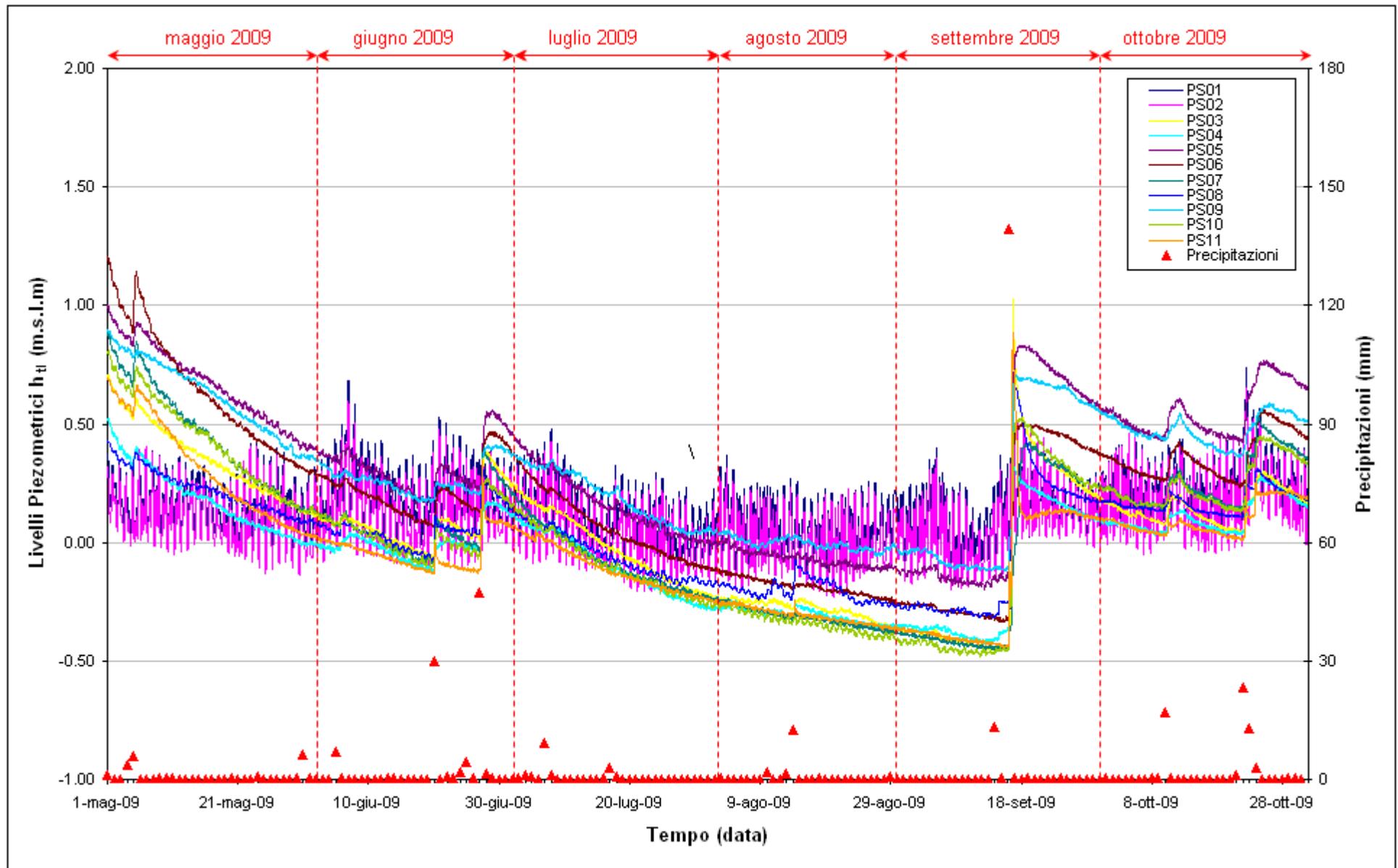
Nelle Figg.2.9-2.10 è rappresentato l'andamento complessivo degli undici piezometri superficiali e delle precipitazioni durante il periodo di monitoraggio, mentre nelle Figg.2.11-2.32 sono rappresentati singolarmente i livelli assoluti di ciascun piezometro, associati alle relative soglie di Alto e Basso 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.

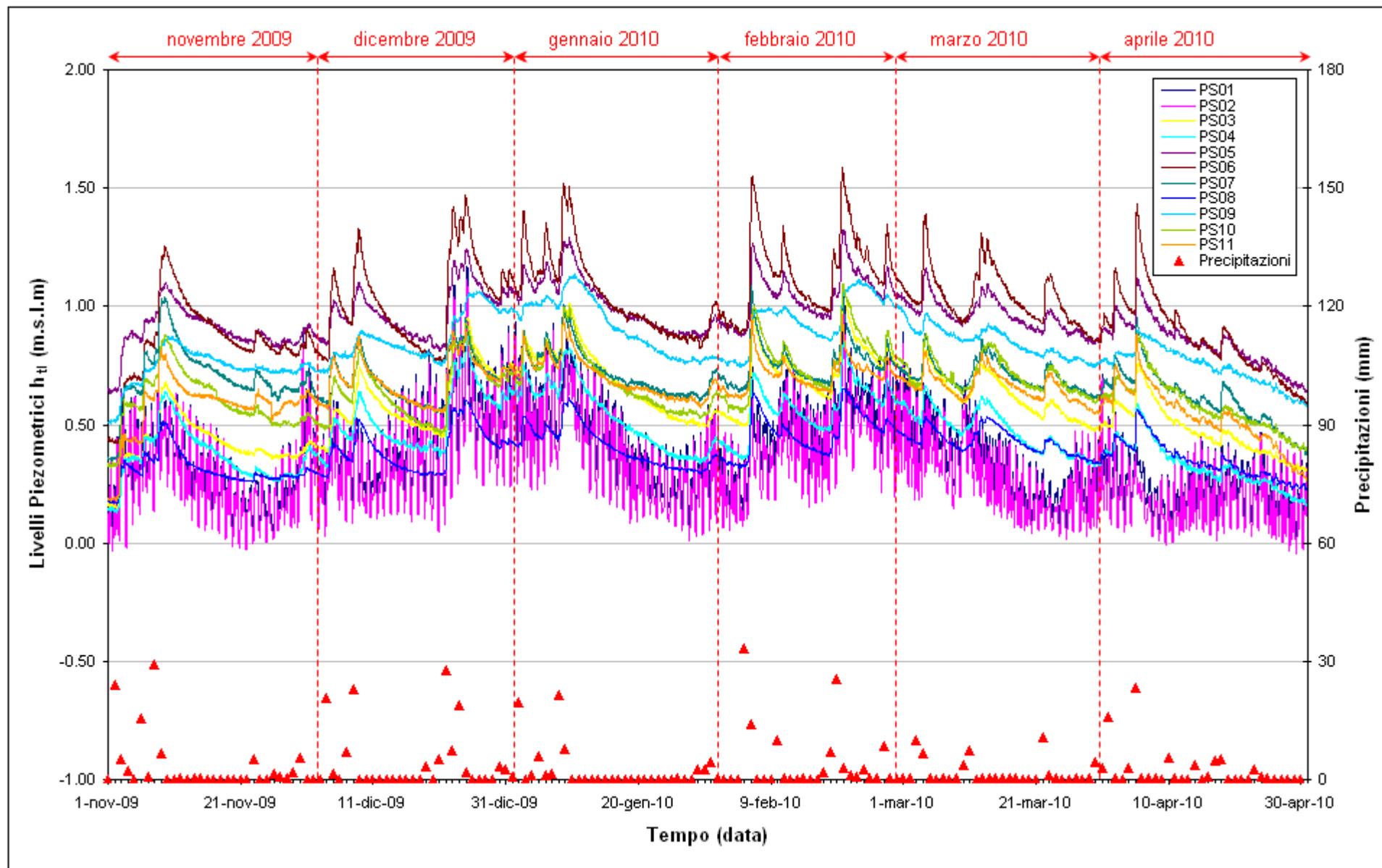
Nei grafici si evidenziano due comportamenti distinti:

- 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 diminuzione del carico idraulico nella falda superficiale (con variazioni comprese tra circa 20 e 60 cm), dovuta alle minori precipitazioni piovose rispetto all'anno precedente (876.4 mm nel periodo maggio 2009 – aprile 2010, a fronte di 1185.6 mm nel periodo maggio 2009 – aprile 2009).

Nel periodo monitorato si sono verificati superamenti della soglia di Alto Livello Istantaneo, corrispondente alla quota di bocca pozzo, nel piezometro PS08 nei giorni 16-17/09/09 e 06/02/10, in occasione di eventi piovosi intensi.

Fig. 2.8 - Livelli piezometrici (h_{π}) 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 01/05/2009 - 31/10/2009.

Fig. 2.10 - Livelli piezometrici (h_u) relativi ai piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

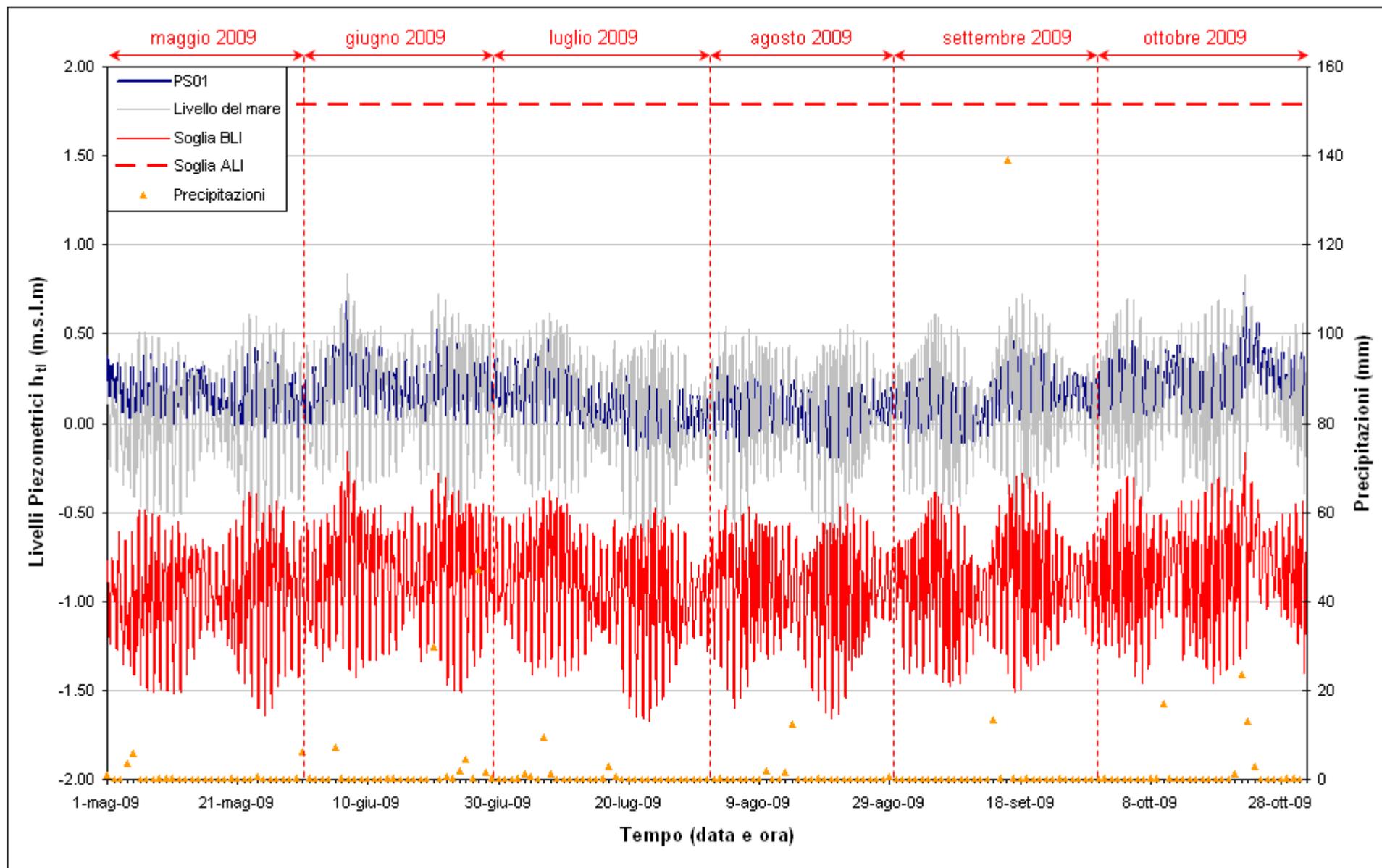


Fig. 2.11 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

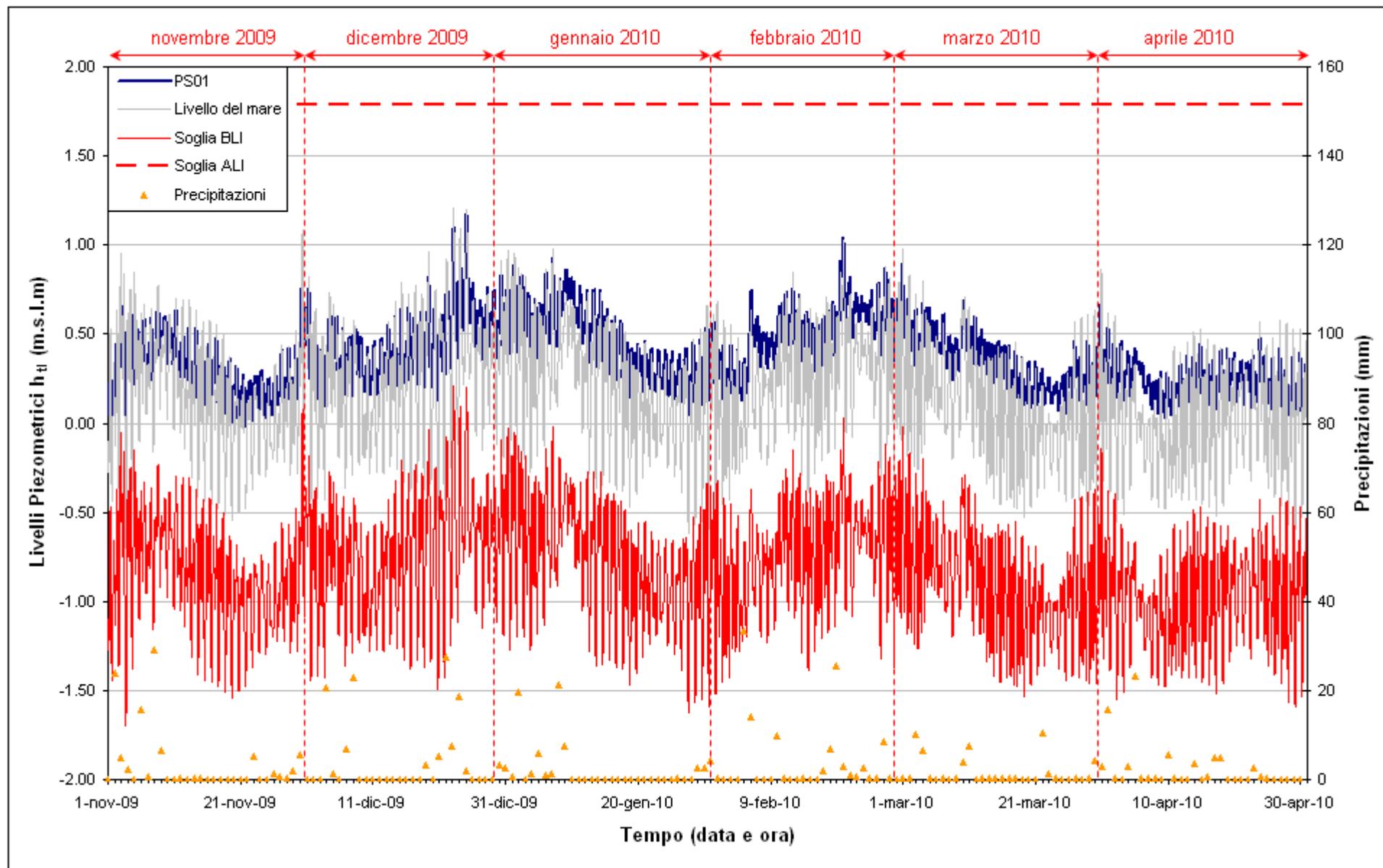


Fig. 2.12 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 – 30/04/2010.

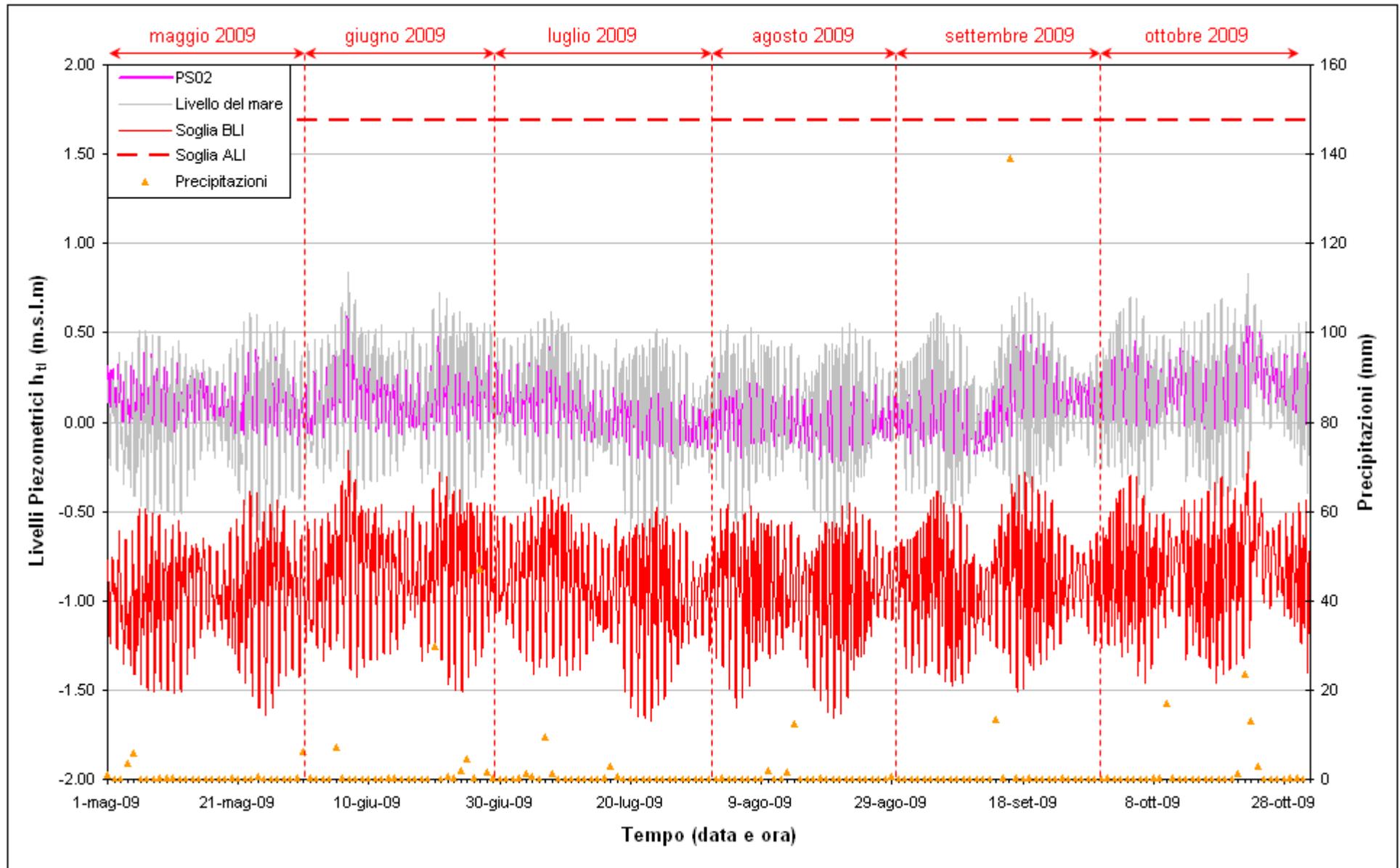


Fig. 2.13 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS02 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 – 31/10/2009.

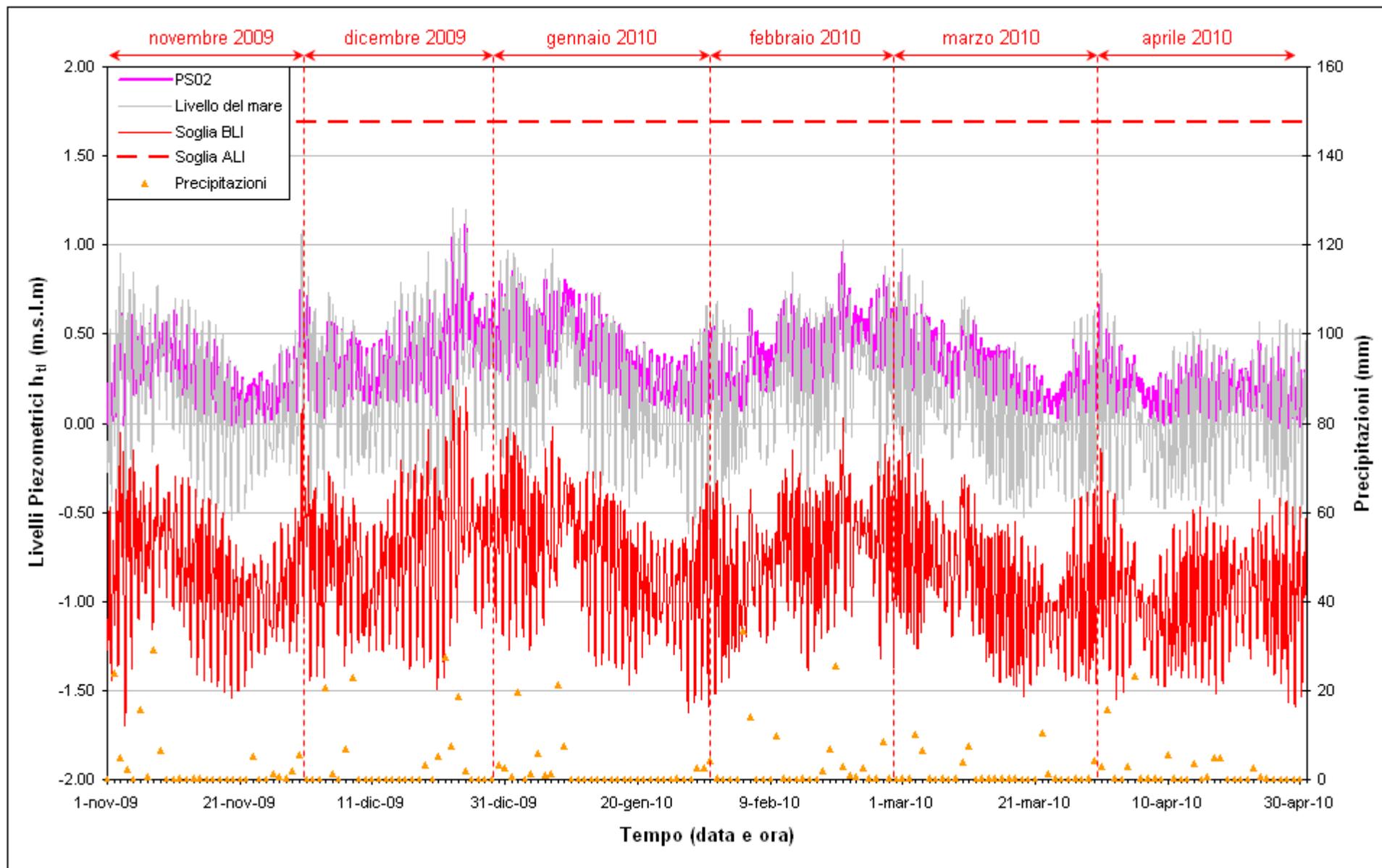


Fig. 2.14 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS02 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

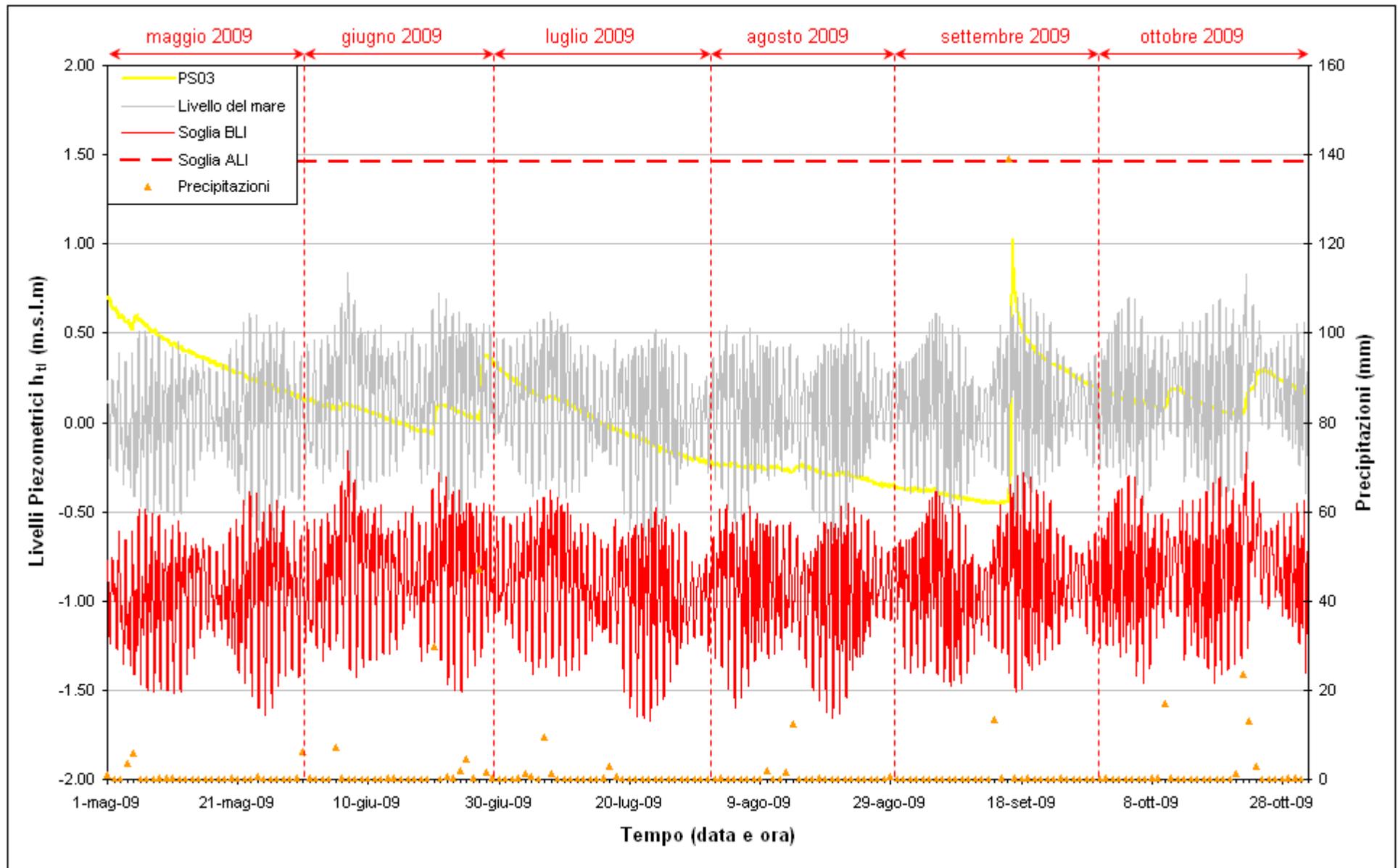


Fig. 2.15 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS03 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 – 31/10/2009.

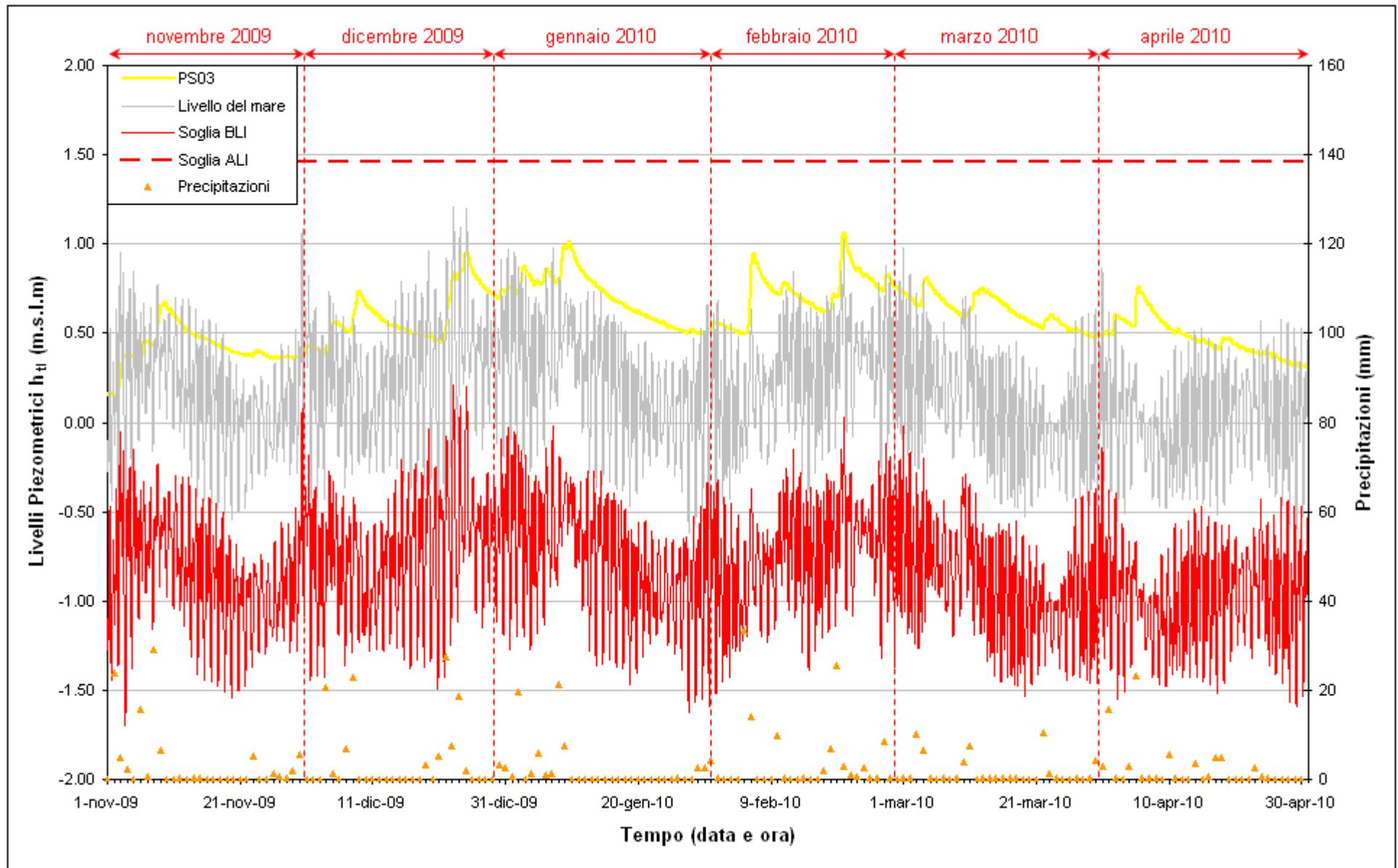


Fig. 2.16 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS03 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 – 30/04/2010.

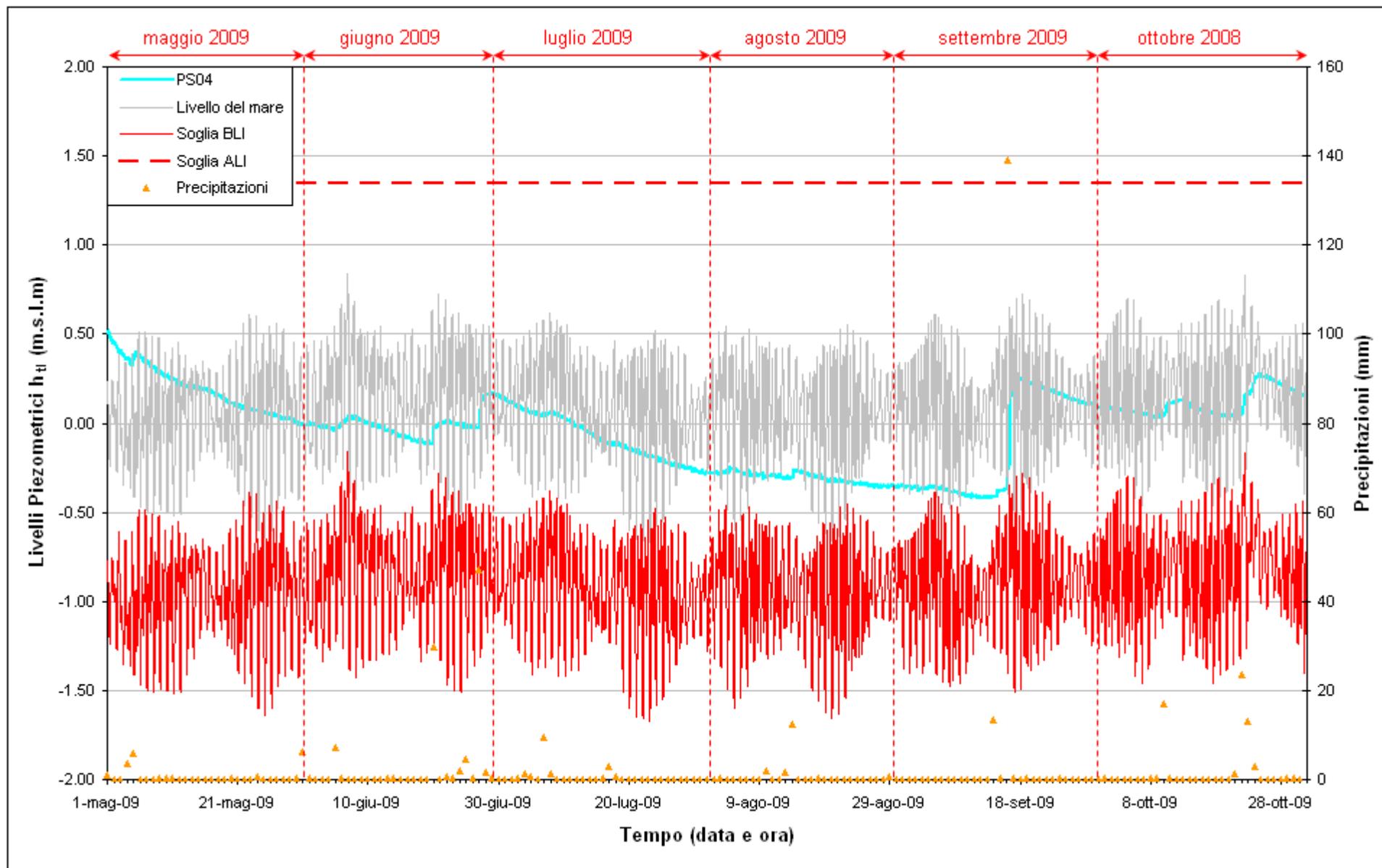
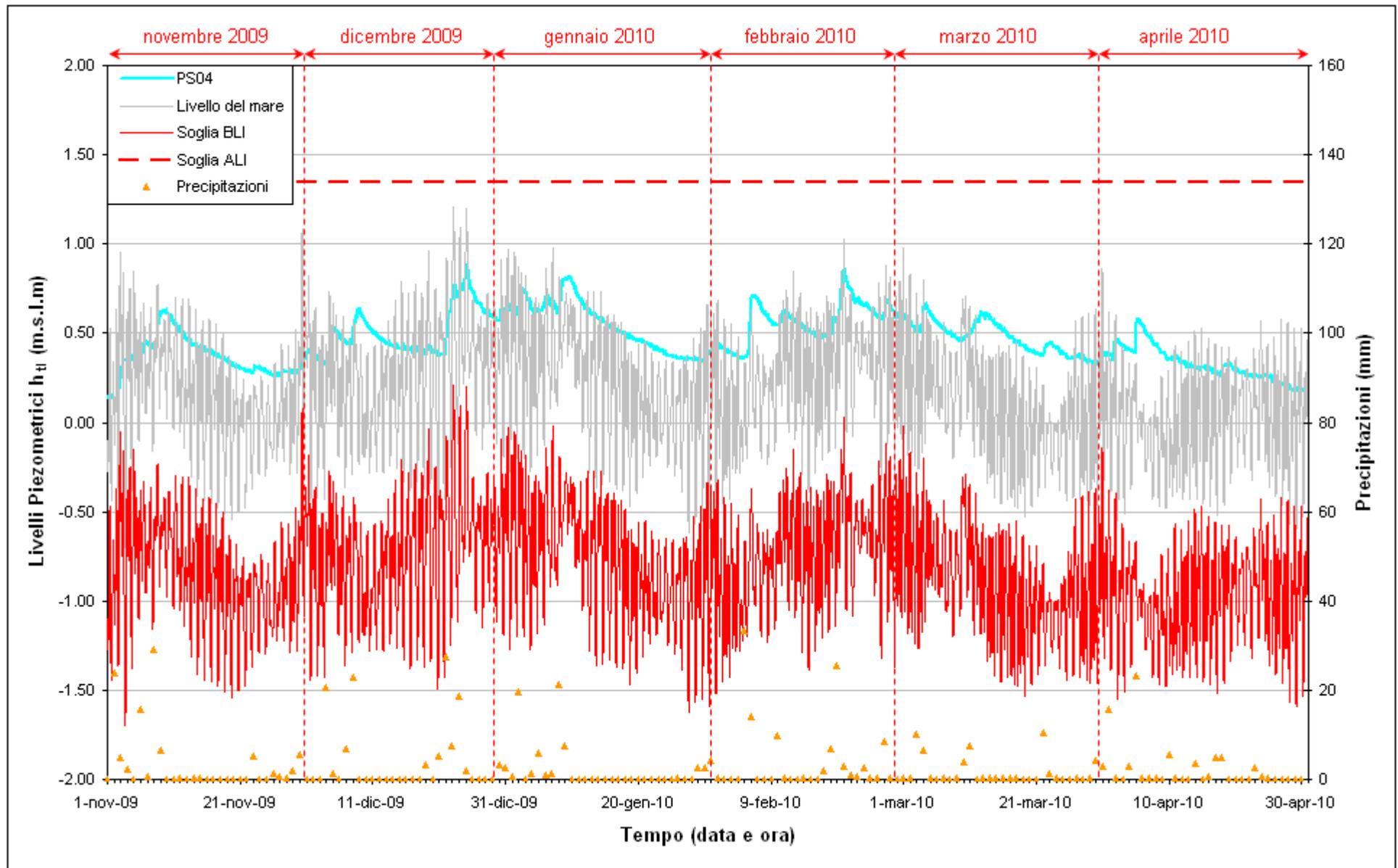


Fig. 2.17 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS04 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

Fig. 2.18 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro superficiale PS04 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009- 30/04/2010.

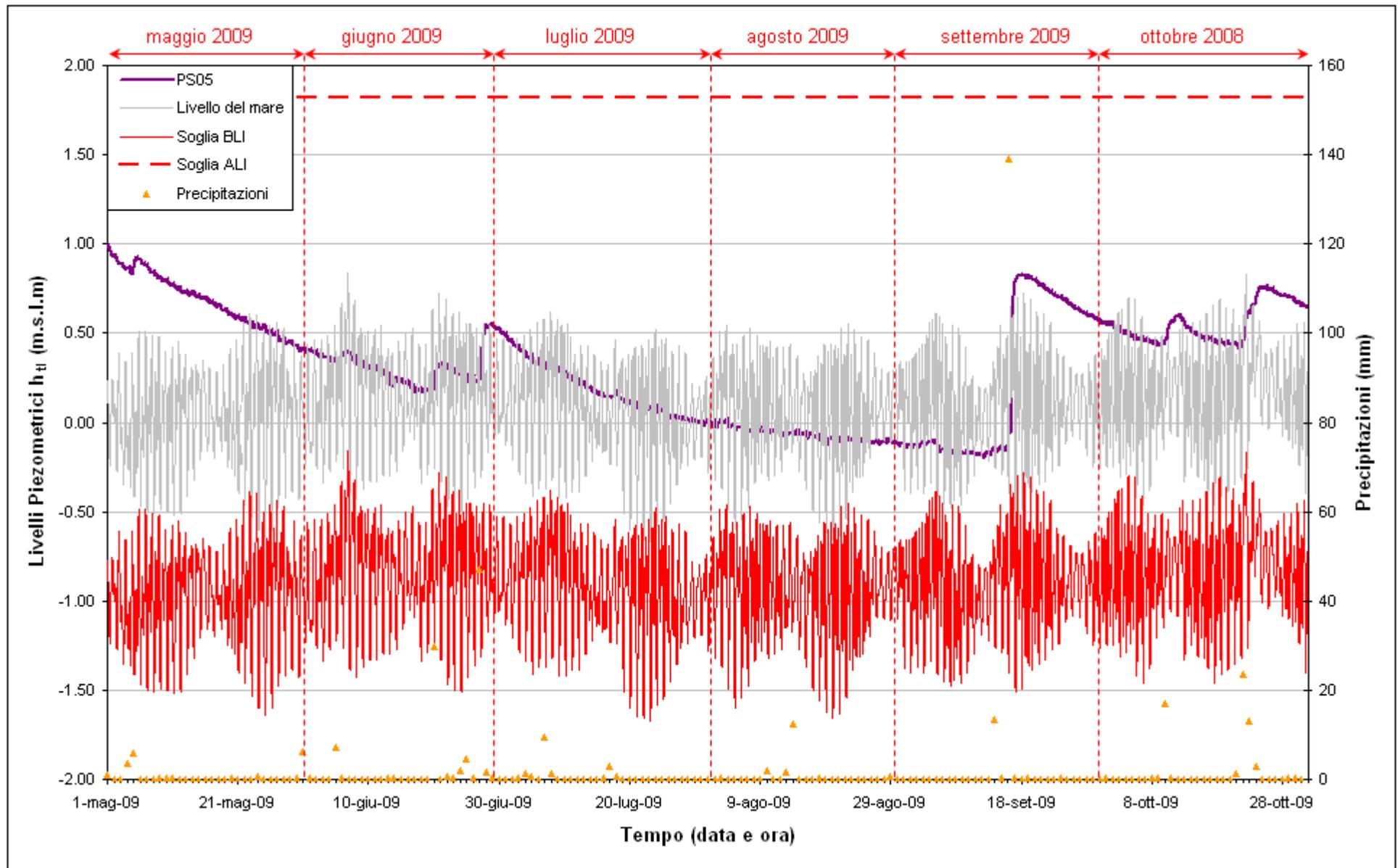


Fig. 2.19 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS05 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 – 31/10/2009.

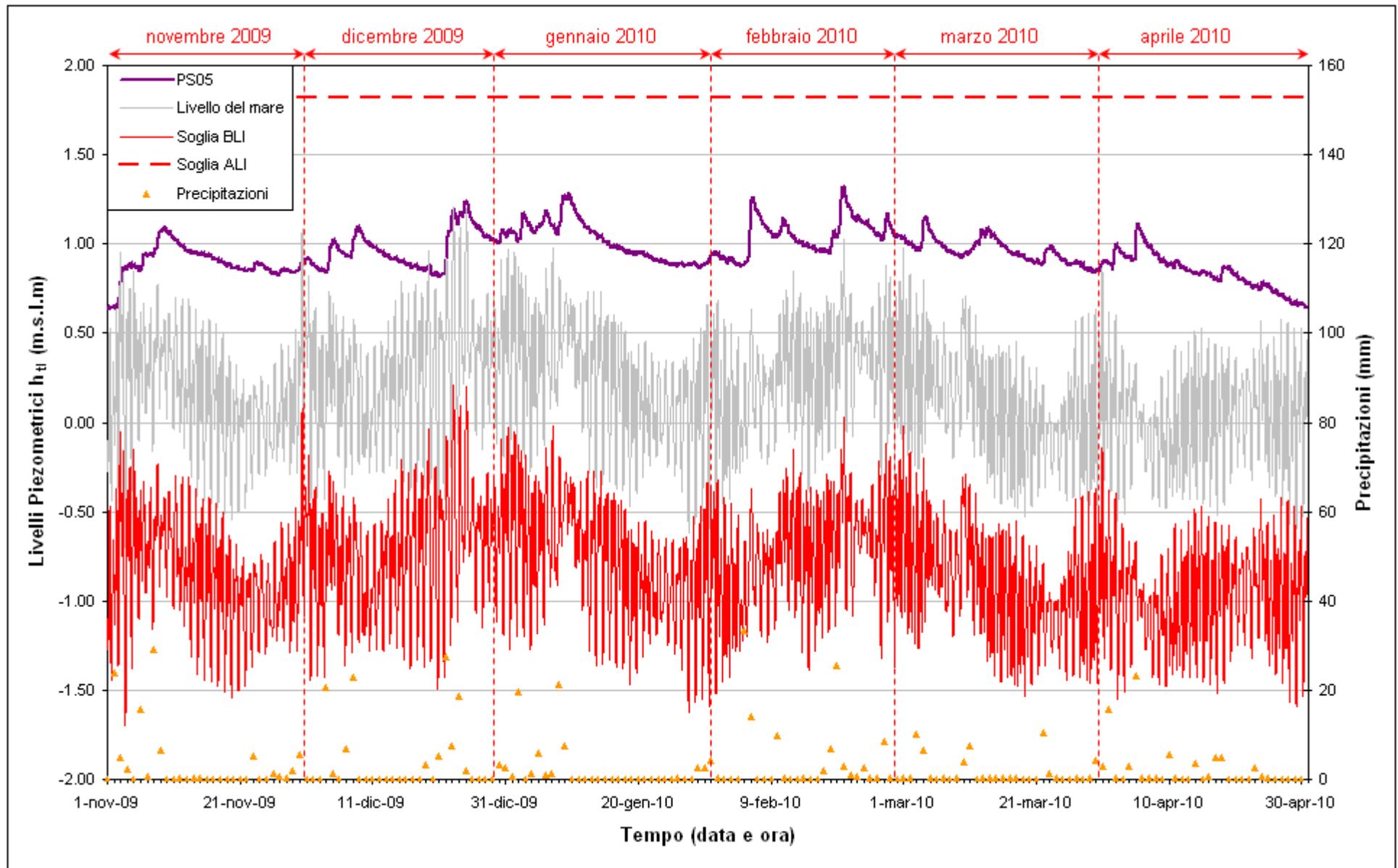


Fig. 2.20 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS05 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 – 30/04/2010.

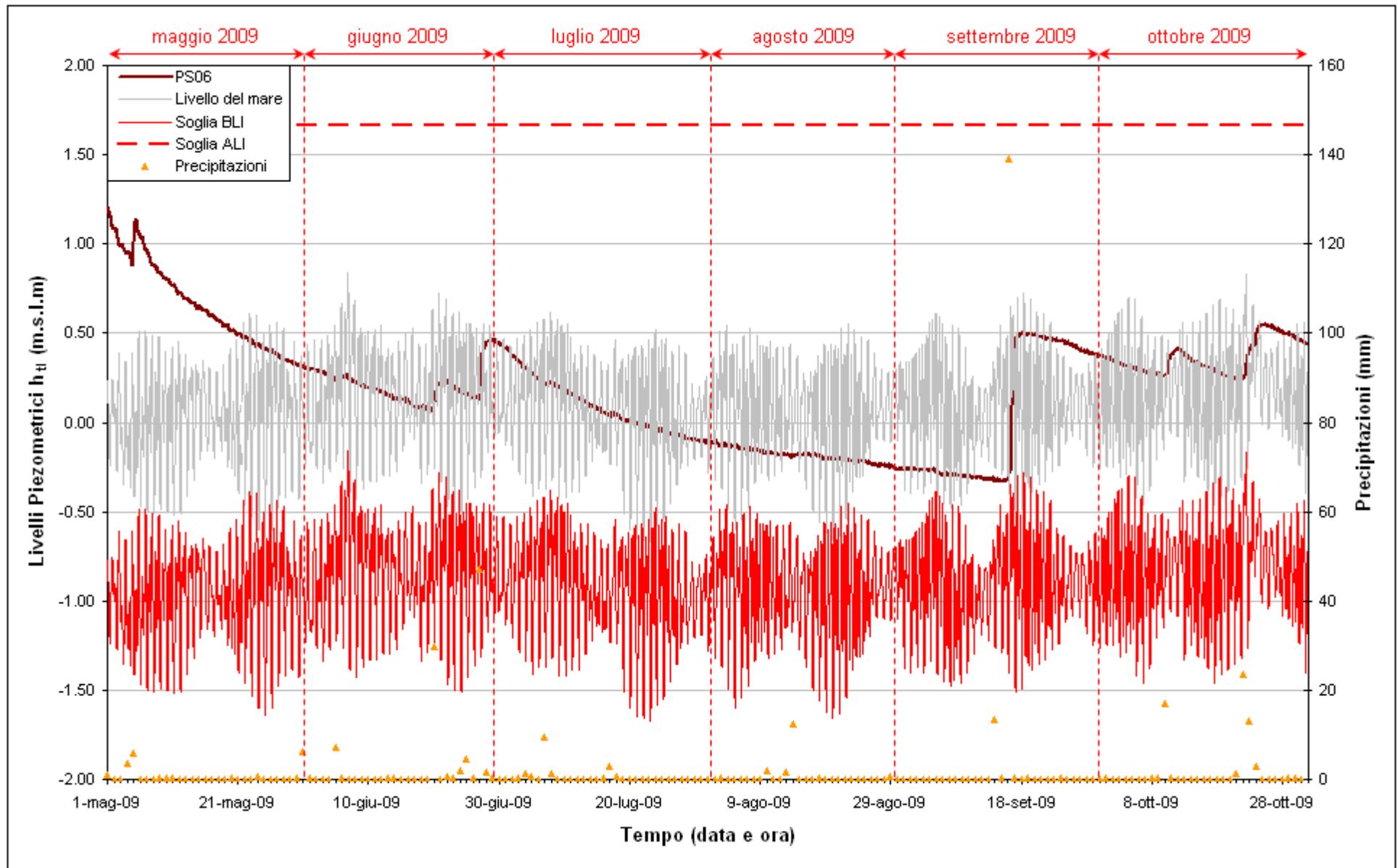


Fig. 2.21 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS06 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 – 31/10/2009.

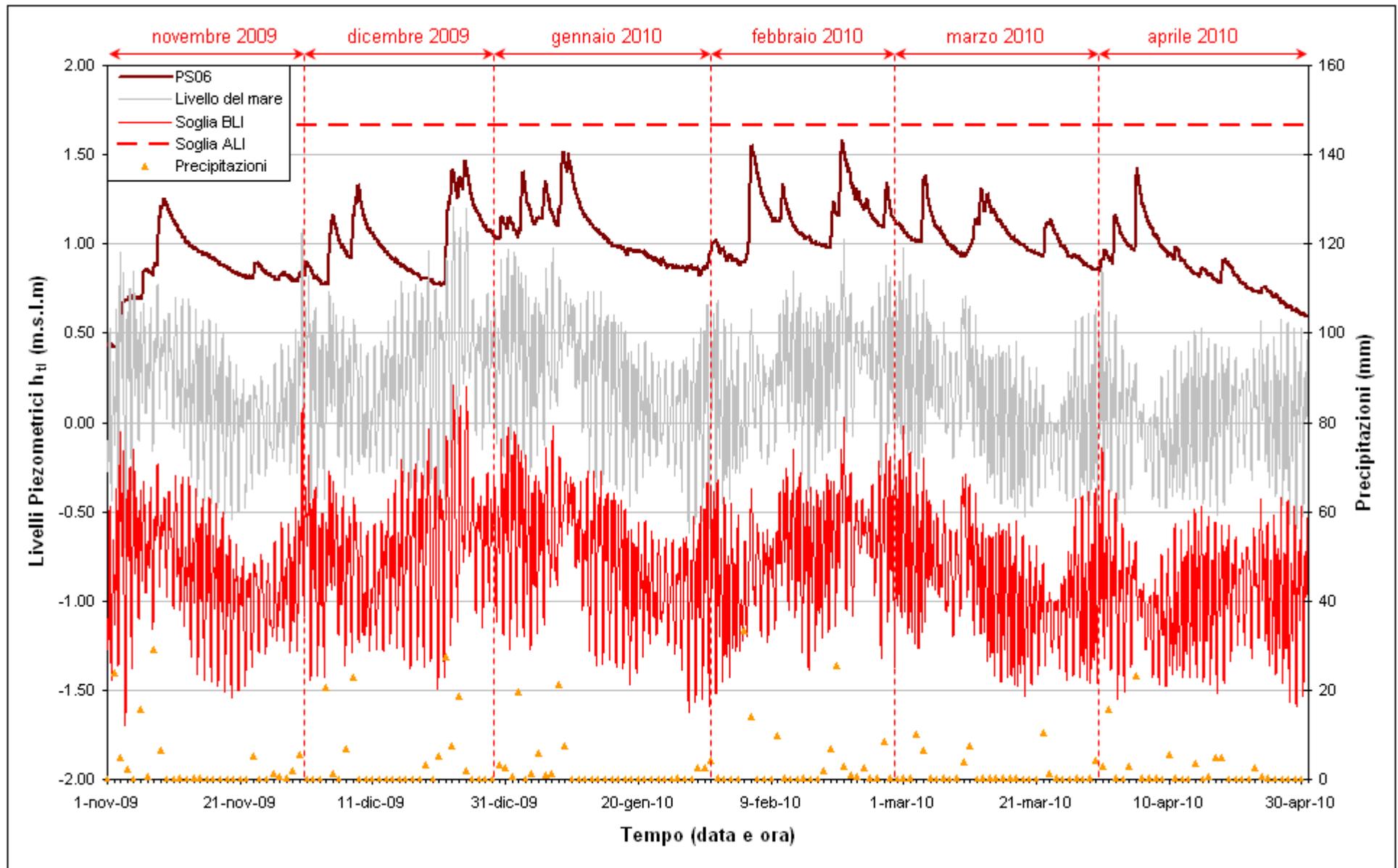


Fig. 2.22 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS06 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

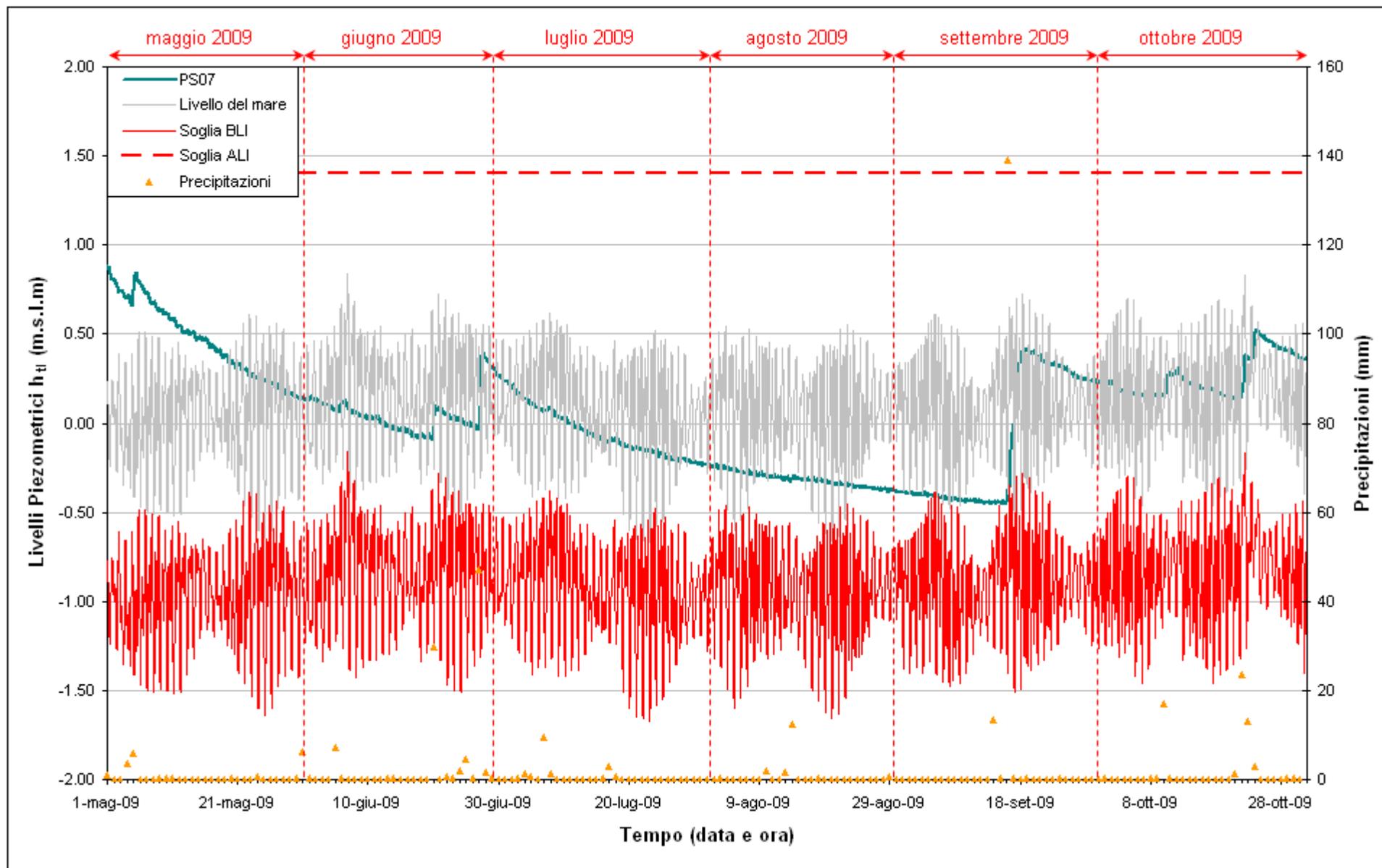


Fig. 2.23 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS07 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

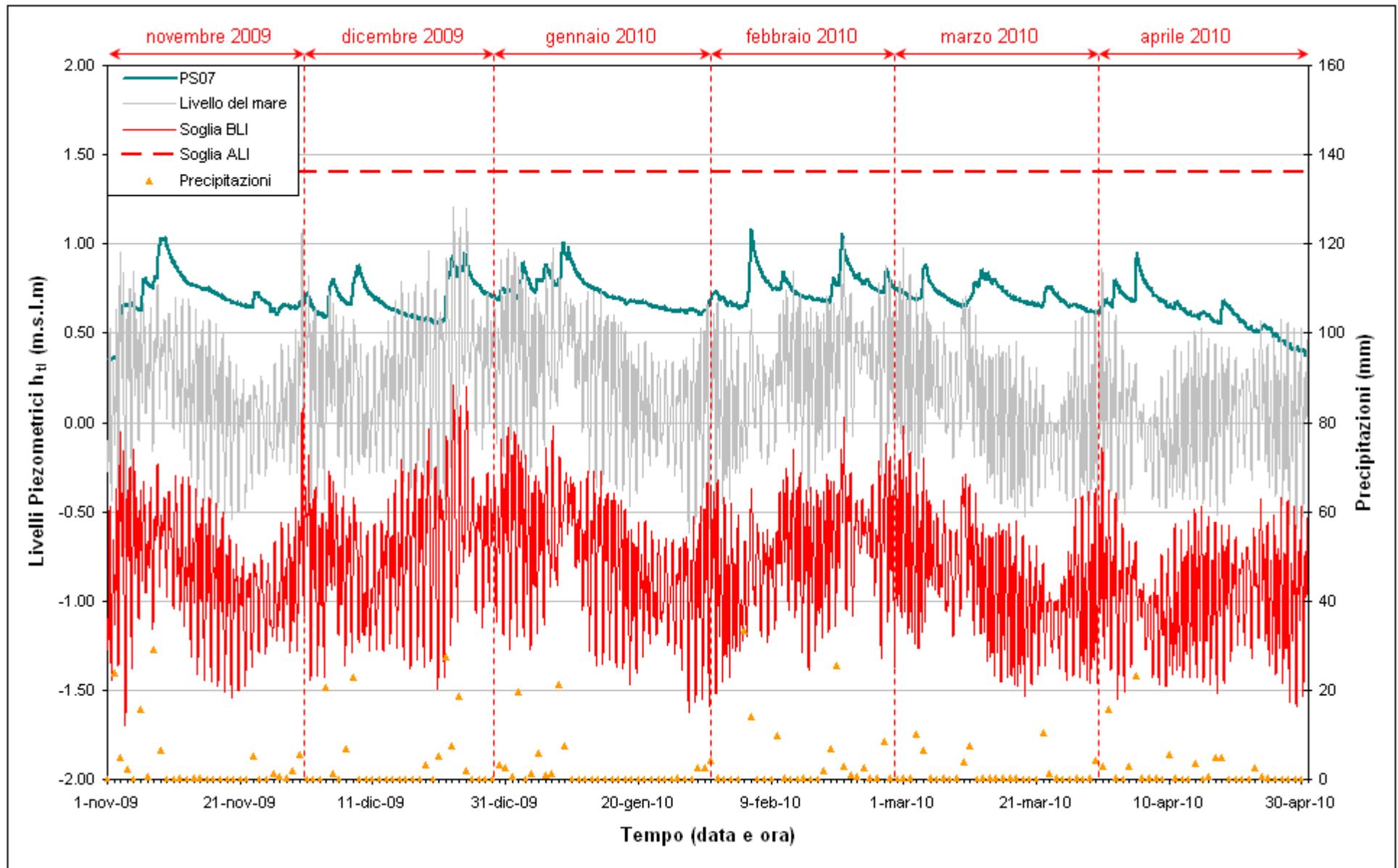


Fig. 2.24 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS07 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

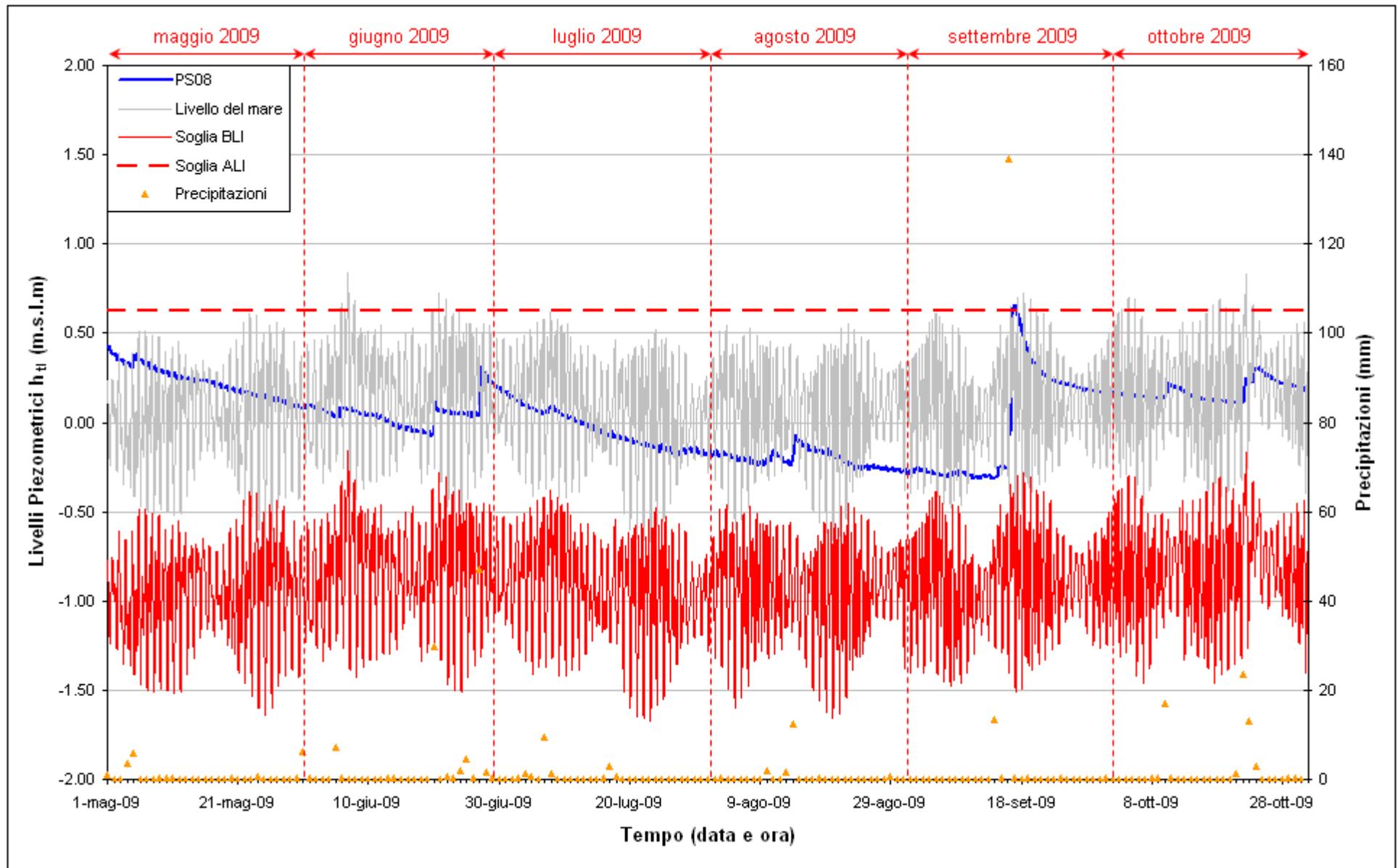


Fig. 2.25 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS08 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 – 31/10/2009.

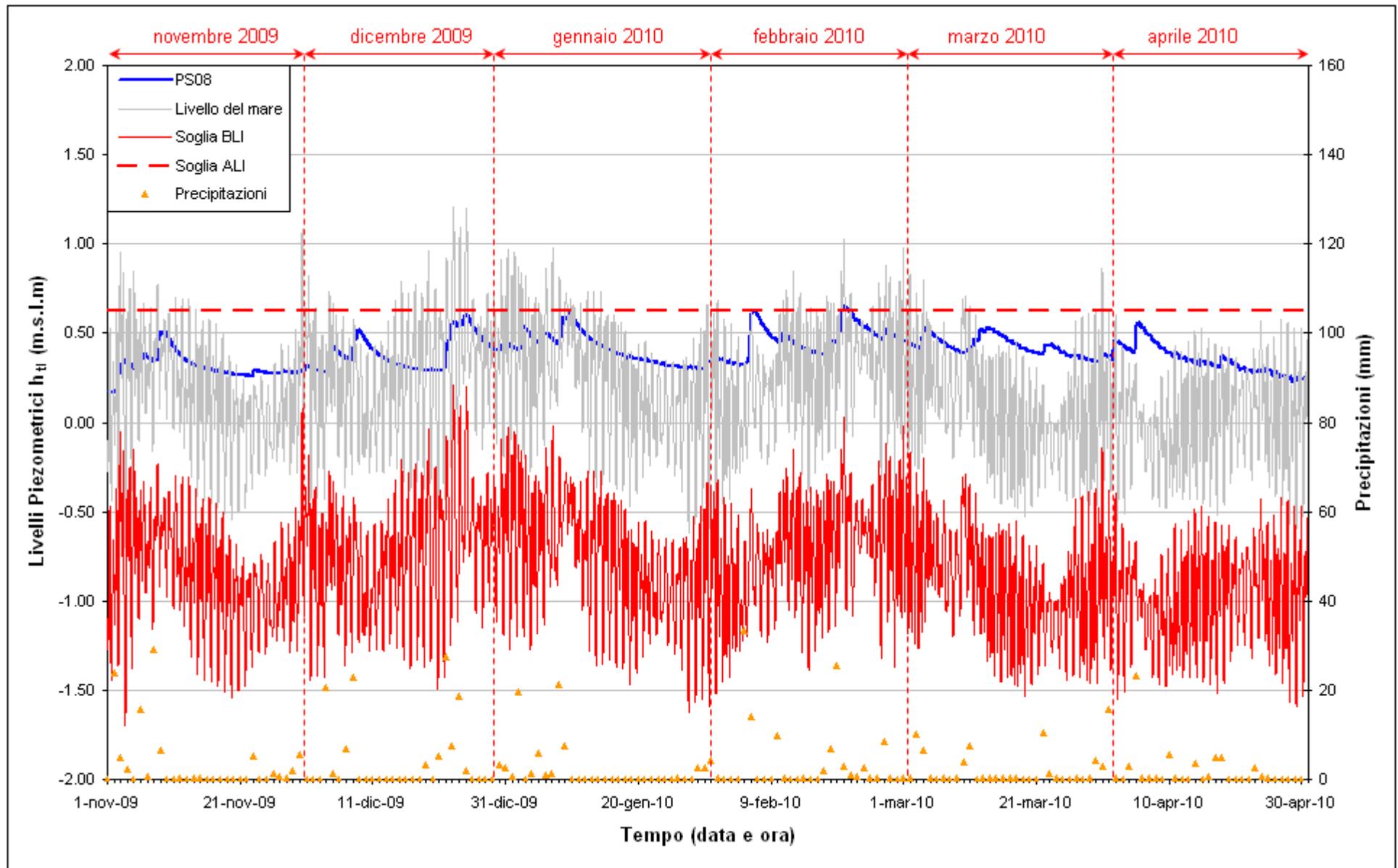


Fig. 2.26 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS08 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 – 30/04/2010.

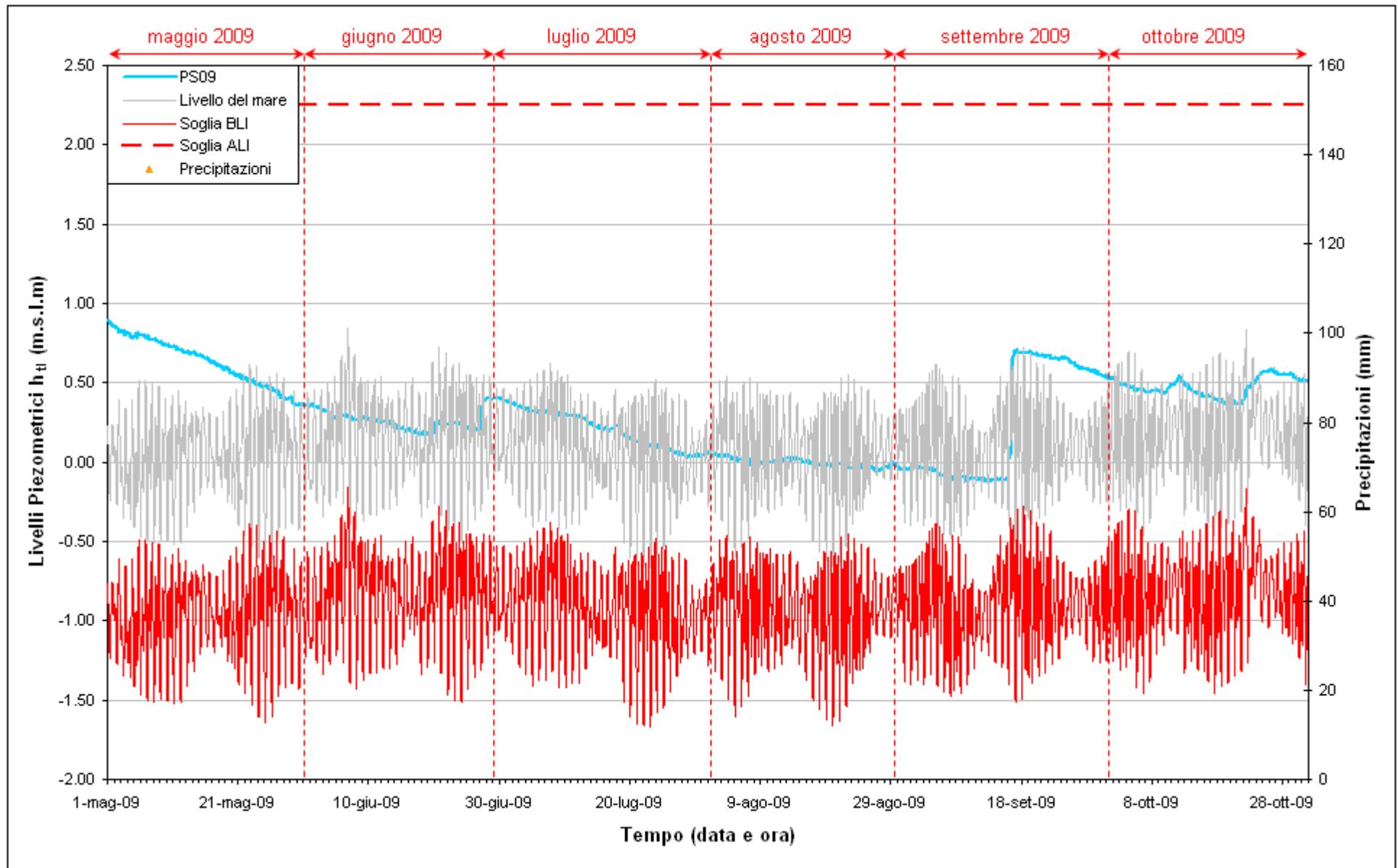


Fig. 2.27 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS09 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

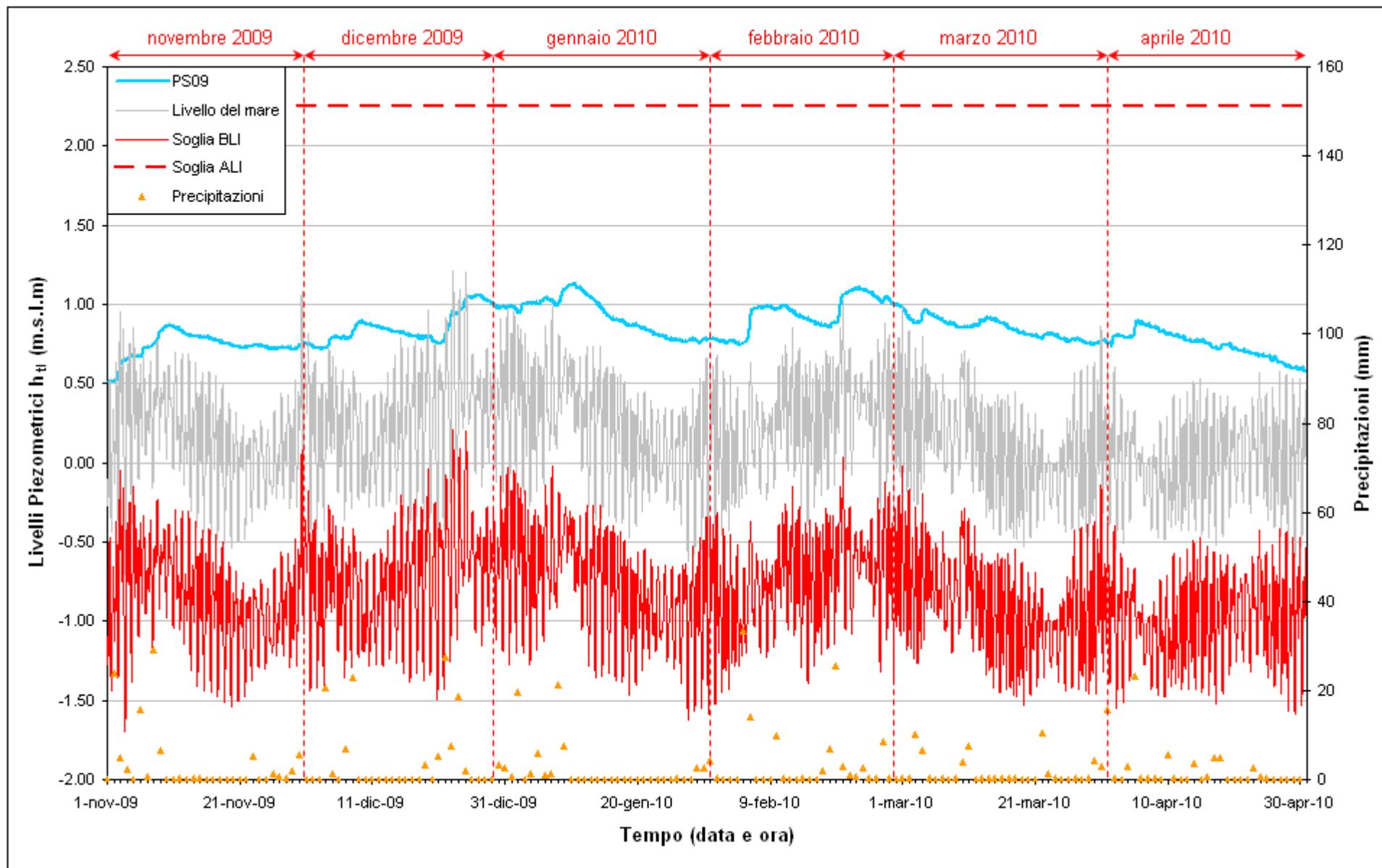


Fig. 2.28 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro superficiale PS09 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009- 30/04/2010.

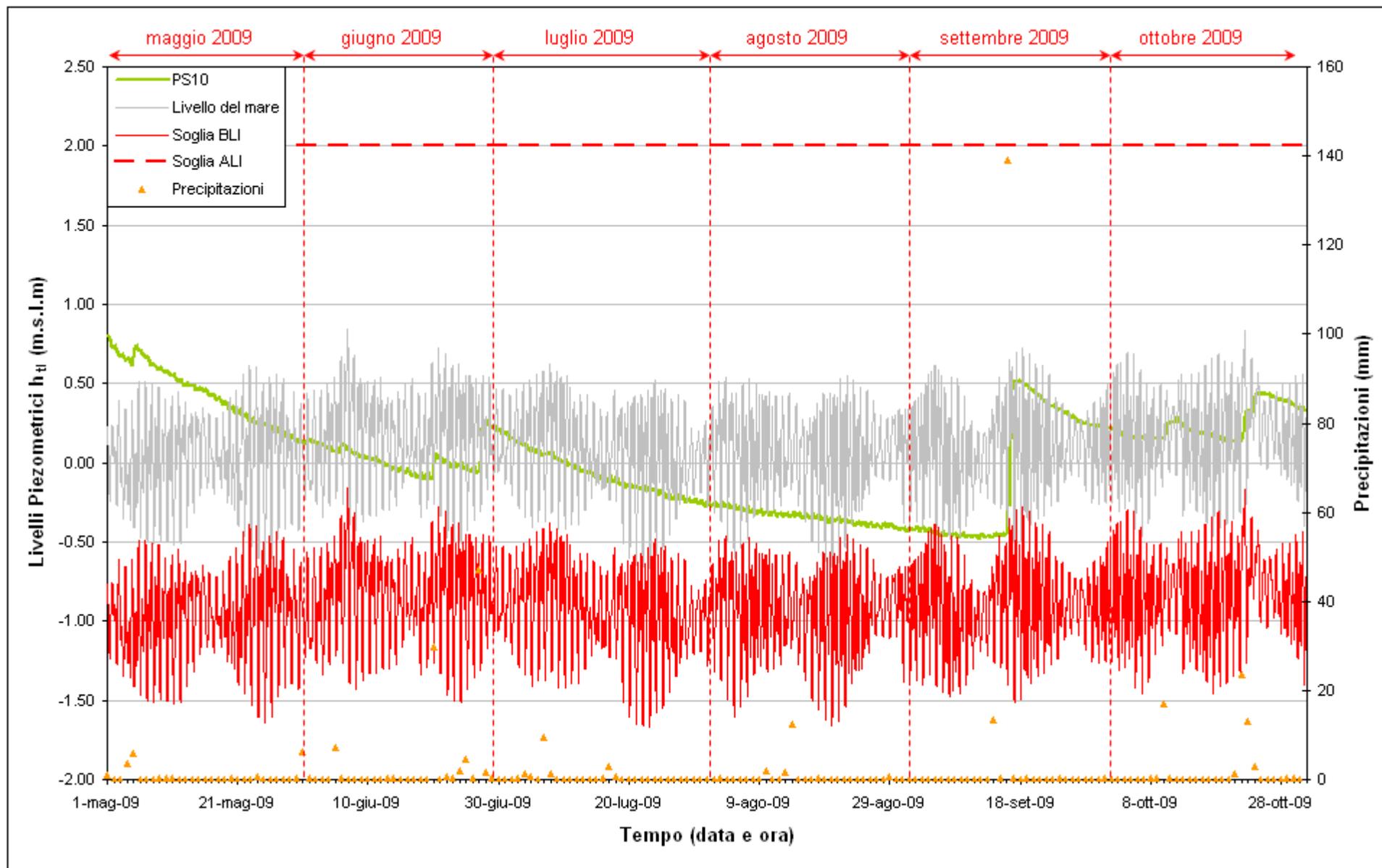


Fig. 2.29 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS10 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 – 31/10/2009.

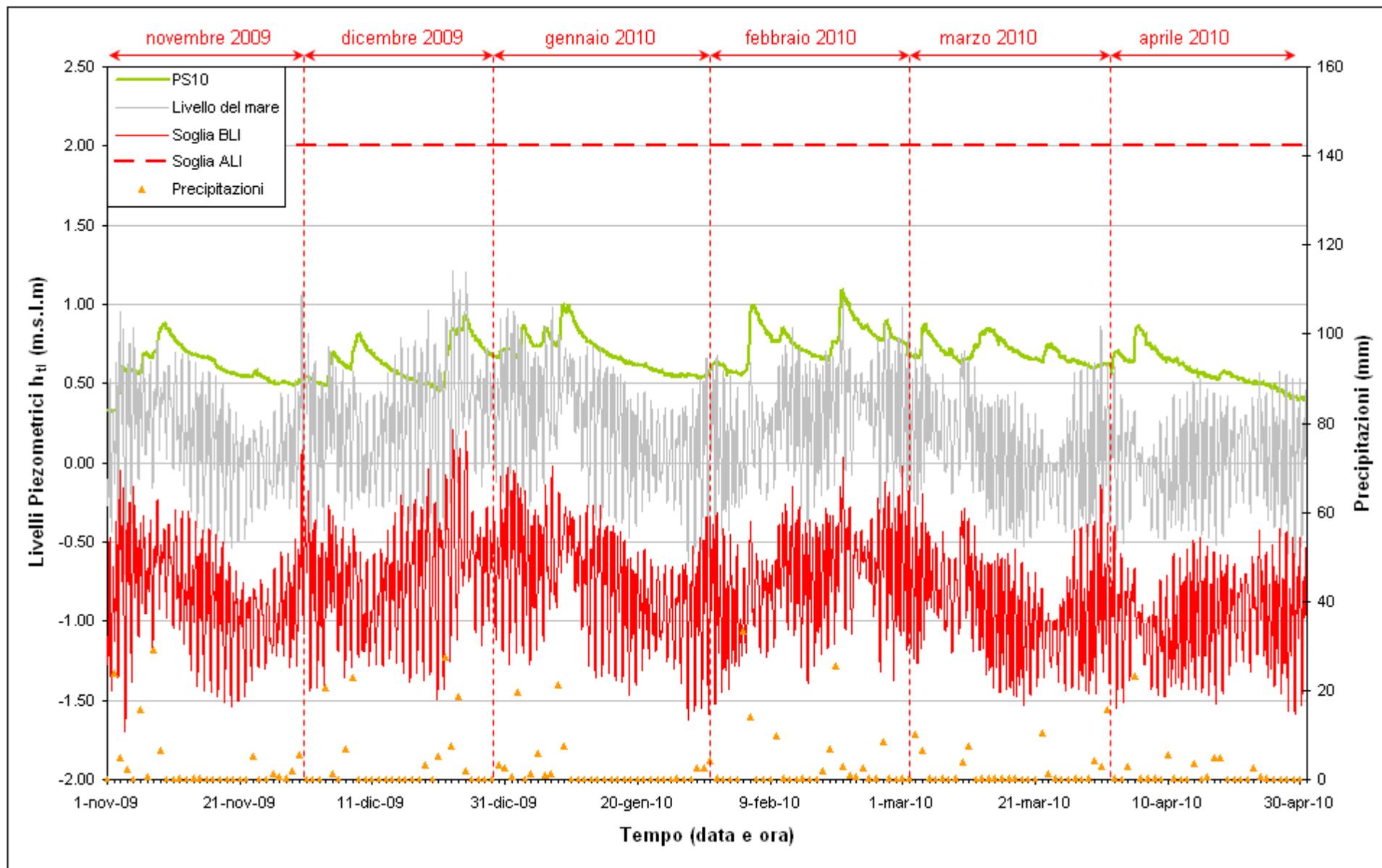


Fig. 2.30 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS10 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 – 30/04/2010.

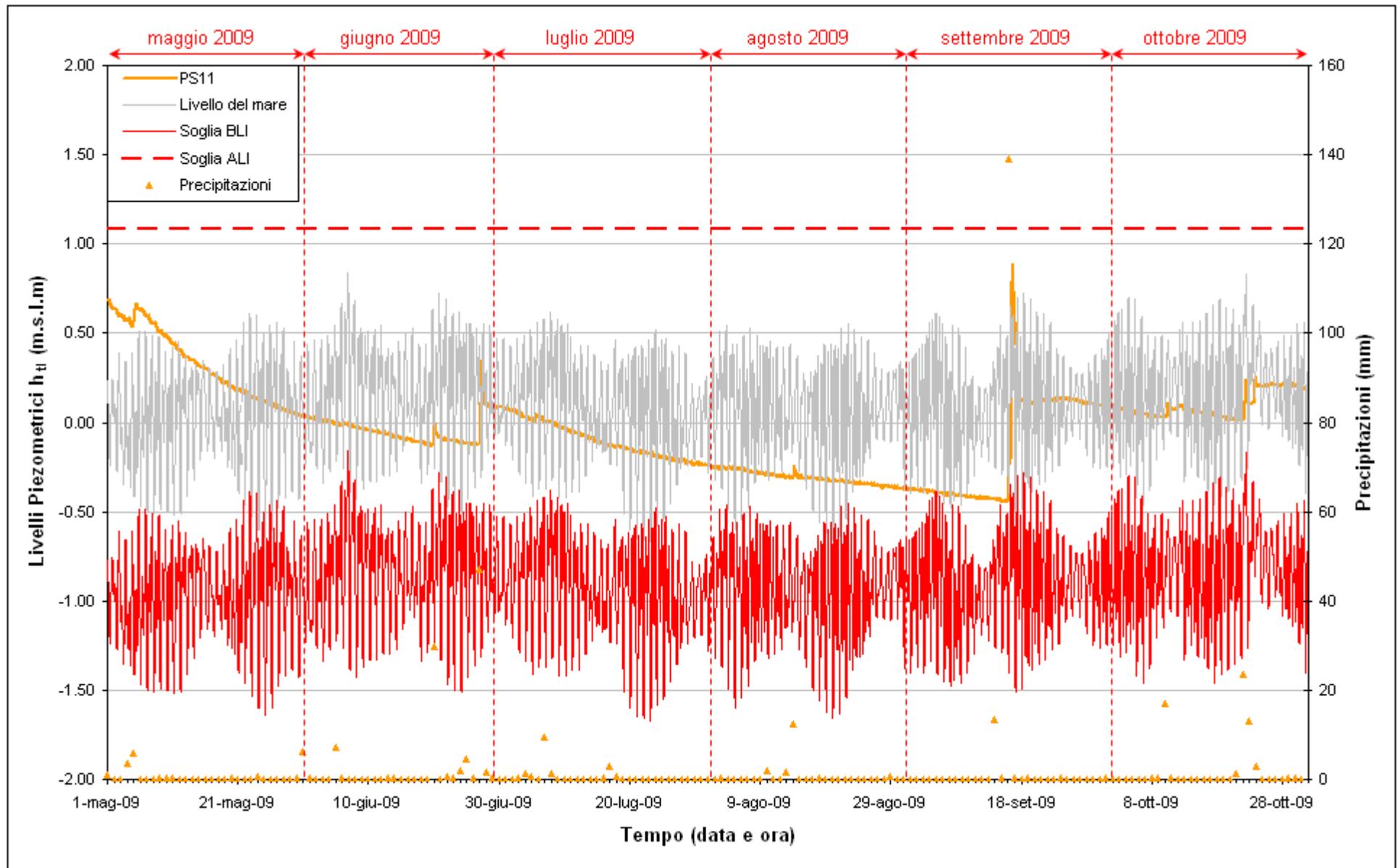


Fig. 2.31 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS11 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 – 31/10/2009.

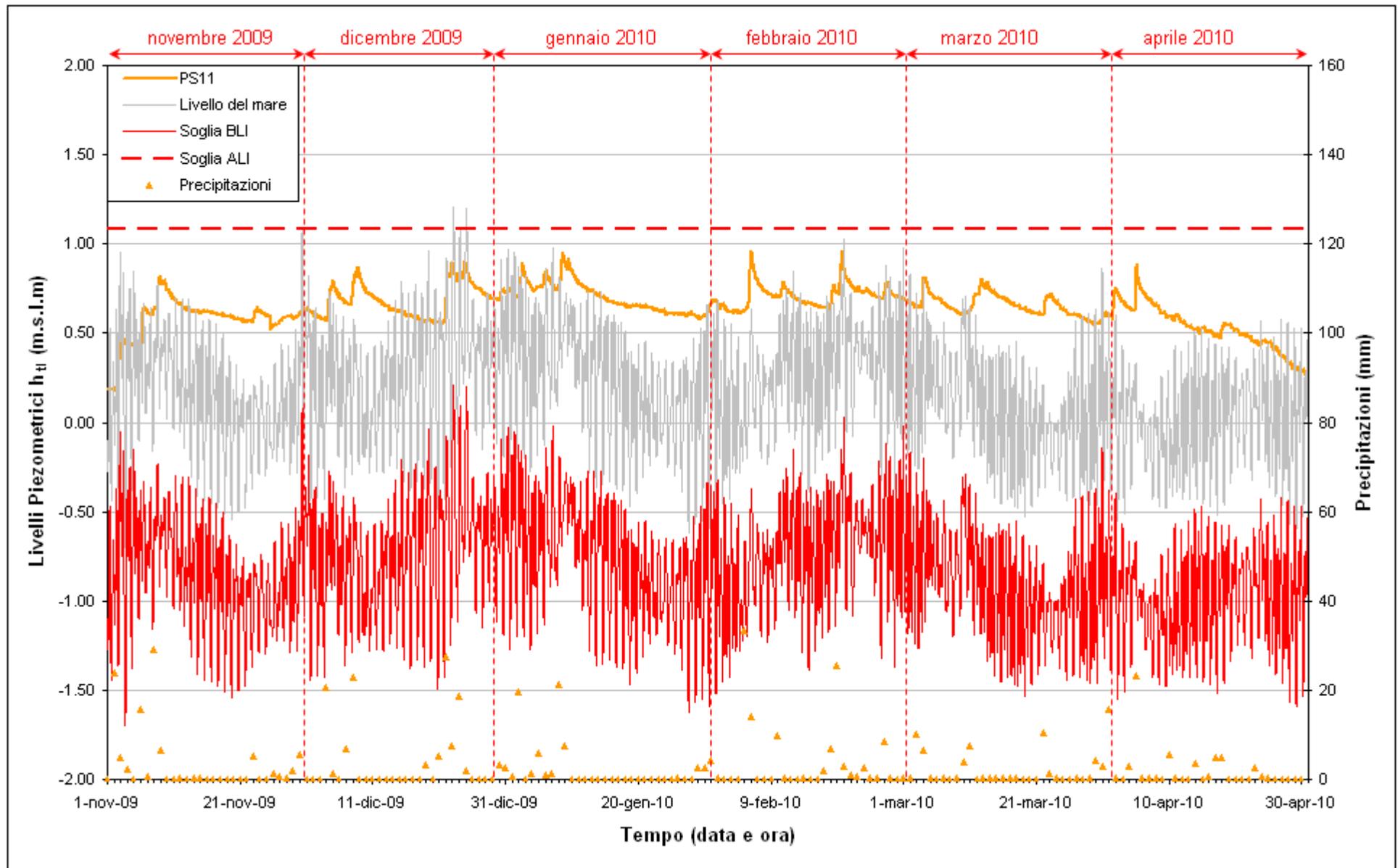


Fig. 2.32 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS11 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

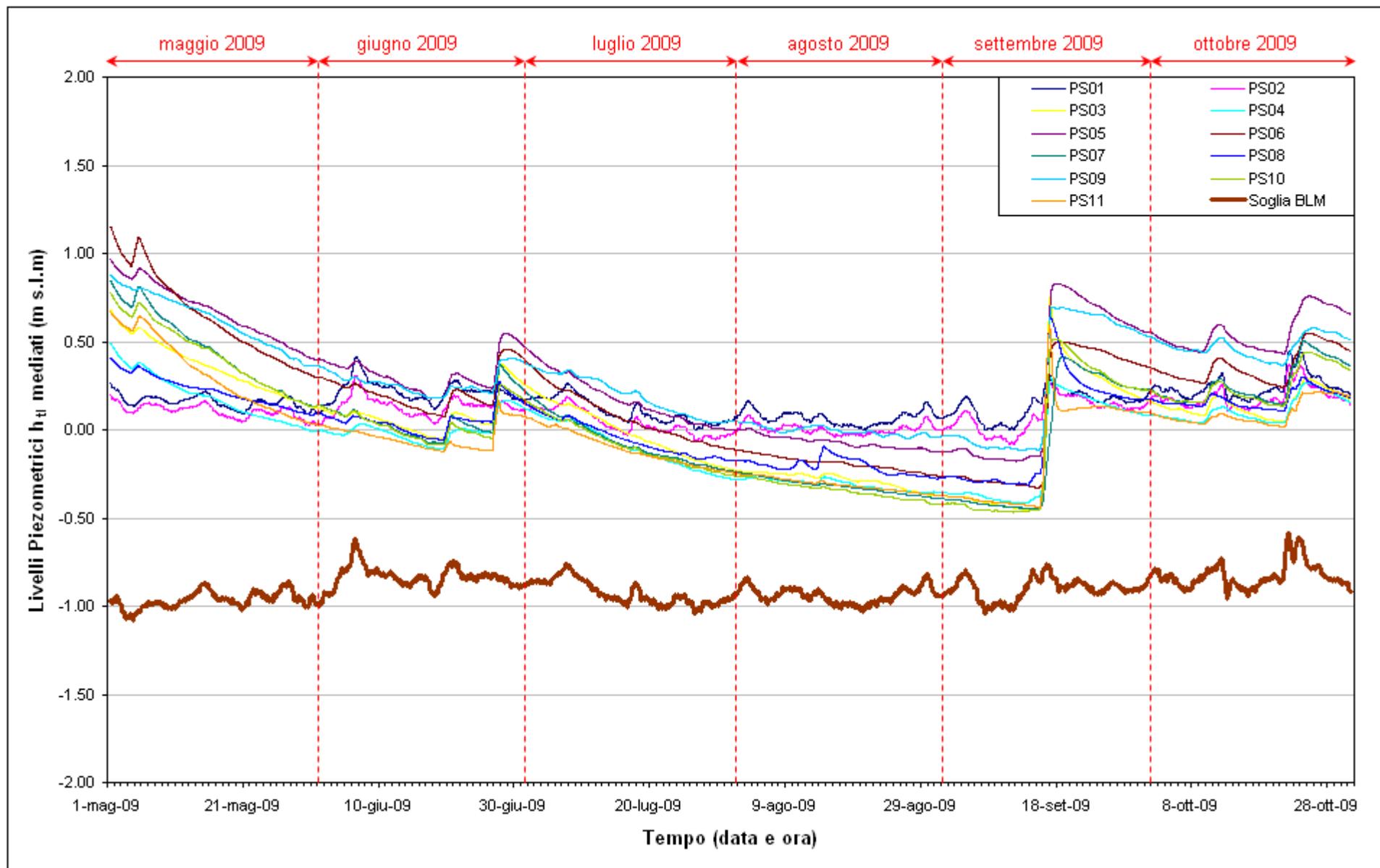


Fig. 2.33 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

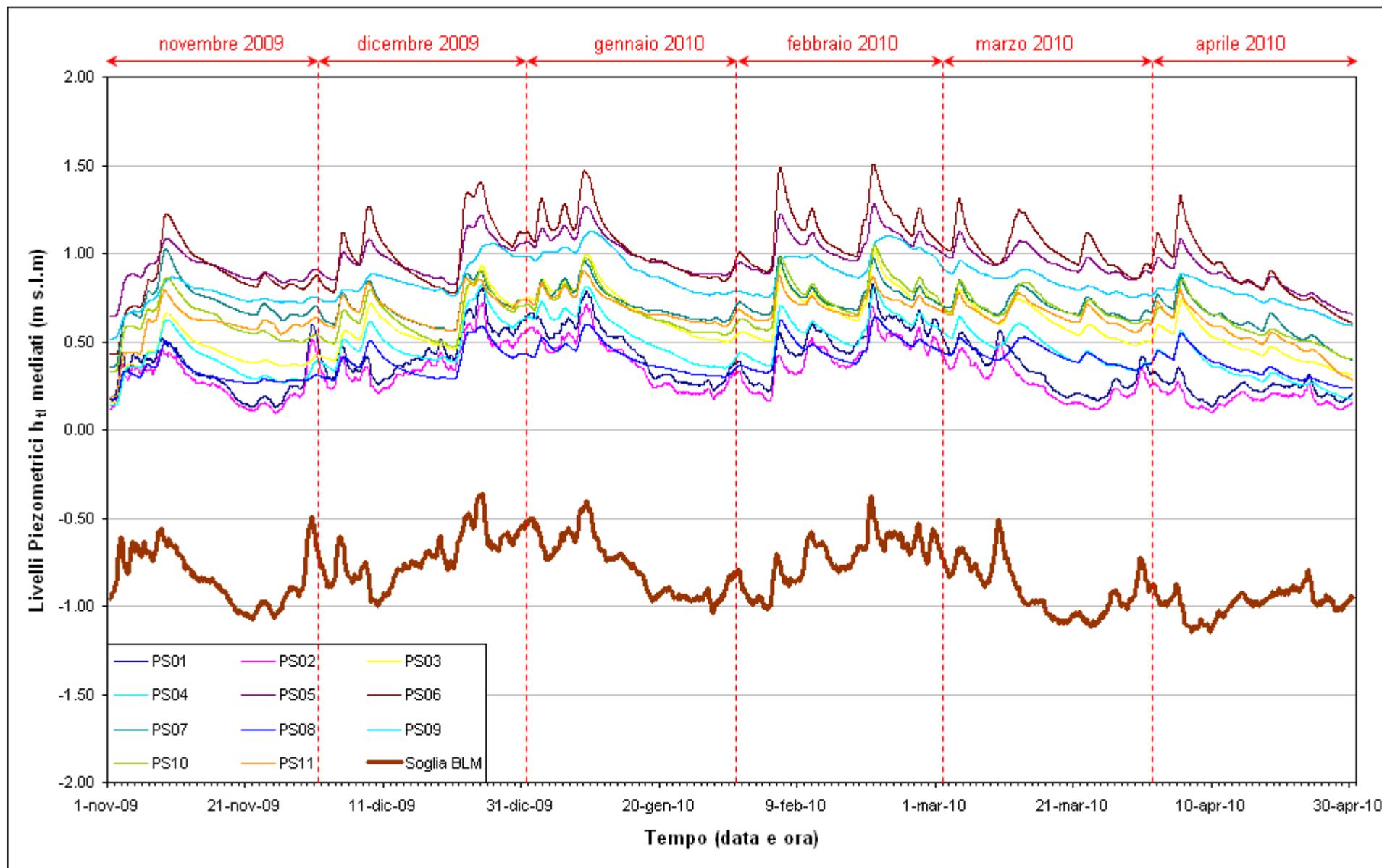


Fig. 2.34 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

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.

Nel periodo monitorato si sono verificate oscillazioni di carico idraulico nell'acquifero profondo, attribuibili a variazioni delle portate di dewatering della tura, con intervalli di variazione maggiori nei piezometri a ridosso della tura (PP04: 140 cm circa; PP12: 100 cm circa).

I dati delle portate di pompaggio all'interno della tura non sono stati resi disponibili alla Matrice Suolo.

Dal confronto (Fig. 2.35) tra i piezometri interni alla tura e quelli esterni più prossimi (PP03, PP04, PP12), si osserva una forte correlazione tra i livelli del piezometro PP04 e quelli dei piezometri PzC e PzG. I carichi idraulici risentono delle variazioni nelle portate di emungimento in corrispondenza dei pozzi (tali dati non sono stati resi disponibili alla Matrice Suolo) con oscillazioni nettamente più marcate all'interno della tura che non all'esterno.

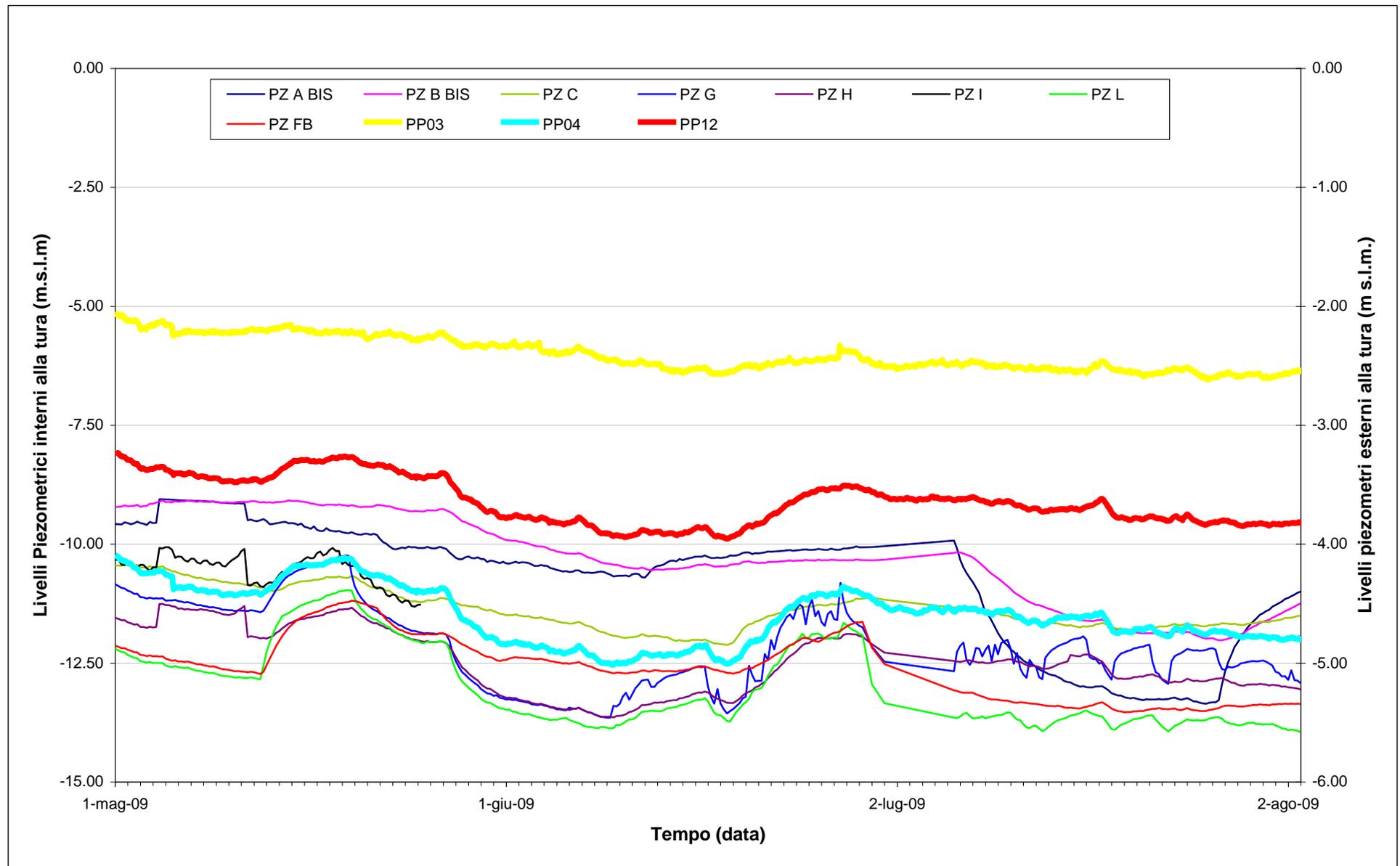
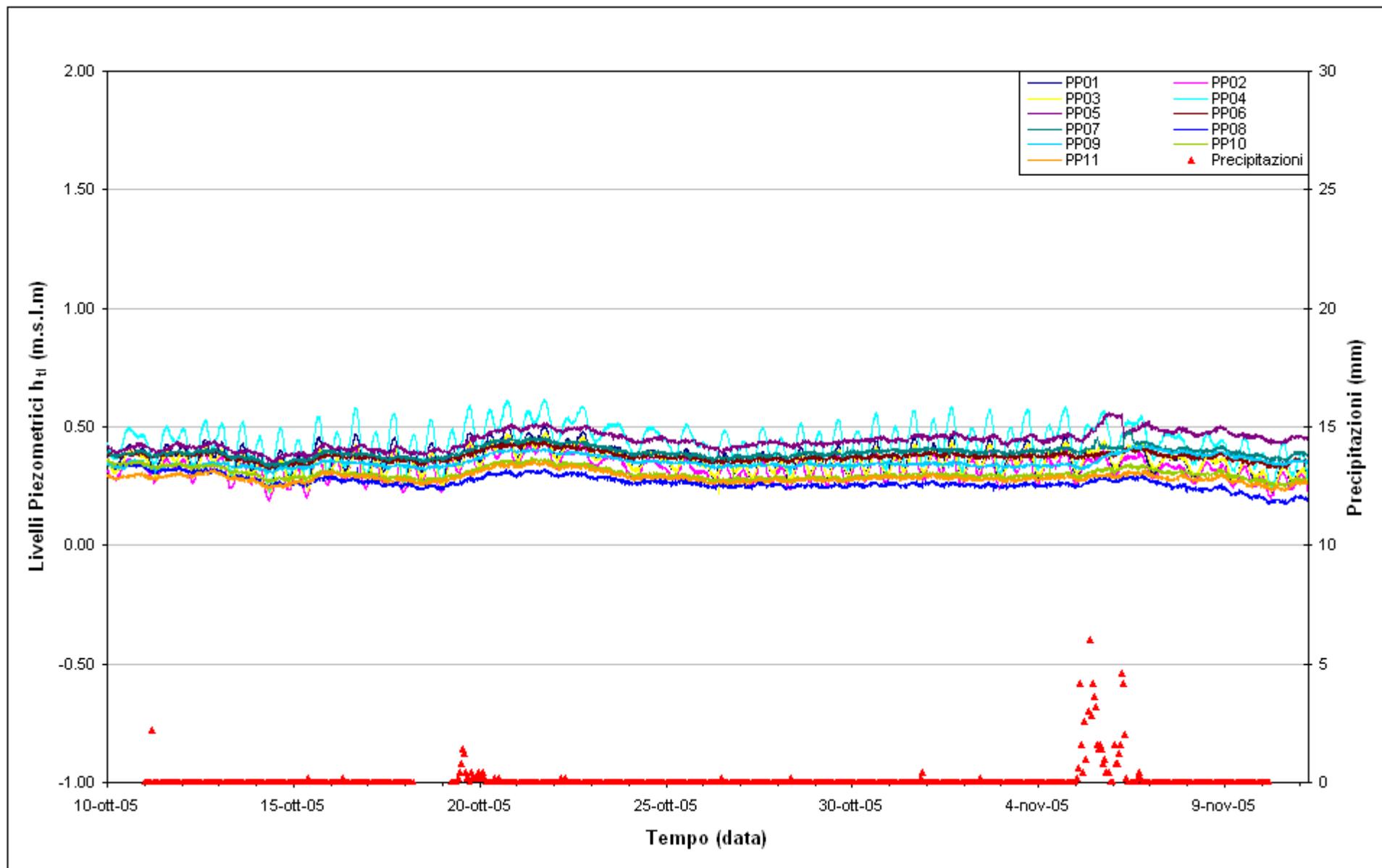


Fig. 2.35 - Livelli piezometrici (htl) misurati nei piezometri interni alla tura (fonte: CVN) e in quelli esterni prossimi alla tura.

Fig. 2.36 - Livelli piezometrici (h_t) relativi ai piezometri profondi nella fase A (ottobre - novembre 2005).

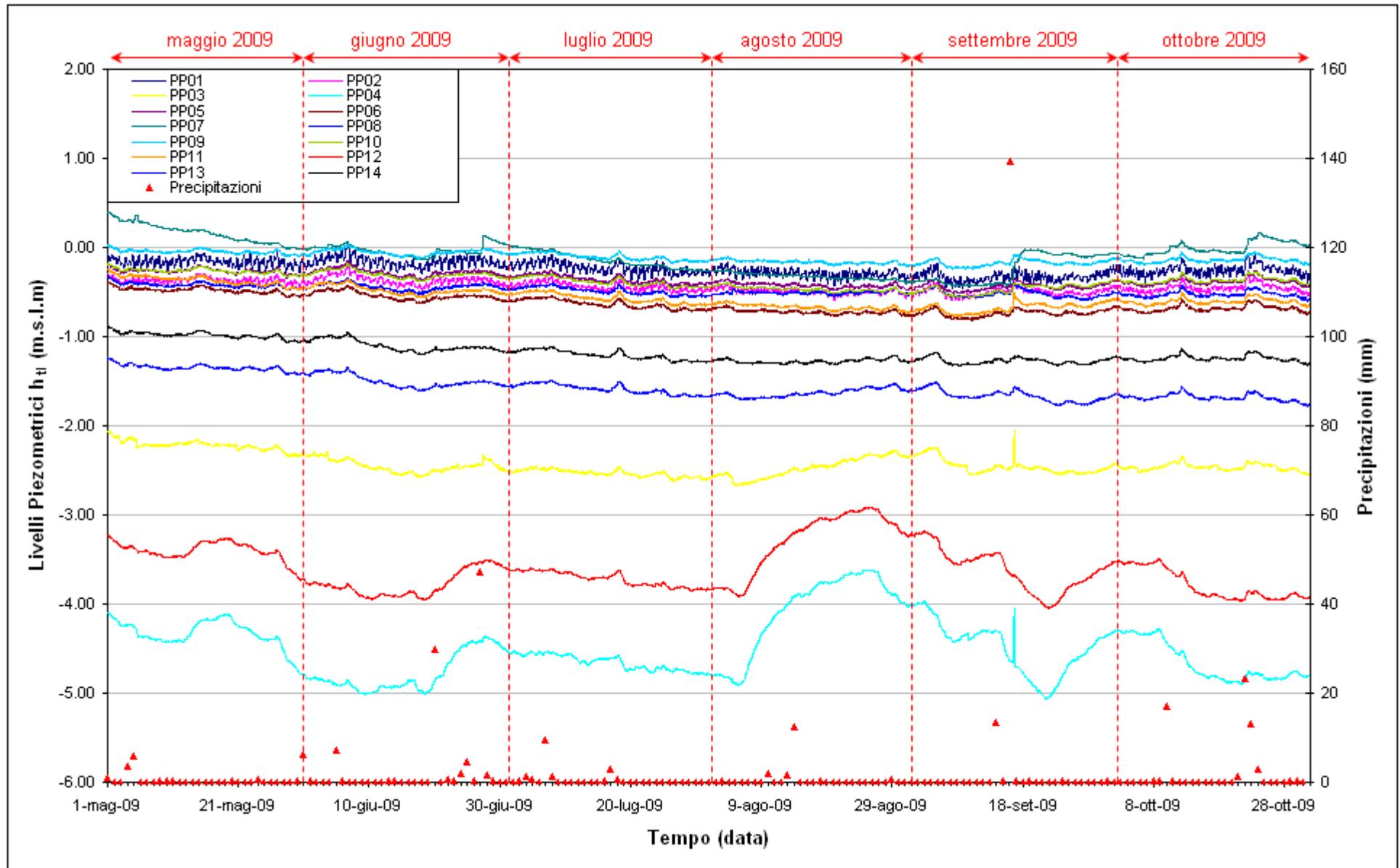


Fig. 2.37 - Livelli piezometrici (h_t) relativi ai piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

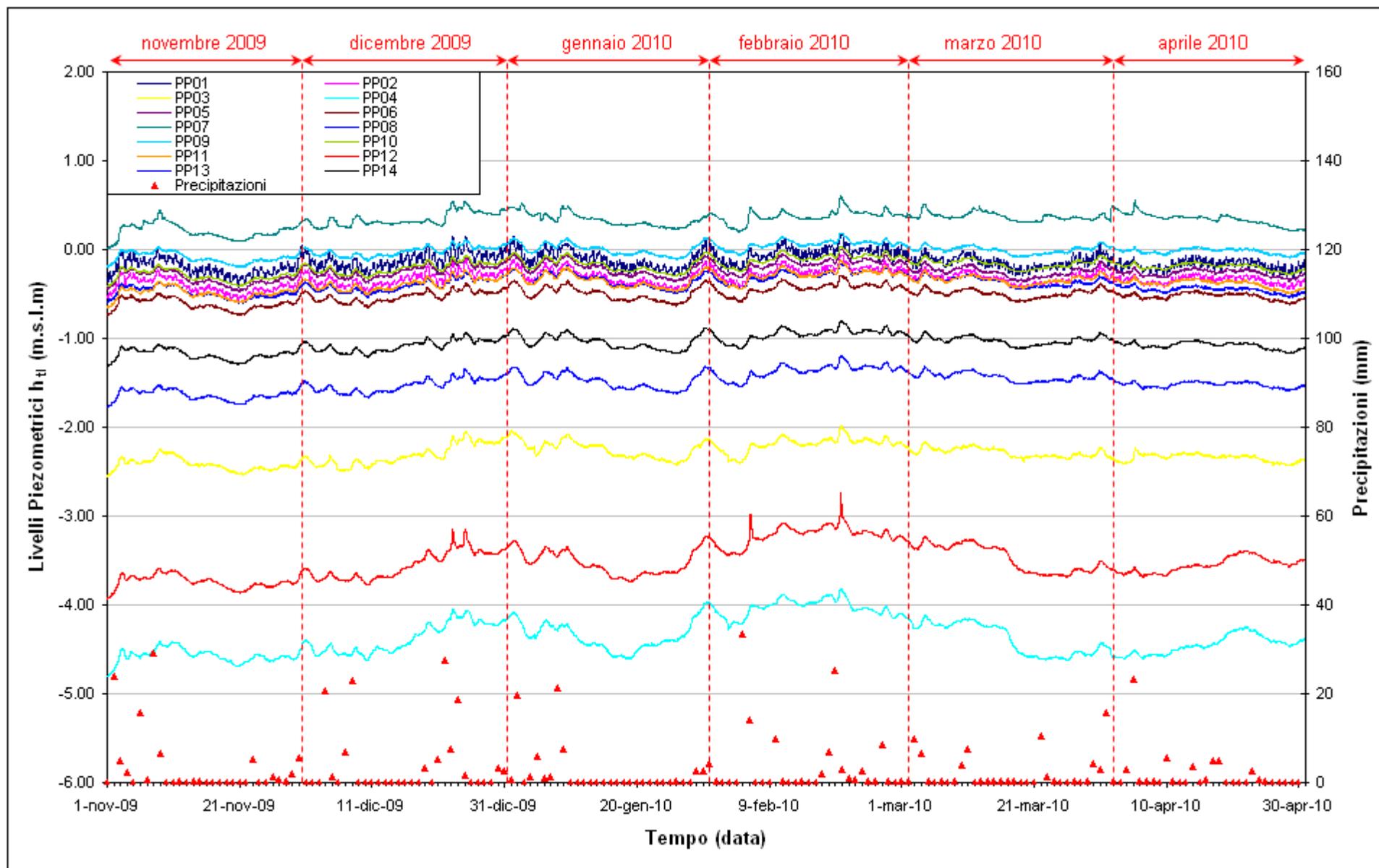


Fig. 2.38 - Livelli piezometrici (h_u) relativi ai piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

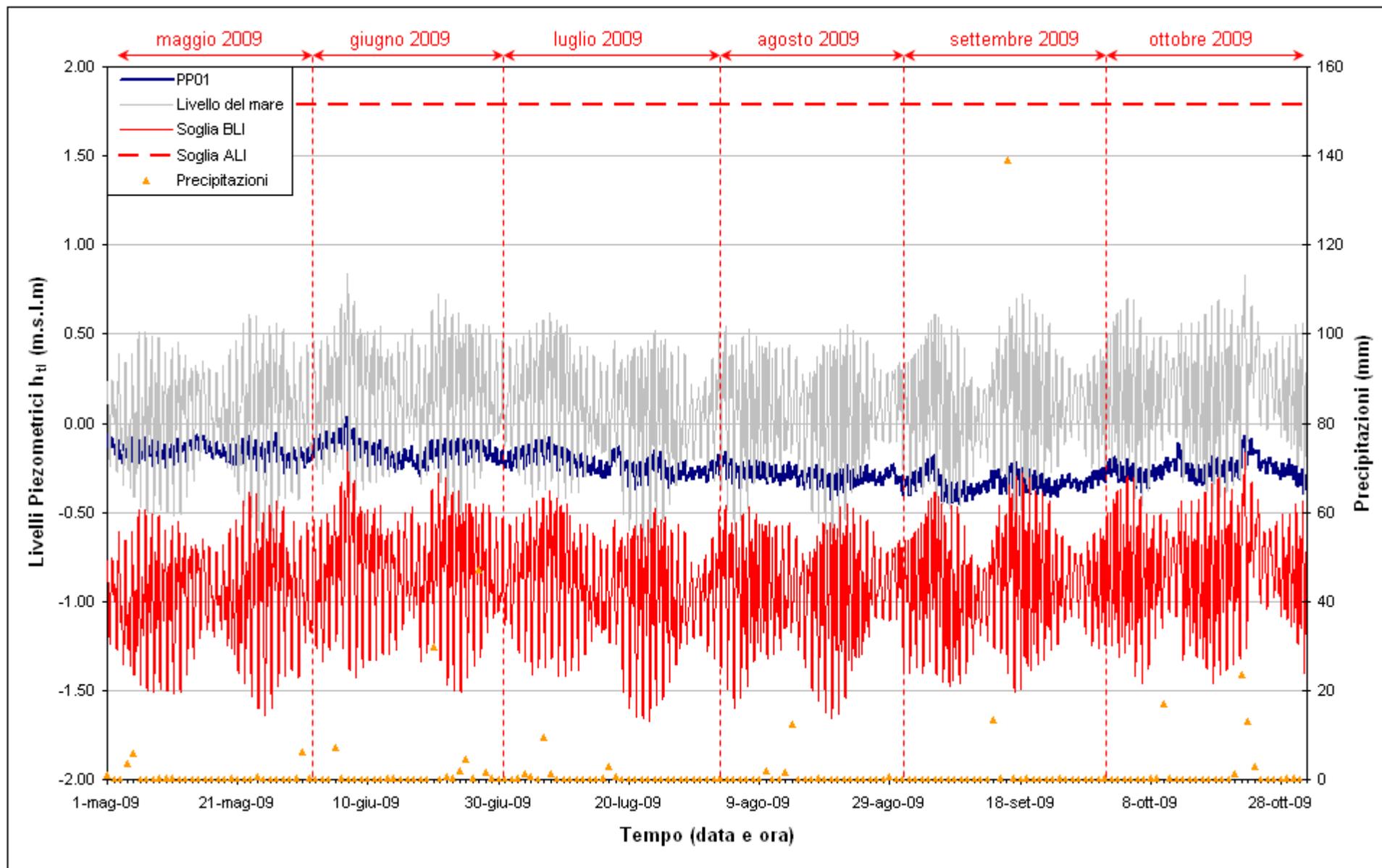


Fig. 2.39 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

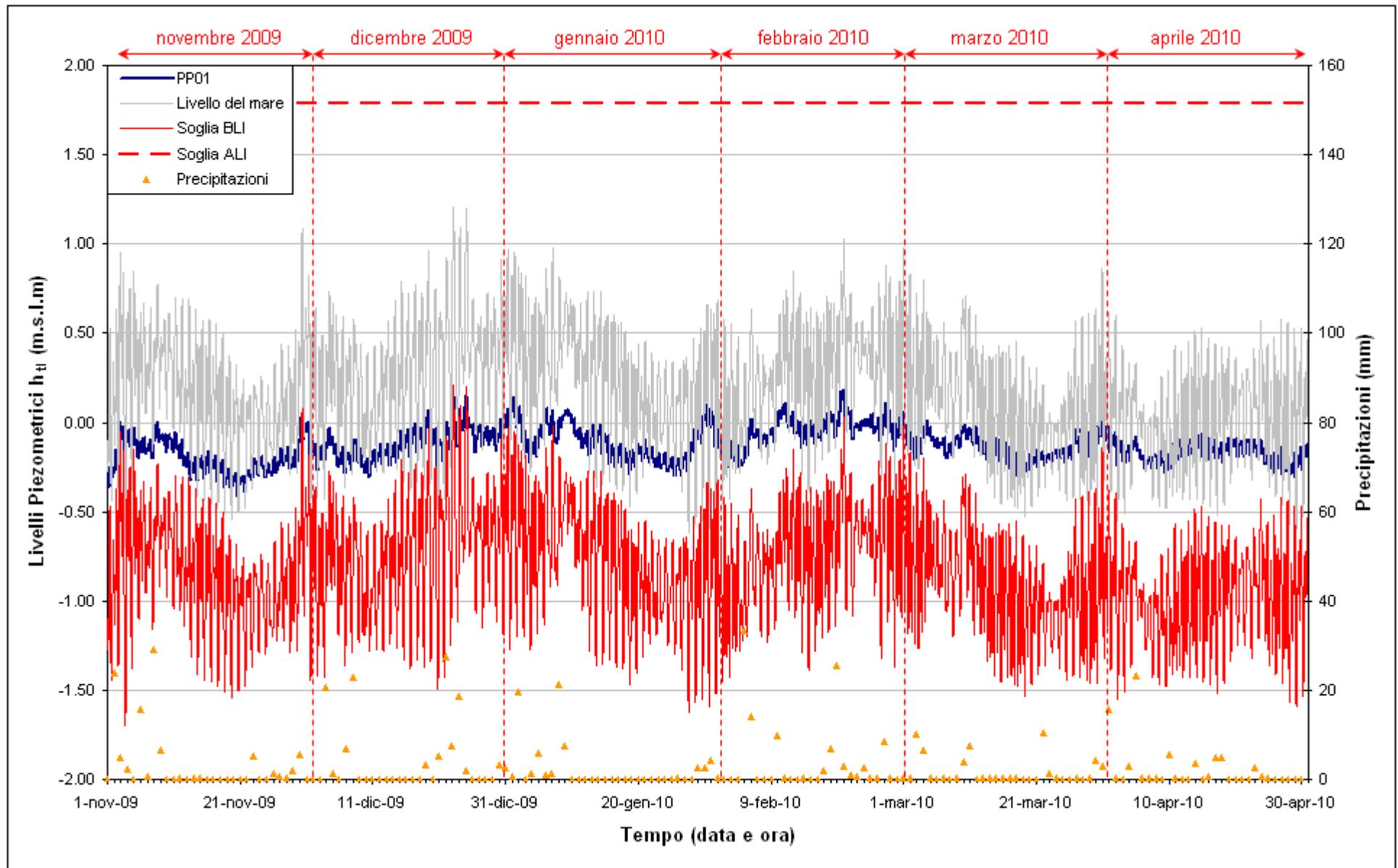
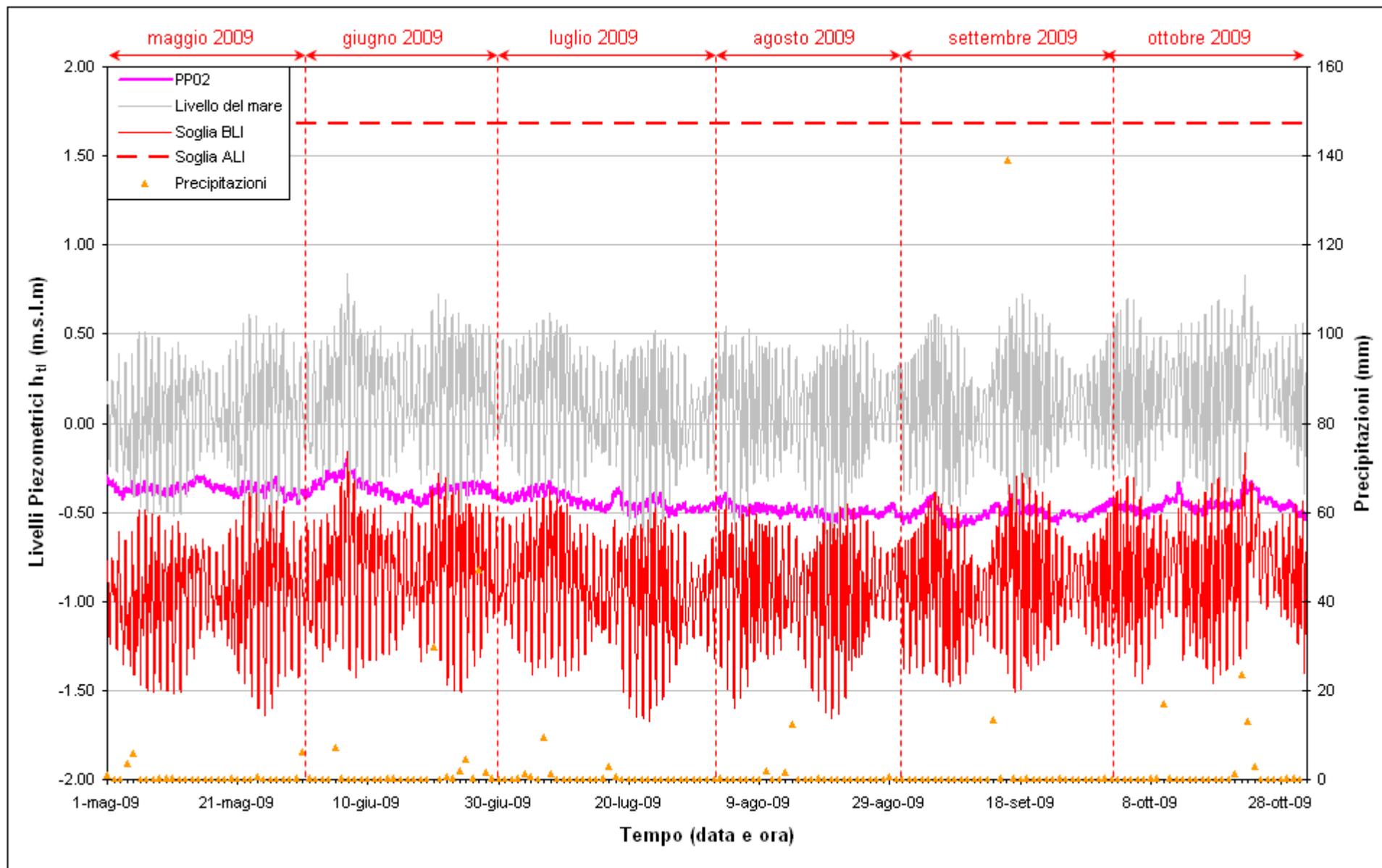


Fig. 2.40 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

Fig. 2.41 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP02 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

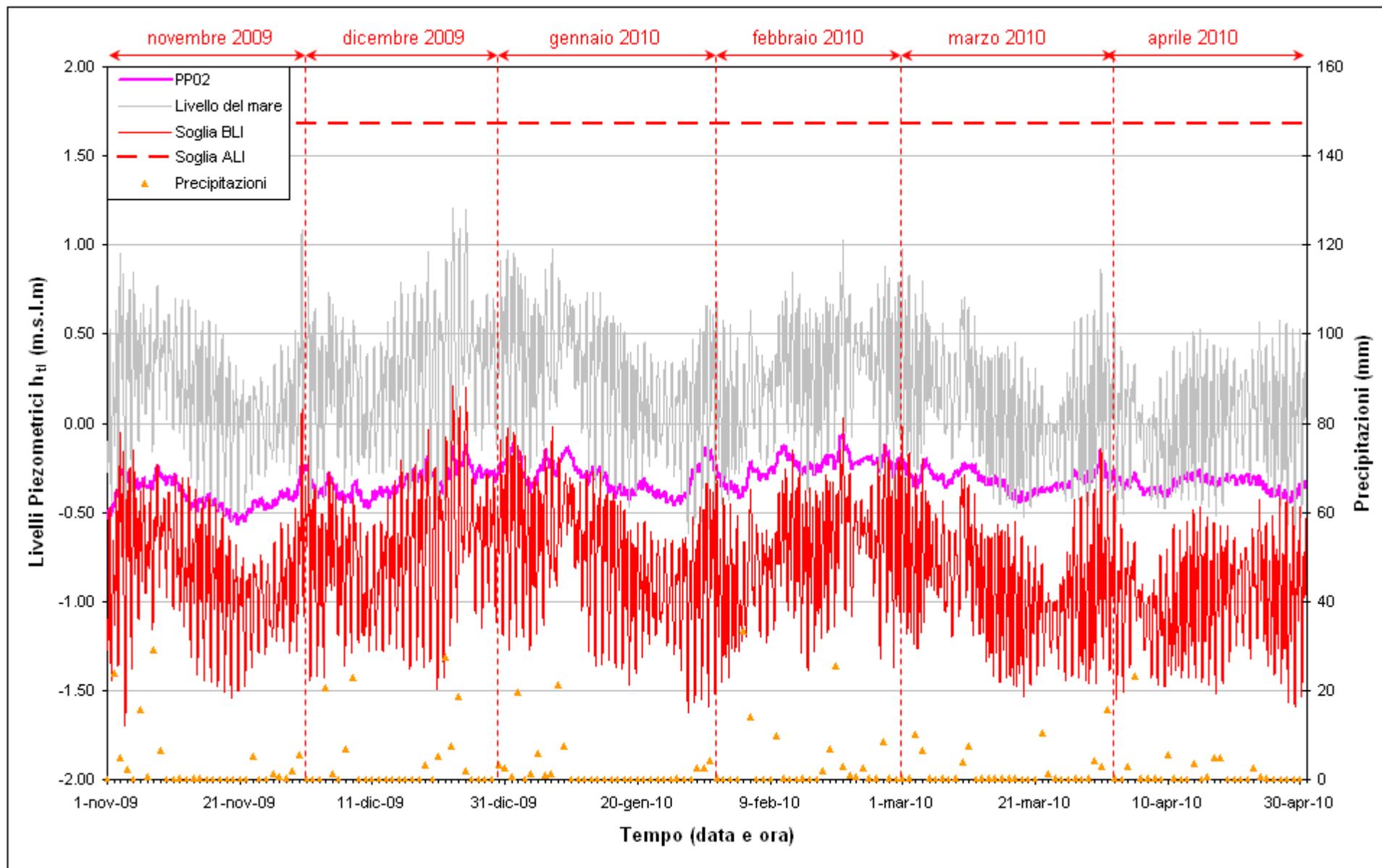


Fig. 2.42 - Livelli piezometrici (h_U) relativi al piezometro profondo PP02 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

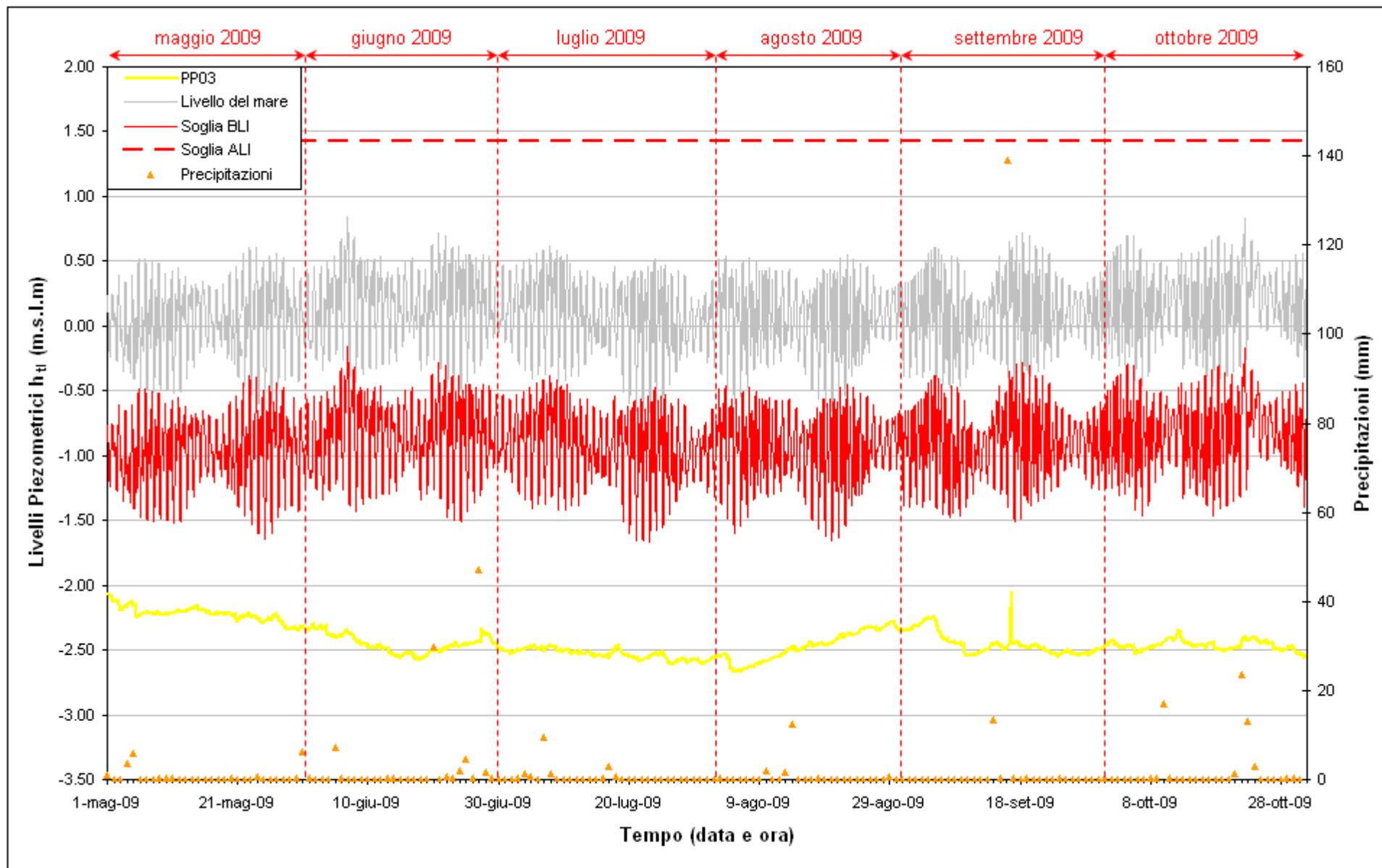


Fig. 2.43 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP03 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2010.

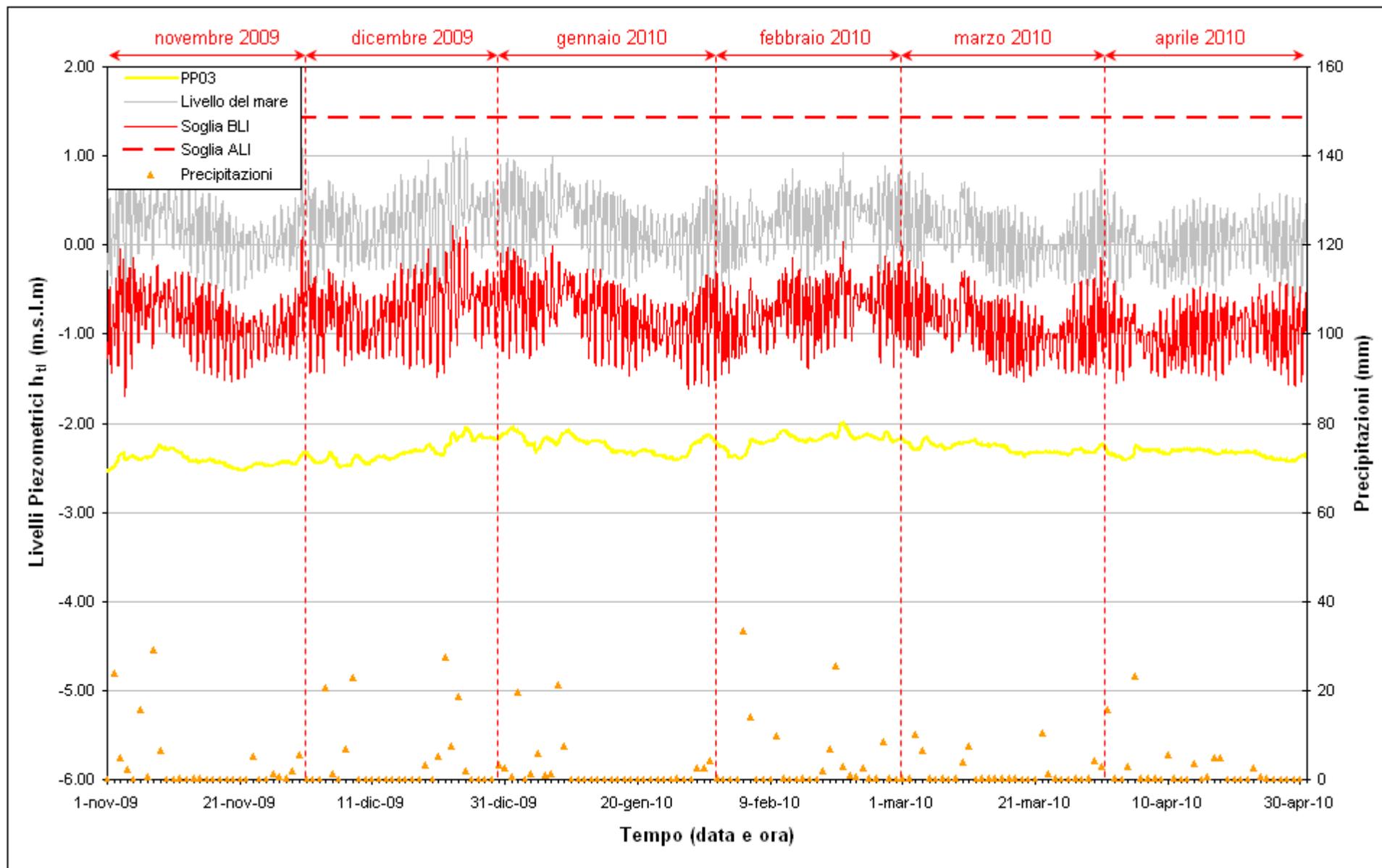


Fig. 2.44 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo PP03 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

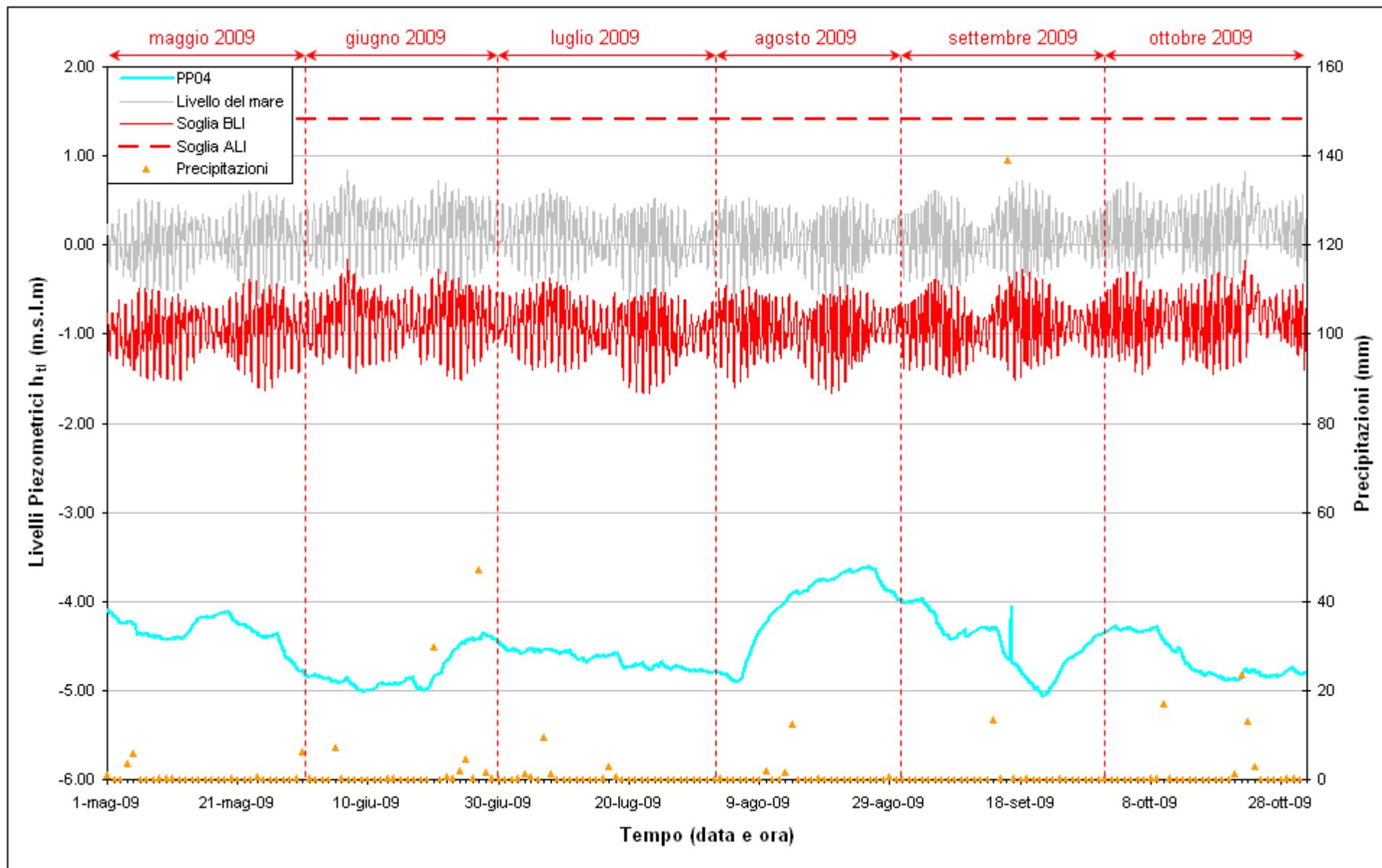


Fig. 2.45 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP04 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

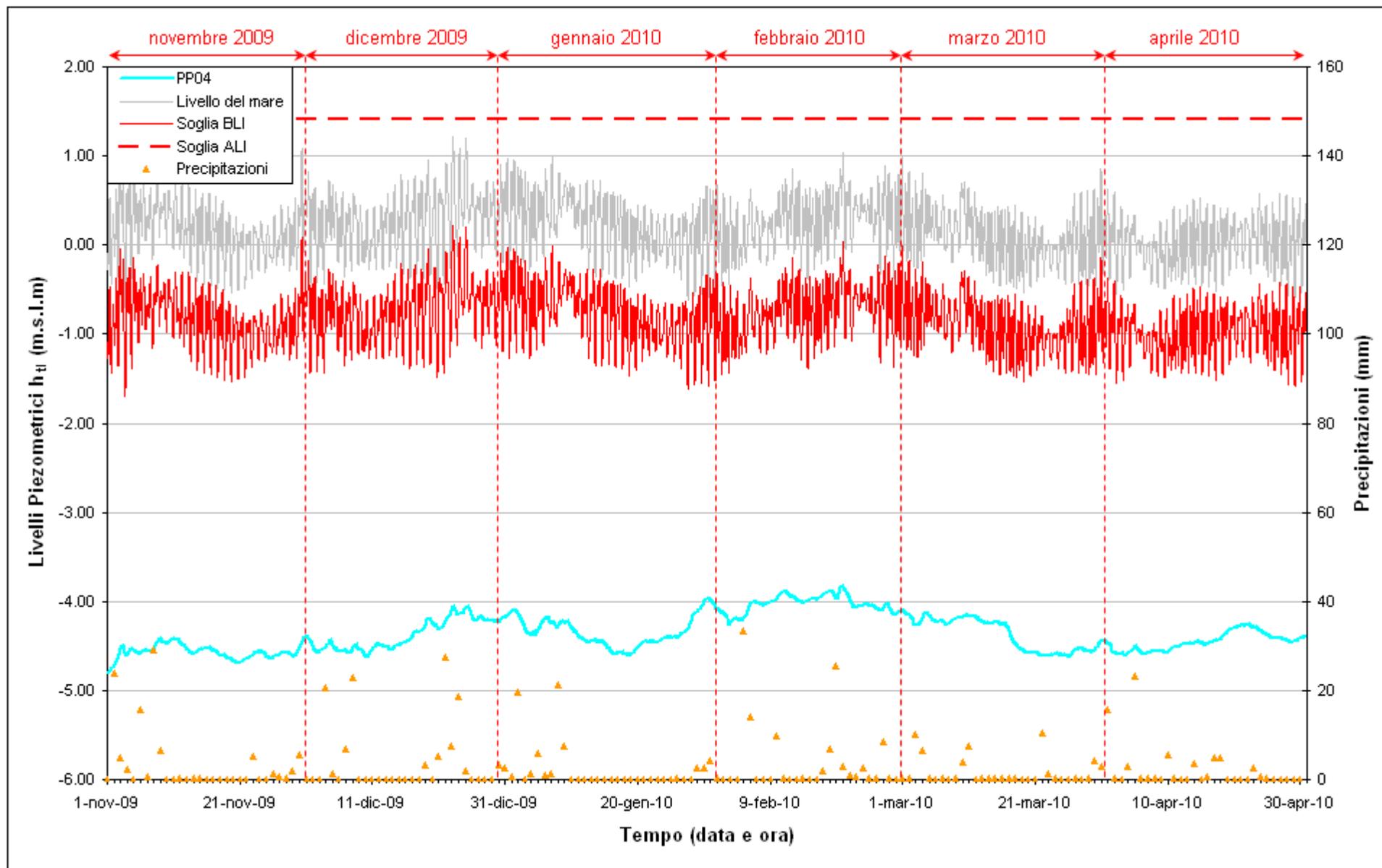


Fig. 2.46 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP04 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

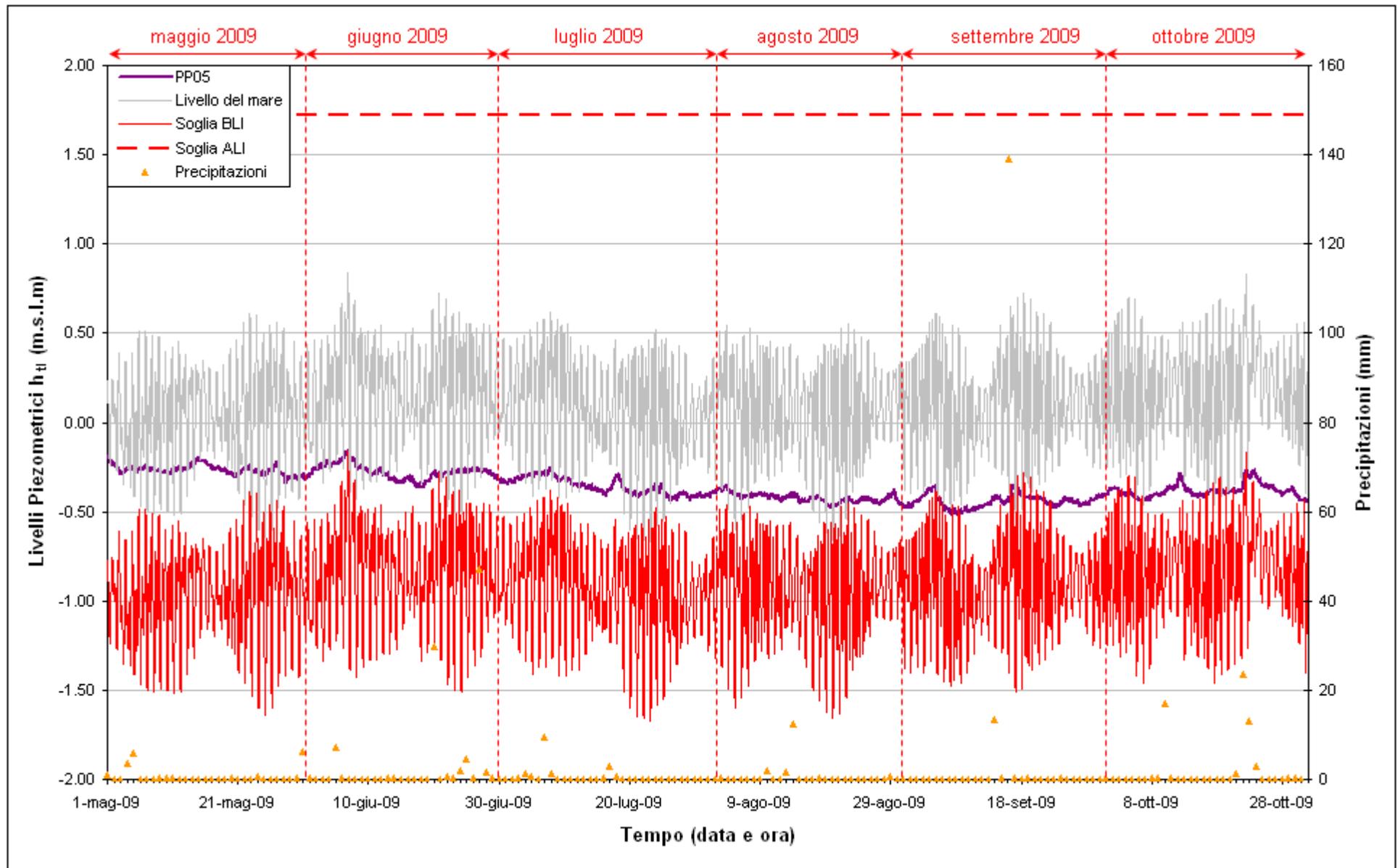


Fig. 2.47 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP05 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

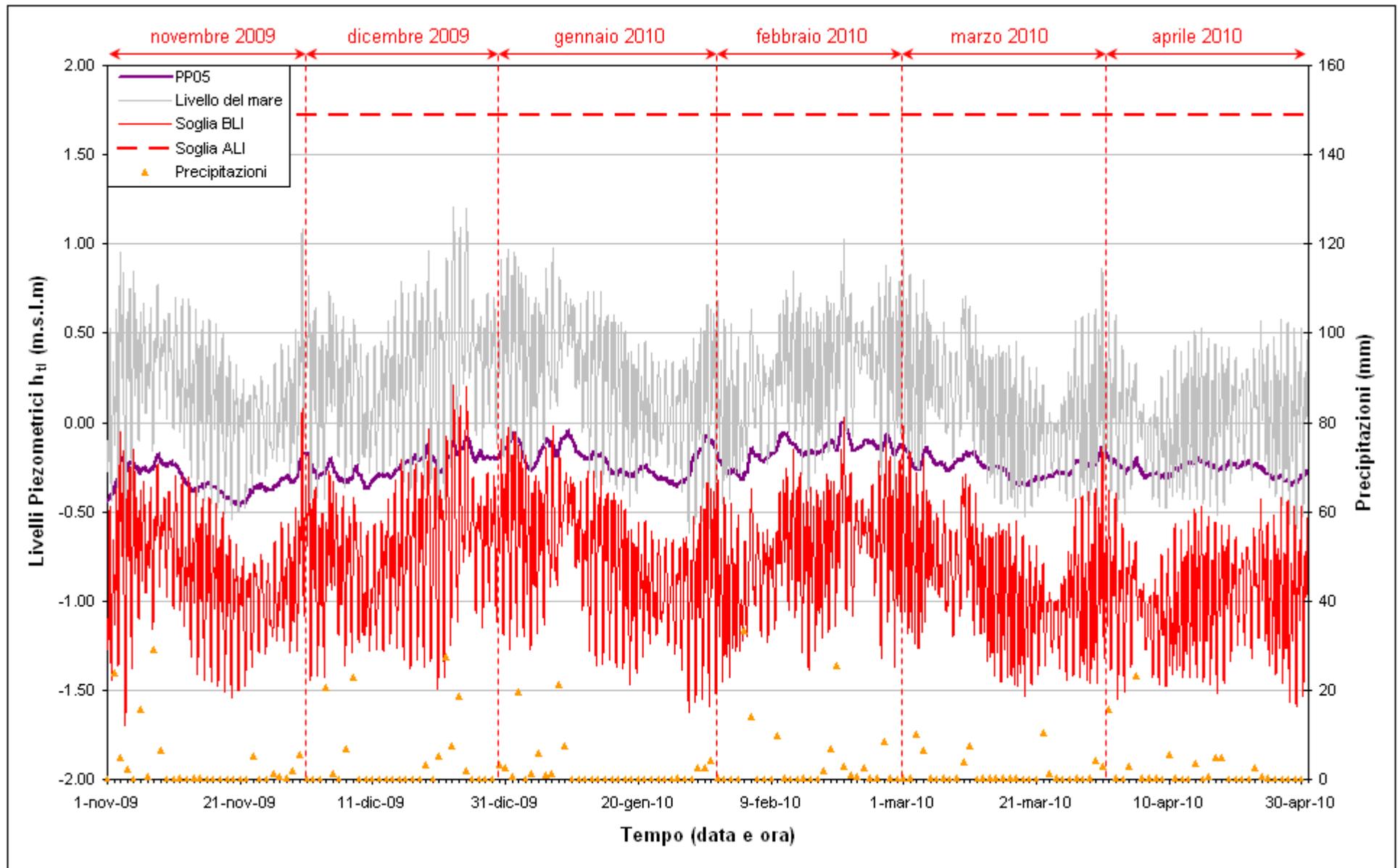


Fig. 2.48 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP05 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

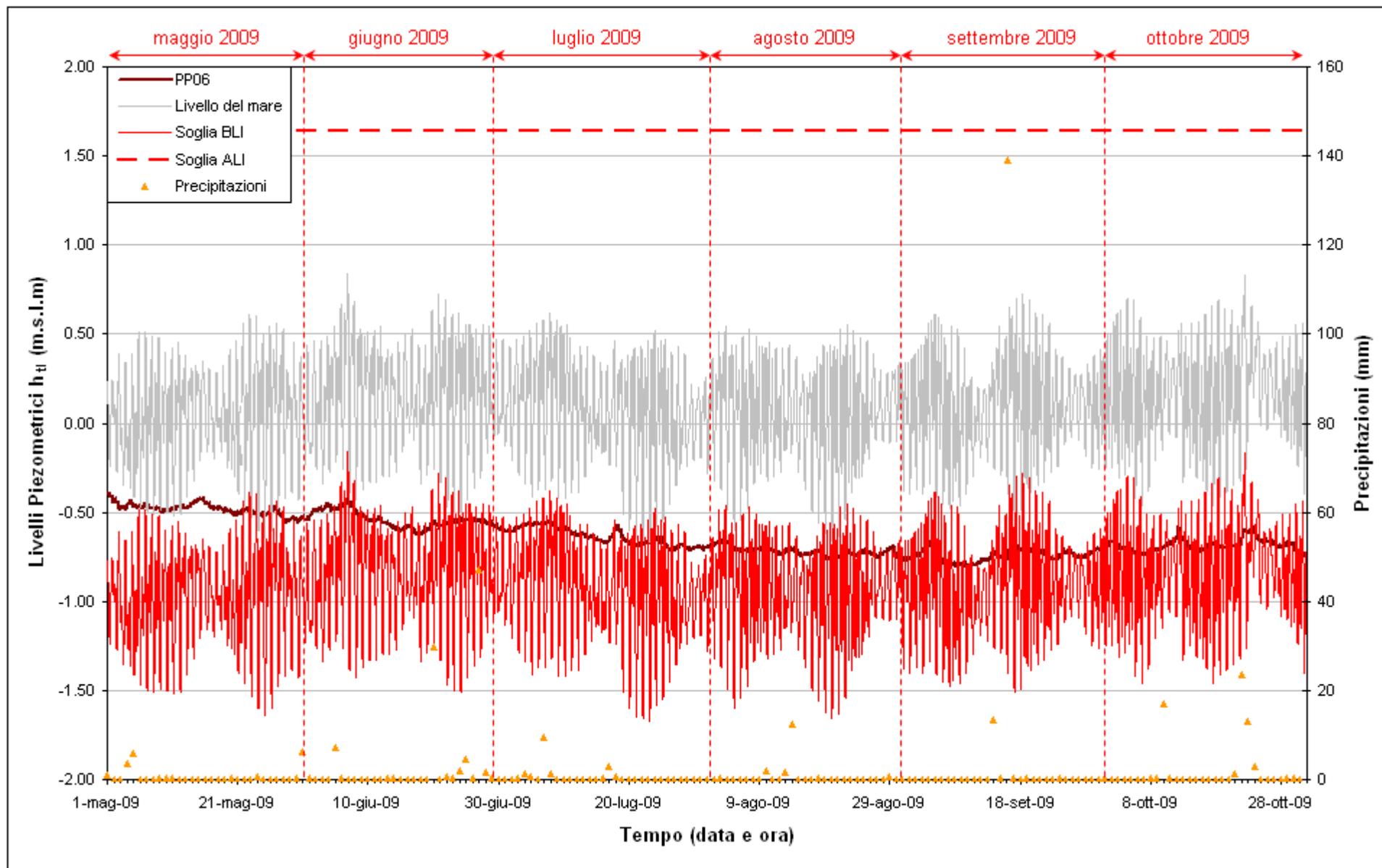
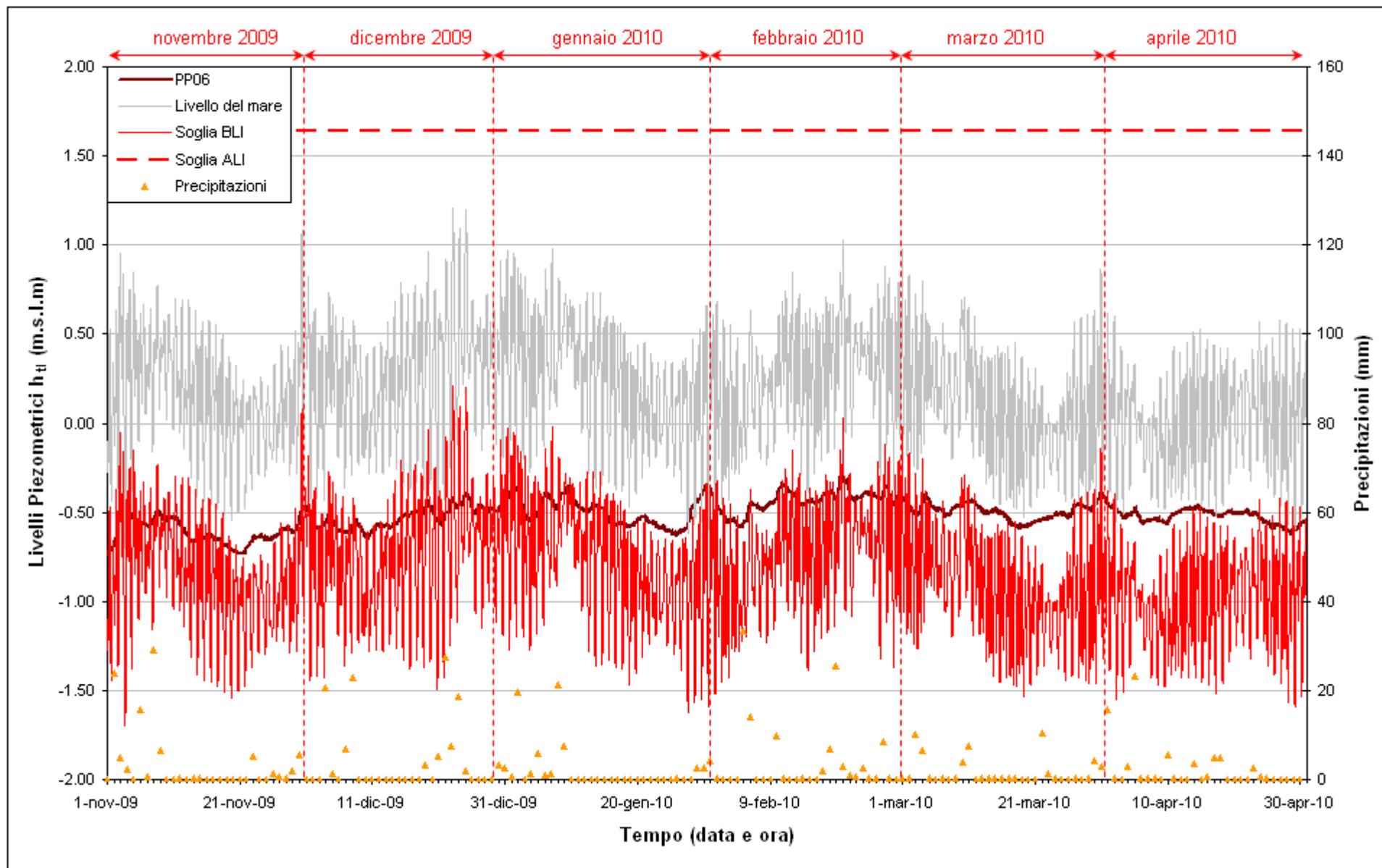


Fig. 2.49 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP06 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

Fig. 2.50 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP06 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

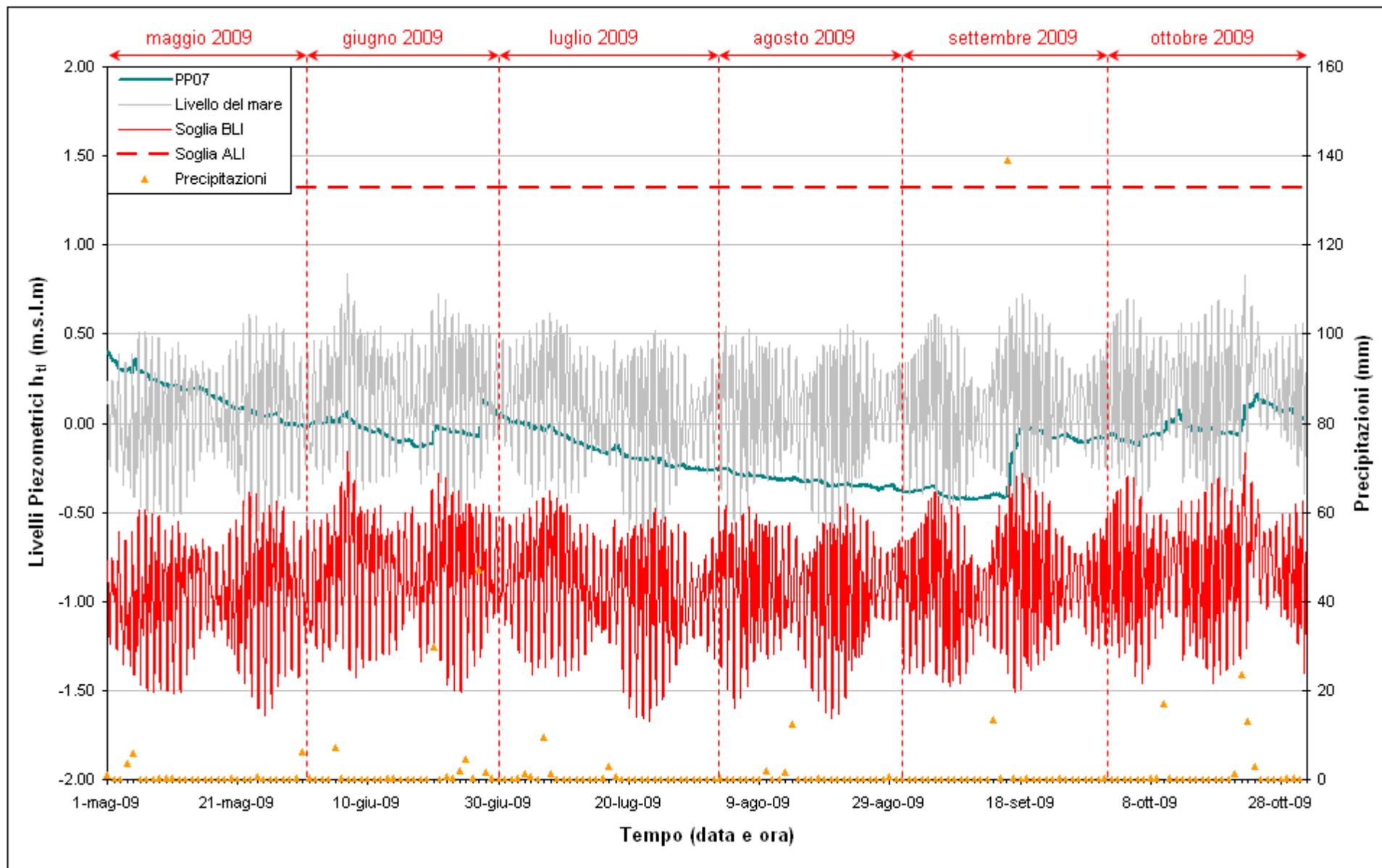


Fig. 2.51 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP07 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

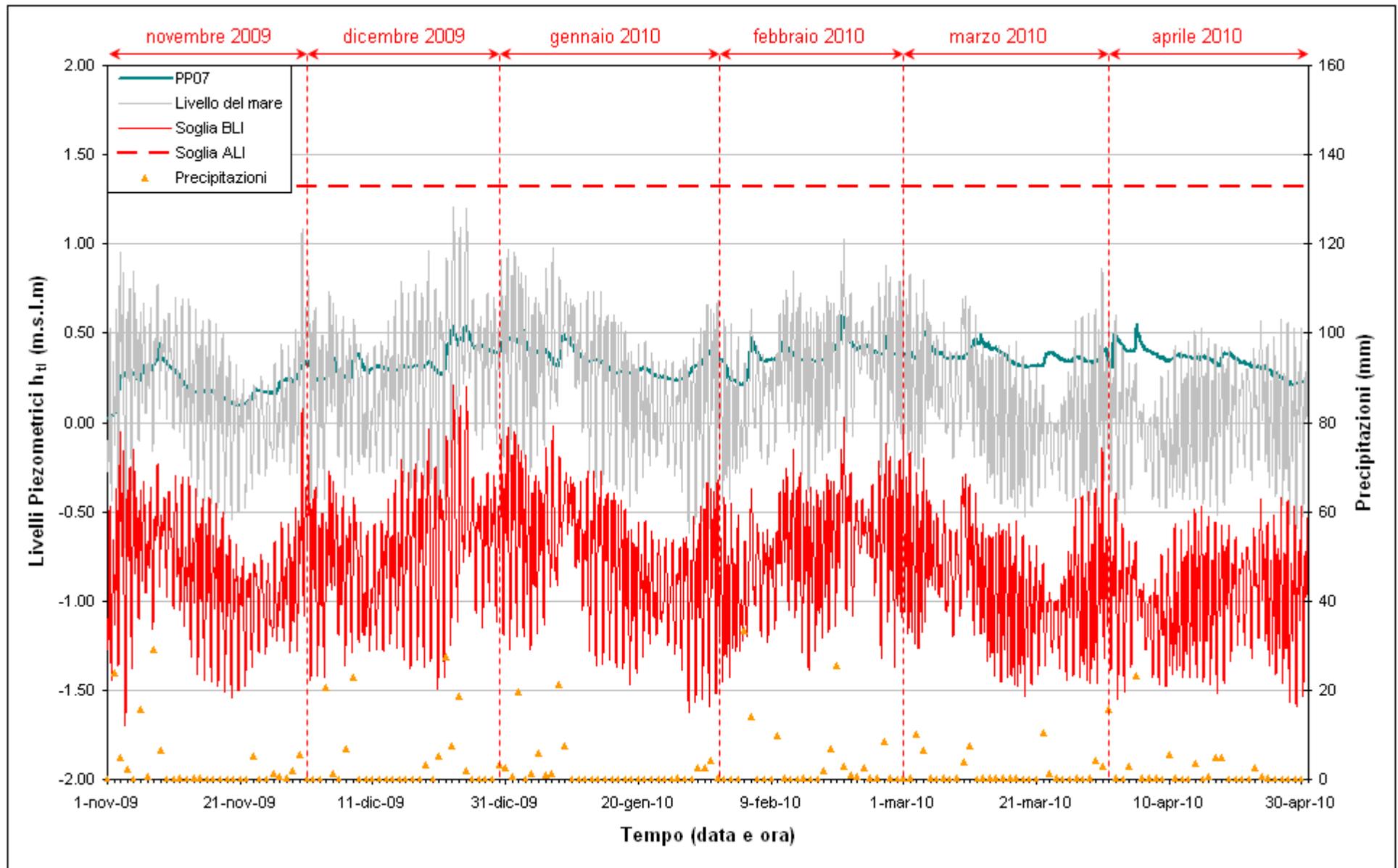


Fig. 2.52 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP07 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

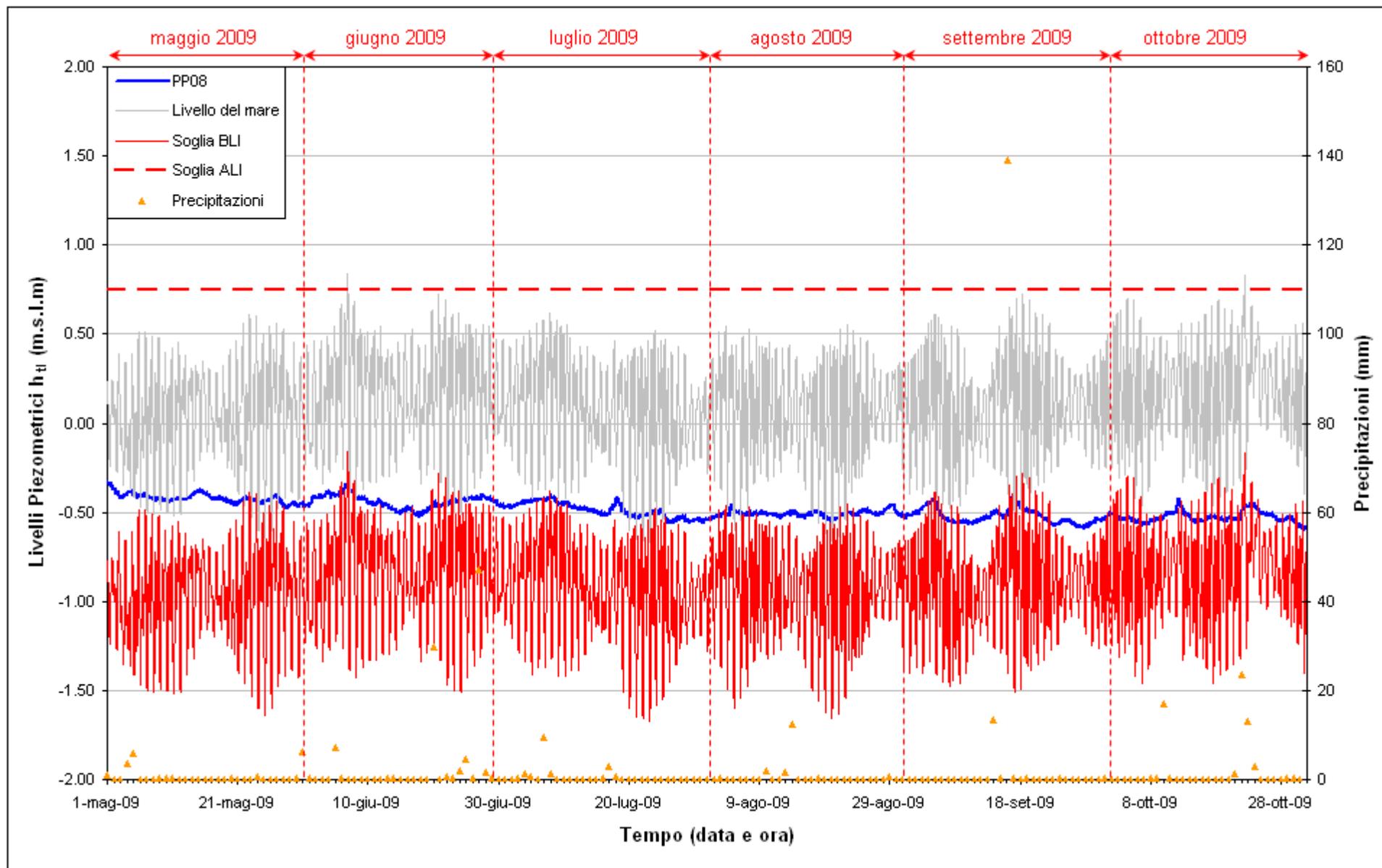


Fig. 2.53 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP08 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

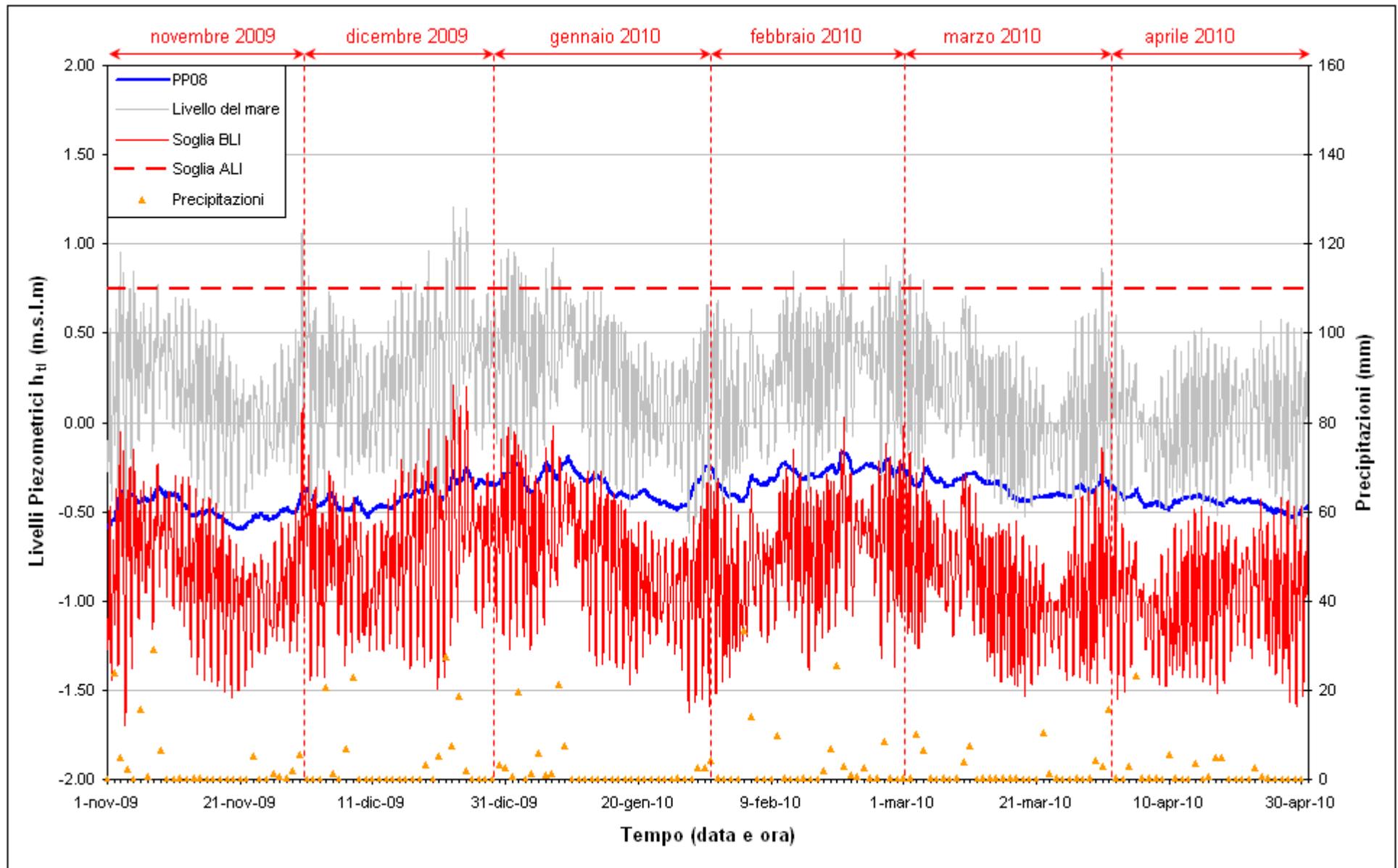


Fig. 2.54 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP08 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

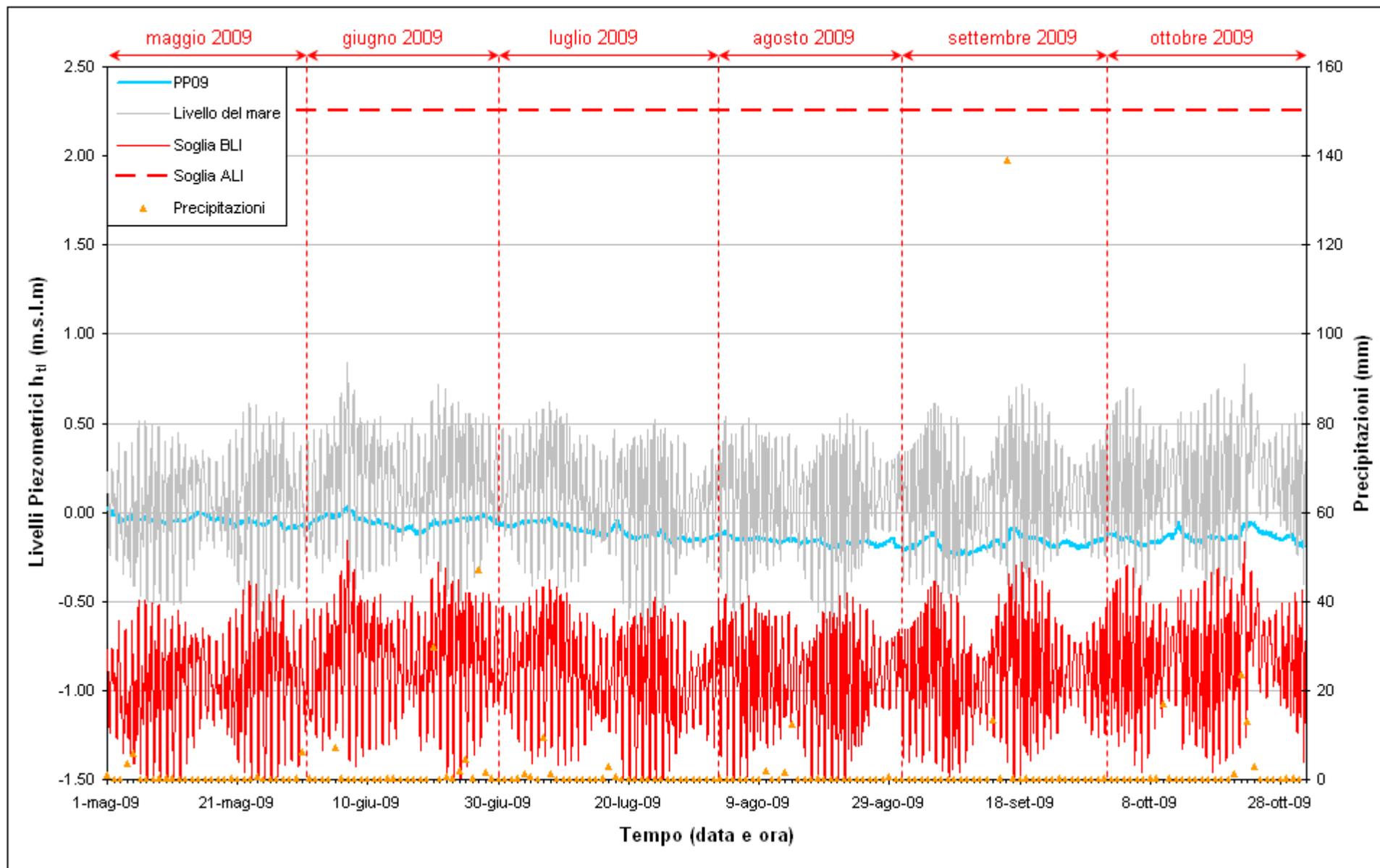


Fig. 2.55 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP09 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

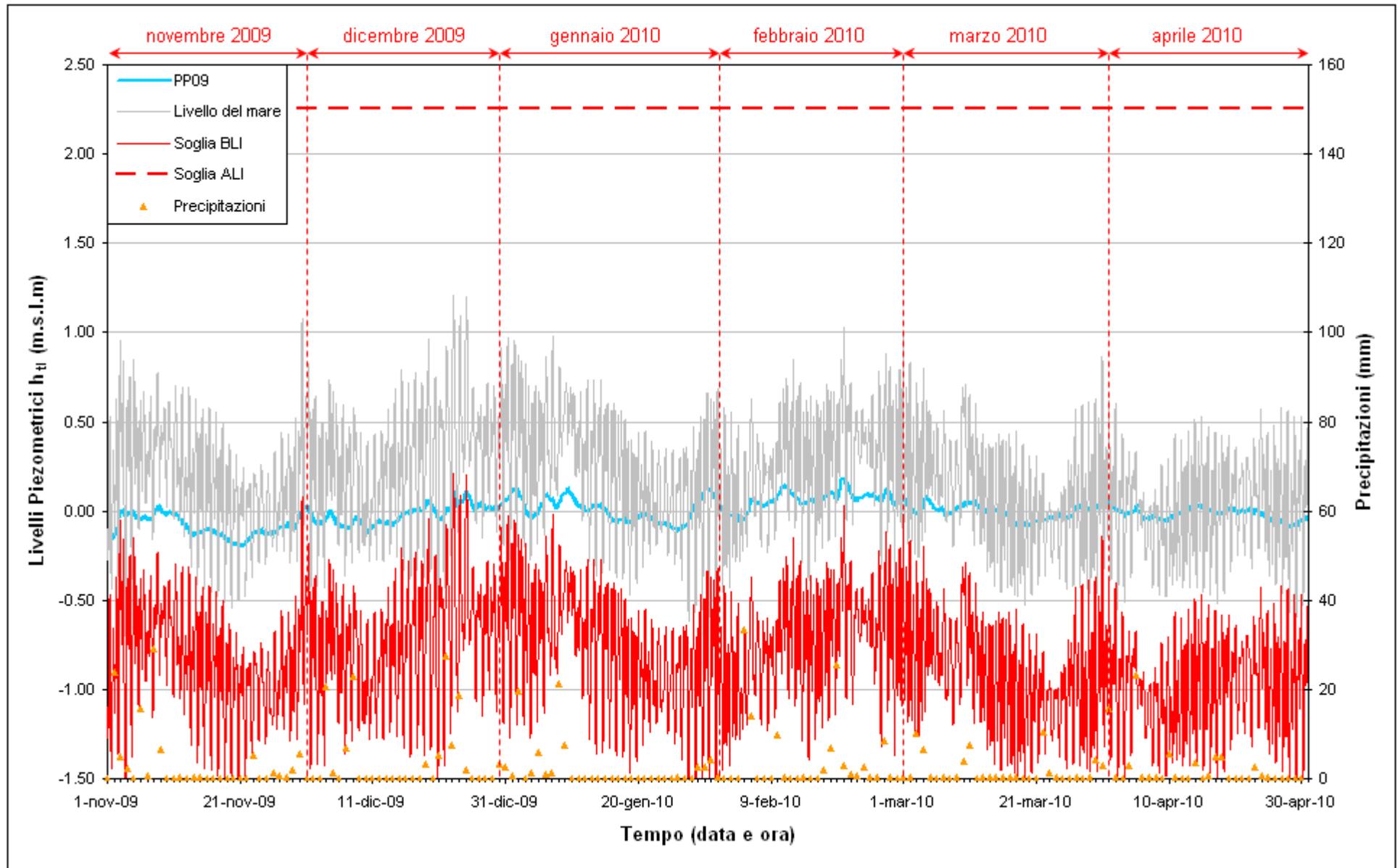


Fig. 2.56 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo PP09 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

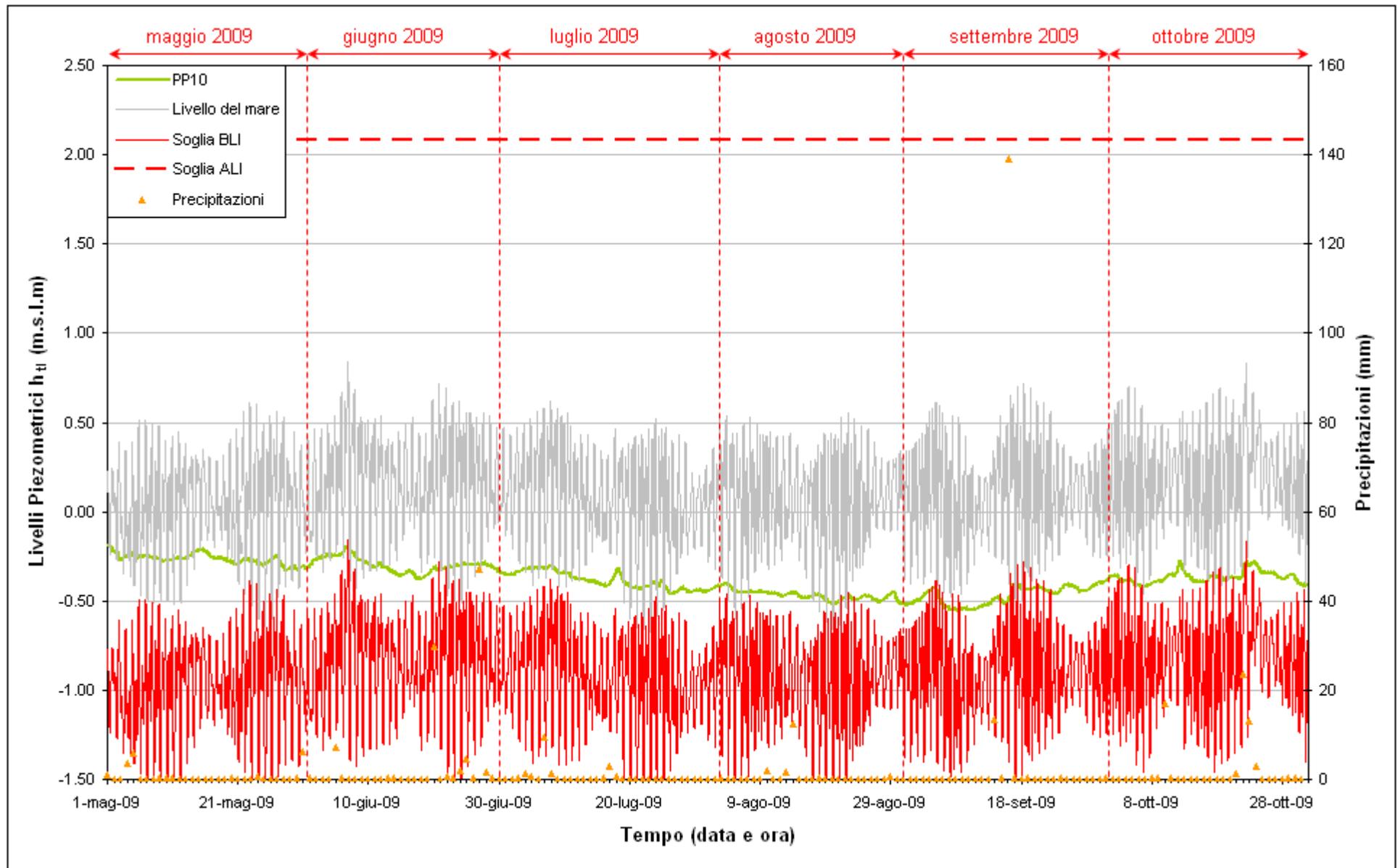
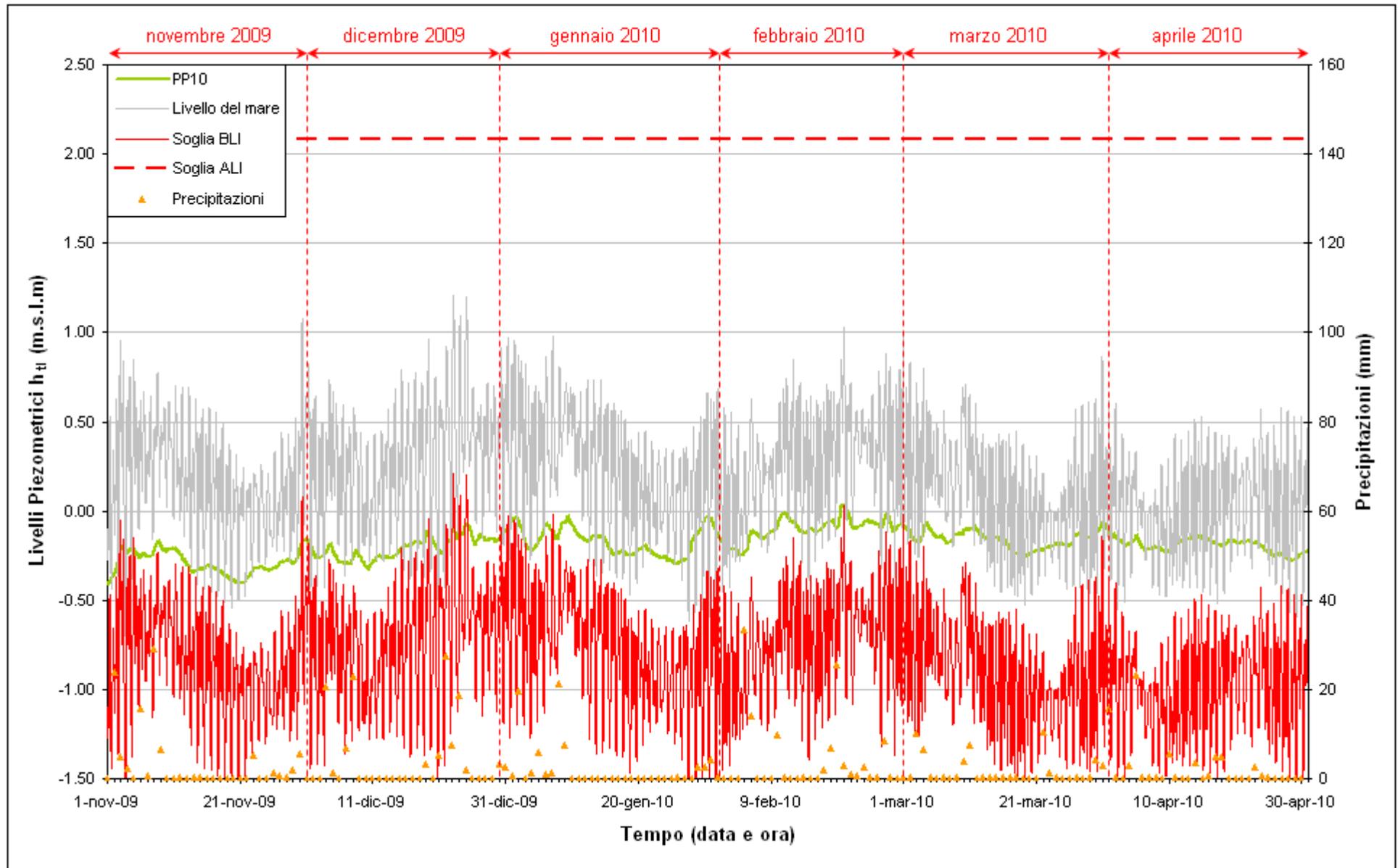


Fig. 2.57 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP10 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

Fig. 2.58 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP10 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

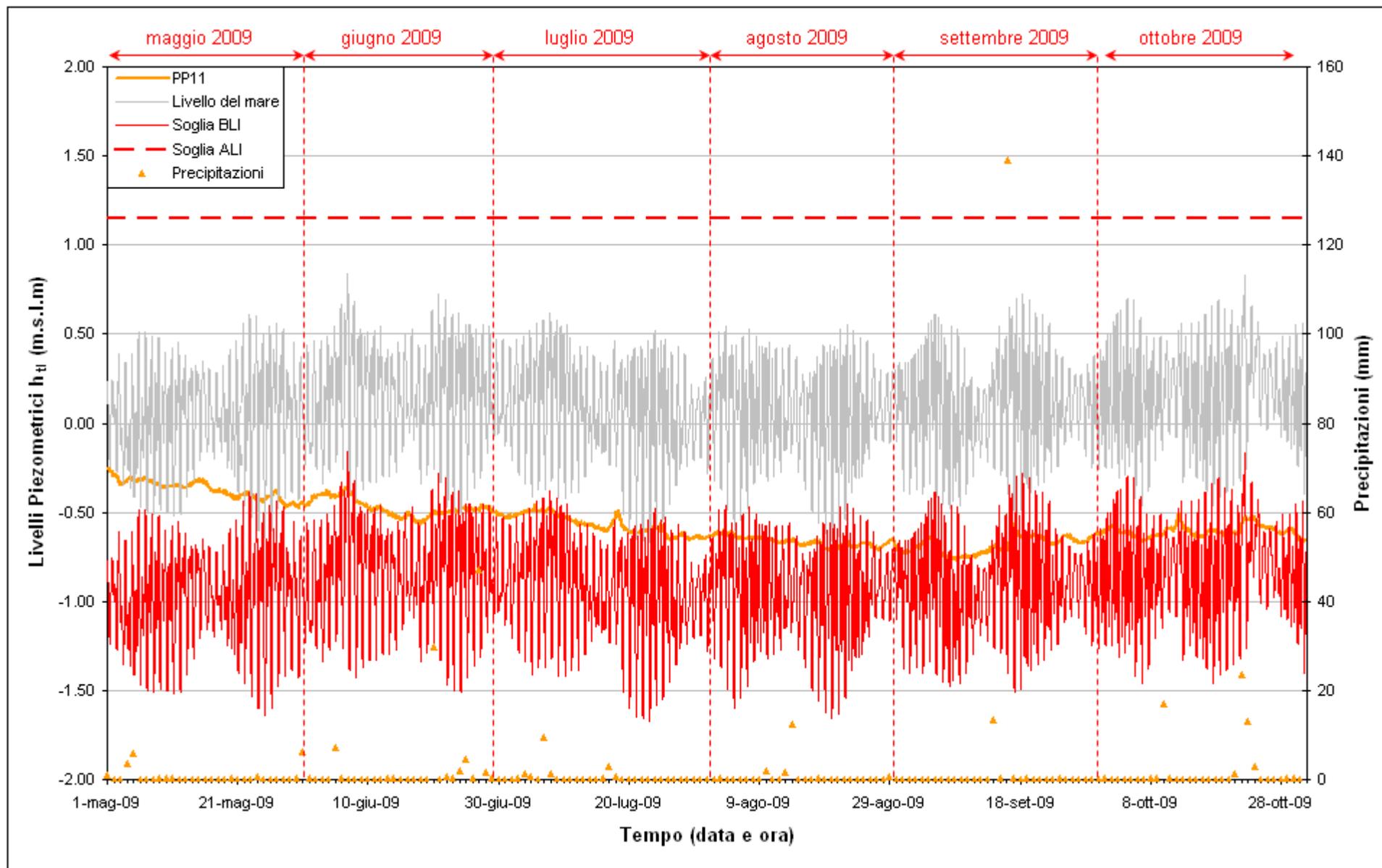


Fig. 2.59 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP11 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

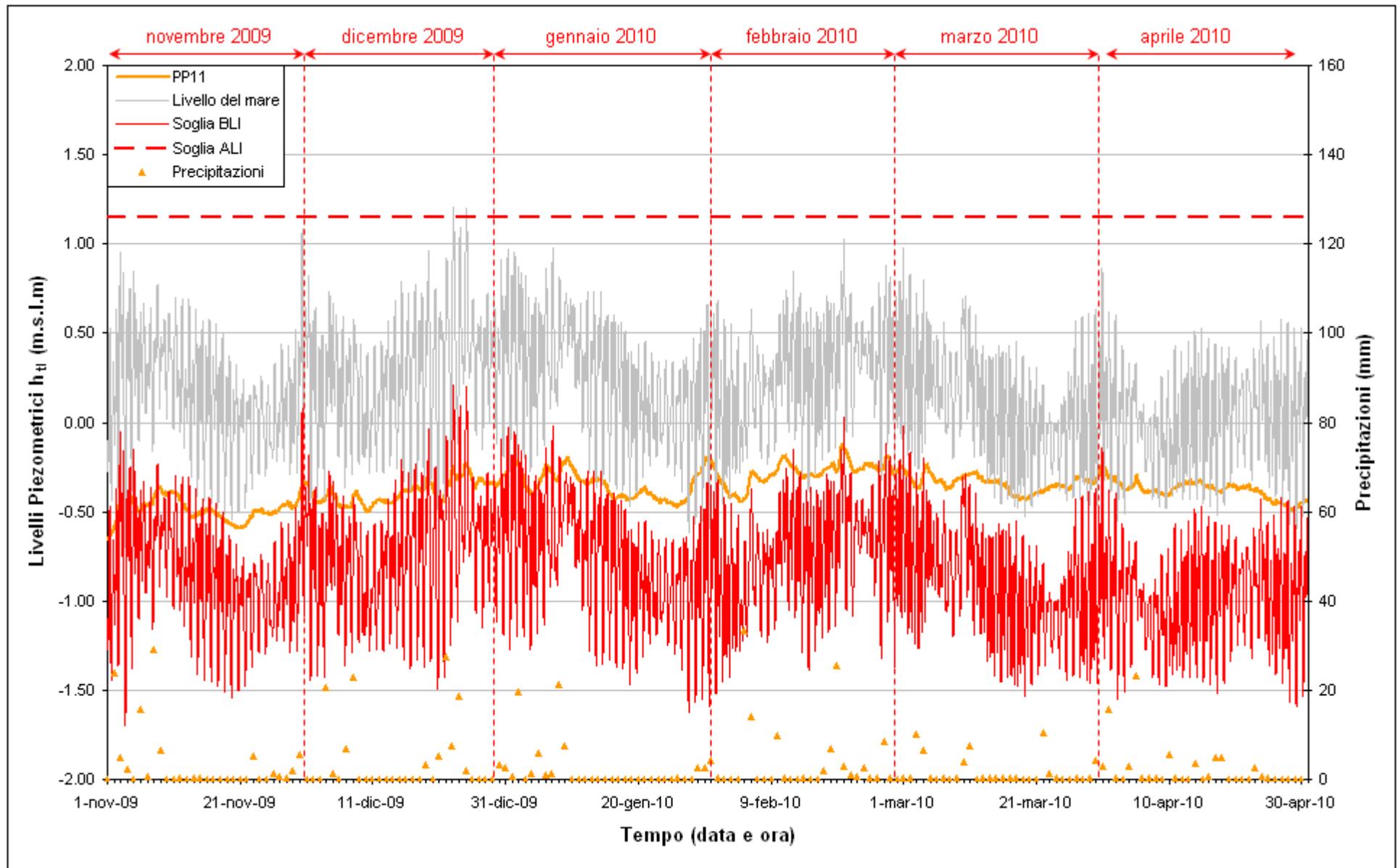


Fig. 2.60 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP11 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

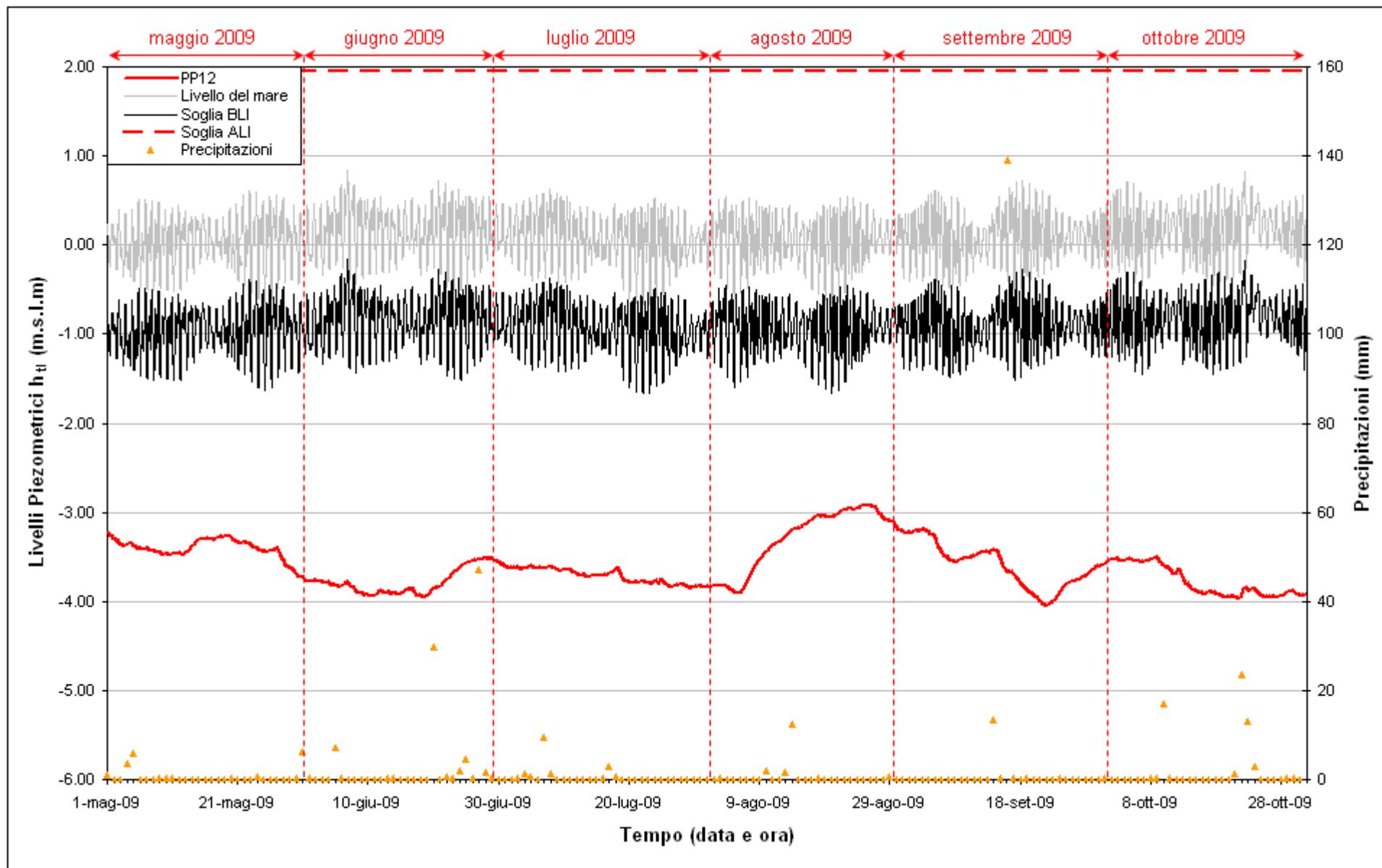


Fig. 2.61 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo PP12 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

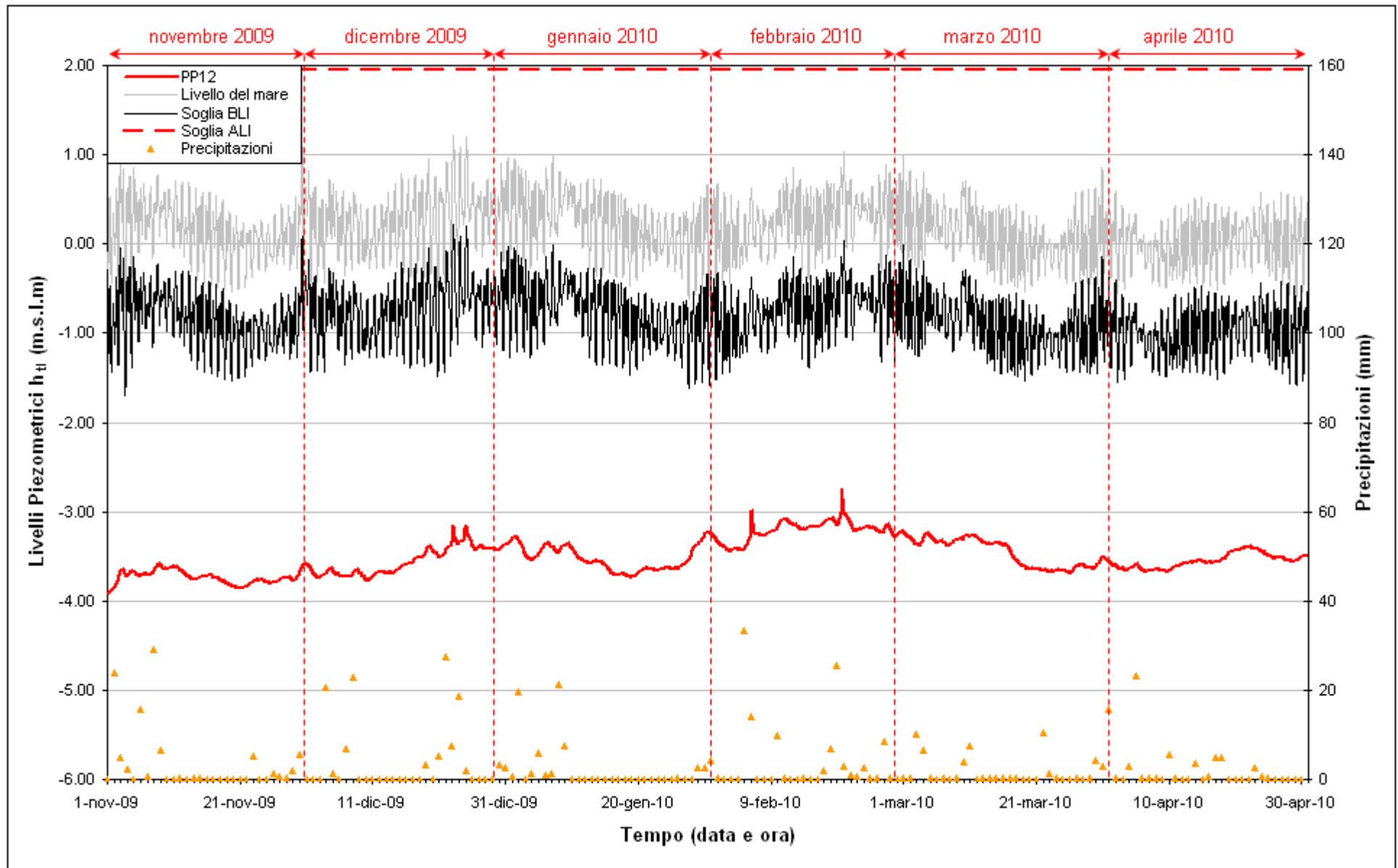


Fig. 2.62 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP12 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

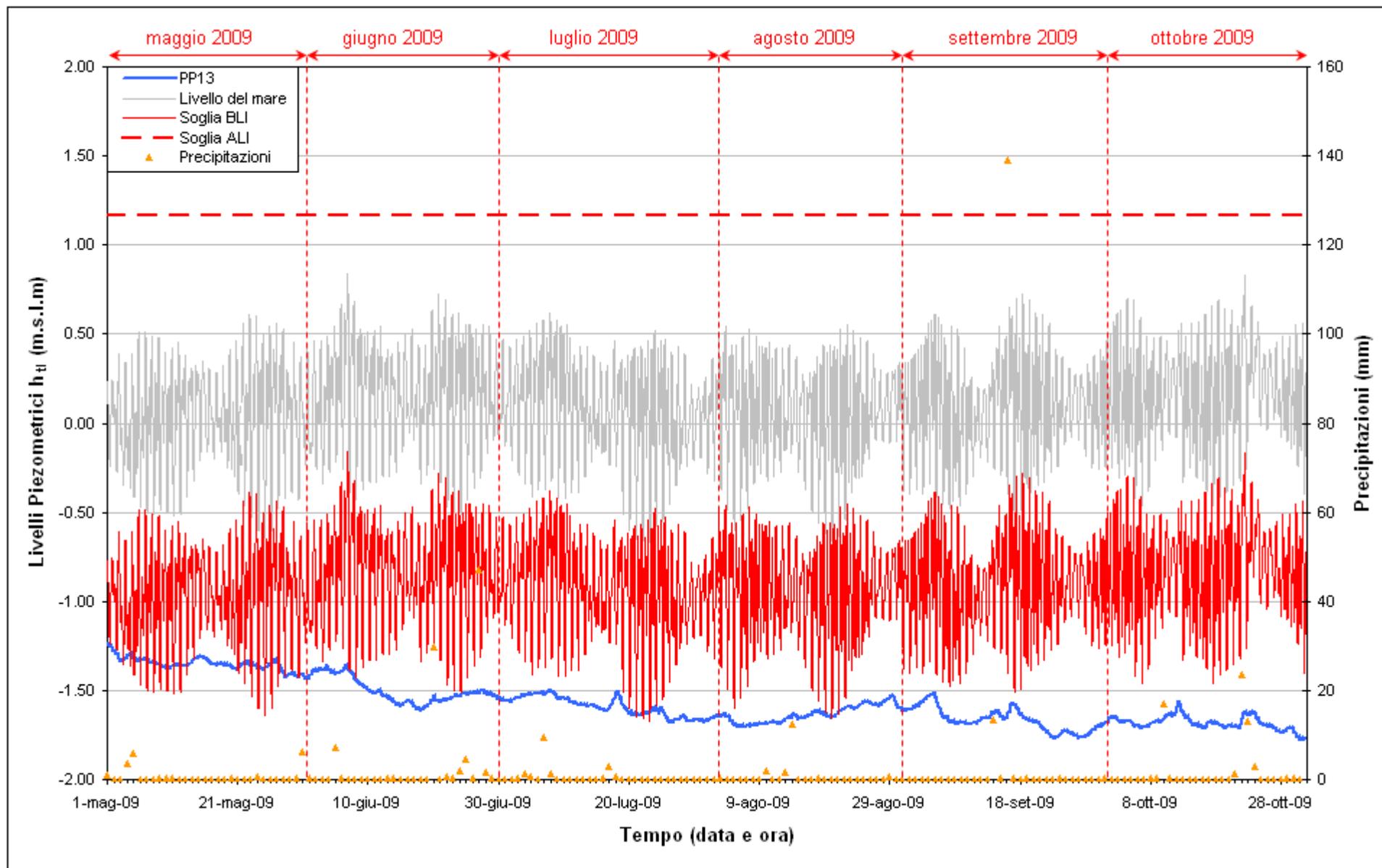


Fig. 2.63 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP13 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

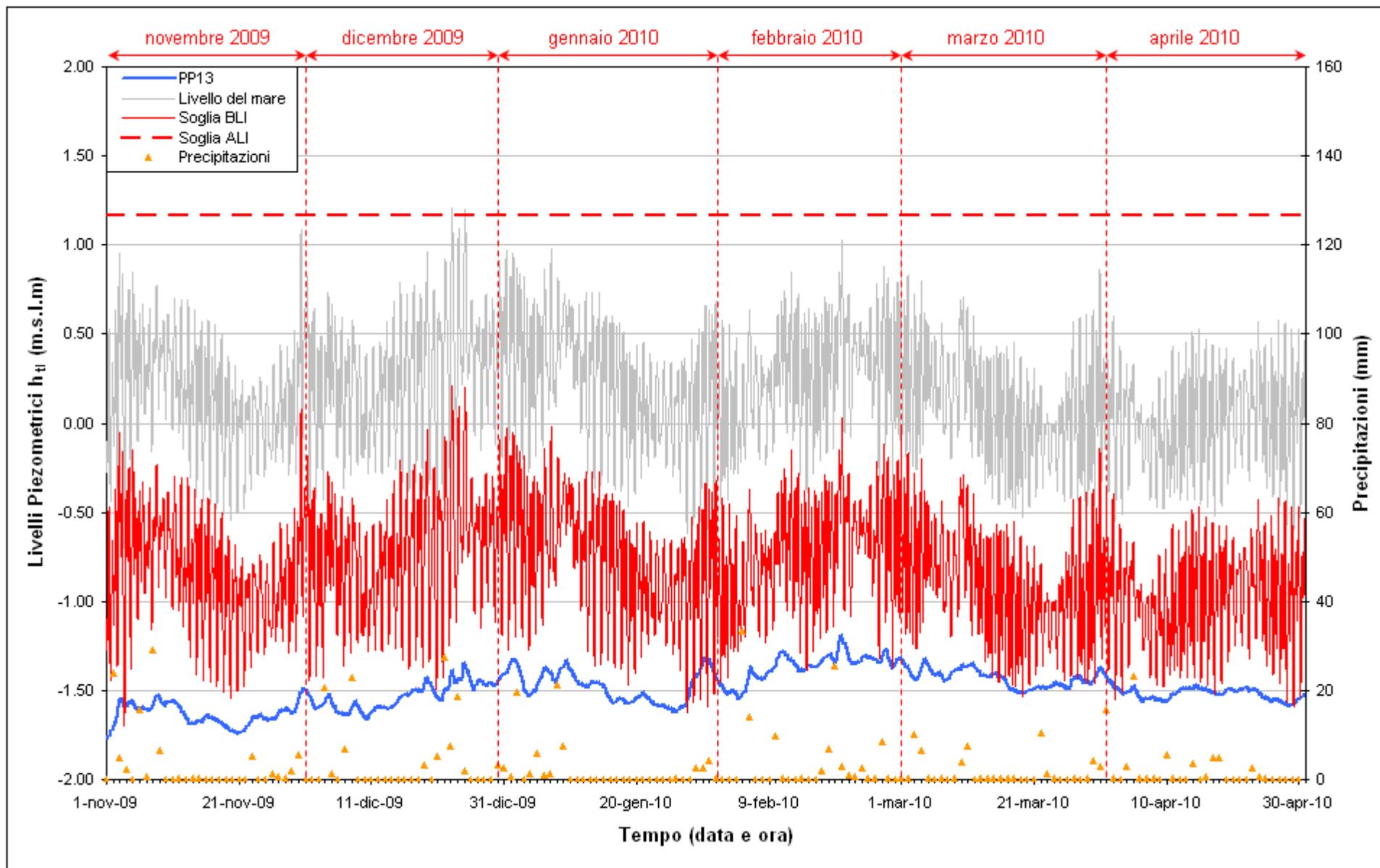


Fig. 2.64 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo PP13 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

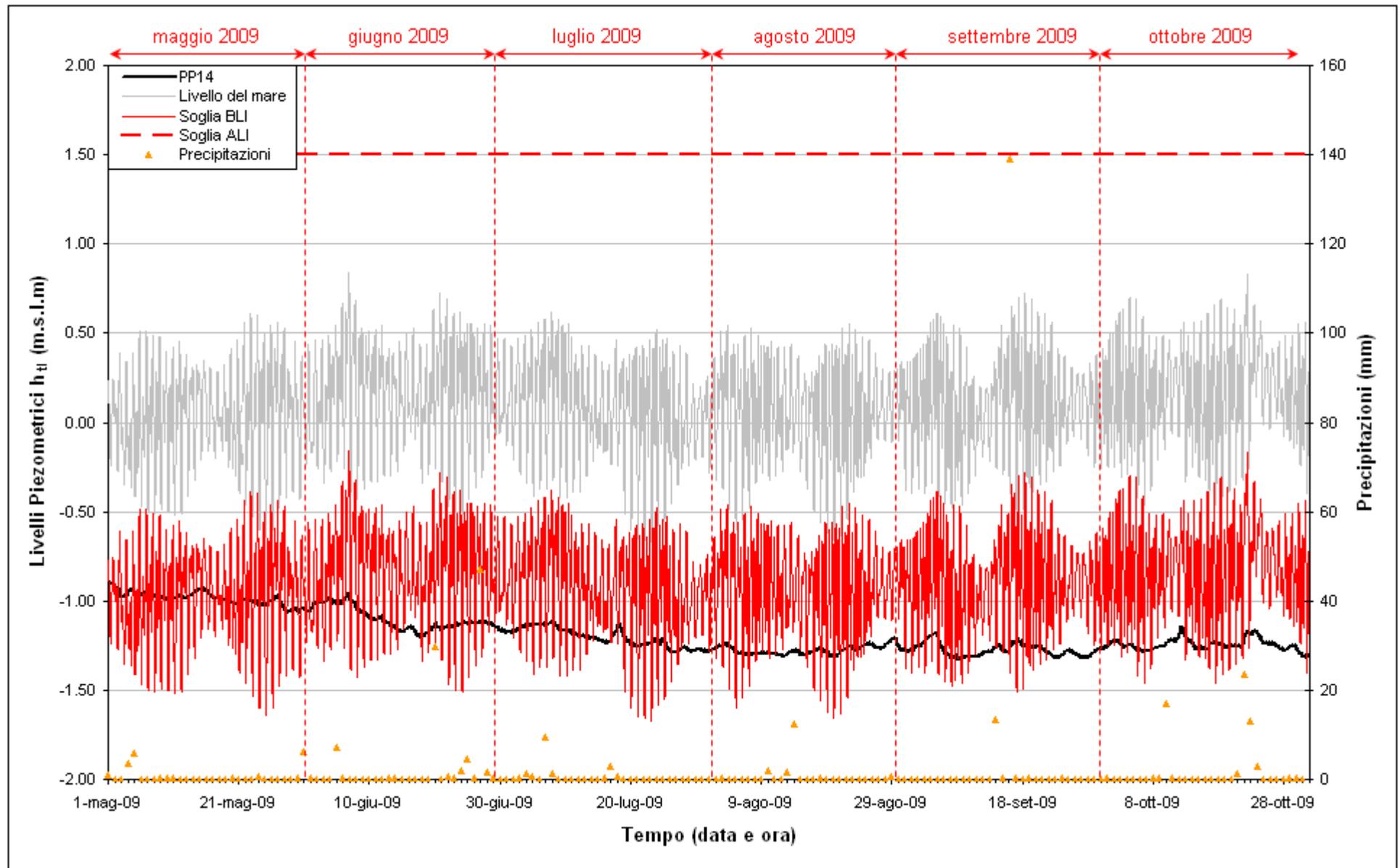
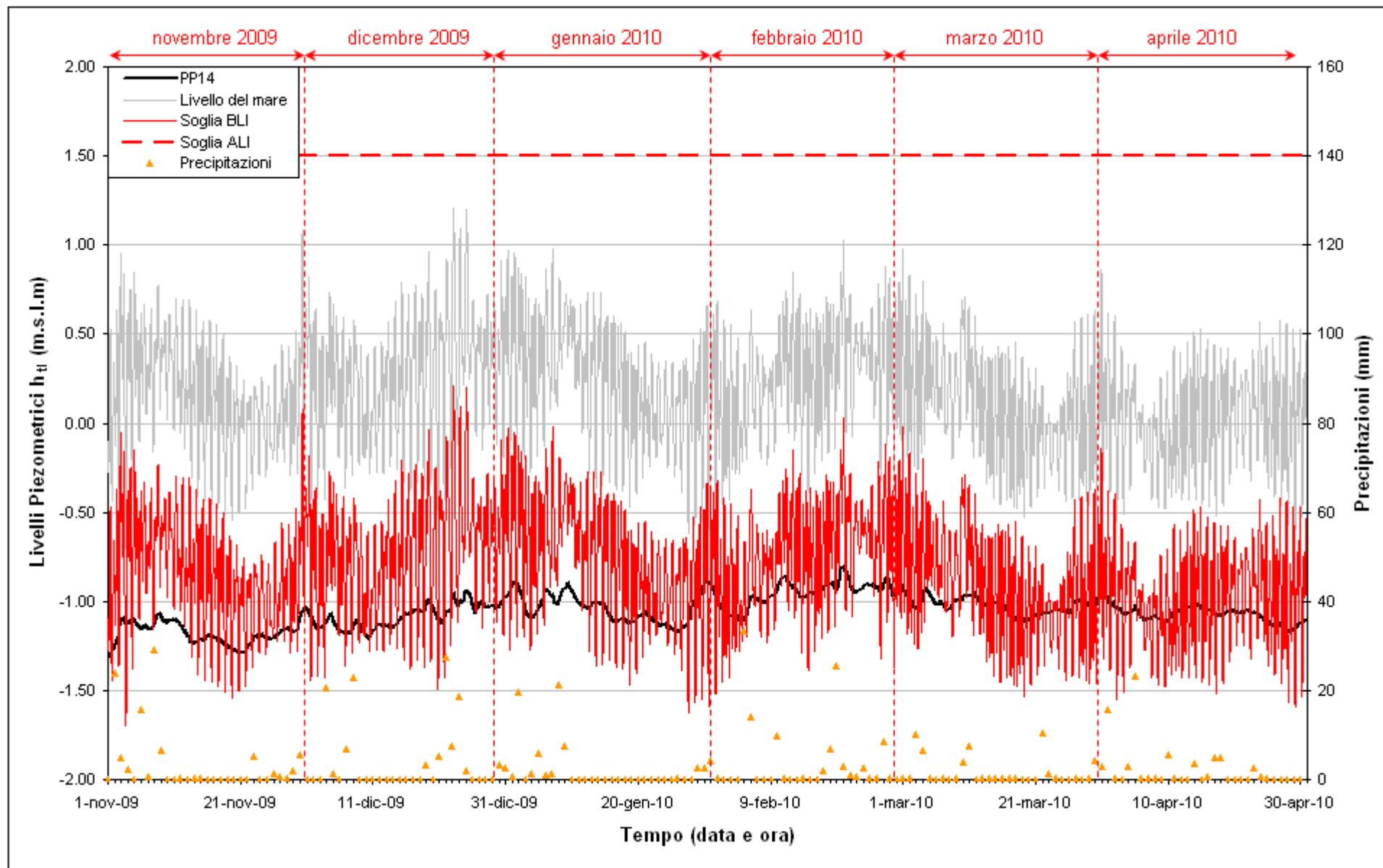


Fig. 2.65 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo PP14 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

Fig. 2.66 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo PP14 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

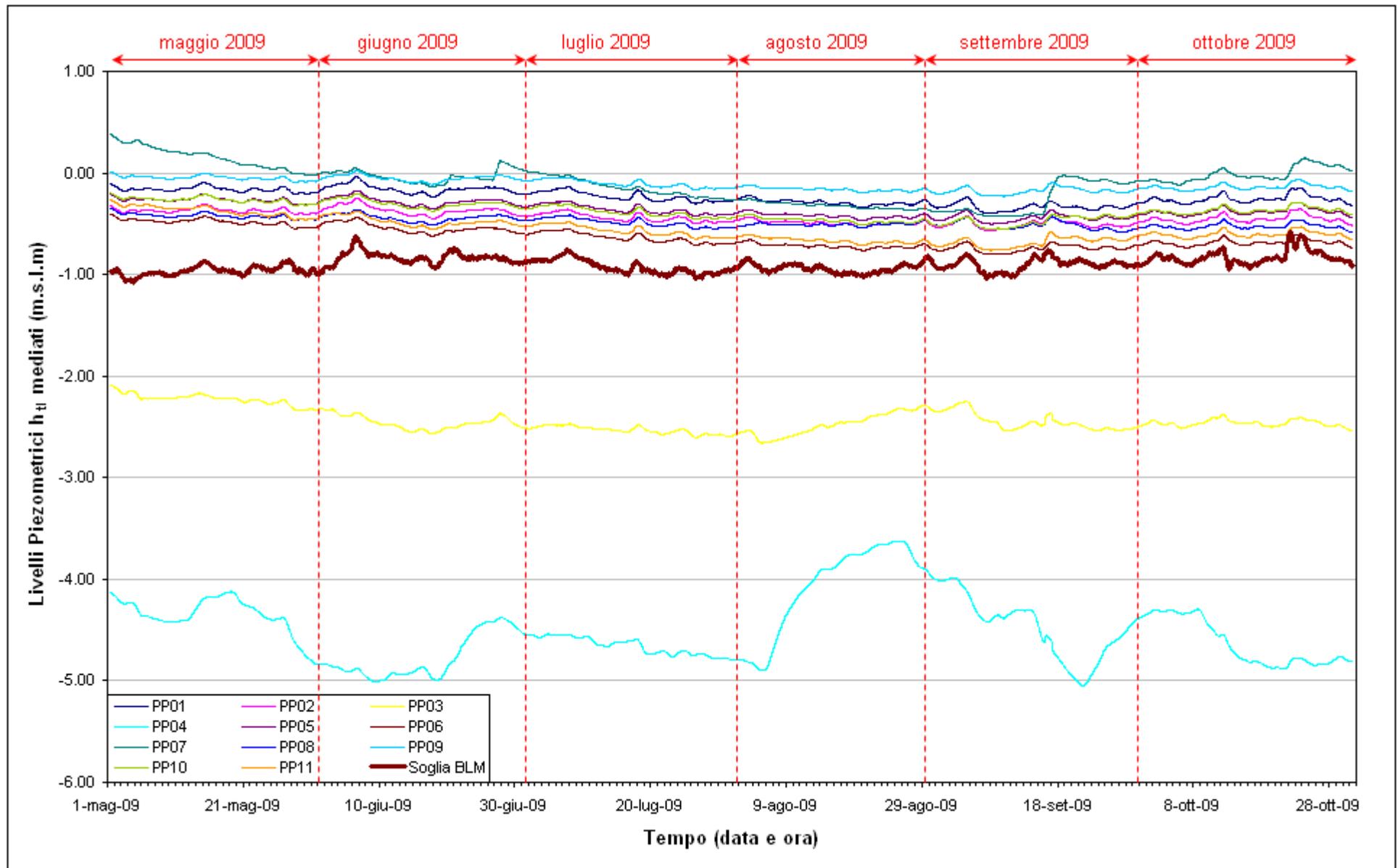


Fig. 2.67 – Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 – 31/10/2009.

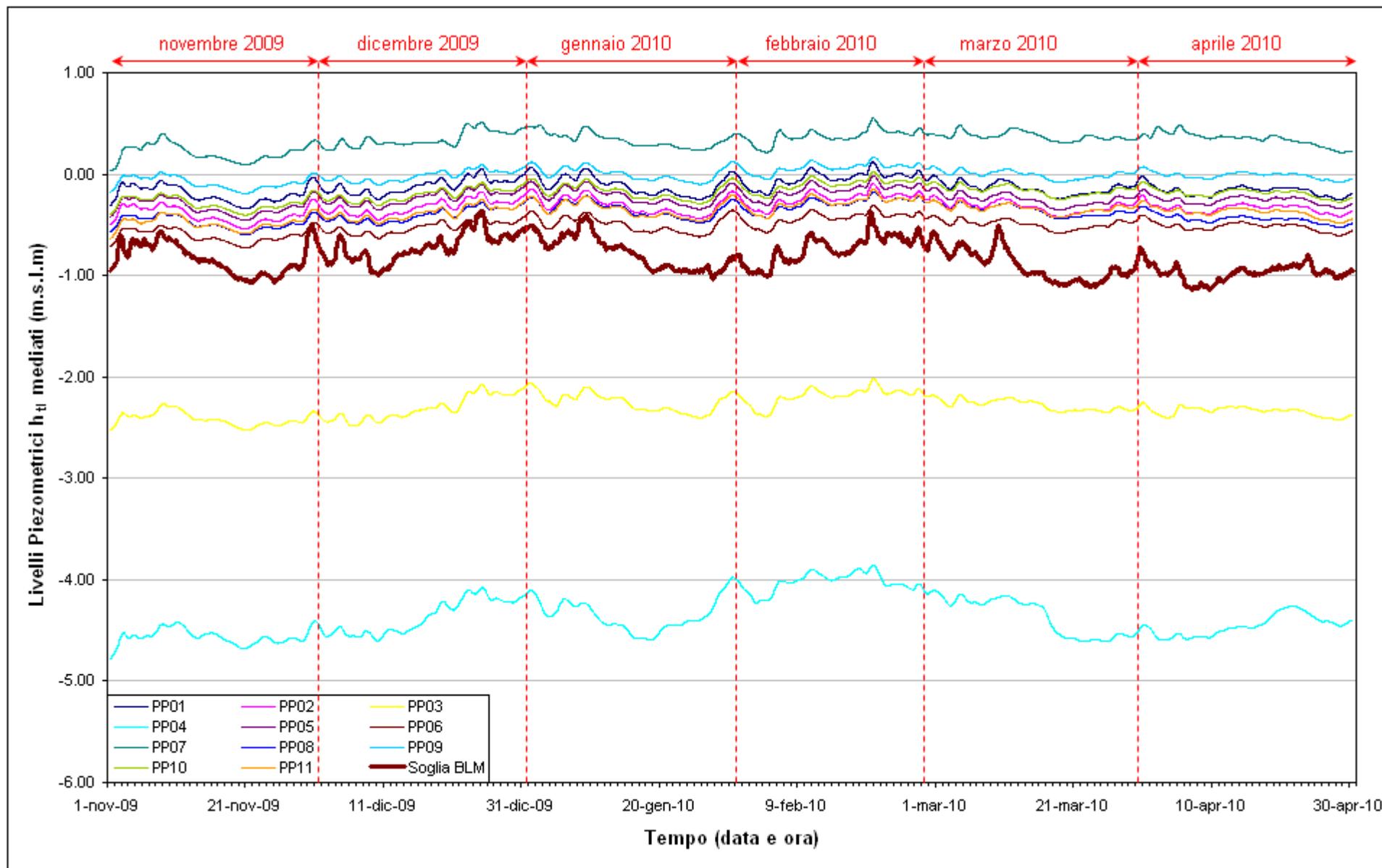


Fig. 2.68 – Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 – 30/04/2010.

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 ρ_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 | 13 maggio 2009 - h. 12:00 |
| Giugno | 14 giugno 2009 - h. 14:00 |
| Ottobre | 14 ottobre 2009 h. 6.00 |
| Gennaio | 14 gennaio 2010 - h. 4.00 |
| Aprile | 16 aprile 2010 - h. 10.00 |

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE 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. 2.69 - 2.74 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

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

| Piezometro | X | Y | Quota piezometro (m s.l.m.) | Fase | Maggio | Giugno | Ottobre | Gennaio | Aprile |
|------------|------------|------------|-----------------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | h_{el} (m) | h_{el} (m s.l.m.) |
| PS01 | 2318325.88 | 5035253.68 | 1.790 | 0.271 | 0.139 | 0.180 | 0.198 | 0.546 | 0.158 |
| PS02 | 2318303.30 | 5034900.48 | 1.687 | nd | 0.102 | 0.139 | 0.193 | 0.460 | 0.130 |
| PS03 | 2318377.62 | 5034552.61 | 1.459 | 0.331 | 0.397 | 0.003 | 0.133 | 0.757 | 0.443 |
| PS04 | 2318449.34 | 5034373.27 | 1.344 | 0.147 | 0.207 | -0.066 | 0.097 | 0.591 | 0.294 |
| PS05 | 2318582.01 | 5034989.80 | 1.816 | 0.799 | 0.720 | 0.227 | 0.517 | 1.050 | 0.825 |
| PS06 | 2318658.27 | 5034750.84 | 1.664 | 0.843 | 0.683 | 0.125 | 0.349 | 1.066 | 0.818 |
| PS07 | 2318785.95 | 5034898.62 | 1.403 | 0.654 | 0.511 | -0.037 | 0.219 | 0.745 | 0.584 |
| PS08 | 2318799.69 | 5034032.43 | 0.623 | 0.345 | 0.243 | -0.025 | 0.146 | 0.440 | 0.329 |
| PS09 | 2318764.67 | 5035448.00 | 2.248 | 0.638 | 0.701 | 0.211 | 0.449 | 1.007 | 0.742 |
| PS10 | 2318792.99 | 5035043.94 | 2.003 | 0.634 | 0.497 | -0.046 | 0.211 | 0.726 | 0.545 |
| PS11 | 2318787.28 | 5034652.23 | 1.086 | 0.673 | 0.360 | -0.078 | 0.061 | 0.717 | 0.518 |

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

- nel mese di maggio 2009 (Fig.2.70) i livelli sono in linea con la configurazione *ante operam*;
- nel mese di giugno 2009 (Fig.2.71) si è verificato un abbassamento consistente dei livelli, che si protrae per tutta l'estate;
- in seguito ad un evento meteorico intenso (altezza di pioggia: 139.2 mm) in data 16/09/09, i livelli si sono innalzati sensibilmente, come è possibile osservare nella piezometria di ottobre 2009 (Fig.2.72);
- i livelli di falda superficiale hanno continuato a crescere per tutto l'autunno, raggiungendo il loro massimo nei mesi di gennaio e febbraio (Fig.2.73);
- da gennaio ad aprile (Fig.2.74) il livello di falda è gradualmente sceso a causa delle scarse precipitazioni piovose.

Analogamente a quanto osservato durante la Fase A, in tutte le piezometrie elaborate si evidenzia un chiaro deflusso diretto dalla terraferma verso il mare, ad eccezione della piezometria di giugno 2009 (Fig.2.71) nella quale il flusso è diretto dal mare alla terraferma, poiché i livelli di falda superficiale sono inferiori al livello medio del mare.

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

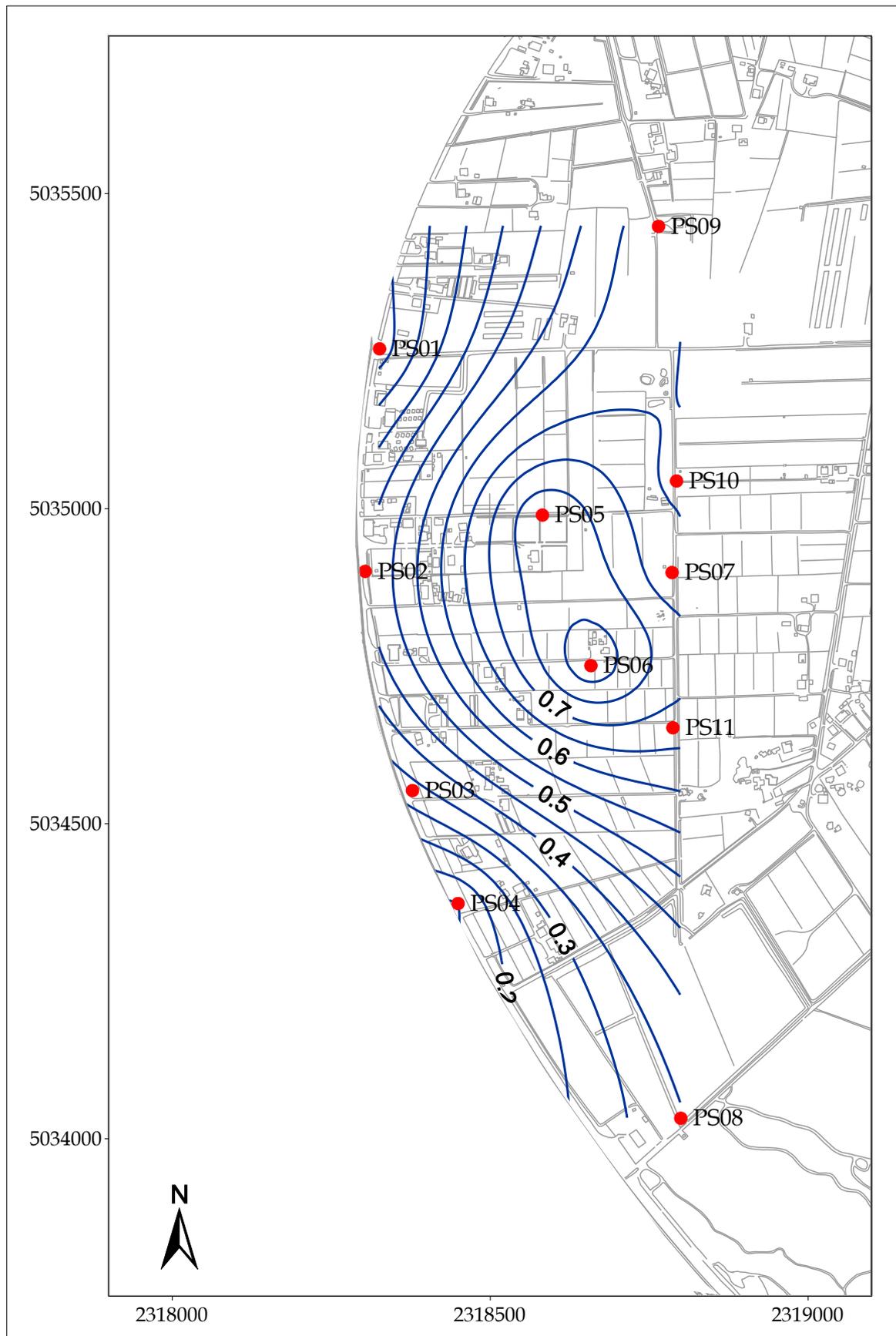


Fig. 2.69 - Piezometri superficiale Fase A - novembre 2005 (h_{fl} - m s.l.m.).

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

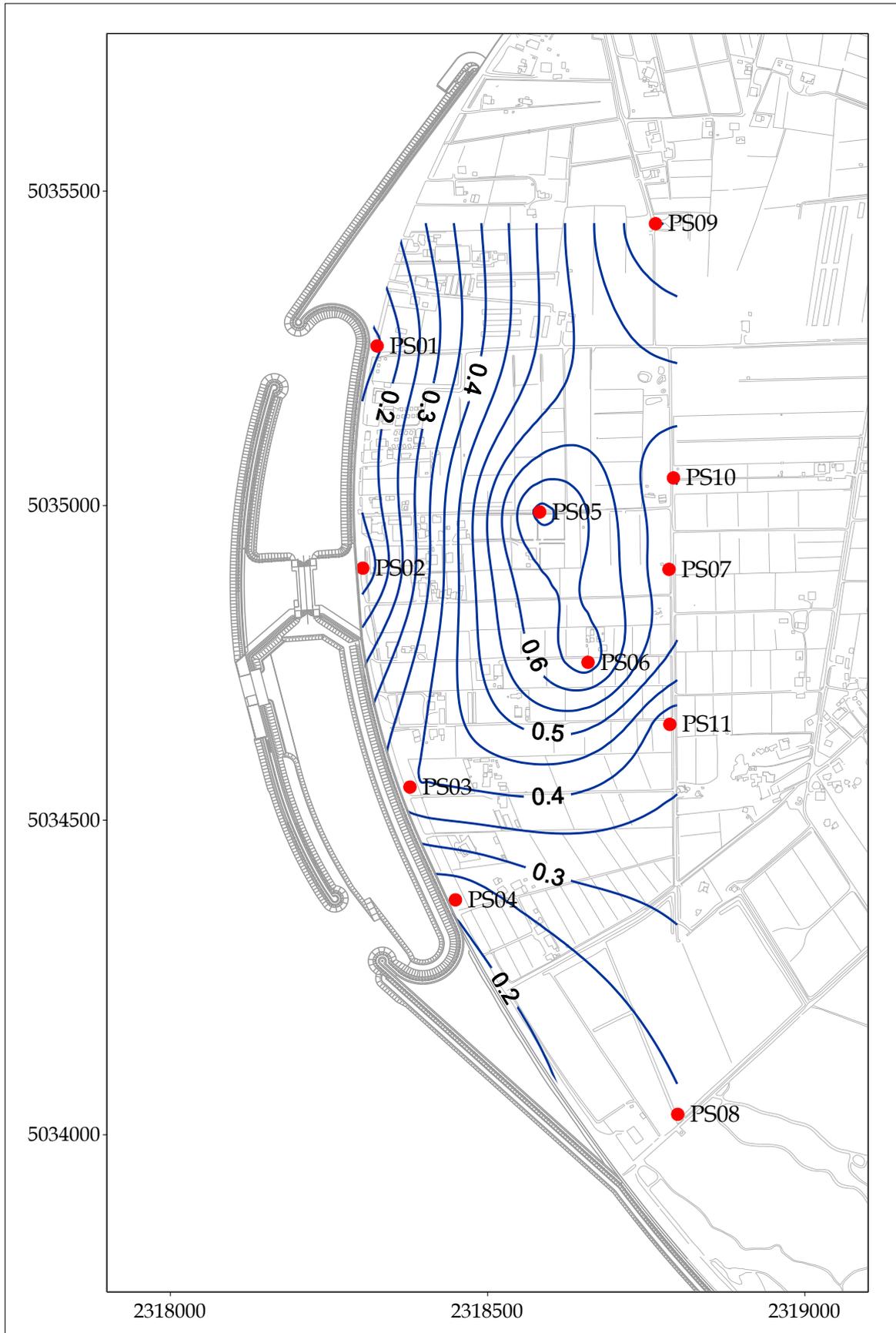


Fig. 2.70- Piezometria superficiale - maggio 2009 (h_d - m s.l.m.).

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

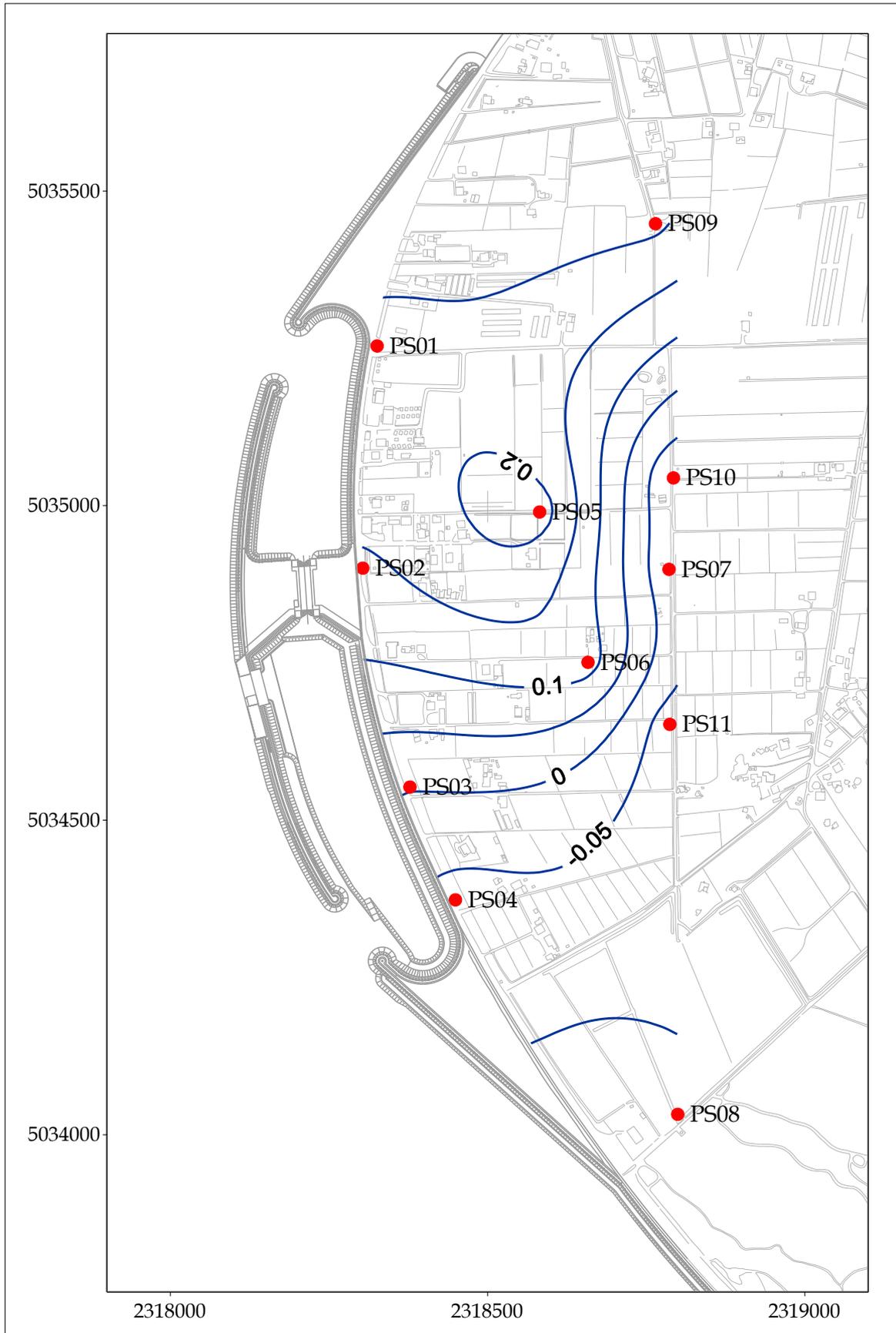


Fig. 2.71 - Piezometria superficiale - giugno 2009 (h_{il} - m s.l.m.).

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

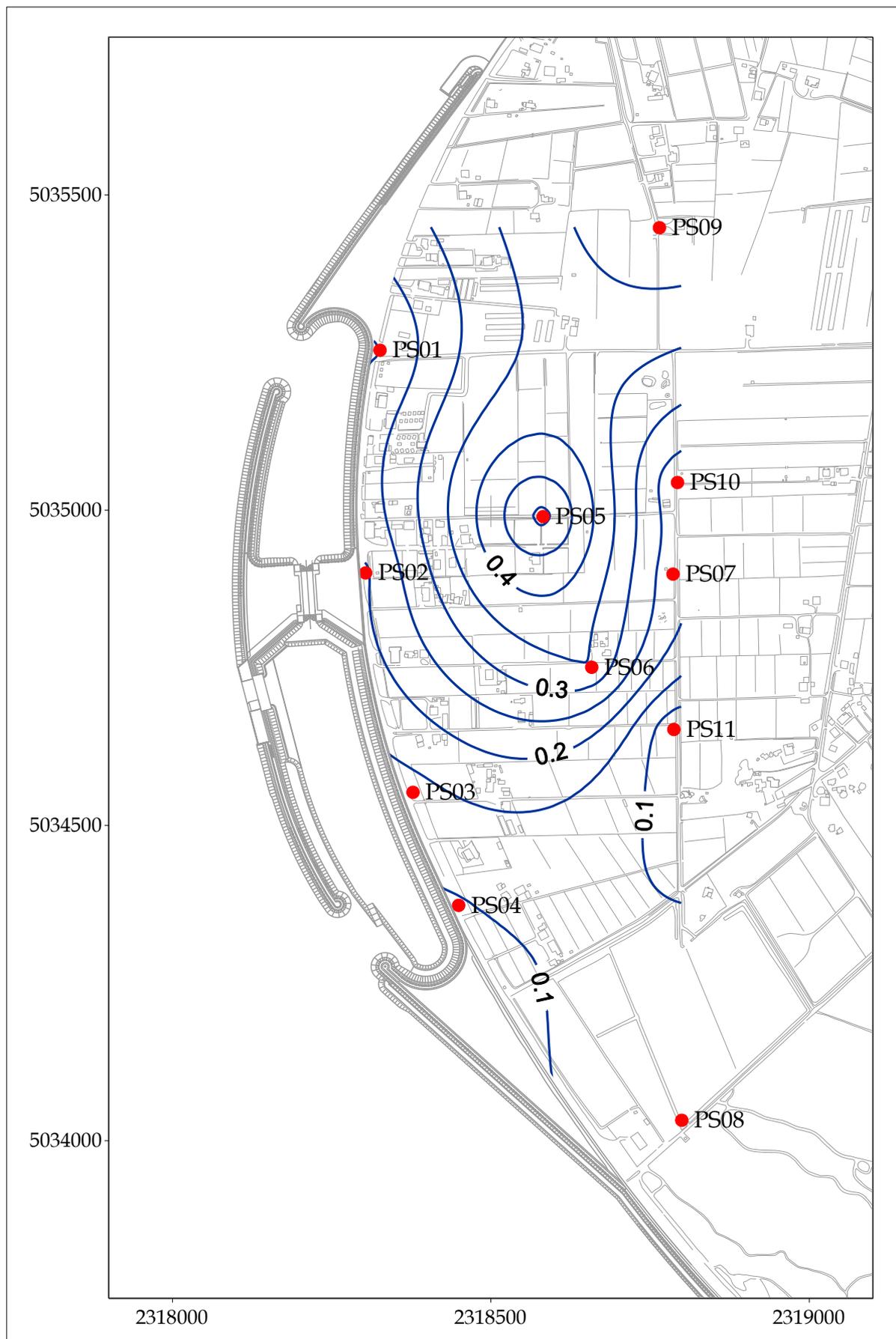


Fig. 2.72 - Piezometria superficiale - ottobre 2009 (h_{hl} - m s.l.m.).

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

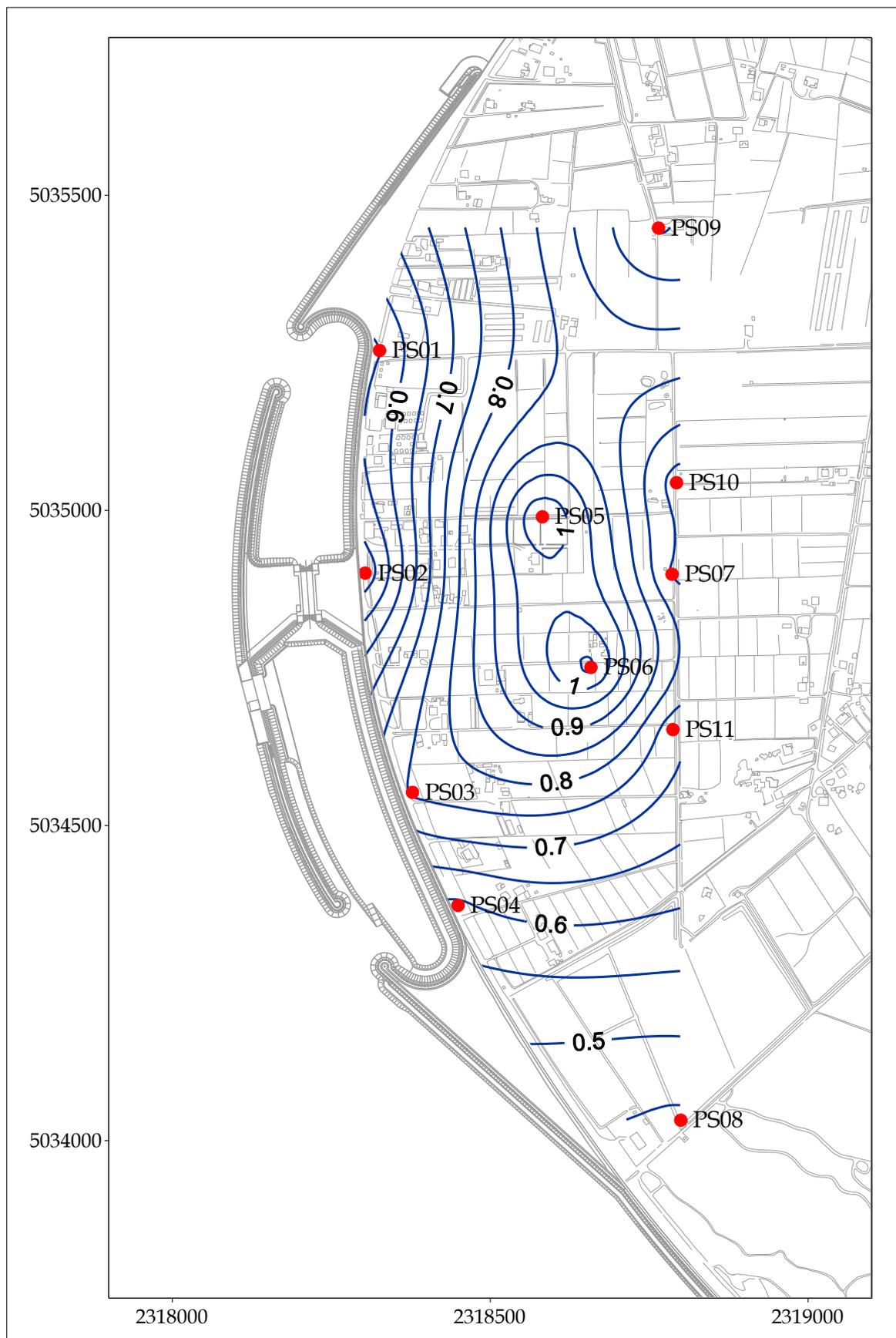


Fig. 2.73 - Piezometria superficiale - gennaio 2010 (htl - m s.l.m.).

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

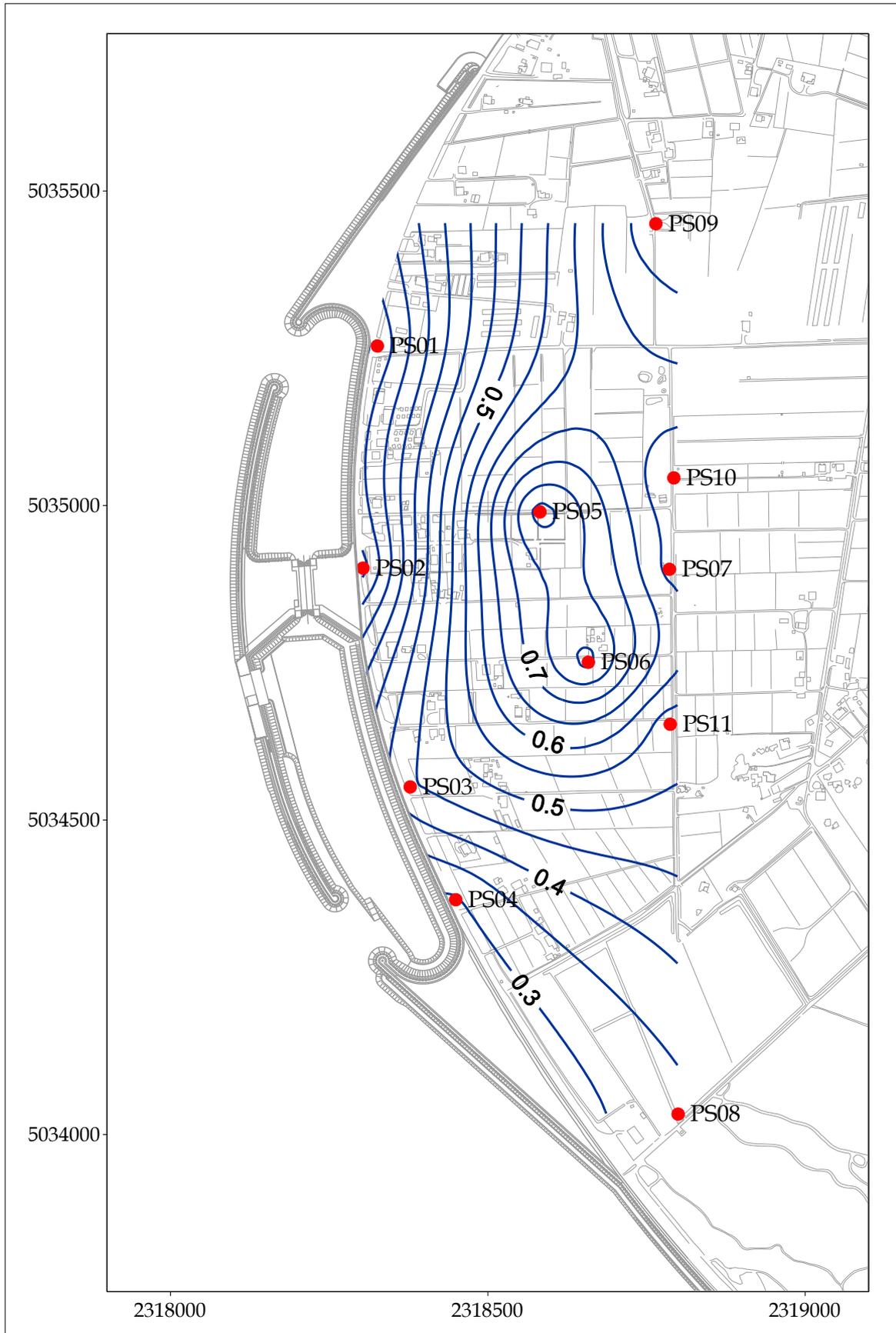


Fig. 2.74 - Piezometria superficiale - aprile 2010 (h_t - m s.l.m.).

CORILA
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCCHE 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. 2.75 - 2.78 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

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

| Piezometro | X | Y | Quota piezometro (m s.l.m.) | Fase | Maggio | Giugno | Ottobre | Gennaio | Aprile |
|------------|------------|------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | | | h_{tl} (m) | h_{tl} (m s.l.m.) |
| PP01 | 2318325.44 | 5035252.10 | 1.801 | 0.337 | -0.135 | -0.192 | -0.251 | -0.069 | -0.151 |
| PP02 | 2318303.40 | 5034898.36 | 1.681 | 0.298 | -0.354 | -0.42 | -0.458 | -0.276 | -0.324 |
| PP03 | 2318378.37 | 5034550.49 | 1.431 | 0.353 | -2.186 | -2.544 | -2.462 | -2.199 | -2.323 |
| PP04 | 2318448.54 | 5034374.67 | 1.416 | 0.394 | -4.332 | -4.905 | -4.747 | -4.447 | -4.429 |
| PP05 | 2318579.81 | 5034989.68 | 1.718 | 0.469 | -0.257 | -0.343 | -0.399 | -0.176 | -0.239 |
| PP06 | 2318658.29 | 5034748.80 | 1.636 | 0.375 | -0.473 | -0.597 | -0.690 | -0.457 | -0.501 |
| PP07 | 2318786.12 | 5034900.50 | 1.318 | 0.401 | 0.188 | -0.103 | -0.024 | 0.348 | 0.351 |
| PP08 | 2318800.26 | 5034031.14 | 0.747 | 0.260 | -0.417 | -0.494 | -0.530 | -0.310 | -0.436 |
| PP09 | 2318765.07 | 5035445.93 | 2.255 | 0.339 | -0.034 | -0.103 | -0.142 | 0.029 | 0.004 |
| PP10 | 2318793.08 | 5035045.83 | 2.086 | 0.302 | -0.251 | -0.358 | -0.378 | -0.142 | -0.169 |
| PP11 | 2318787.40 | 5034654.31 | 1.149 | 0.288 | -0.356 | -0.534 | -0.614 | -0.317 | -0.361 |
| PP12 | 2318498.26 | 5034363.43 | 1.071 | nd | -3.434 | -3.924 | -3.849 | -3.566 | -3.570 |
| PP13 | 2318631.11 | 5034397.36 | 1.169 | nd | -1.355 | -1.581 | -1.670 | -1.454 | -1.496 |
| PP14 | 2318619.38 | 5034536.86 | 1.502 | nd | -0.968 | -1.167 | -1.242 | -1.009 | -1.052 |

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, come già osservato negli anni precedenti, 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 - 6 m; negli altri piezometri i livelli risultano inferiori rispetto a quelli registrati nella Fase A, con differenze comprese tra 10 e 100 cm. Le differenze rispetto alla situazione *ante operam* non presentano variazioni apprezzabili rispetto ai valori registrati nel precedente anno di monitoraggio.

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

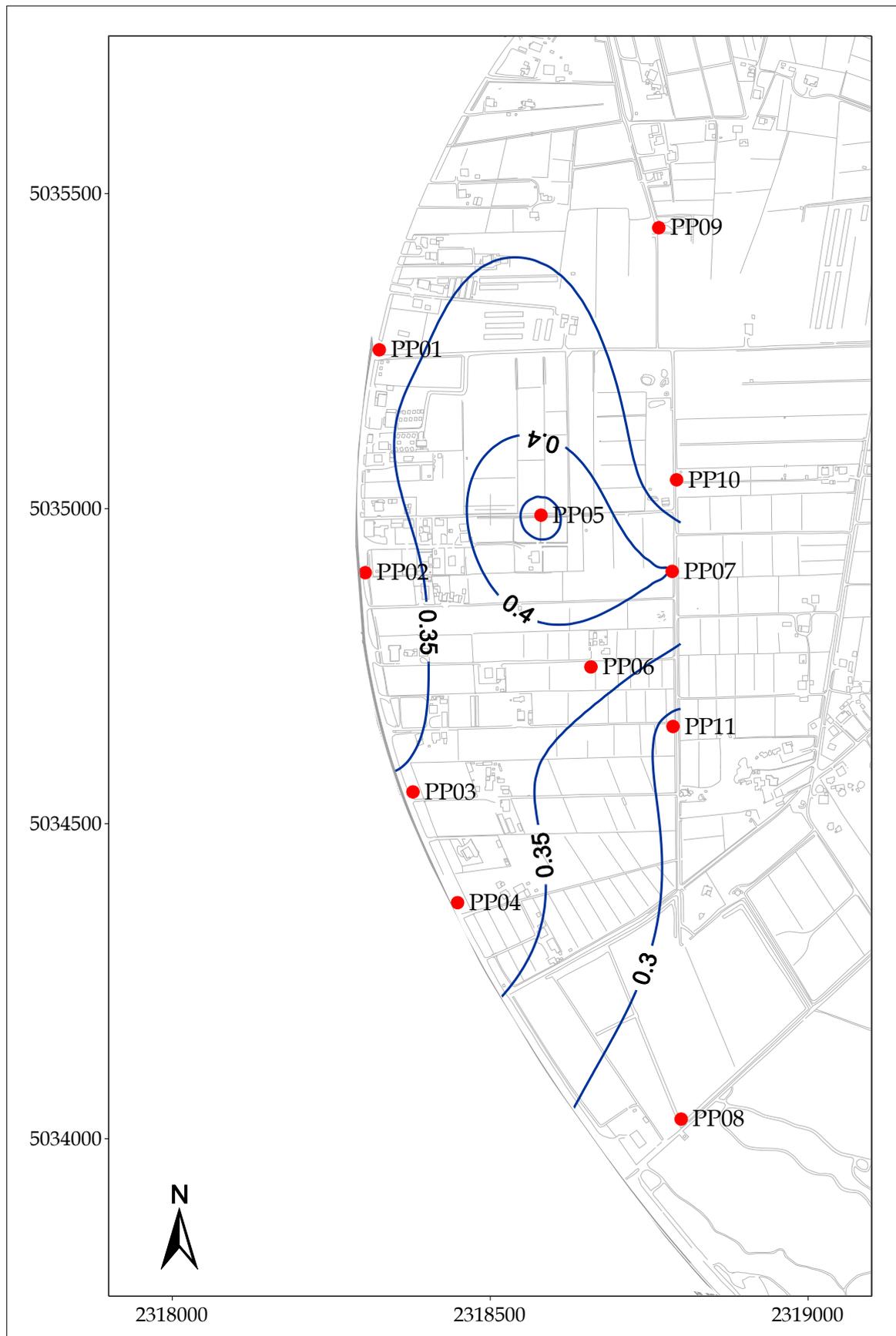


Fig. 2.75- Piezometria profonda Fase A - novembre 2005 (h_{d1} - m s.l.m.).

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

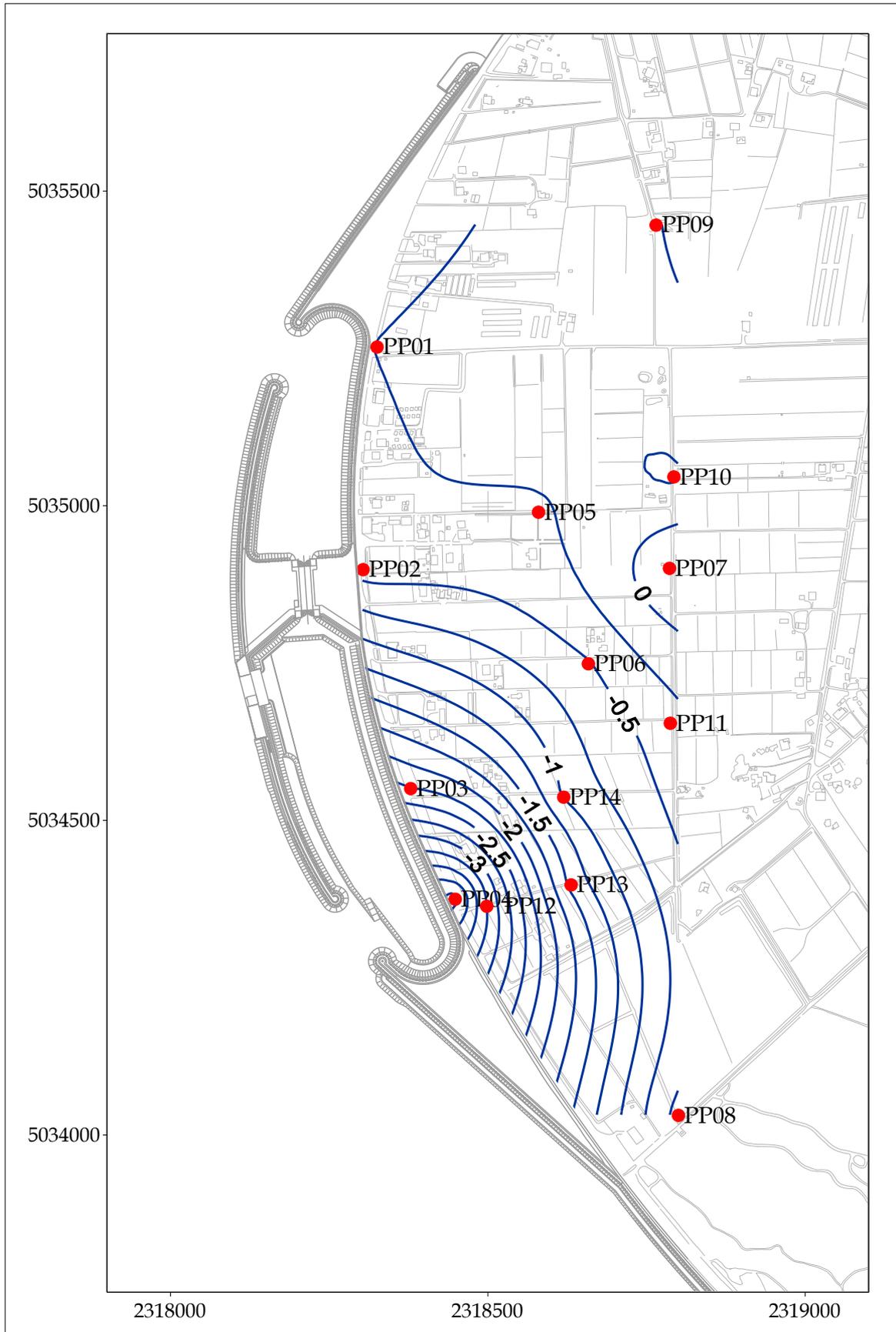


Fig. 2.76 - Piezometria profonda - maggio 2009 (h_{tl} - m s.l.m.)

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

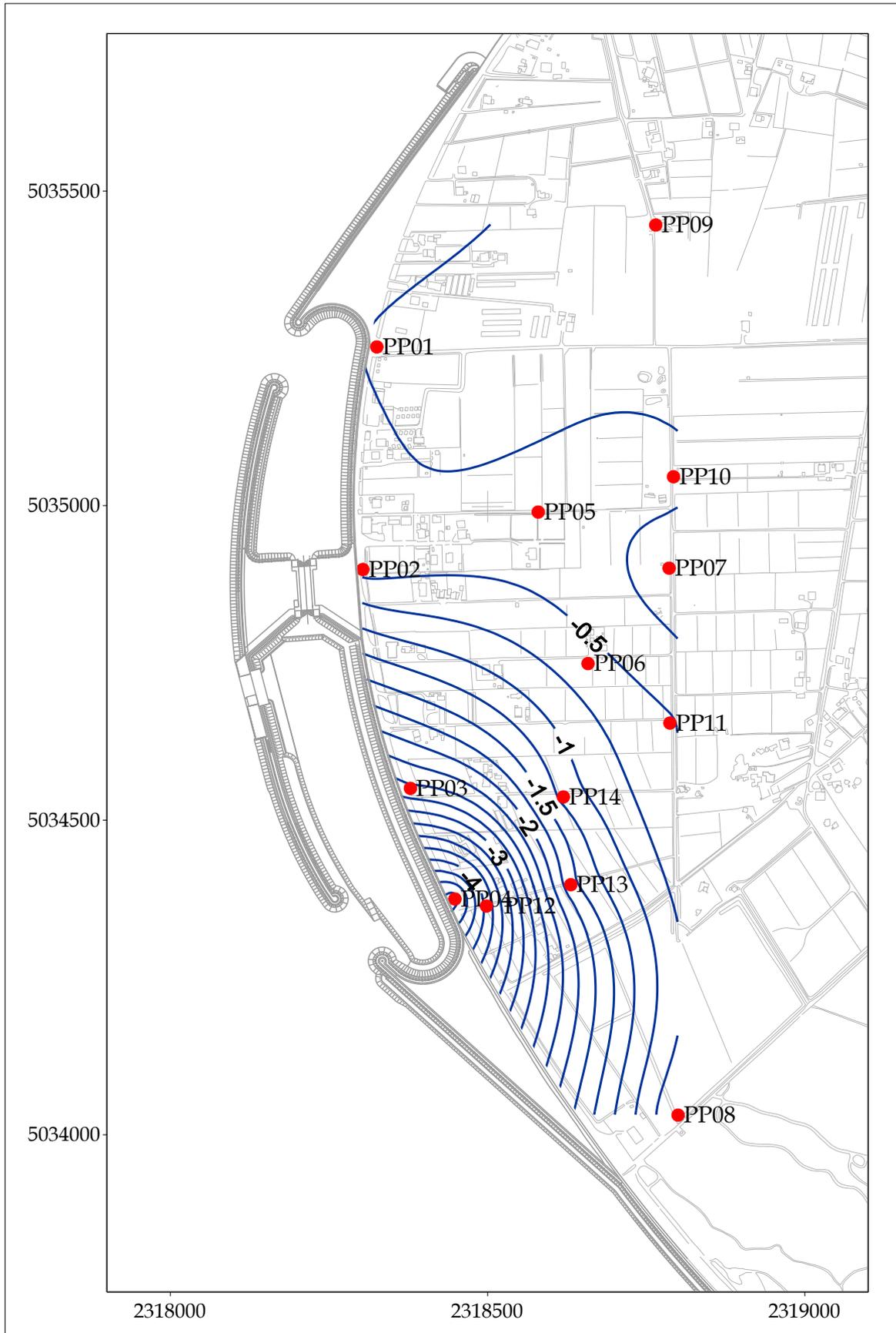


Fig. 2.77 - Piezometria profonda - giugno 2009 (h_{tl} - m s.l.m.).

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

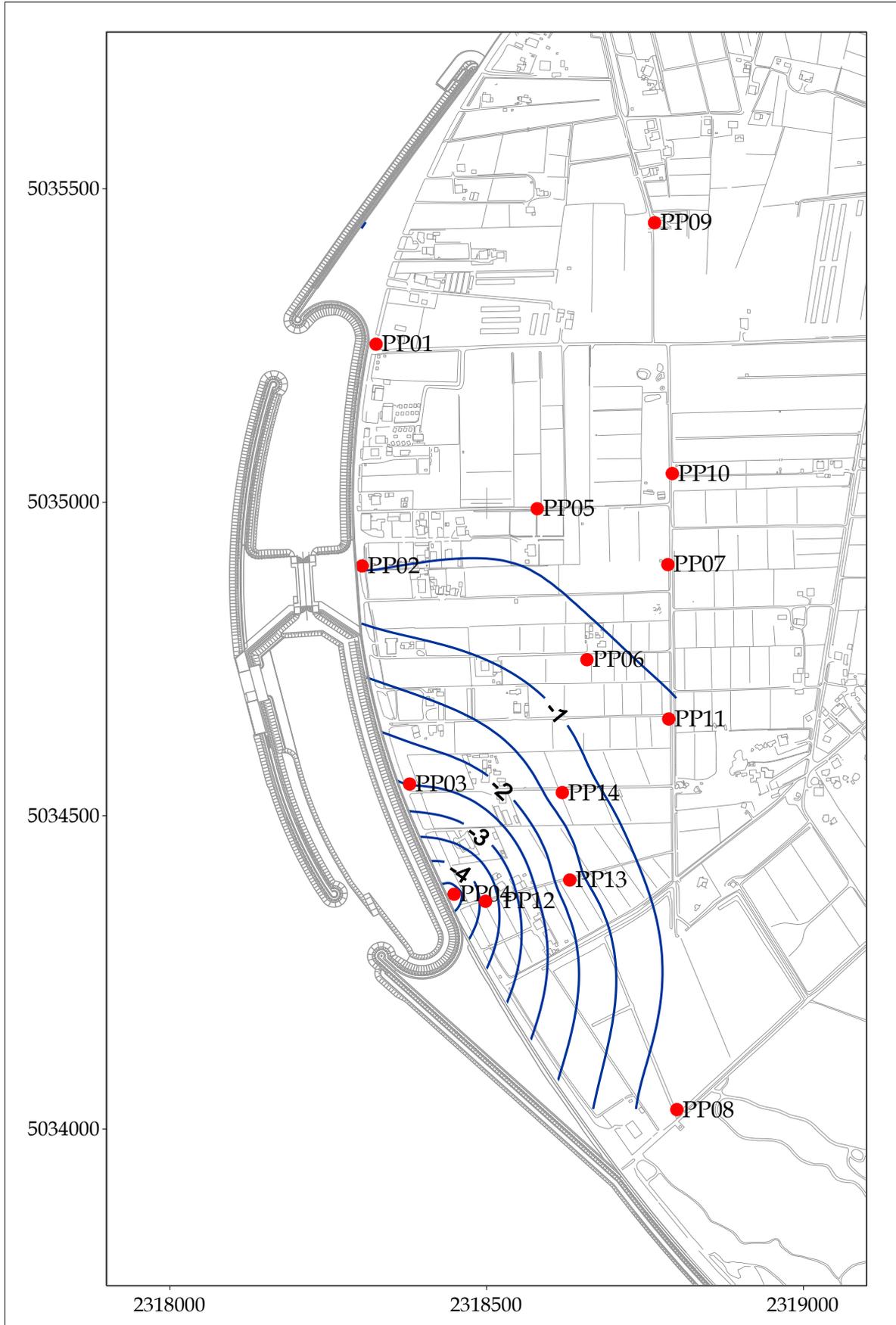


Fig. 2.78 - Piezometria profonda - ottobre 2009 (h_{hl} - m s.l.m.).

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

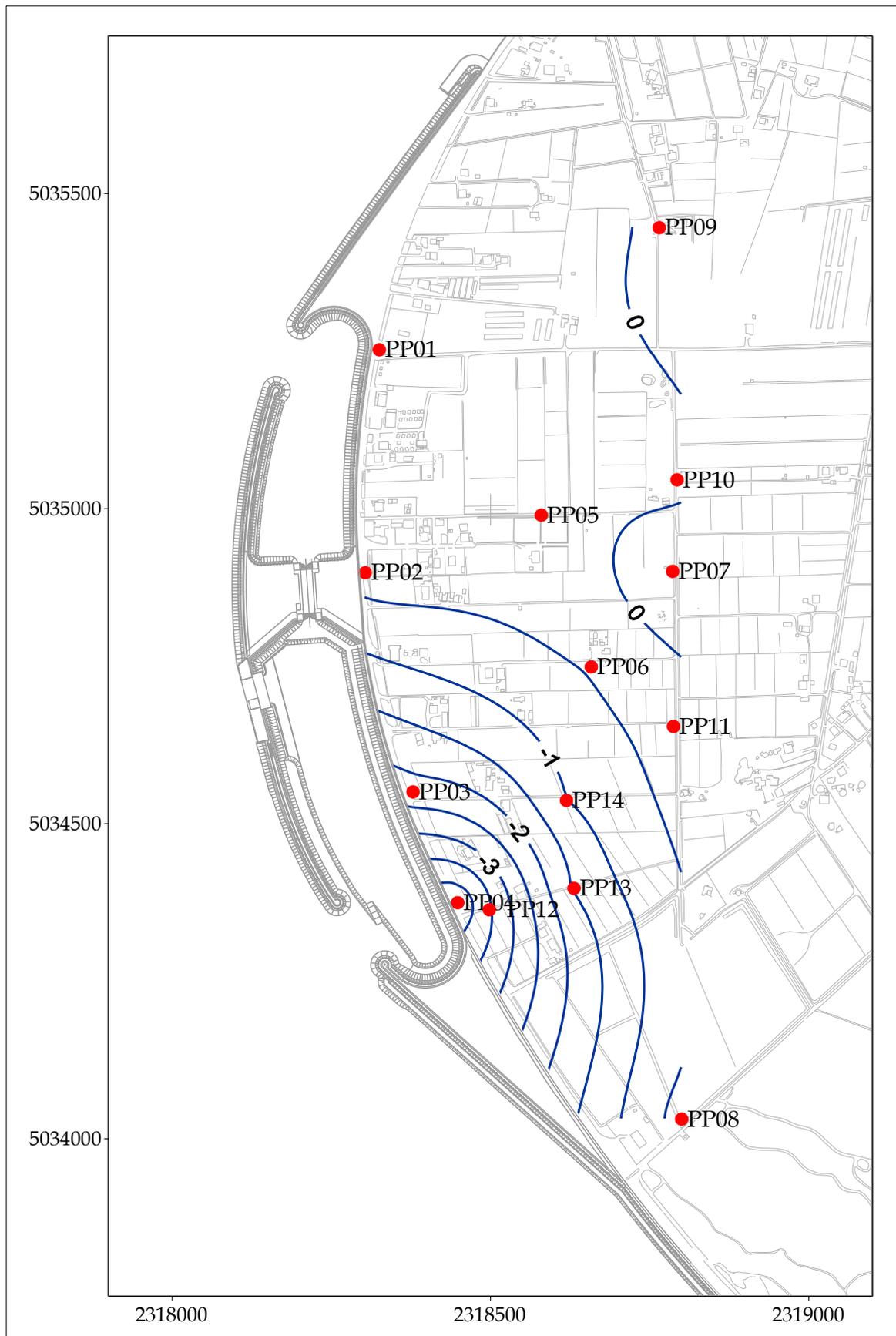


Fig. 2.79 - Piezometria profonda - gennaio 2010 (h_{t1} - m s.l.m.).

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

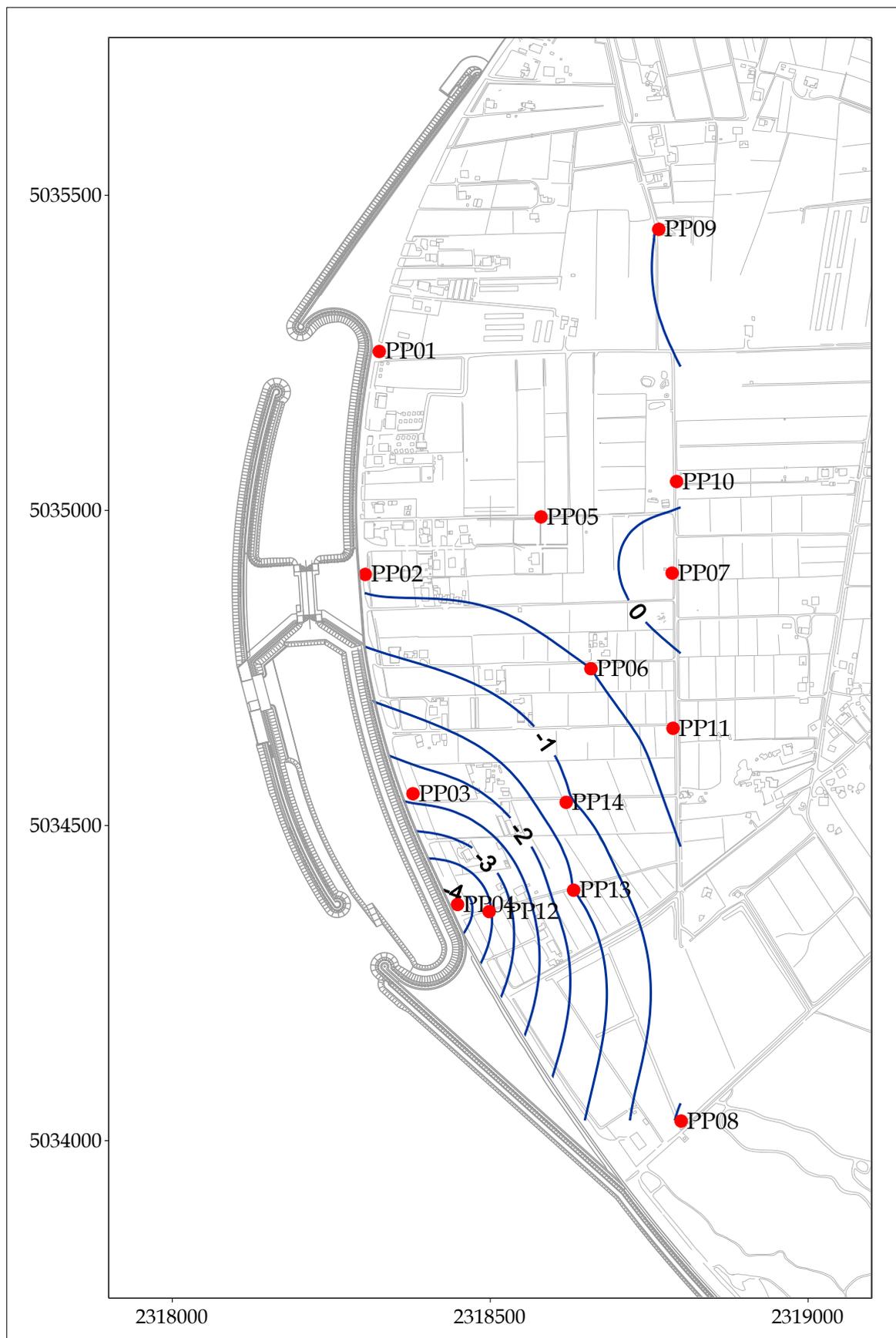


Fig. 2.80 - Piezometria profonda - aprile 2010 (h_{d1} - m s.l.m.).

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 ed efficienza impermeabilizzazione tura |

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

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

Nel corso del 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 (01/05/09 - 30/04/10).

La soglia di Alto Livello Istantaneo è stata superata nel piezometro superficiale PS08 in occasione di due eventi piovosi intensi, rispettivamente in data 16-17/09/09 e 06/02/10.

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 il periodo monitorato (01/05/09 - 30/04/10). 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 si sono 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 (01/05/09 - 30/04/10) nei piezometri PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14;
- nel PP06 in data 22/10/09, 30/11/09, 24-25/12/09;
- nel PP11 in data 22/10/09;
- negli altri piezometri profondi (PP01, PP02, PP05, PP07, PP08, PP09, PP10) la soglia di Basso Livello Medio è stata rispettata per tutto il periodo monitorato.

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, II Rapporto di Valutazione (Febbraio 2007)".

Nelle Figg. 2.81 - 2.91 sono rappresentati i profili di densità dei piezometri superficiali, mentre nelle Figg. 2.92 - 2.102 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.

Nei piezometri superficiali PS03, PS04, PS09, PS10 si osserva una moderata variabilità della densità, con un aumento dei valori nel periodo estivo e una diminuzione in seguito alle piogge autunnali e invernali; il PS08 mostra invece una tendenza opposta, con valori di densità più elevati durante il periodo invernale, a causa della probabile influenza del vicino canale di scolo (Capofosso Basson).

Nei piezometri profondi PP01 e PP10 si osserva un leggero aumento della densità nel periodo estivo; nel piezometro PP08 i valori massimi di densità vengono raggiunti nel mese di aprile 2010, mentre i valori minimi sono raggiunti nel mese di settembre 2009.

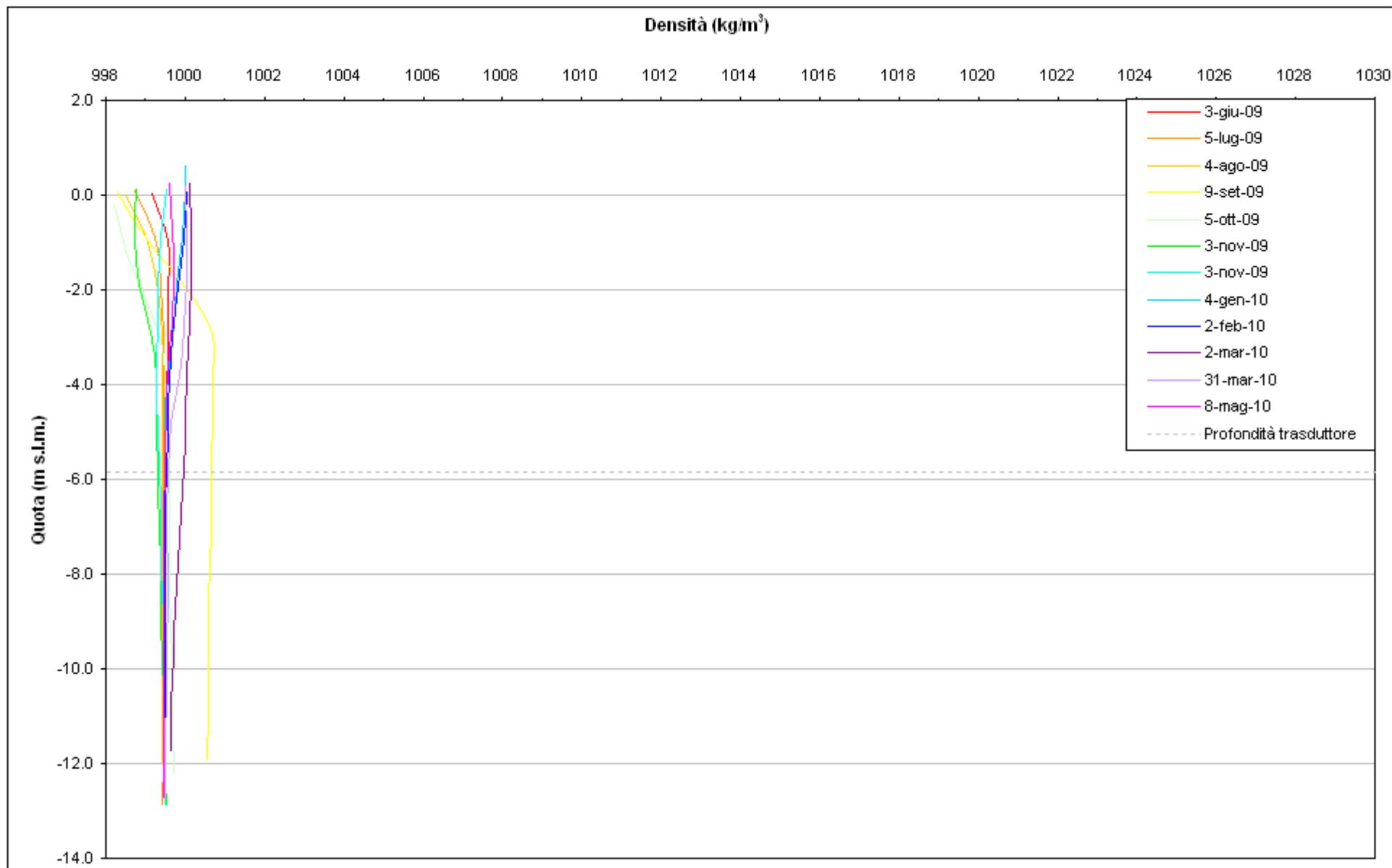


Fig. 2.81 - Profili verticali di densità PS01.

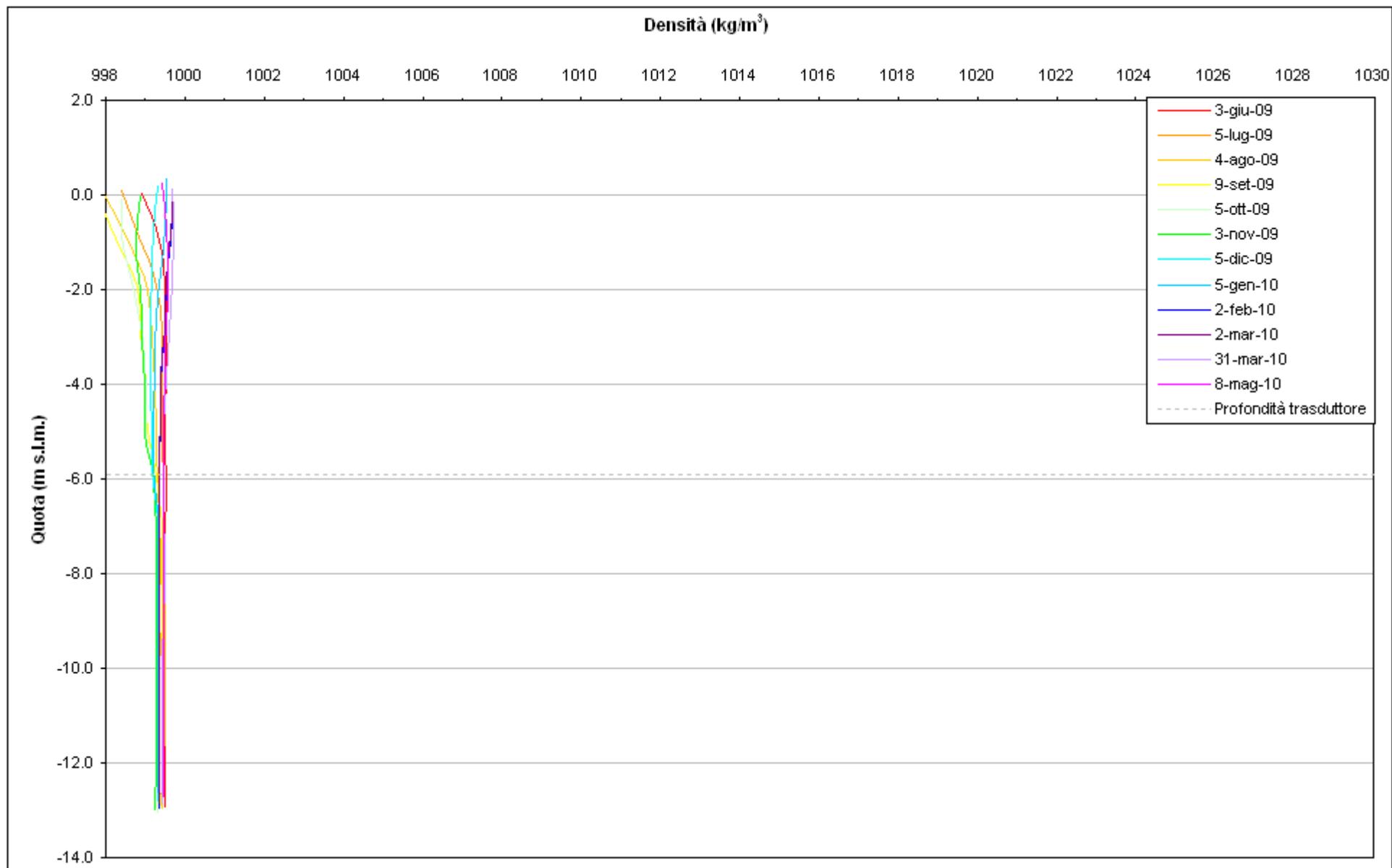


Fig. 2.82 - Profili verticali di densità PS02.

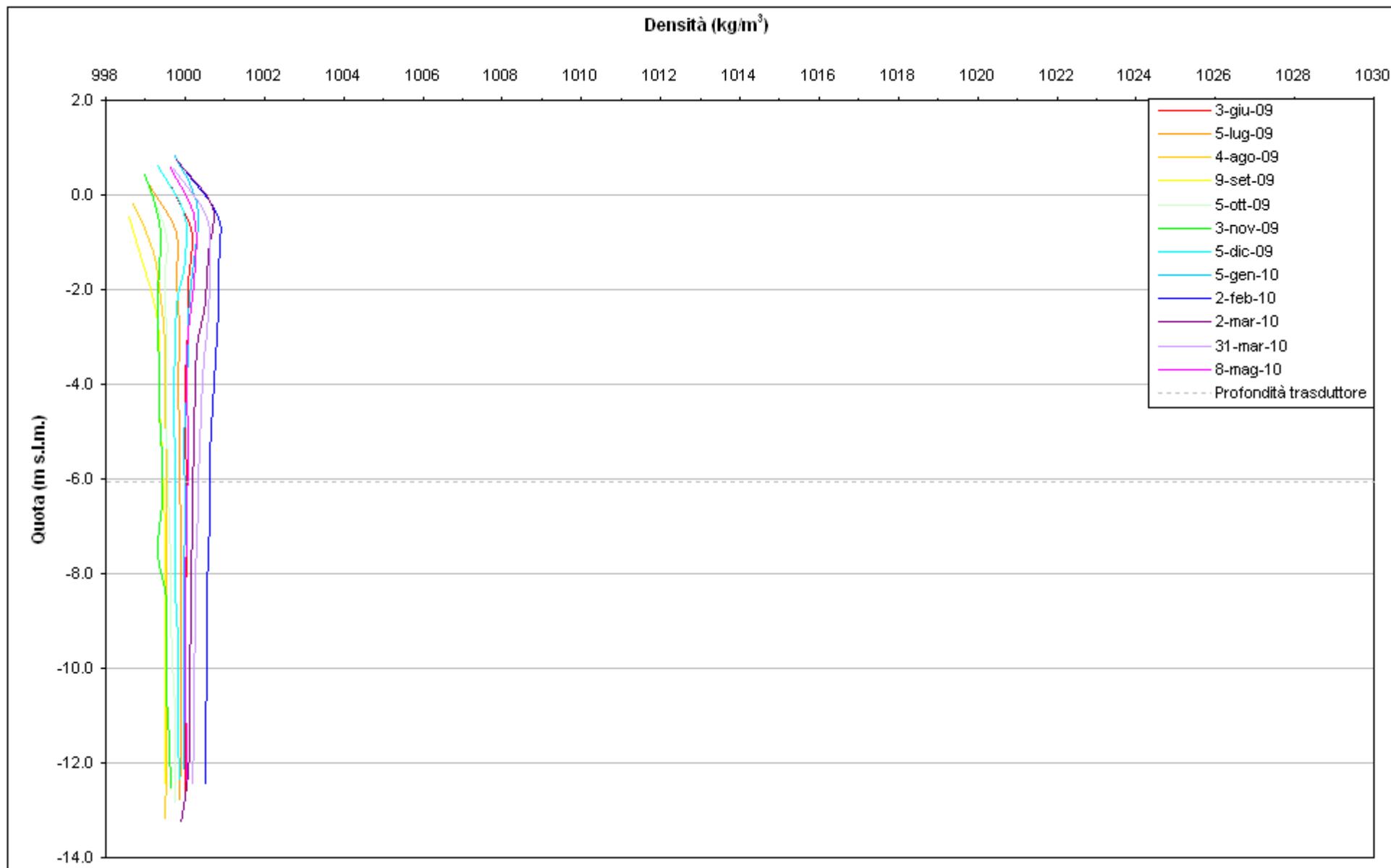


Fig. 2.83 - Profili verticali di densità PS03.

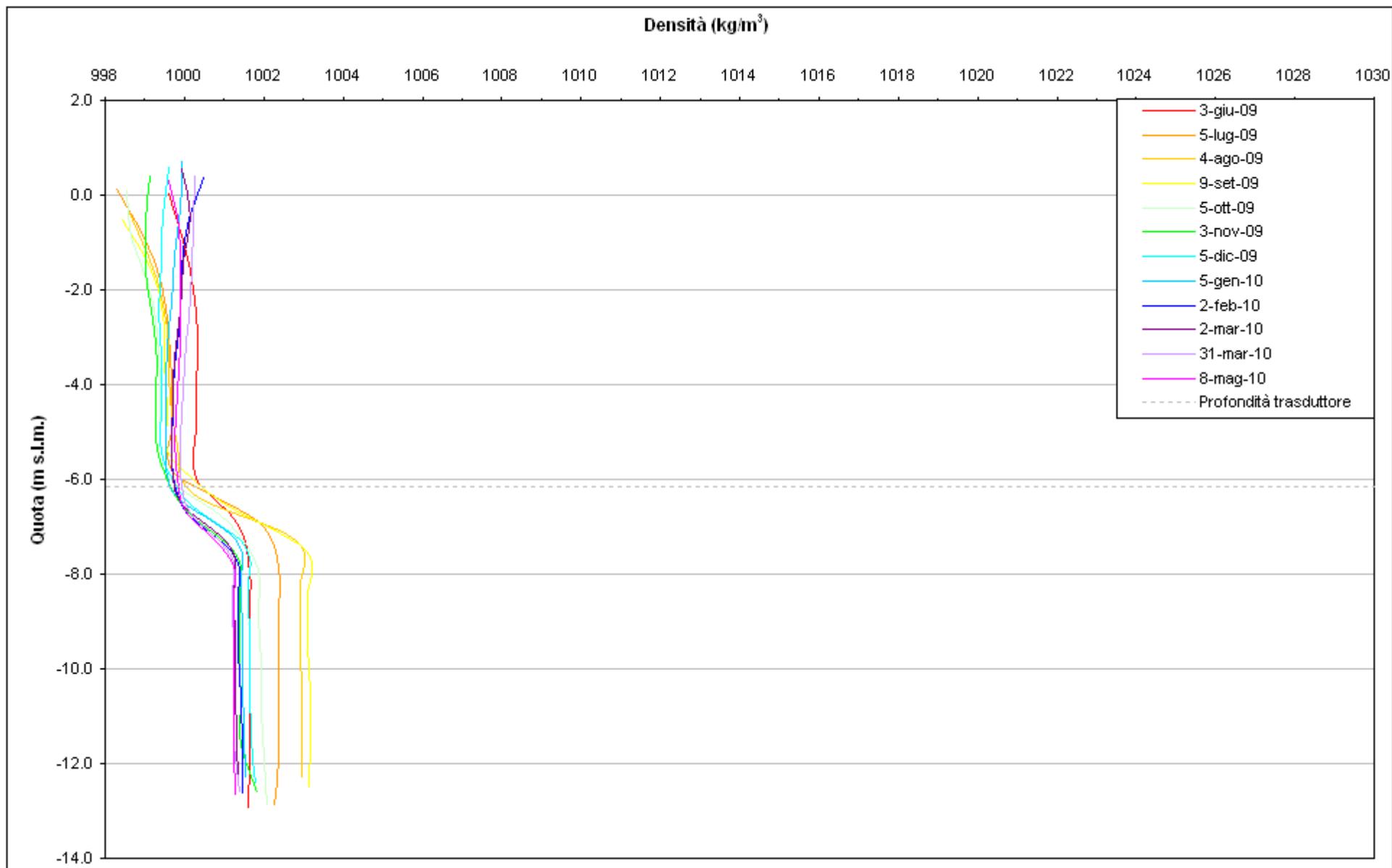


Fig. 2.84 - Profili verticali di densità PS04.

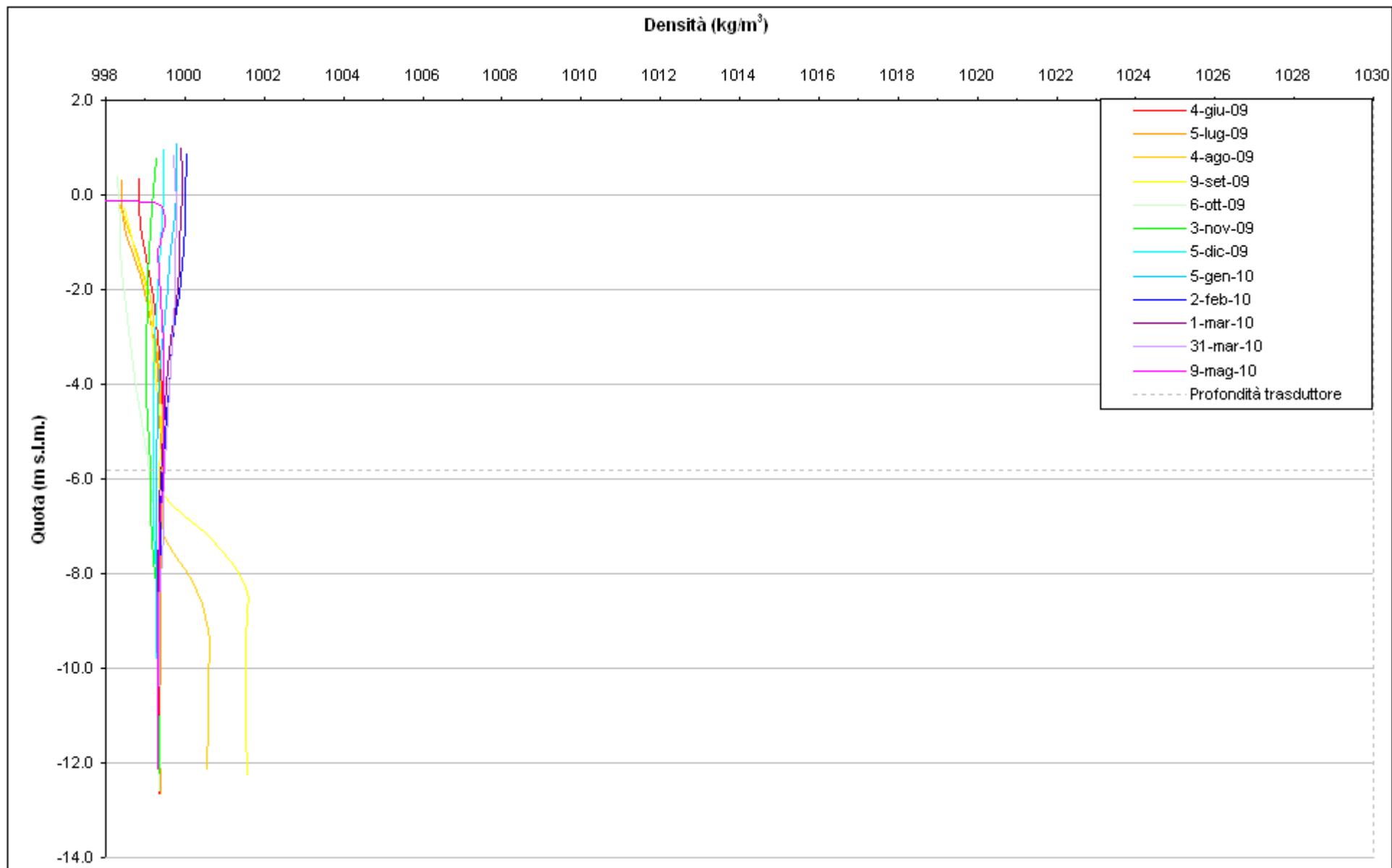


Fig. 2.85 - Profili verticali di densità PS05.

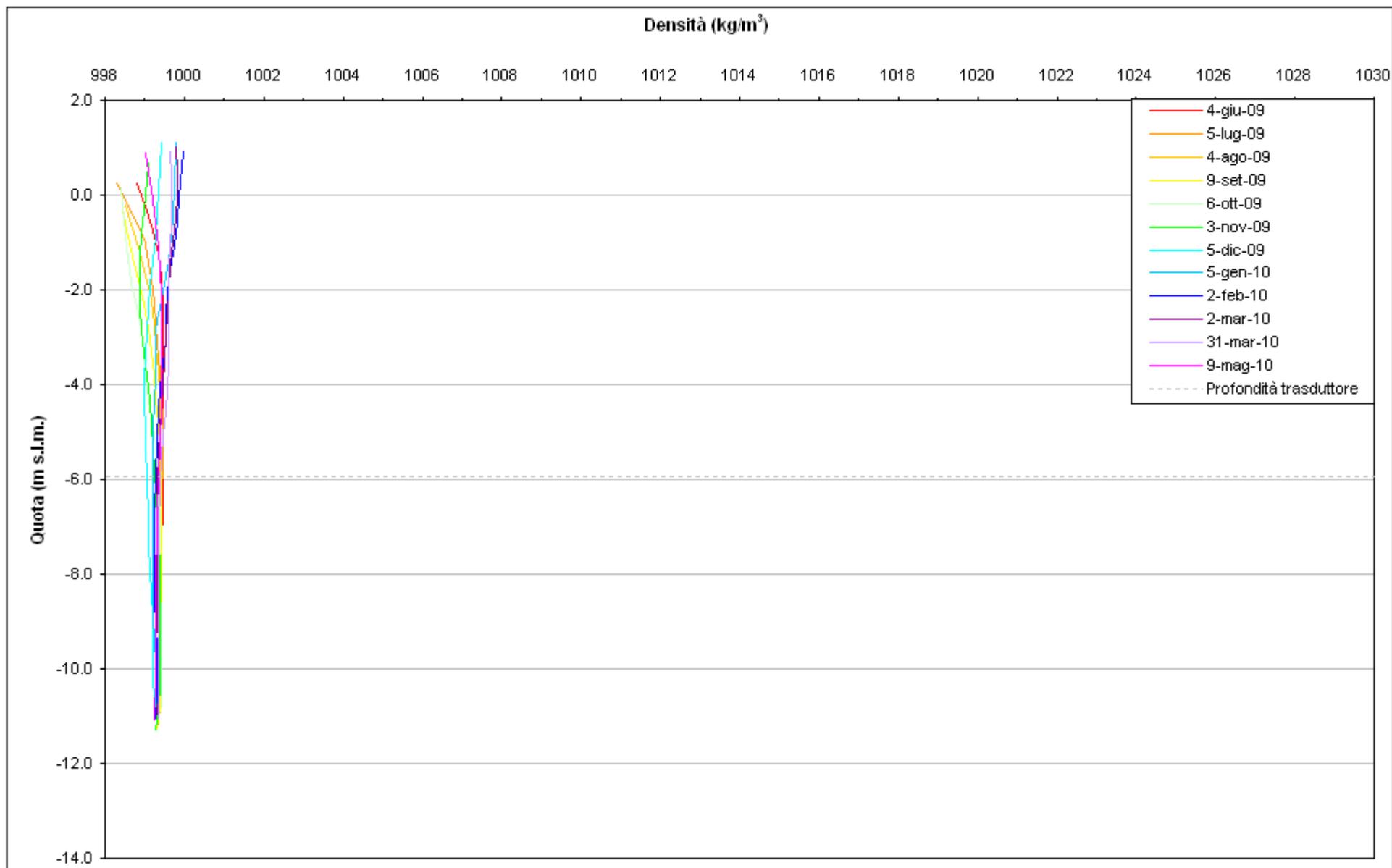


Fig. 2.86 - Profili verticali di densità PS06.

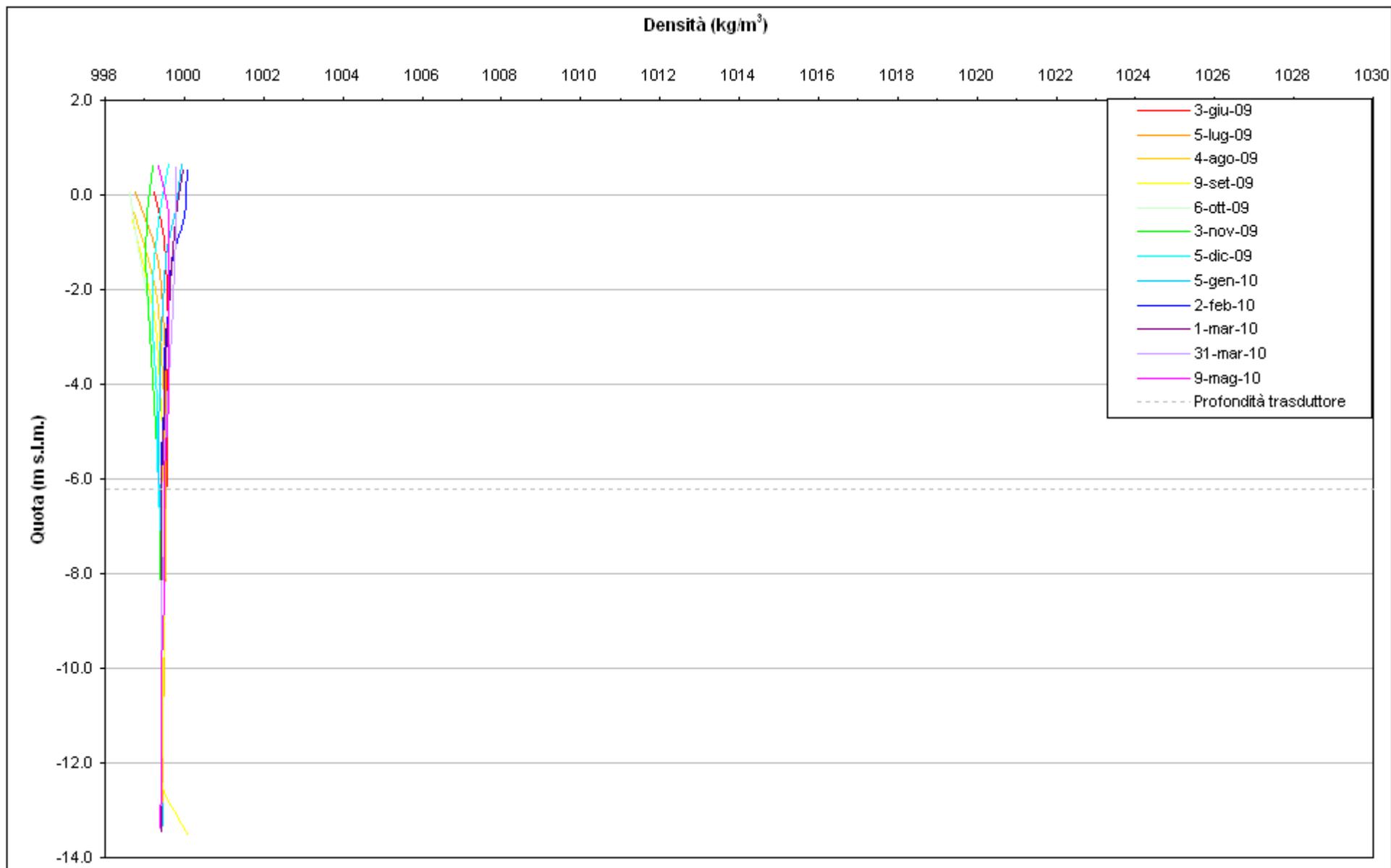


Fig. 2.87 - Profili verticali di densità PS07.

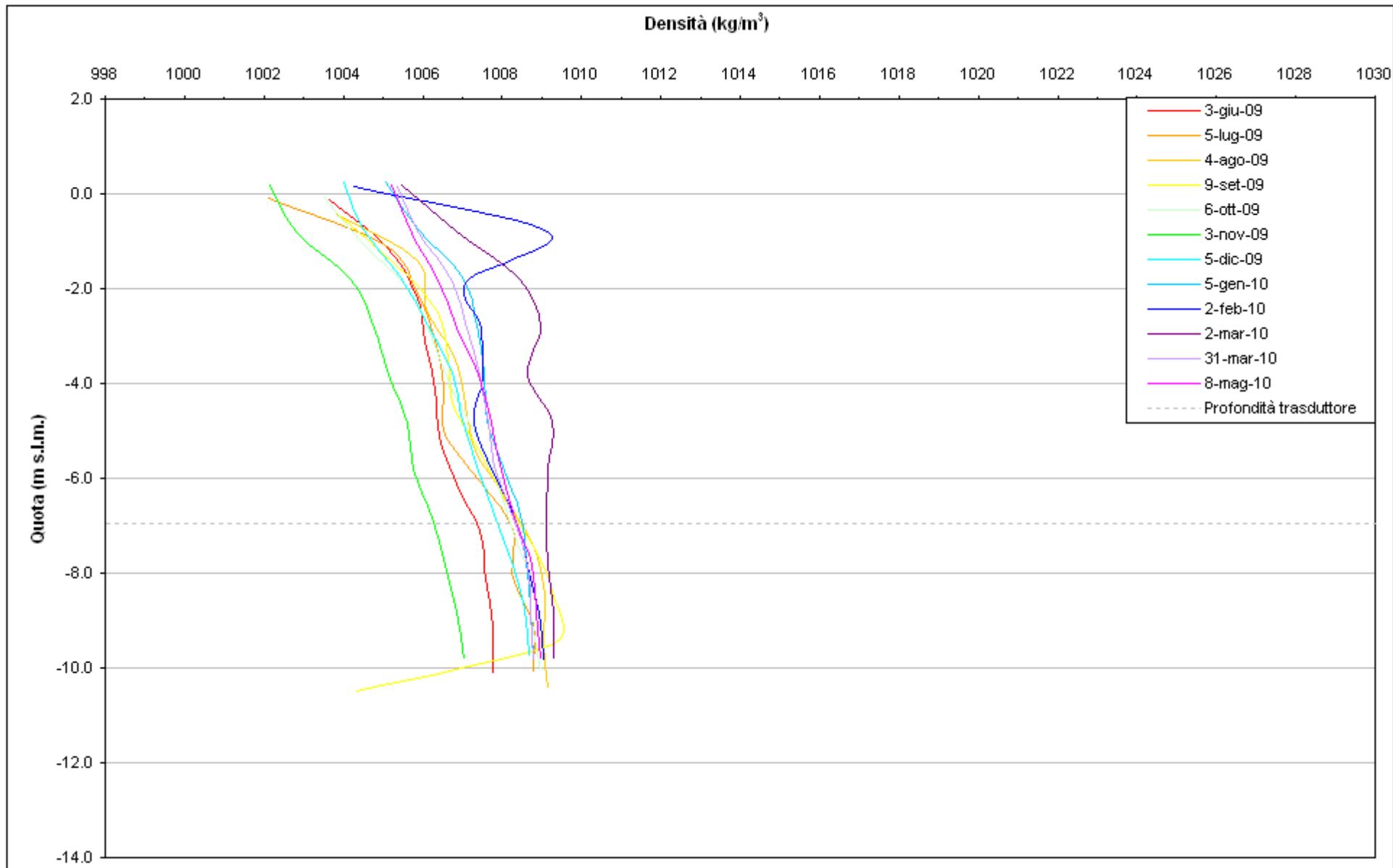


Fig. 2.88 - Profili verticali di densità PS08.

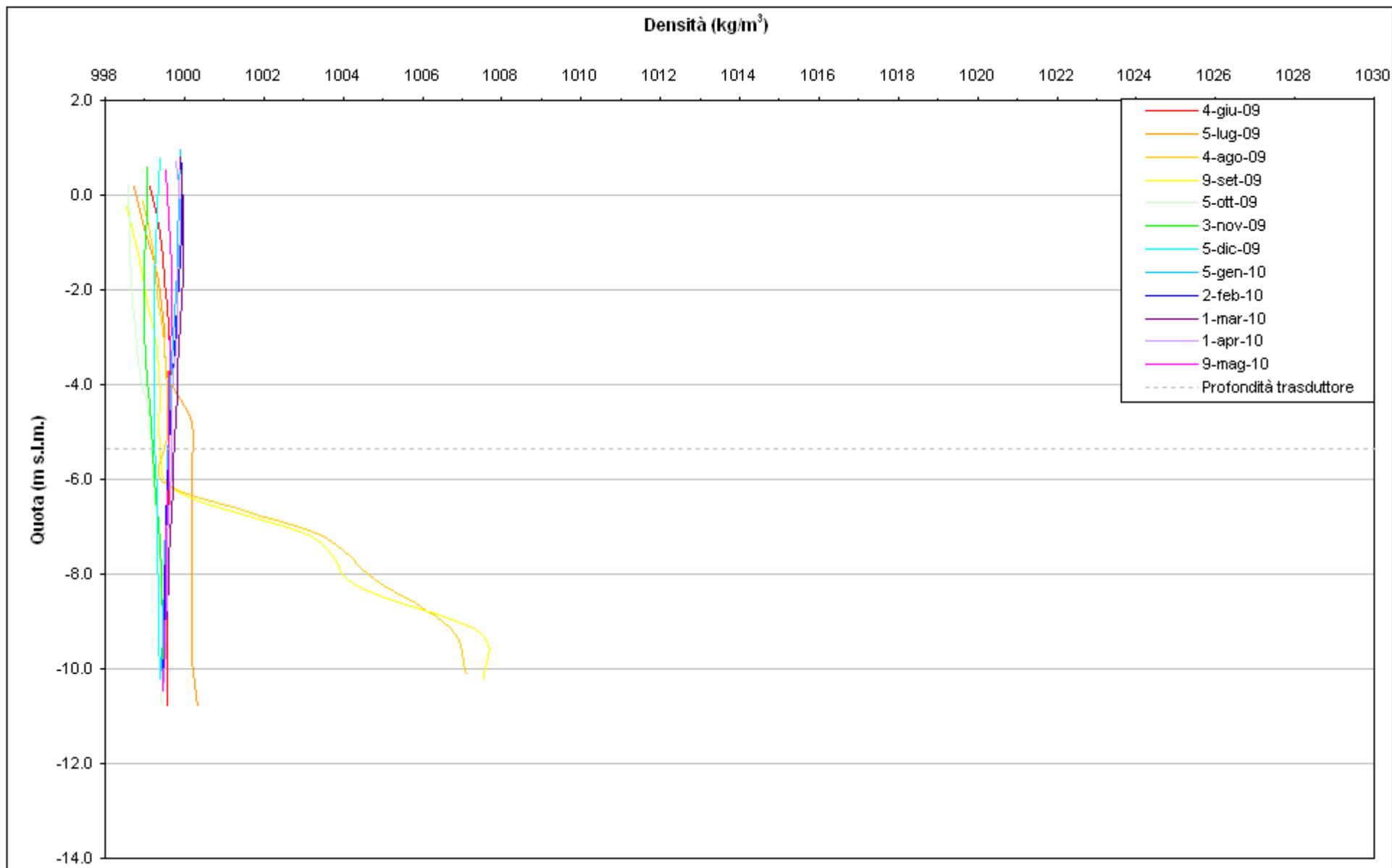


Fig. 2.89 - Profili verticali di densità PS09.

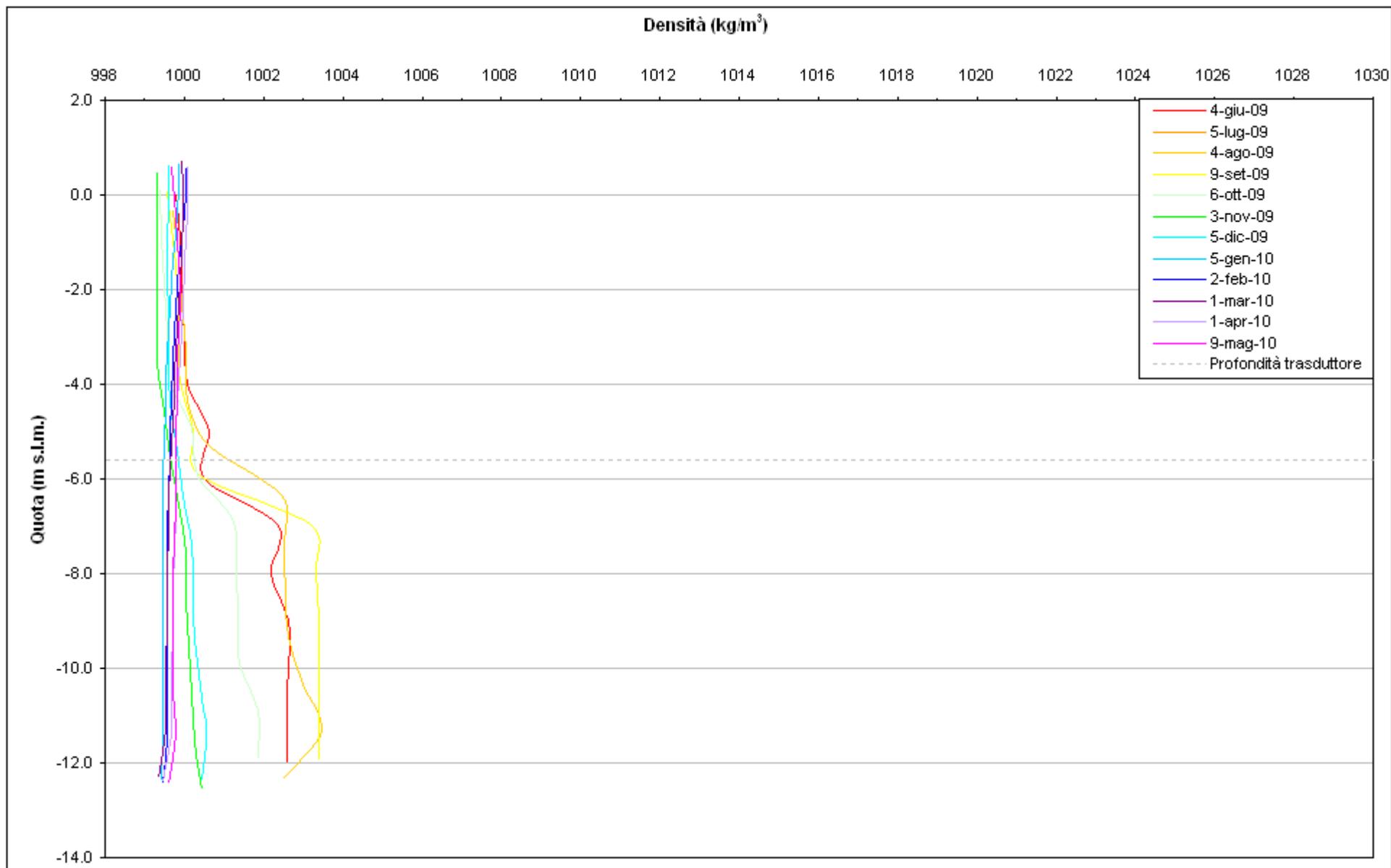


Fig. 2.90 - Profili verticali di densità PS10.

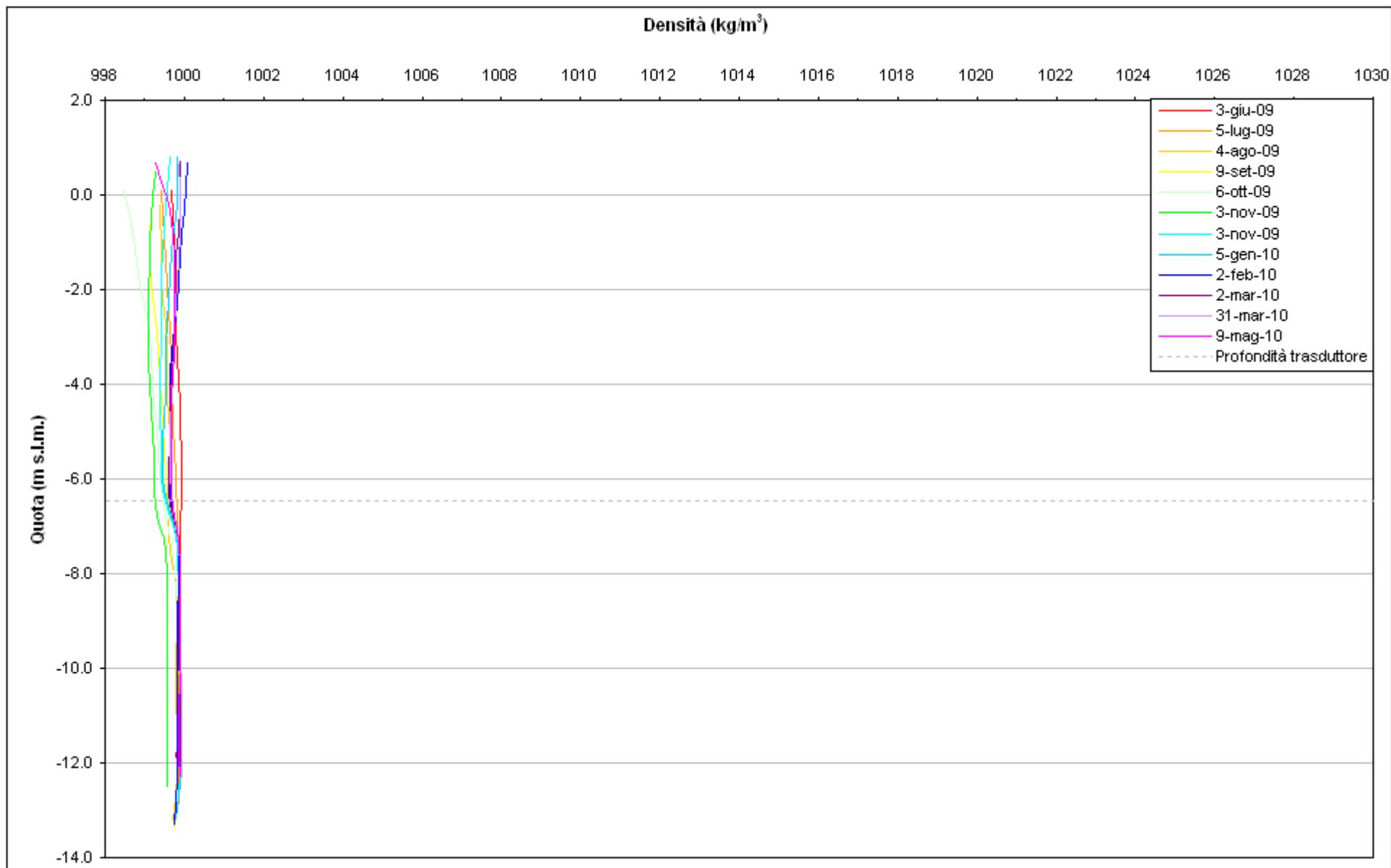


Fig. 2.91 - Profili verticali di densità PS11.

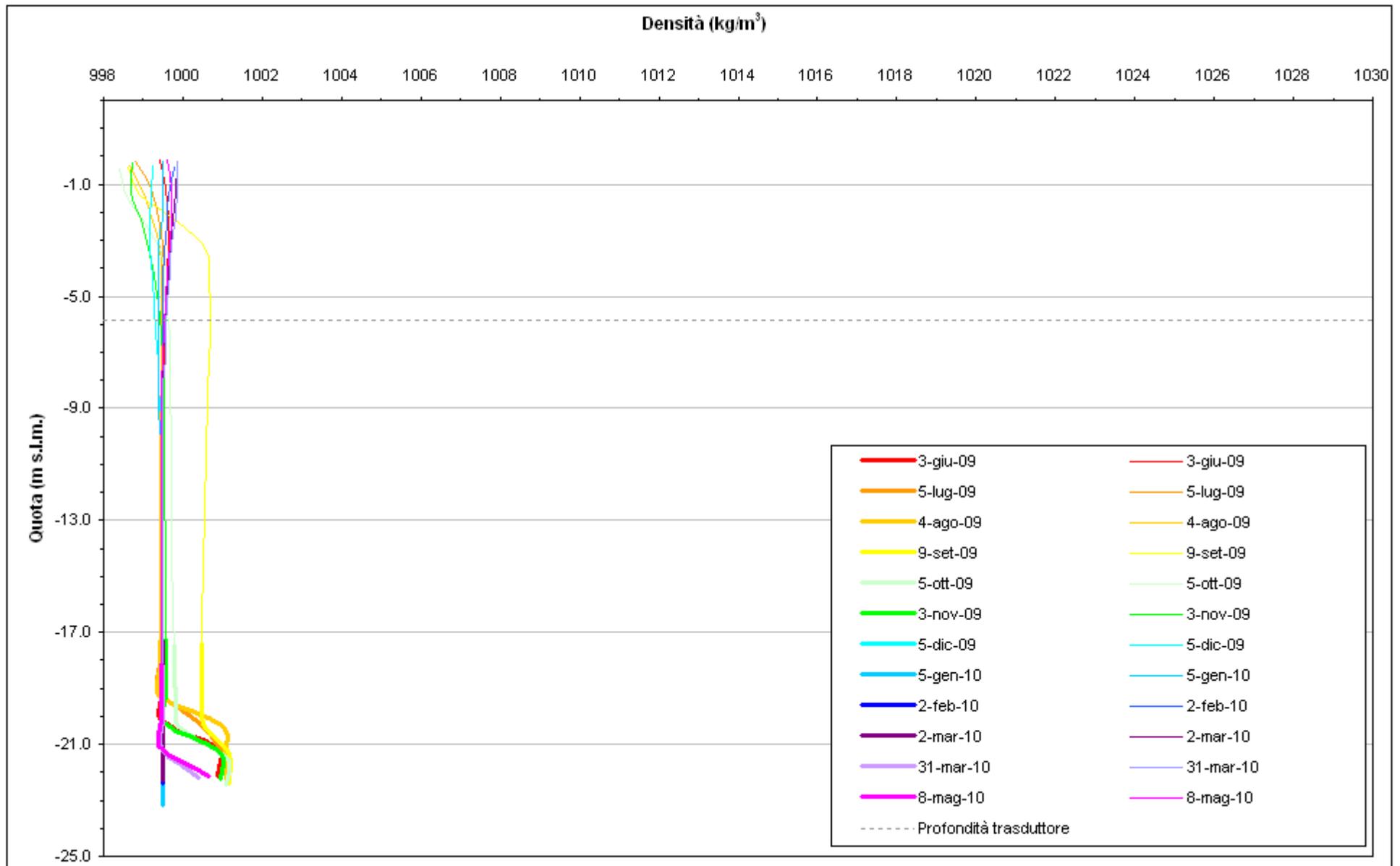


Fig. 2.92 - Profili verticali di densità PP01.

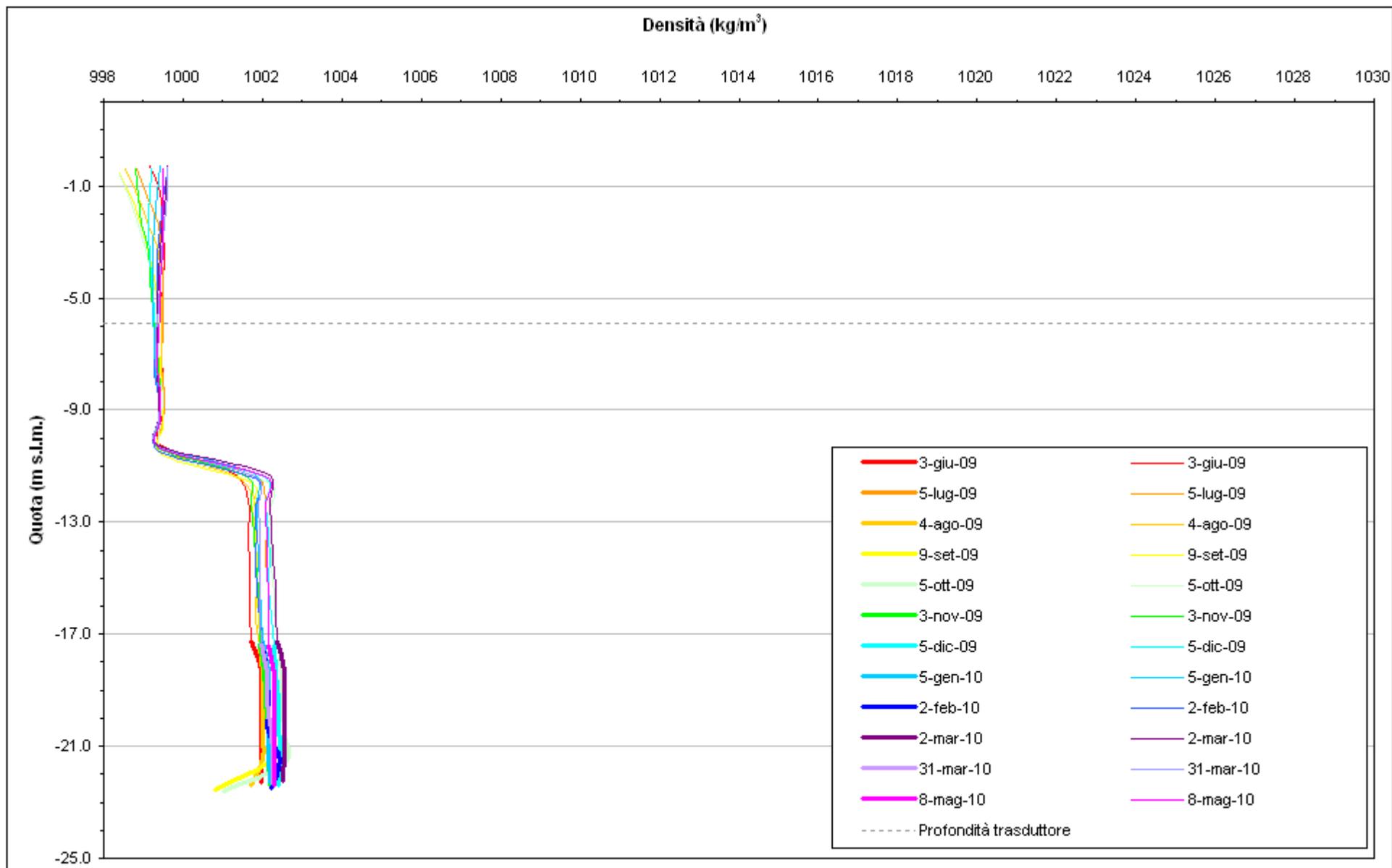


Fig. 2.93 - Profili verticali di densità PP02.

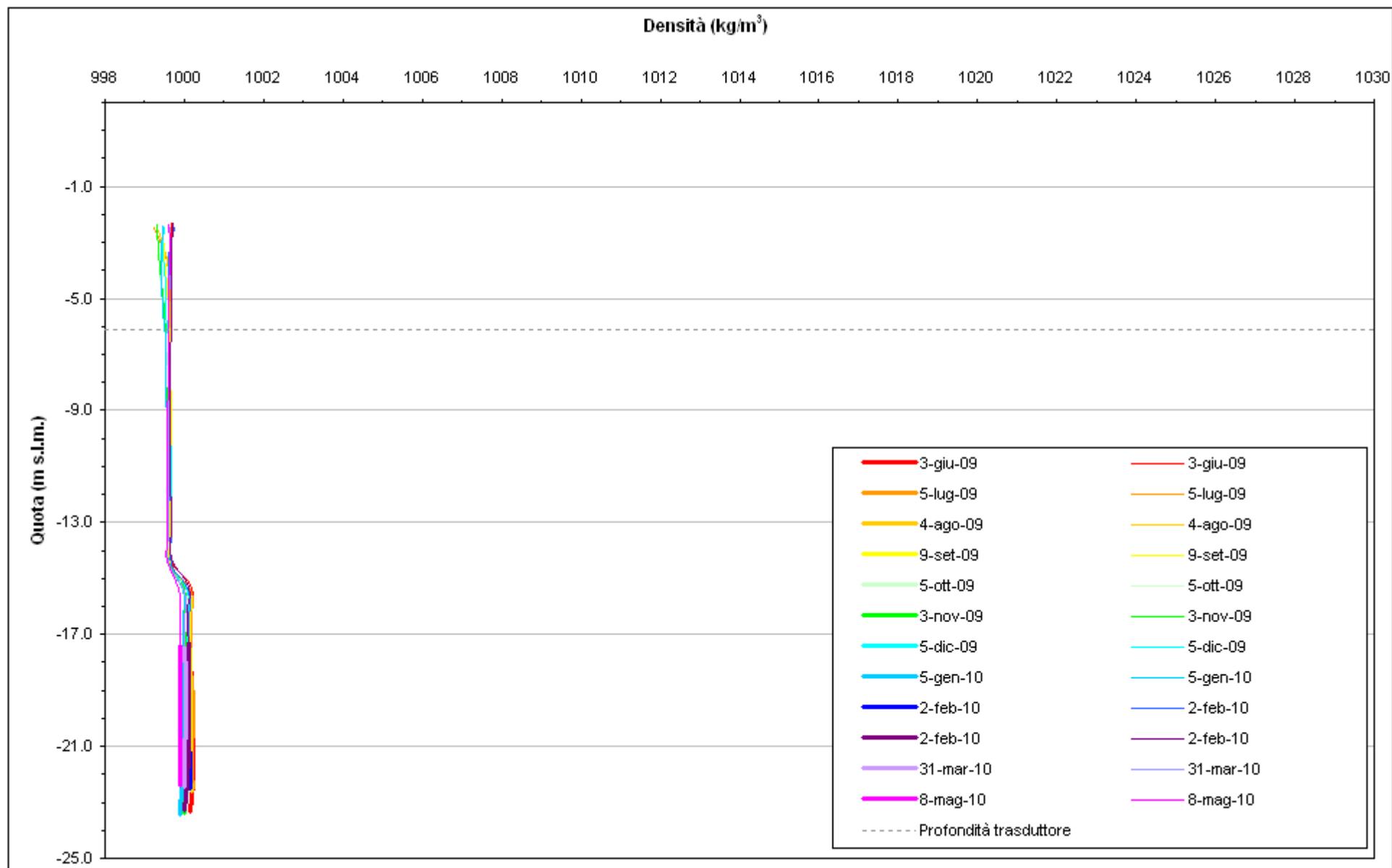


Fig. 2.94 - Profili verticali di densità PP03.

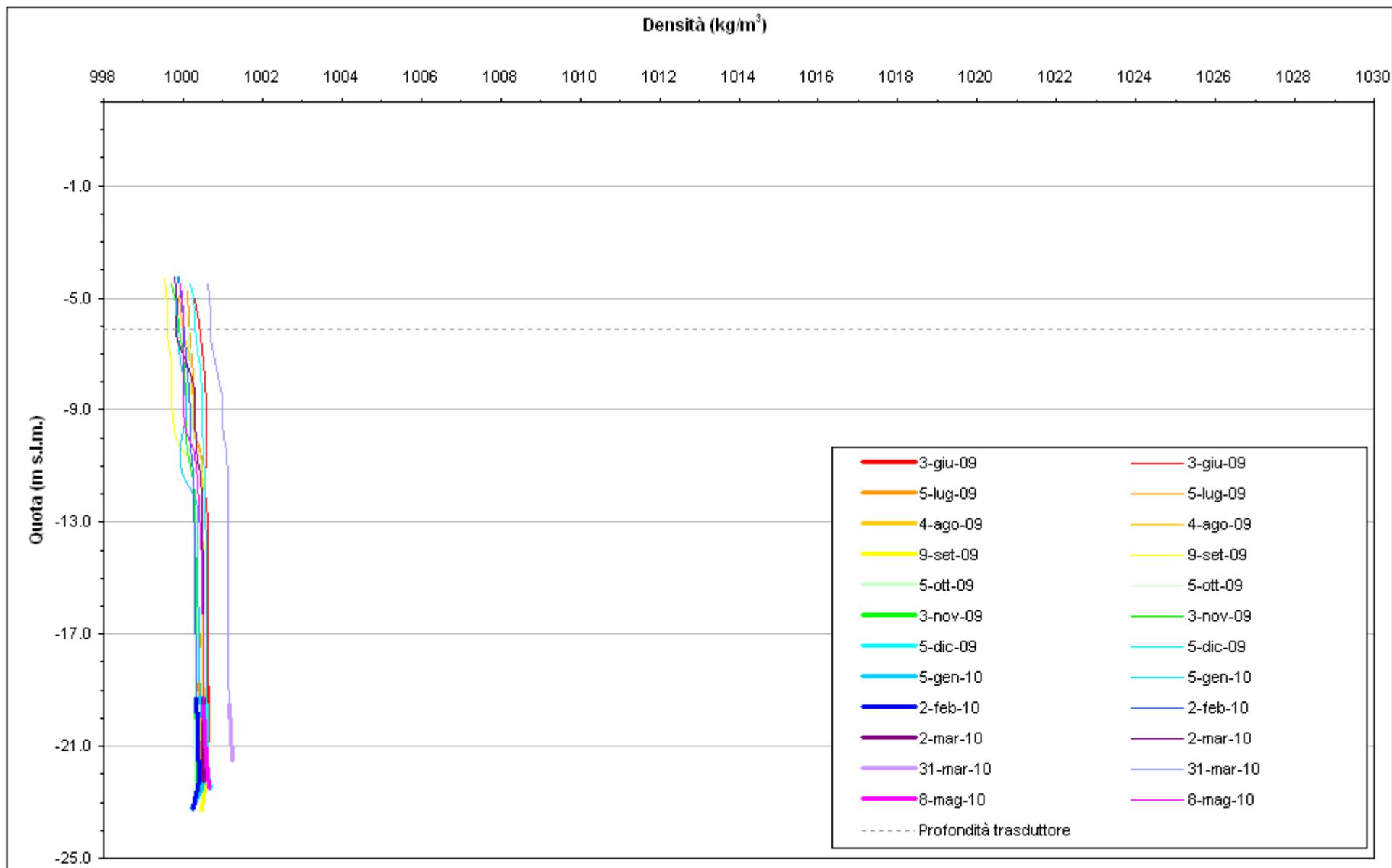


Fig. 2.95 - Profili verticali di densità PP04.

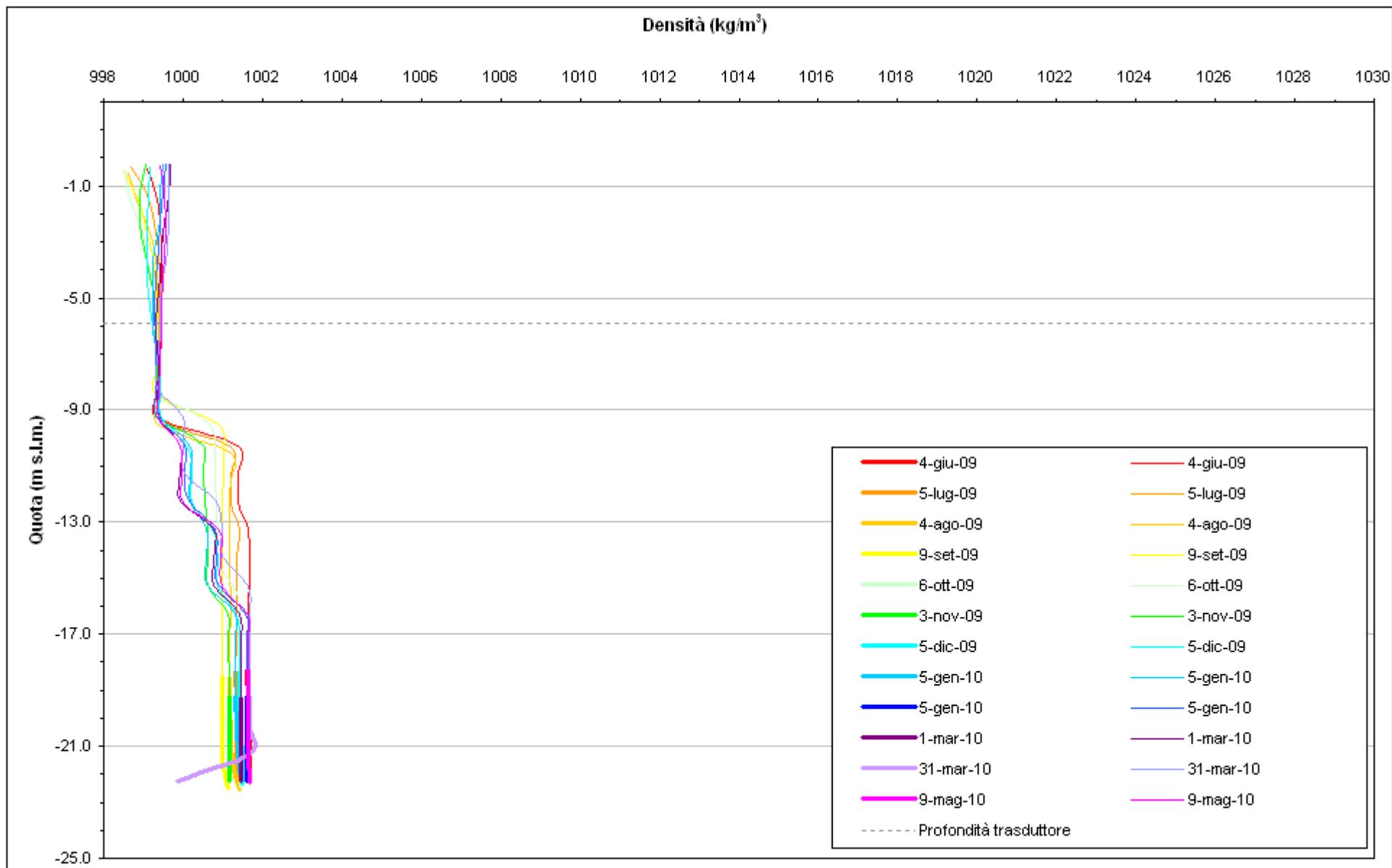


Fig. 2.96 - Profili verticali di densità PP05.

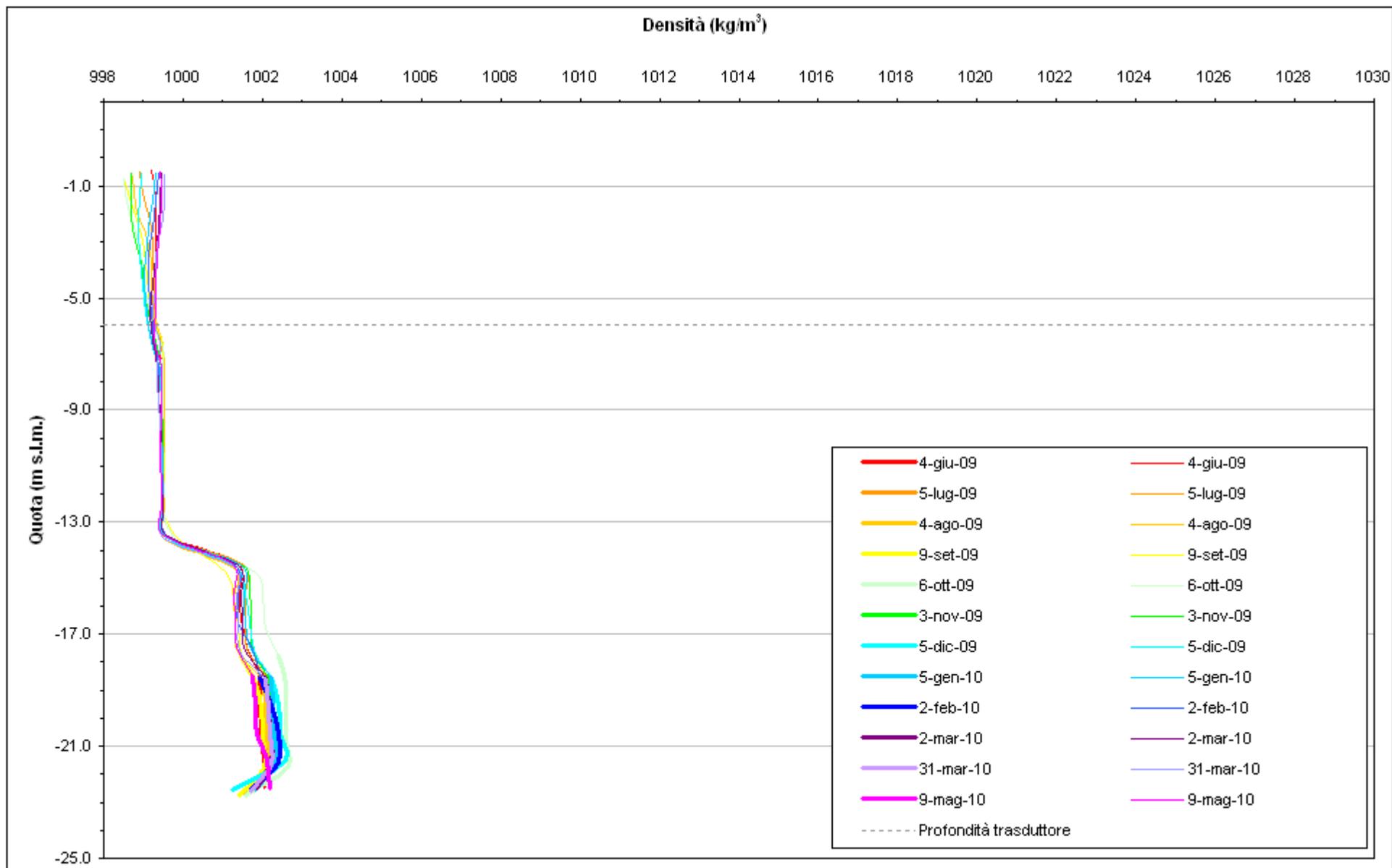


Fig. 2.97 - Profili verticali di densità PP06.

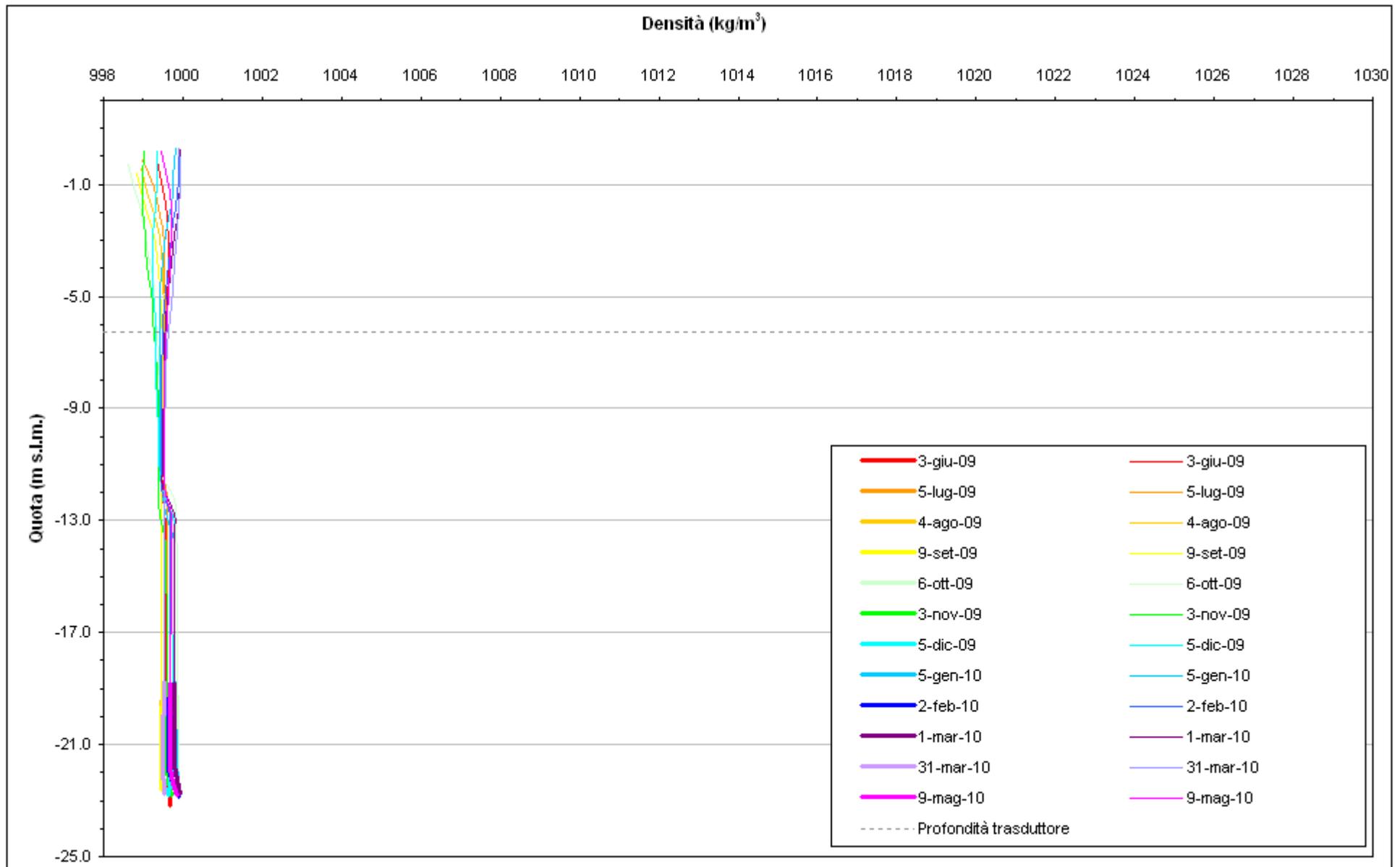


Fig. 2.98 - Profili verticali di densità PP07.

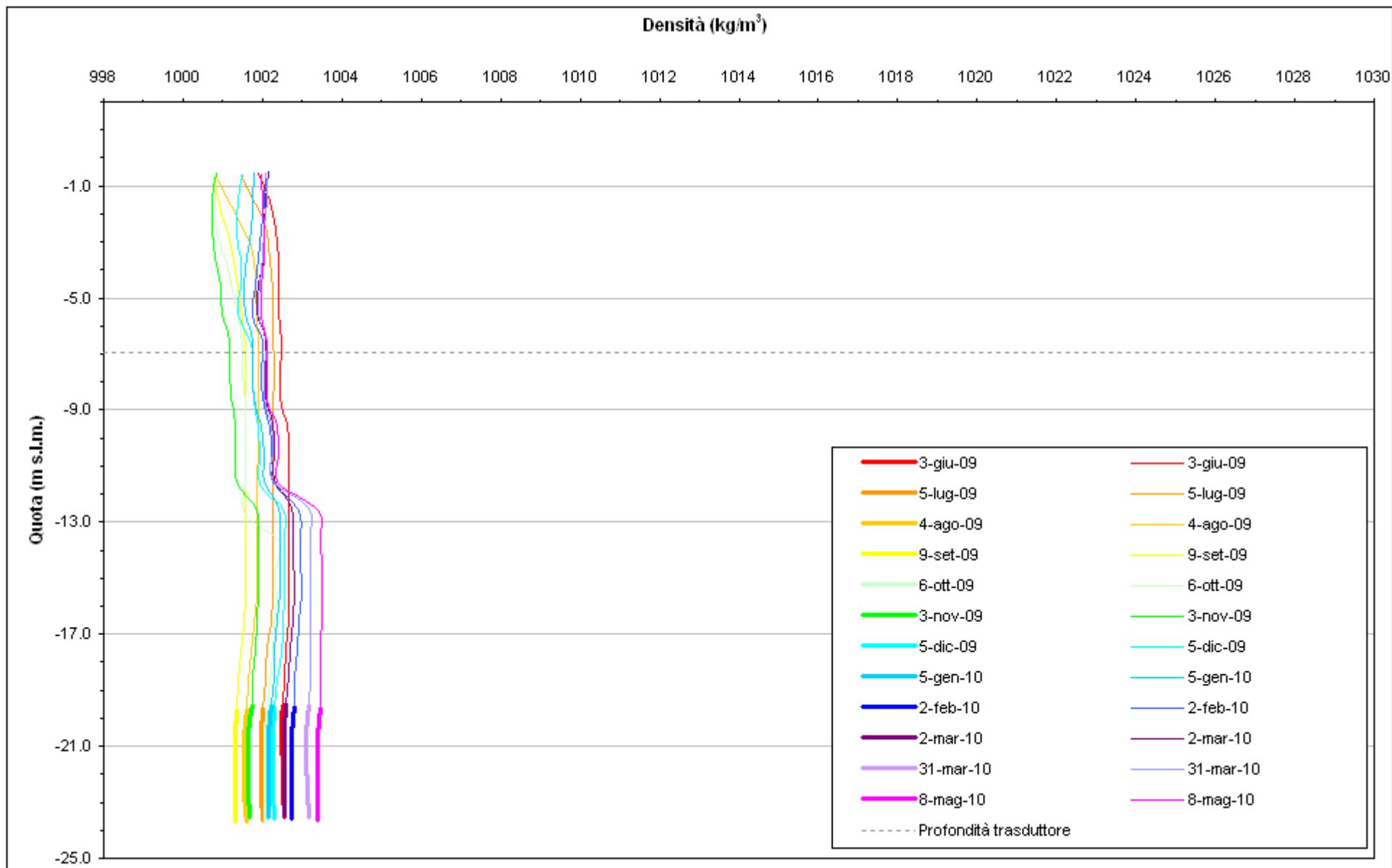


Fig. 2.99 - Profili verticali di densità PP08.

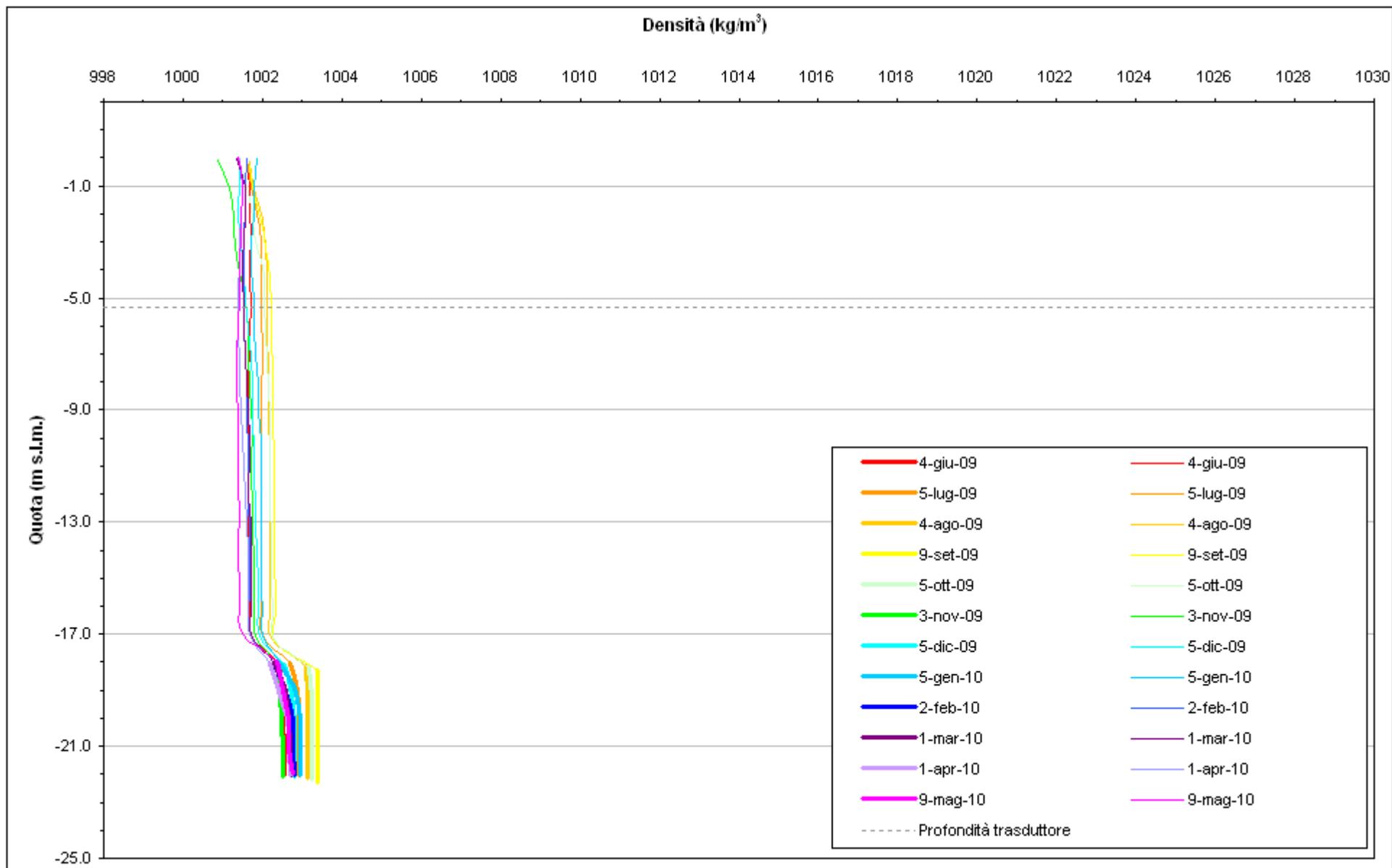


Fig. 2.100 - Profili verticali di densità PP09.

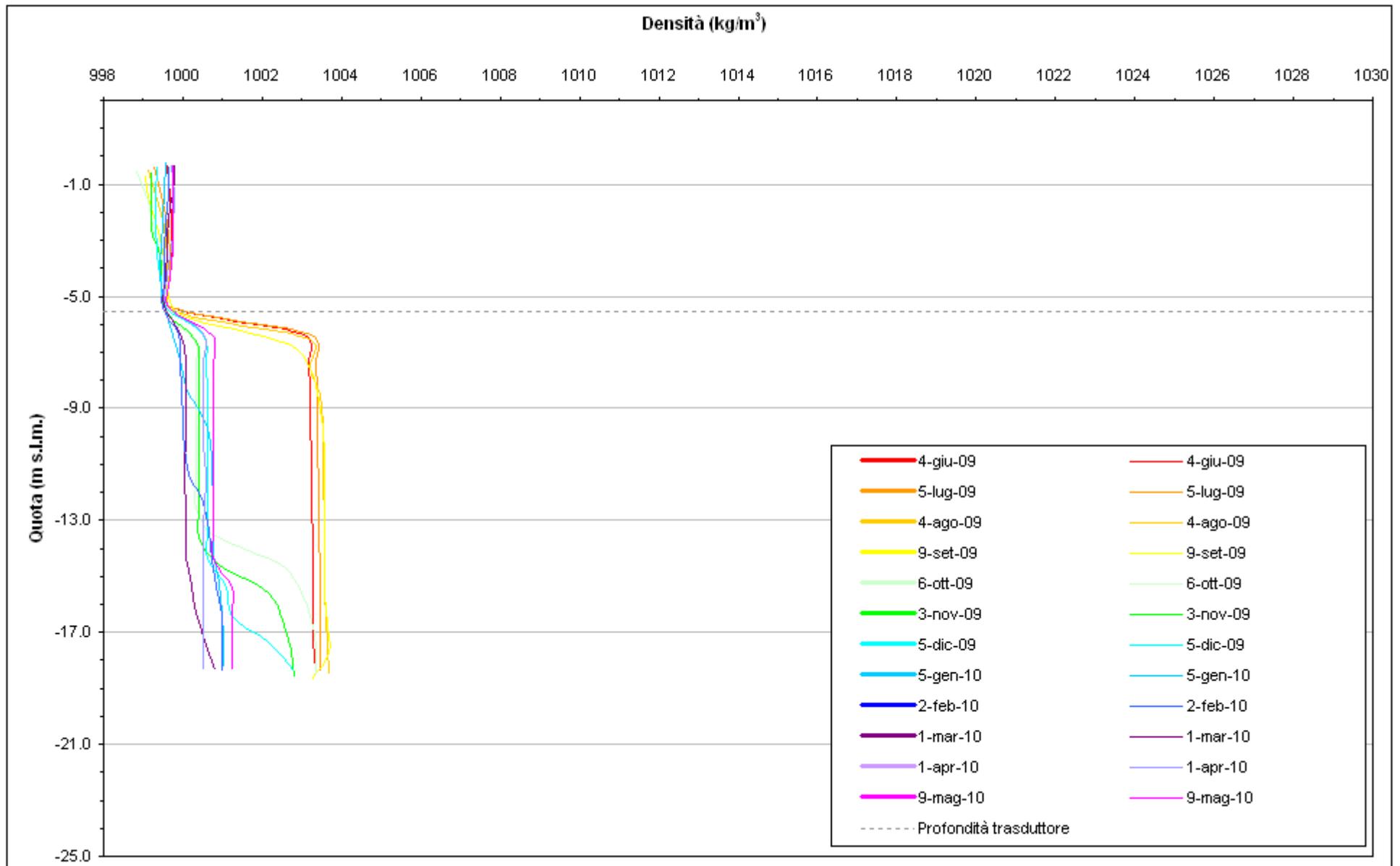


Fig. 2.101 - Profili verticali di densità PP10.

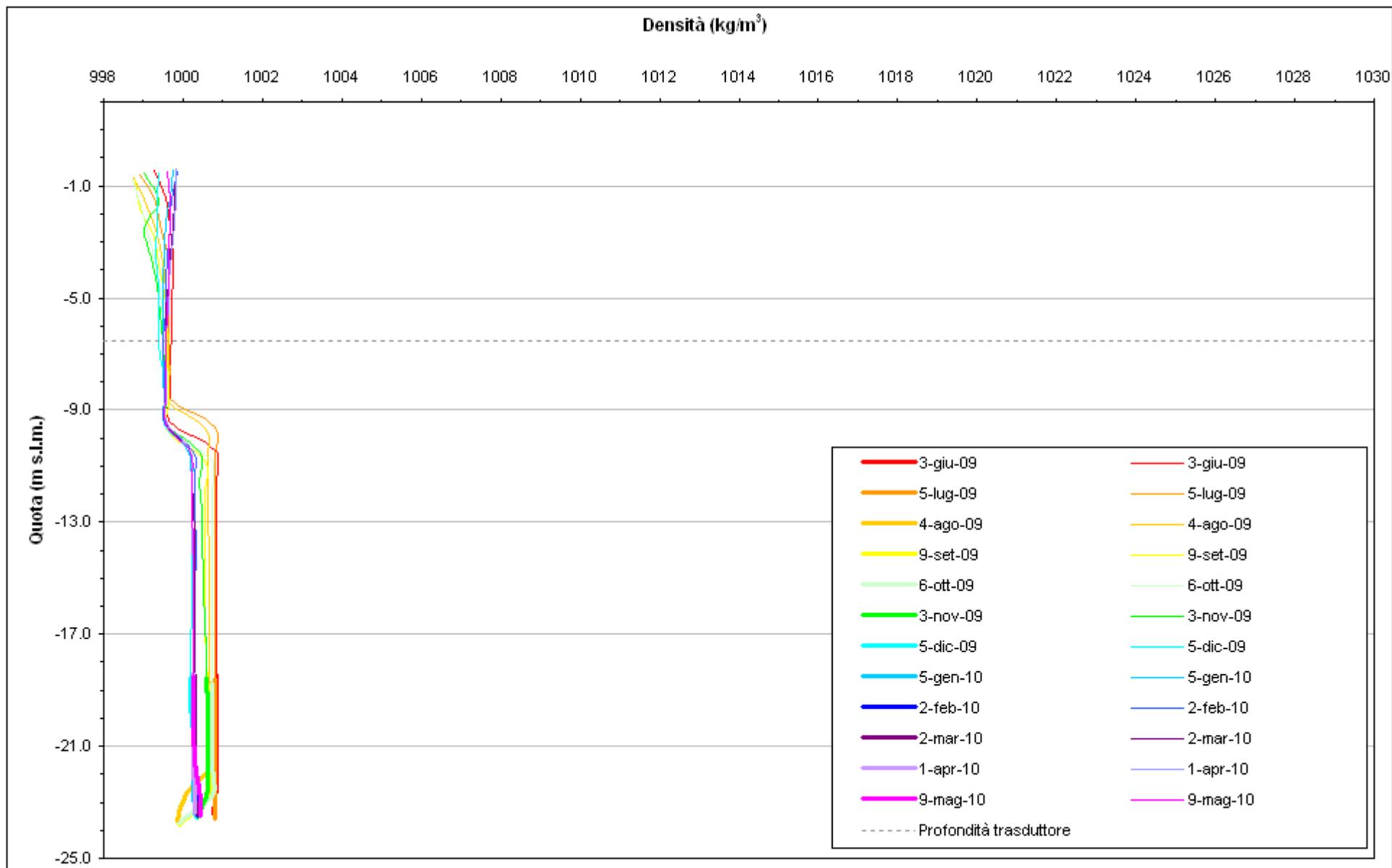


Fig. 2.102 - Profili verticali di densità PP11.

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. Nei mesi estivi, i livelli della falda superficiale sono inferiori al livello medio del mare, pertanto il flusso di falda è diretto dal mare verso la terraferma, come dimostrato dalla rappresentazione grafica della piezometria (Cap.2.5). Rispetto al precedente anno di monitoraggio, i livelli di falda sono diminuiti di 20-60 cm circa a causa della diminuzione delle precipitazioni nell'area di Punta Sabbioni (maggio 2009 - aprile 2010: 876.4 mm; maggio 2008 - aprile 2009: 1185.6 mm). 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 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 variazioni diminuiscono con la distanza dalla tura e sono inferiori a 1m. Rispetto alla situazione *ante operam*, gli abbassamenti di carico idraulico nell'acquifero profondo osservati nel periodo maggio 2009 - aprile 2010 sono in linea con i valori registrati nel precedente periodo di monitoraggio (maggio 2008 - aprile 2009).

Nel periodo monitorato, si sono 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; i dati relativi a tali portate non sono però stati resi disponibili alla Matrice Suolo.

**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 2009 e il 30 aprile 2010.

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.

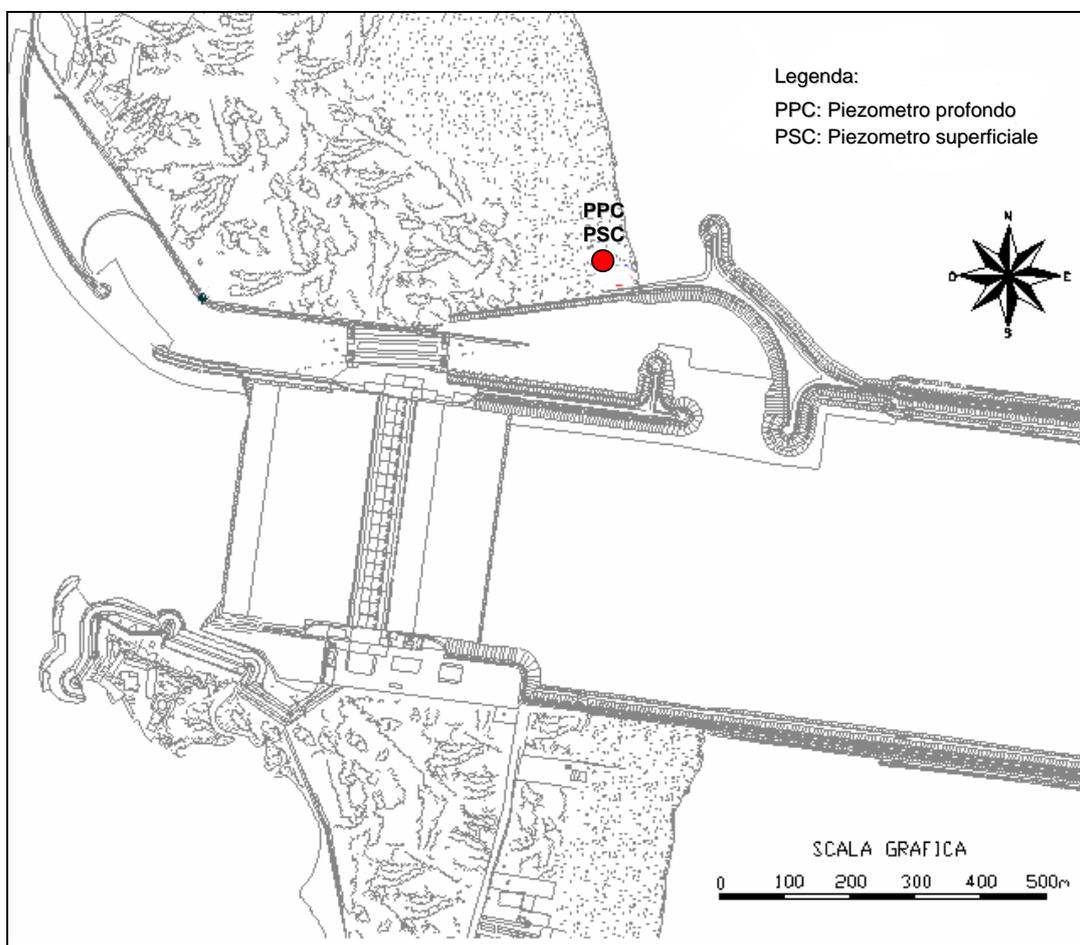


Fig. 3.1- Ubicazione dei piezometri

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 “Ceppe” situata alla bocca Nord di Malamocco e, per il mese di dicembre 2009, dalla stazione meteorologica “ARPAV - Chioggia”;
- oscillazioni mareali registrate dal mareografo Diga Sud Chioggia (stazione di monitoraggio meteo-marino 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 “Ceppe” di Malamocco per tutto il periodo monitorato, ad eccezione del mese di dicembre 2009 nel quale 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) |
|-------------|------------|-------------|
| 02-05/05/09 | 70 | 18.3 |
| 31/05/09 | 2 | 9.2 |
| 04-05/06/09 | 4 | 14.7 |
| 07/06/09 | 2 | 5.2 |
| 20/06/09 | 9 | 25.2 |
| 27/06/09 | 11 | 28 |
| 08/07/09 | 3 | 14.2 |
| 29-30/08/09 | 18 | 12.9 |
| 14-16/09/09 | 72 | 95 |
| 10/10/09 | 4 | 25.0 |
| 21-22/10/09 | 21 | 13.4 |
| 23-24/10/09 | 15 | 15.7 |
| 02-03/11/09 | 24 | 12.2 |
| 08-09/11/09 | 41 | 51.7 |
| 26/11/09 | 2 | 9.7 |
| 04-05/12/09 | 48 | 45.8 |
| 07-08/12/09 | 48 | 14.4 |
| 21-25/12/09 | 120 | 42.6 |
| 30-31/12/09 | 48 | 8 |
| 02/01/10 | 10 | 10.9 |
| 05/01/10 | 15 | 8.3 |
| 08/01/10 | 9 | 9.1 |
| 31/01/10 | 5 | 6.7 |
| 05-06/02/10 | 29 | 51.6 |
| 10/02/10 | 14 | 7.7 |
| 17-18/02/10 | 14 | 7.7 |
| 19/02/10 | 14 | 26.4 |

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

| DATA | DURATA (h) | ENTITÀ (mm) |
|-------------|------------|-------------|
| 26/02/10 | 13 | 5.9 |
| 03-04/03/10 | 16 | 20 |
| 09-10/03/10 | 25 | 7.4 |
| 22-23/03/10 | 25 | 8.2 |
| 01/04/10 | 9 | 10.8 |
| 04-05/04/10 | 9 | 19.2 |
| 17-18/04/10 | 12 | 6 |

3.2.1.2 Livello del mare

Nelle Fig.3.4-3.5 è tracciato l'andamento del livello del mare registrato dal mareografo Diga Sud Chioggia durante il mese di monitoraggio. I dati riportati sono riferiti alla Rete Altimetrica dello Stato "Genova 1942" e sono caratterizzati da una frequenza di acquisizione oraria nell'intero periodo monitorato. Nei giorni 13-17/12/09 si osserva un'anomalia nella serie temporale dei livelli del mare, attribuibile a problemi di funzionamento del mareografo.

3.2.1.3 Pressione atmosferica - h_p

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.

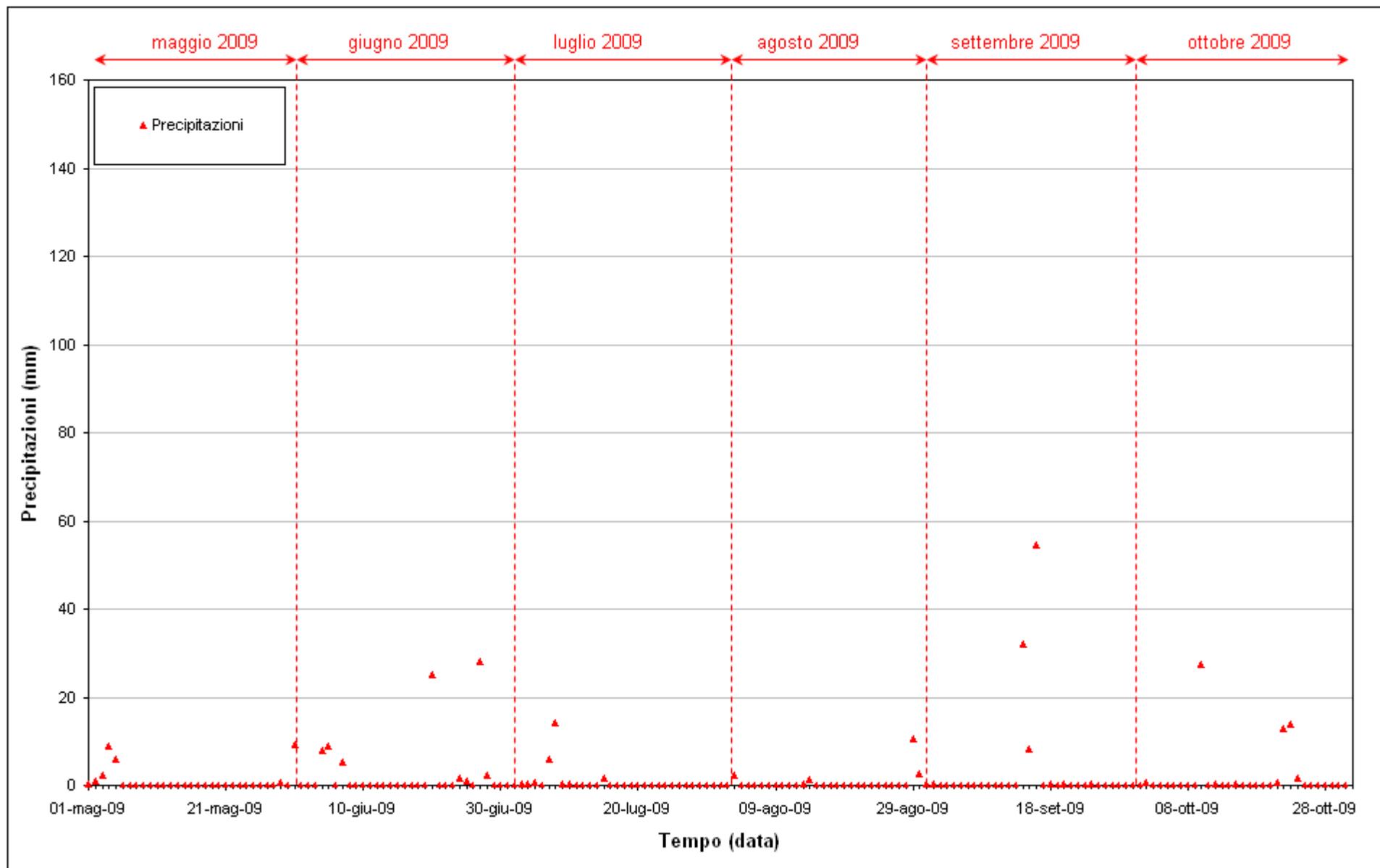


Fig. 3.2 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

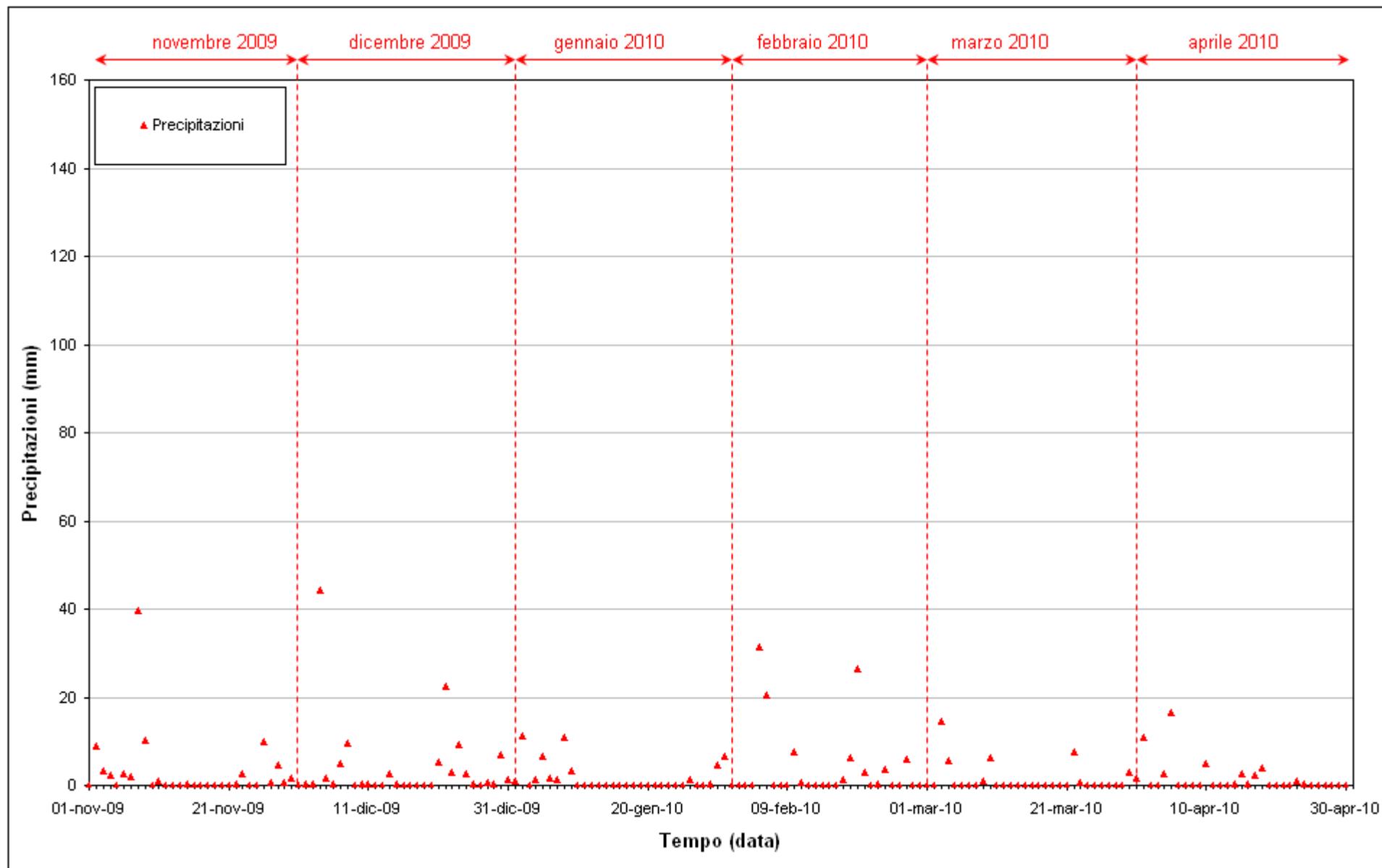


Fig. 3.3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

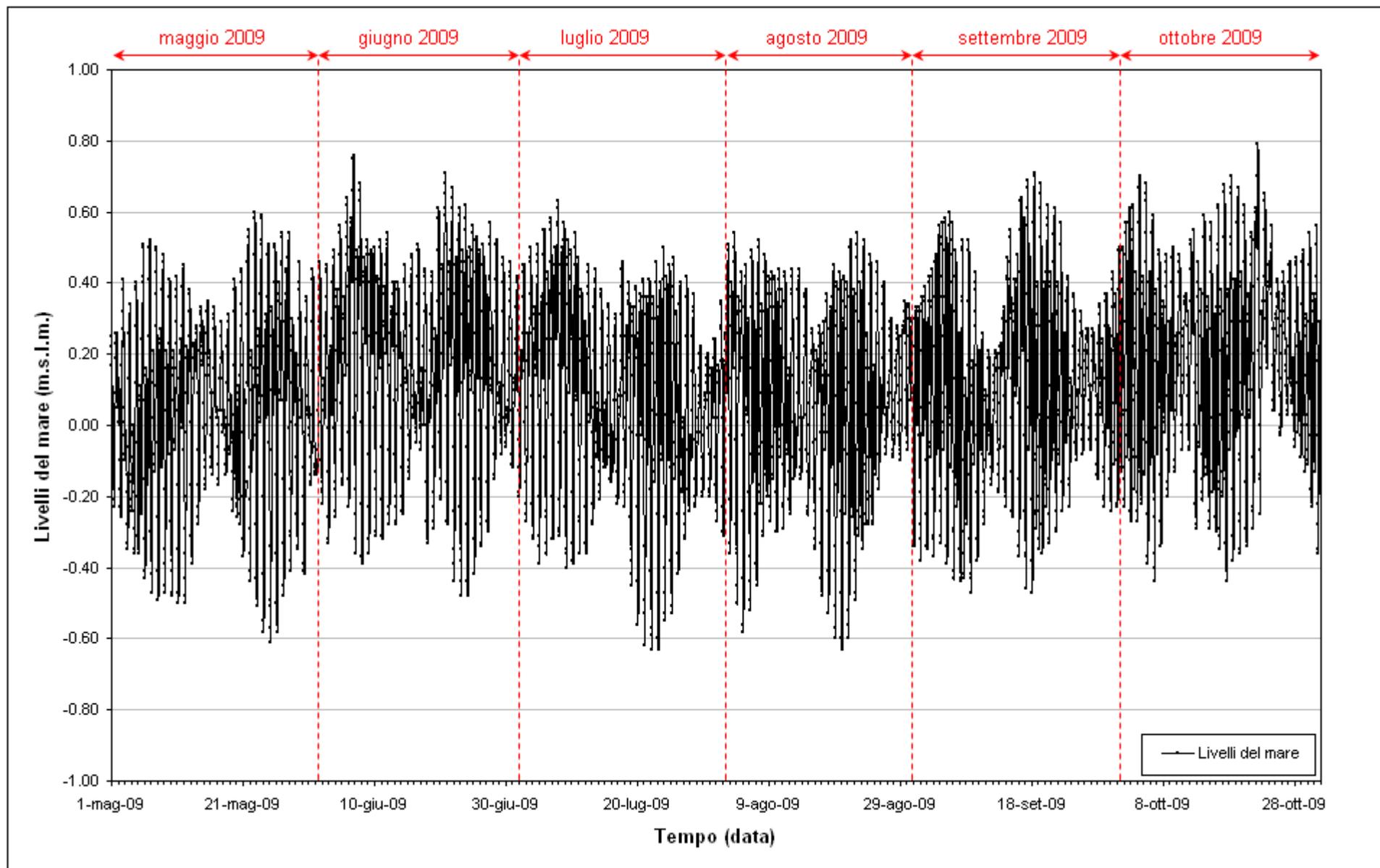


Fig. 3.4 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

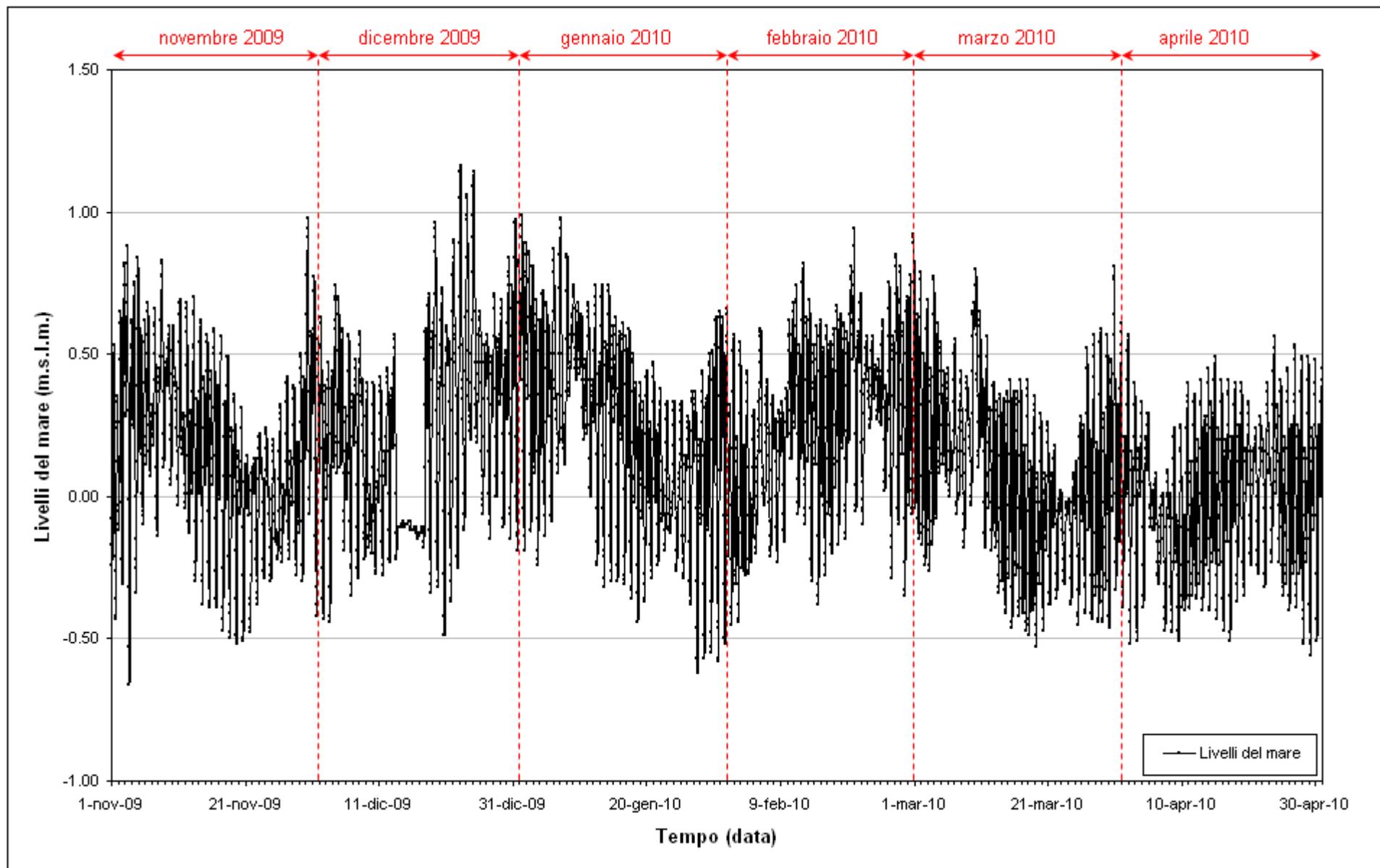


Fig. 3.5 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

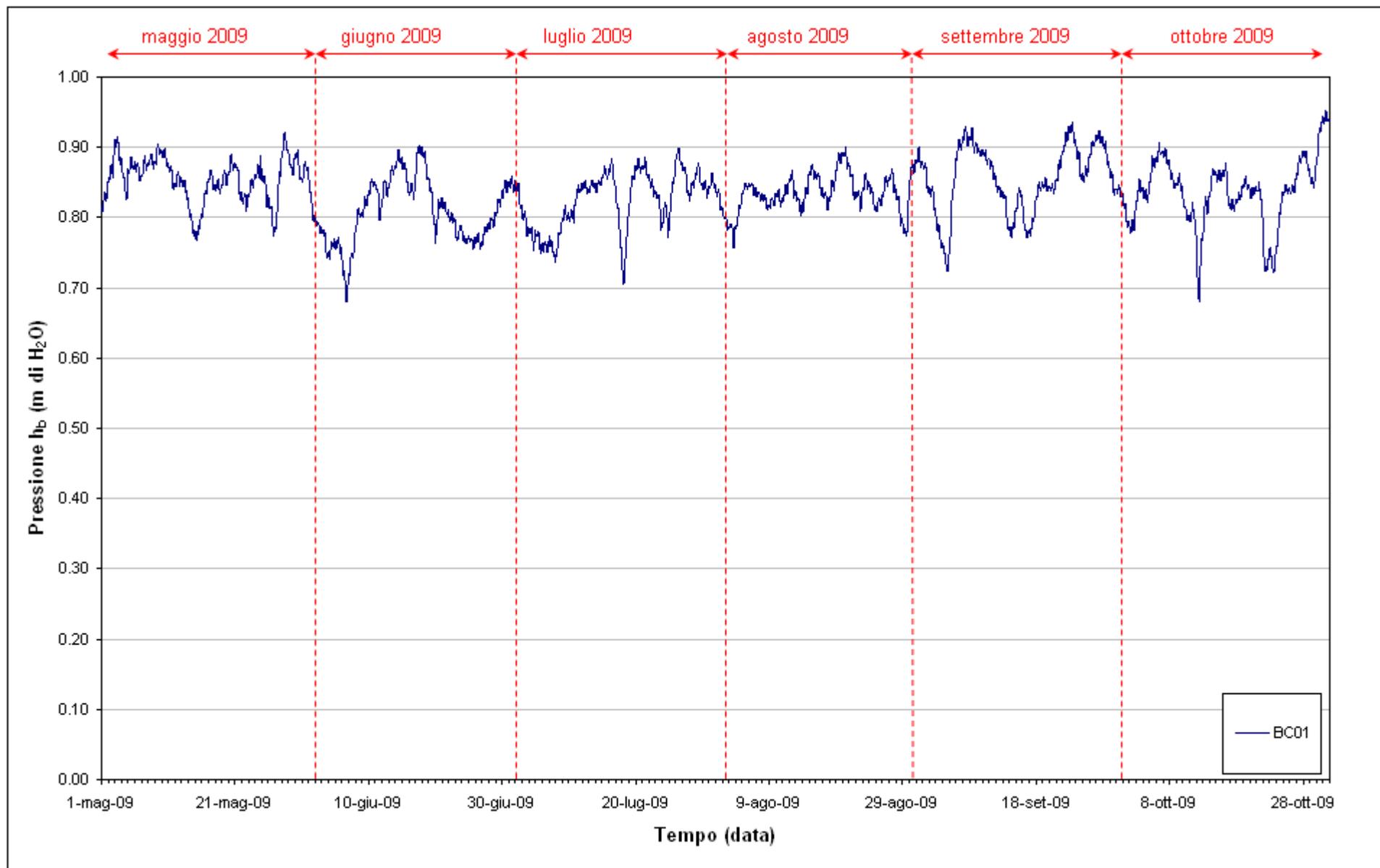


Fig. 3.6 - Tracciato di misura del Barologger BC01 (h_b) nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

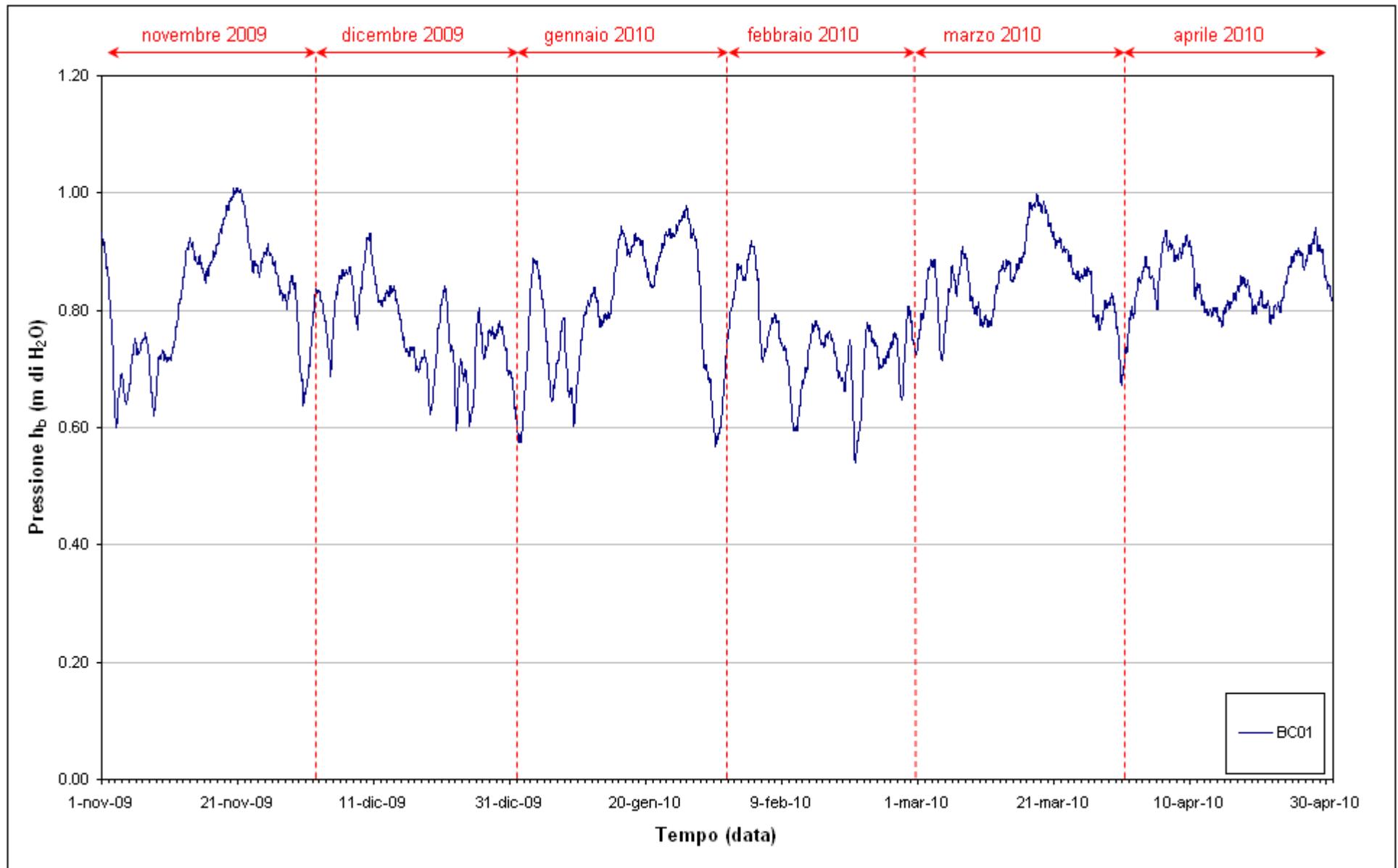


Fig. 3.7 - Tracciato di misura del Barologger BC01 (h_b) nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

3.2.2 Piezometro superficiale – primo livello acquifero (Strato A)

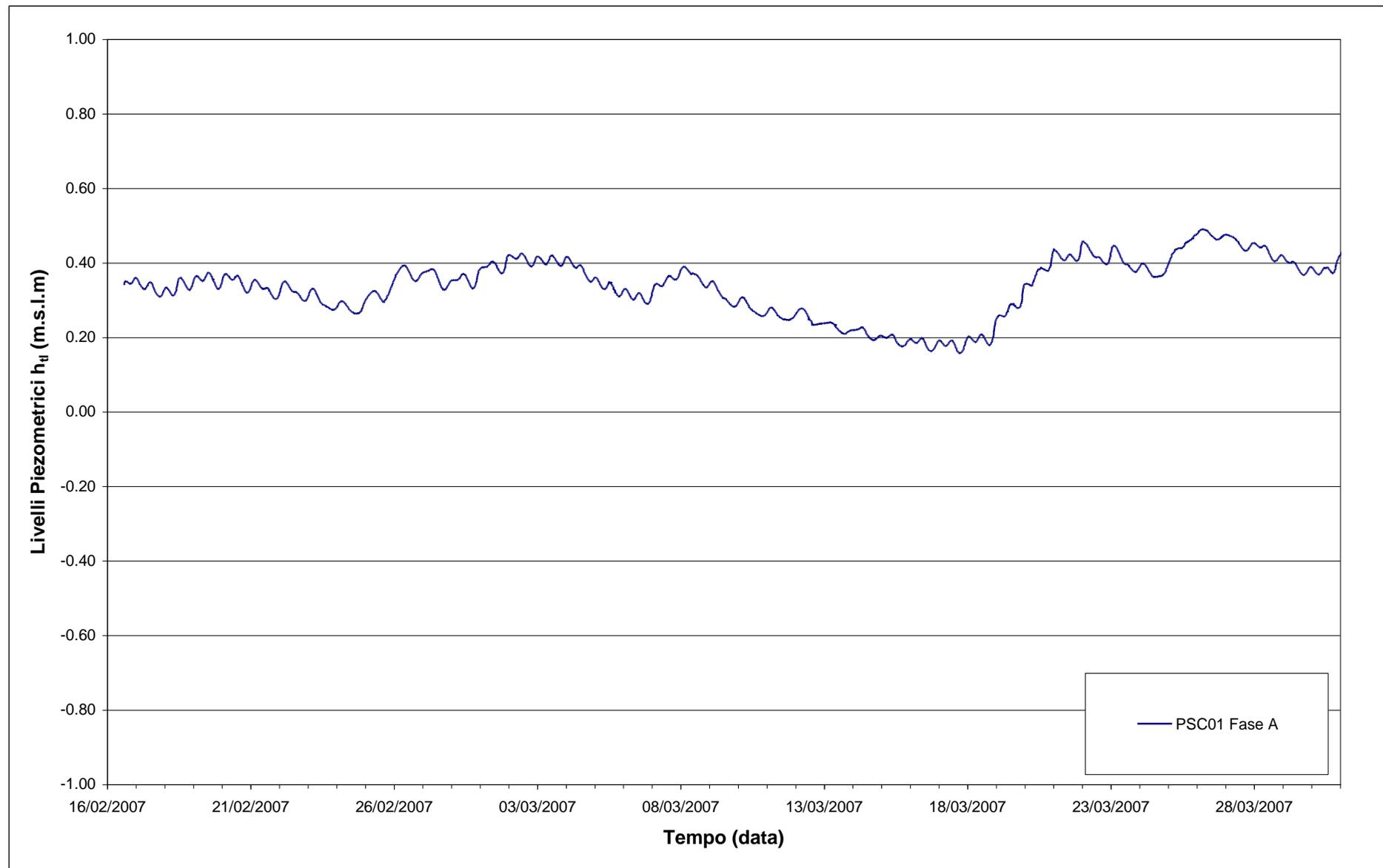
In questo capitolo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti relativi al piezometro superficiale PSC01, finestrato in corrispondenza del primo livello acquifero (Strato A).

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 (01/05/09 – 30/04/10) si osserva una lieve diminuzione del livello di falda (circa 20 cm) in conseguenza di una leggera diminuzione delle precipitazioni piovose (maggio 2009 – aprile 2010: 753.7 mm; maggio 2008 – aprile 2009: 785.1 mm).

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

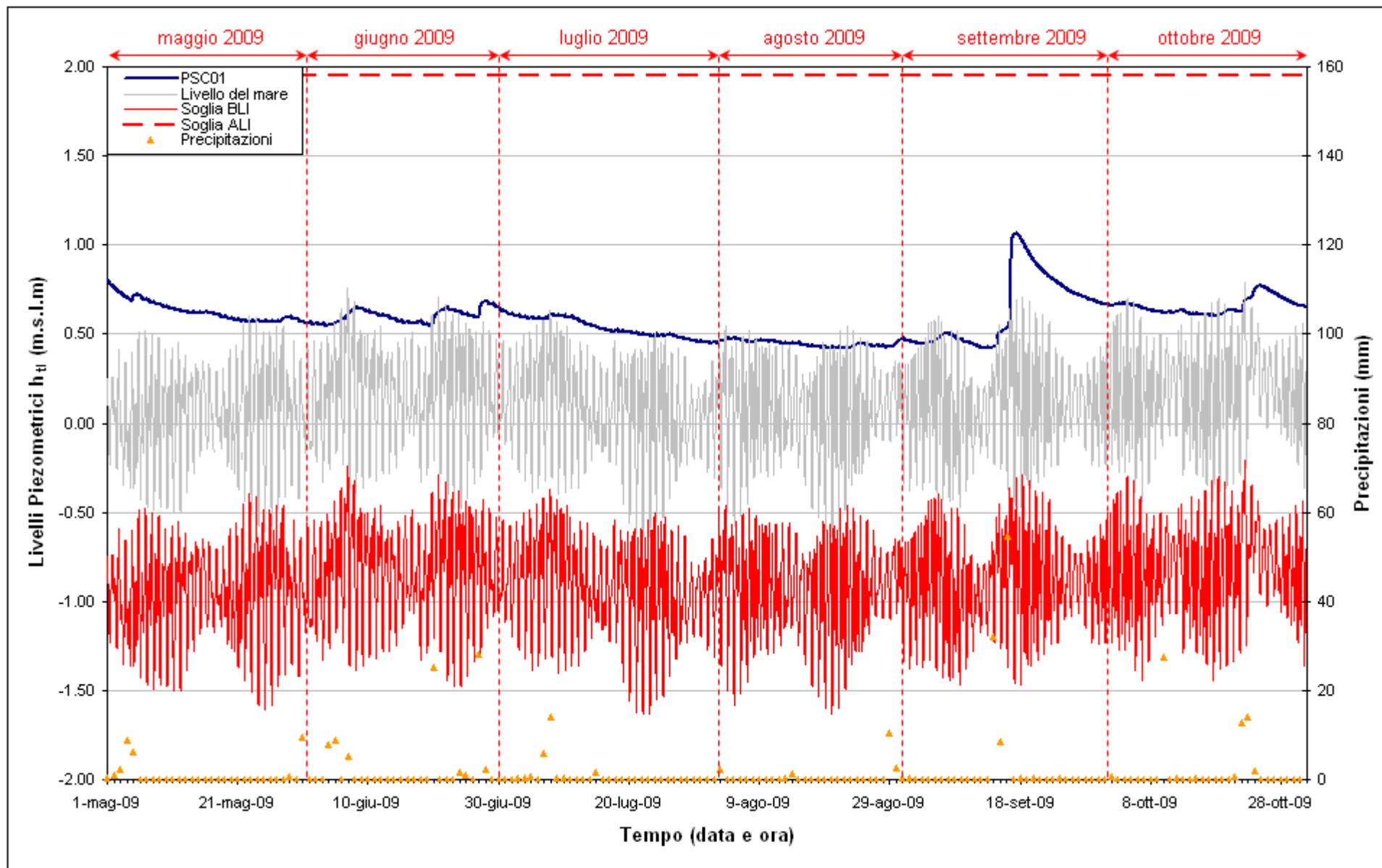


Fig. 3.9 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PSC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 – 31/10/2009.

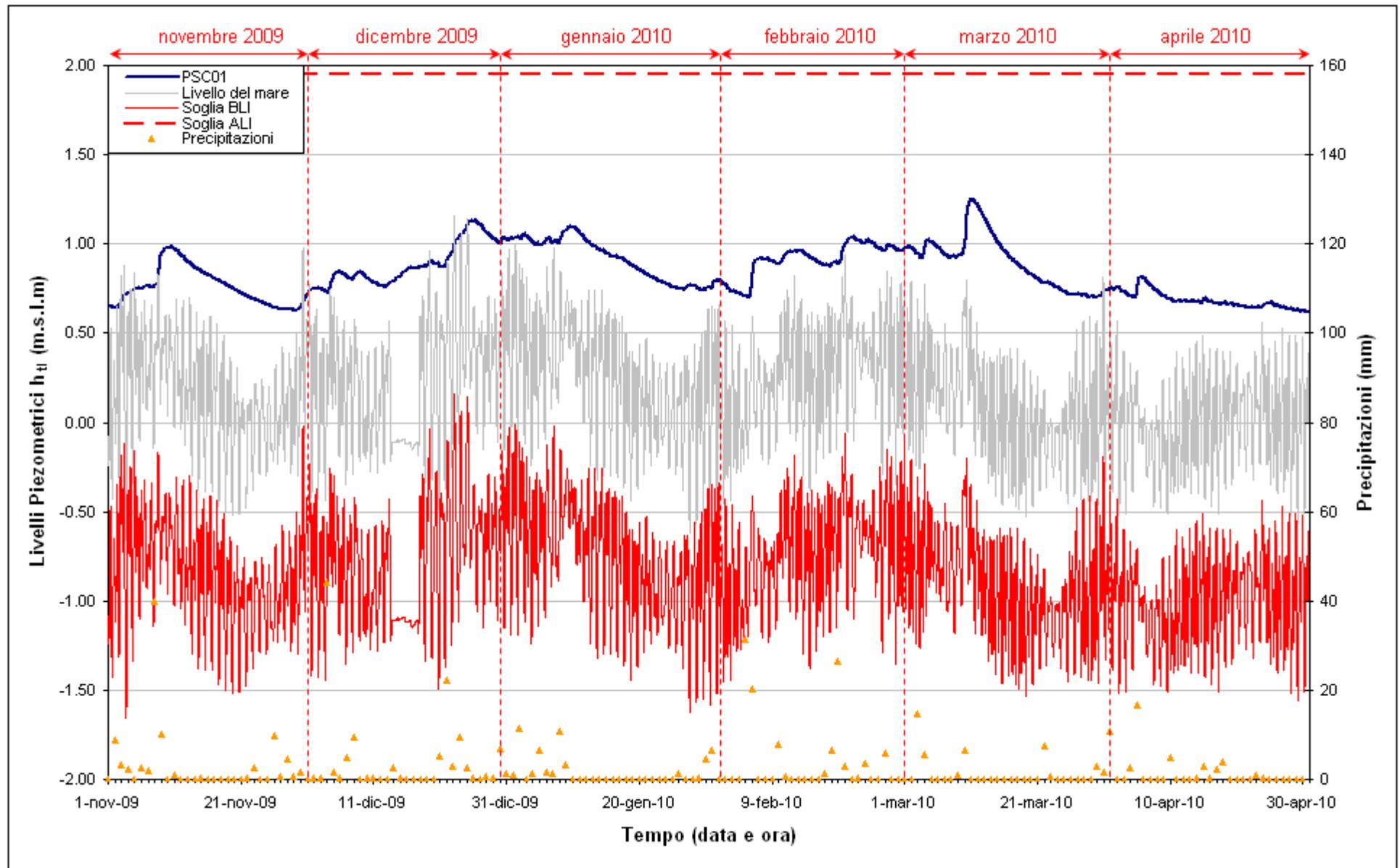


Fig. 3.10 - Livelli piezometrici (h_{θ}) relativi al piezometro superficiale PSC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

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).

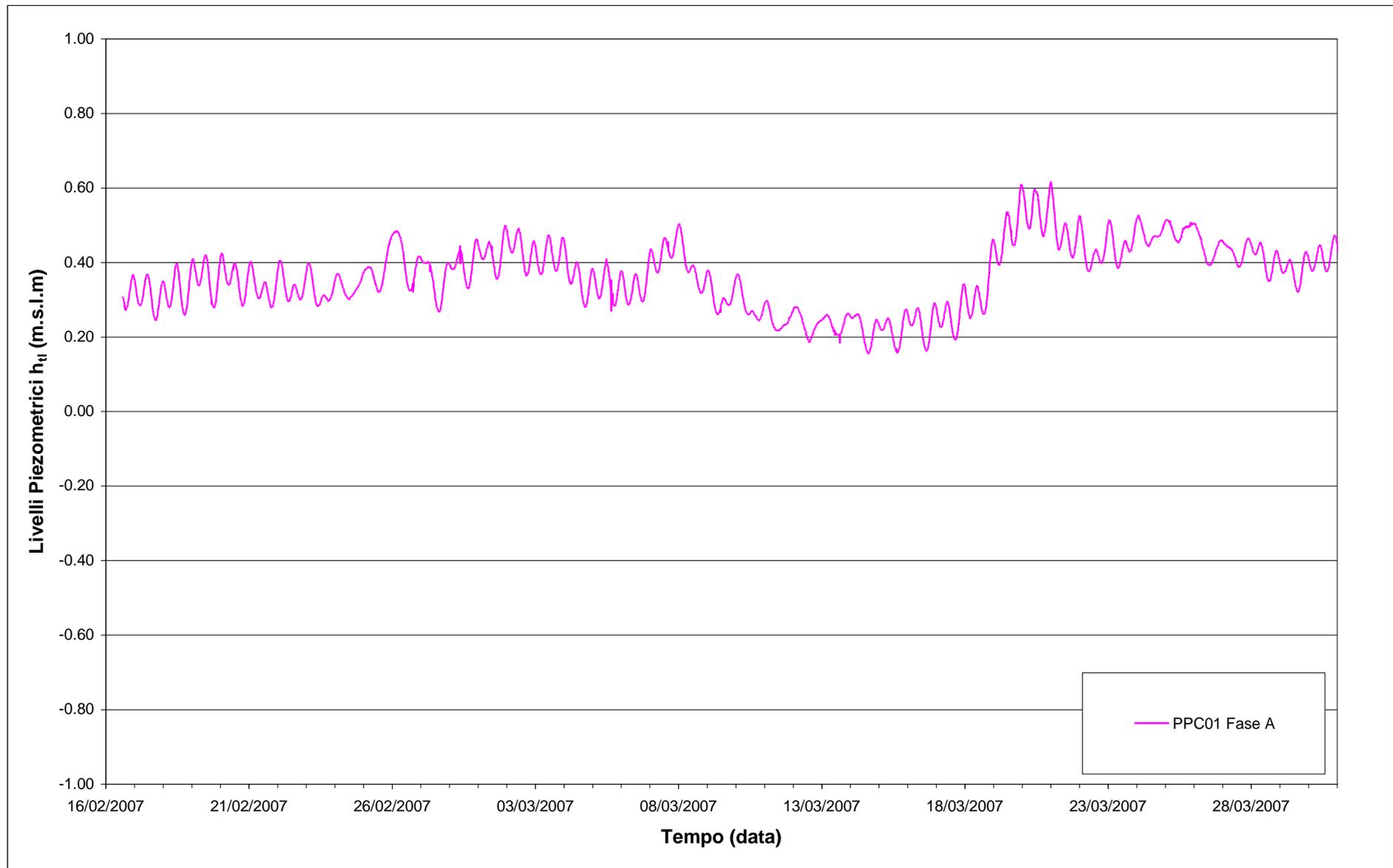
Nelle Figg.3.12-3.13 sono rappresentati singolarmente i livelli assoluti del piezometro PPC01, associati alle relative soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo ed alle forzanti naturali (precipitazioni e oscillazioni mareali).

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 5.5 m, simile a quello osservato nell'anno precedente di monitoraggio (vedi Rapporto Finale B.6.72-B4).

Nell'anno di monitoraggio (maggio 2009 – aprile 2010) i carichi idraulici sono sostanzialmente stabili, con lievi oscillazioni attribuibili a variazioni delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering della tura.

I dati relativi alle portate di pompaggio di dewatering non sono stati resi disponibili alla Matrice Suolo.

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

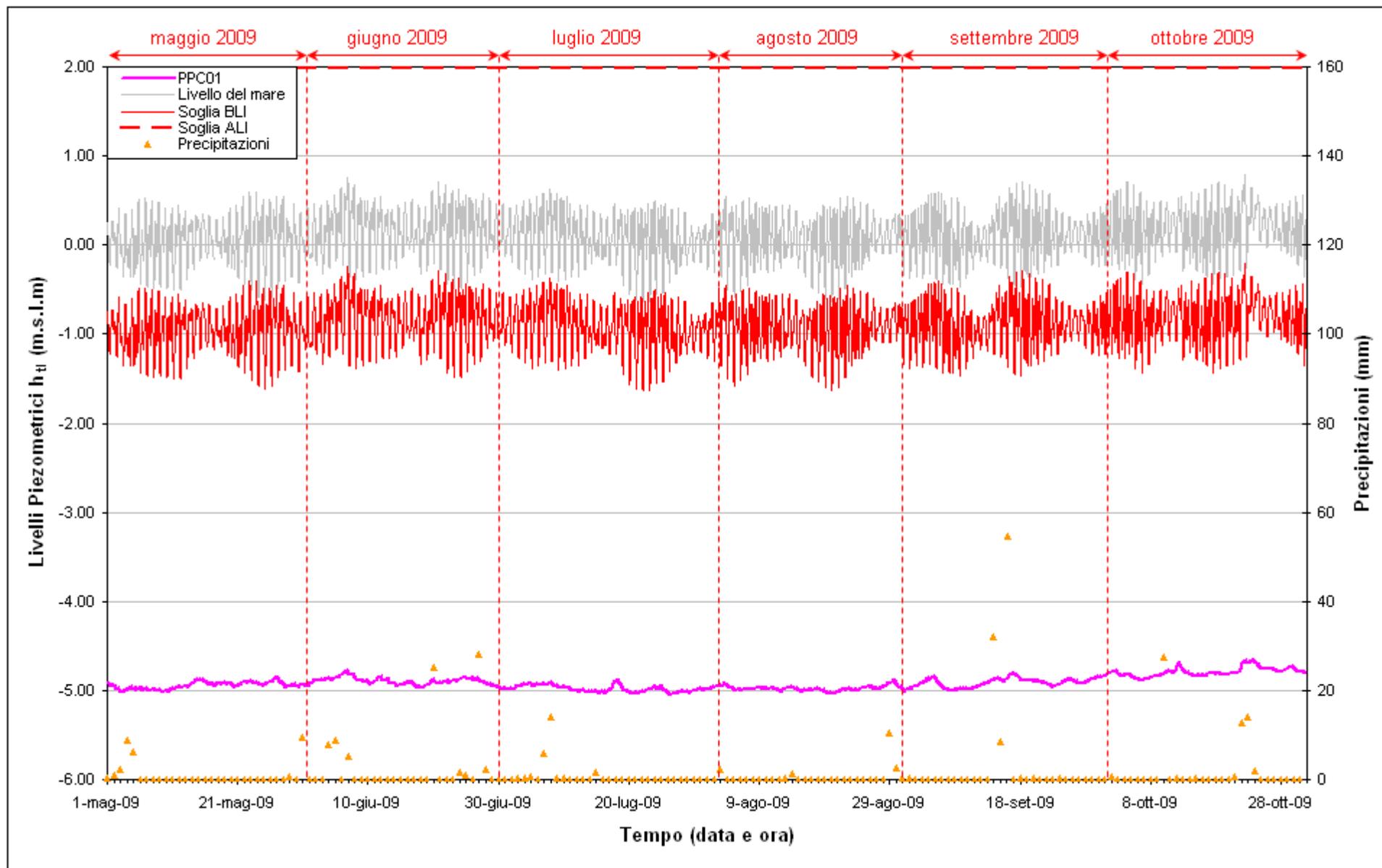


Fig. 3.12 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

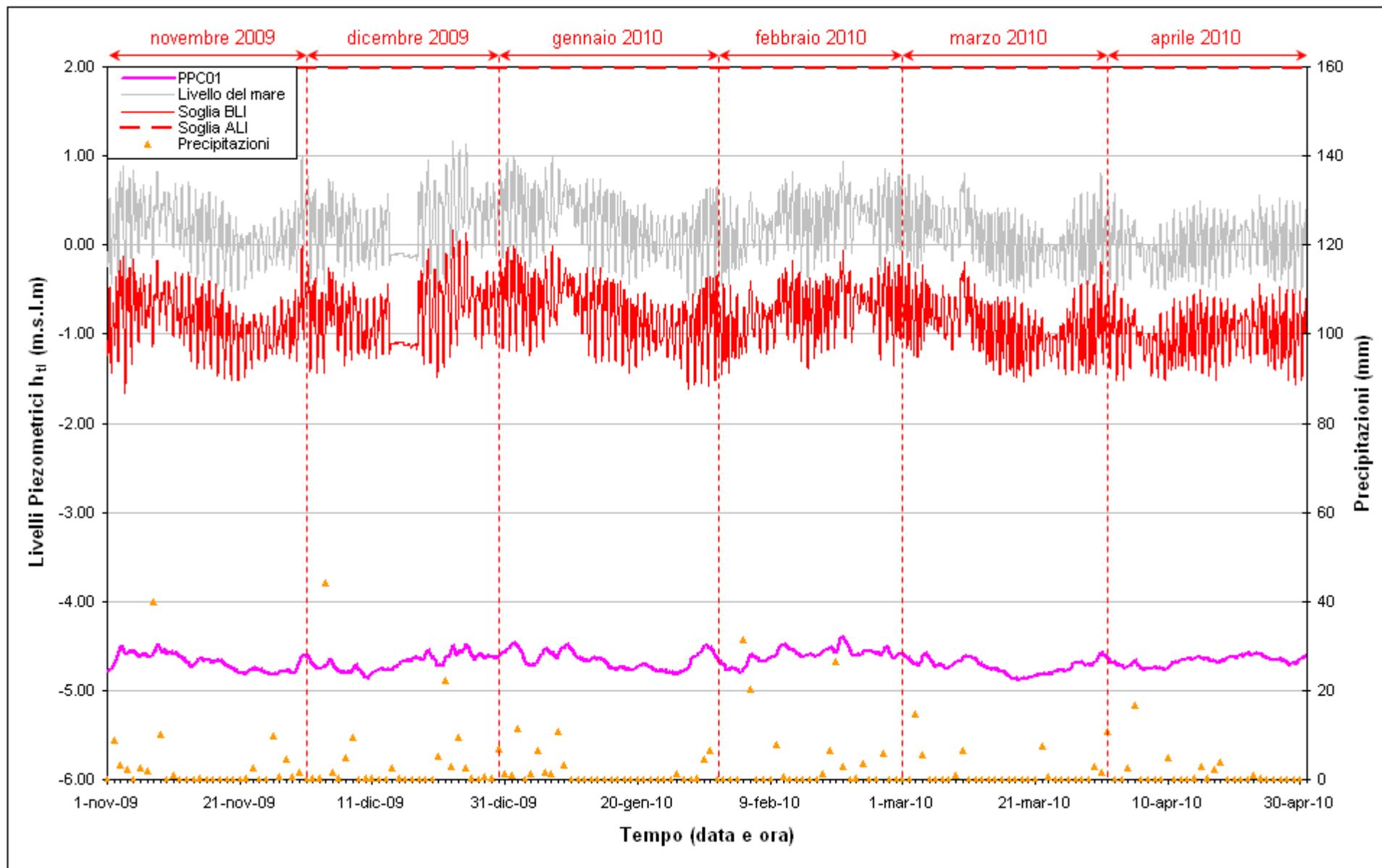


Fig. 3.13 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

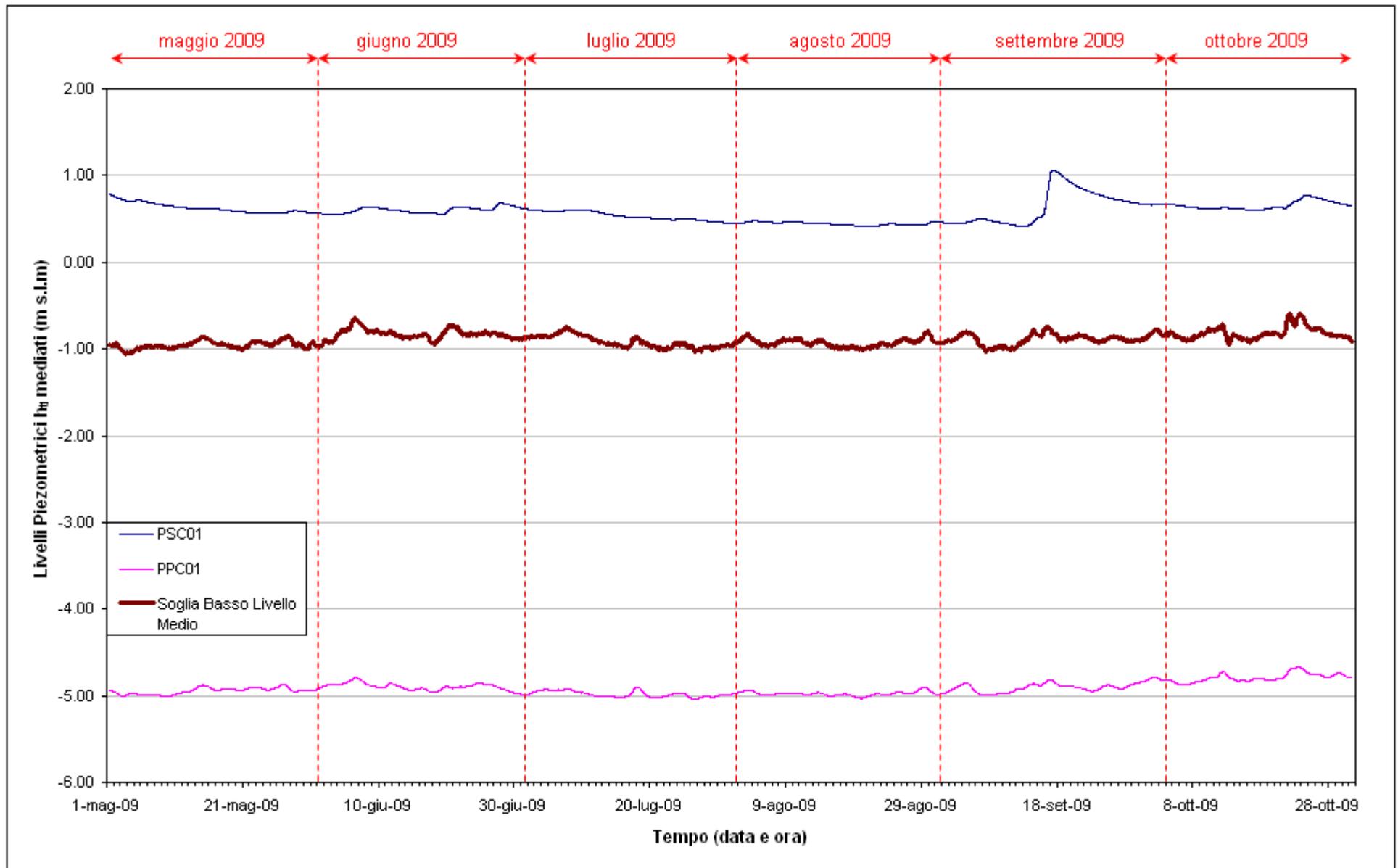


Fig. 3.14 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri PSC01 e PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2009 - 31/10/2009.

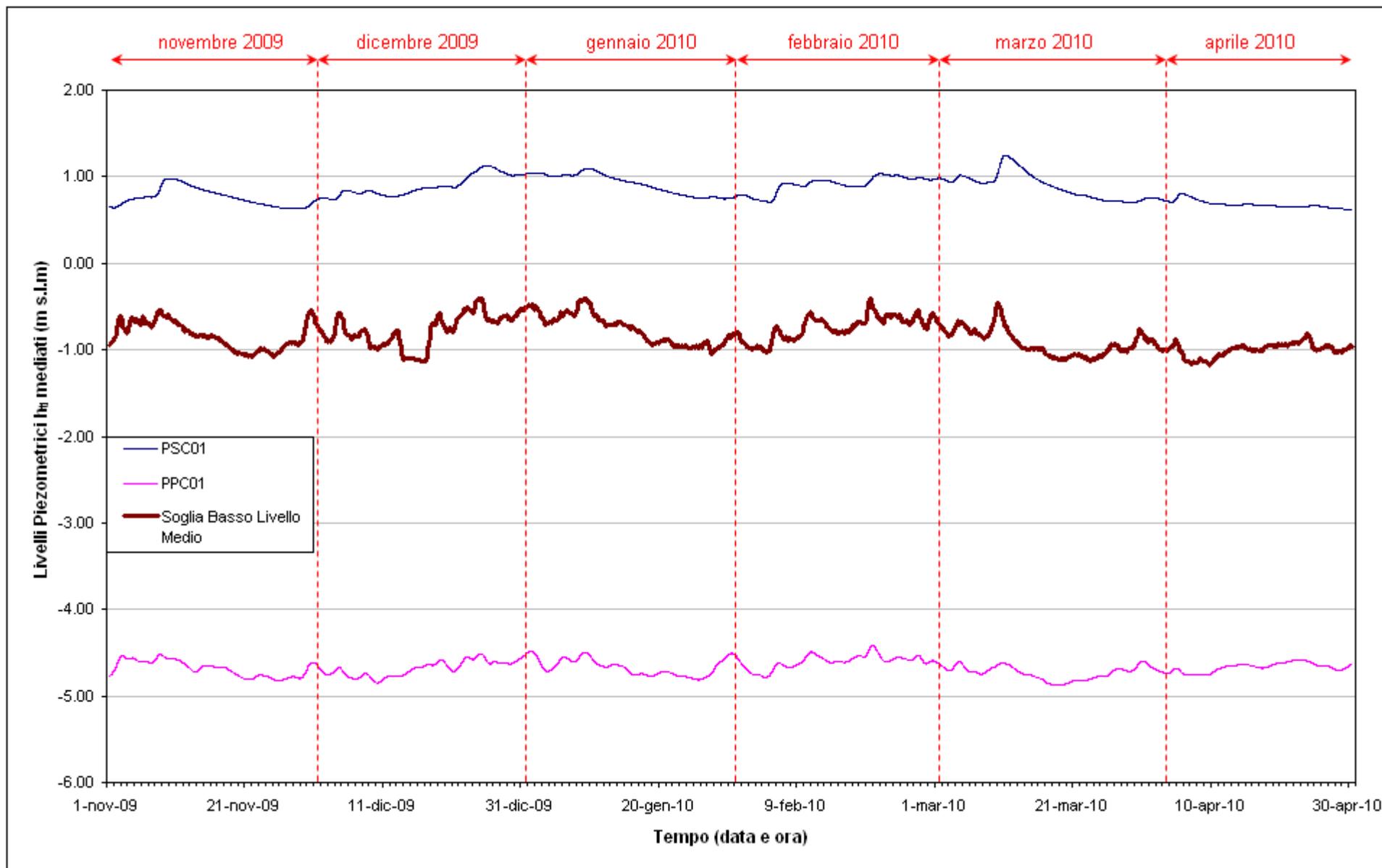


Fig. 3.15 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri PSC01 e PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2009 - 30/04/2010.

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 ed efficienza impermeabilizzazione tura |

| 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 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.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 (01/05/09 - 30/04/10).

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.

Nel piezometro superficiale PSC01 si osserva una leggera crescita dei valori di densità nel periodo estivo, e una diminuzione a partire dall'autunno a causa dell'infiltrazione delle piogge; anche nel piezometro PPC01 i profili seguono lo stesso andamento stagionale, ma con una variabilità più ridotta.

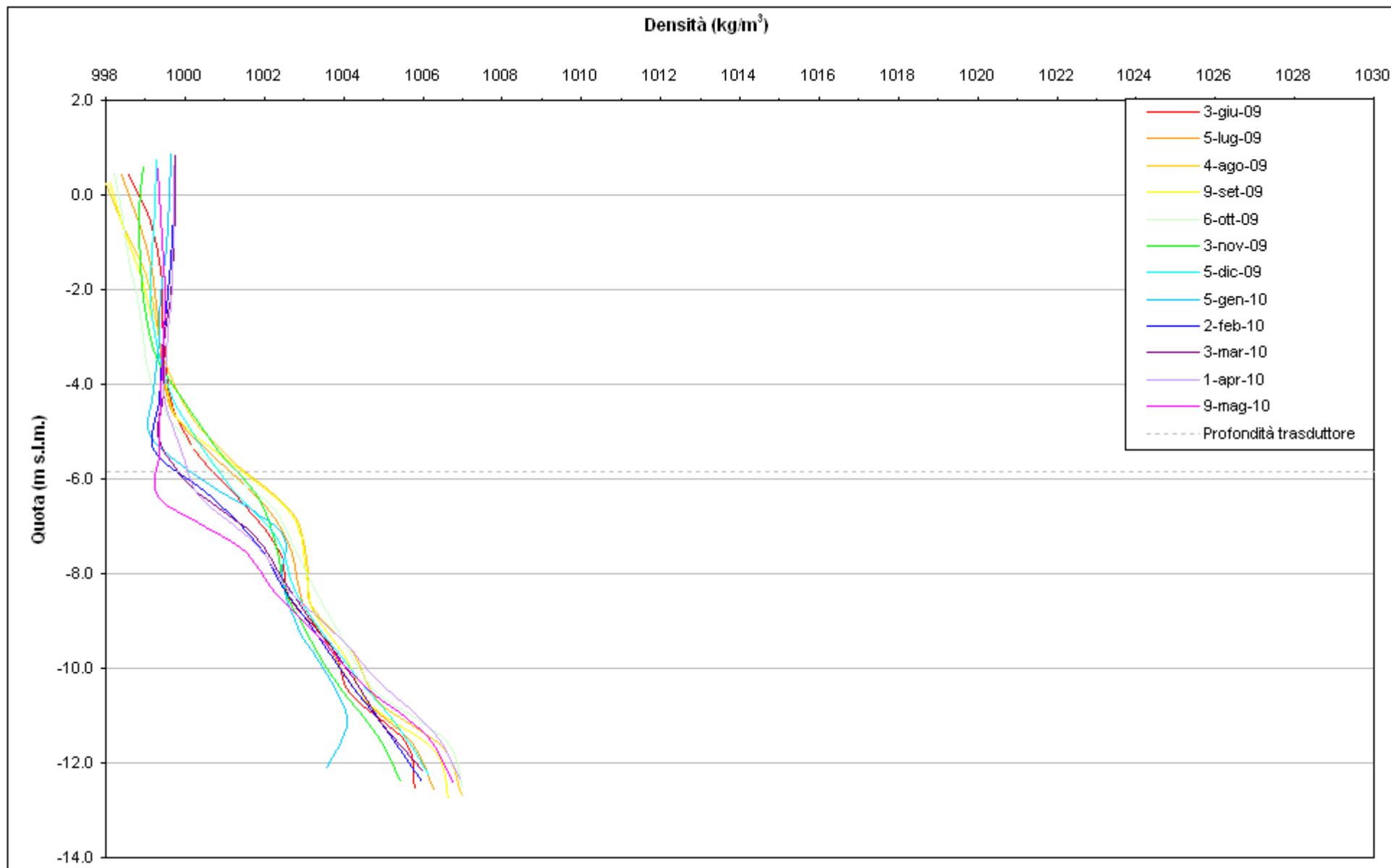


Fig. 3.16 - Profili verticali di densità PSC01.

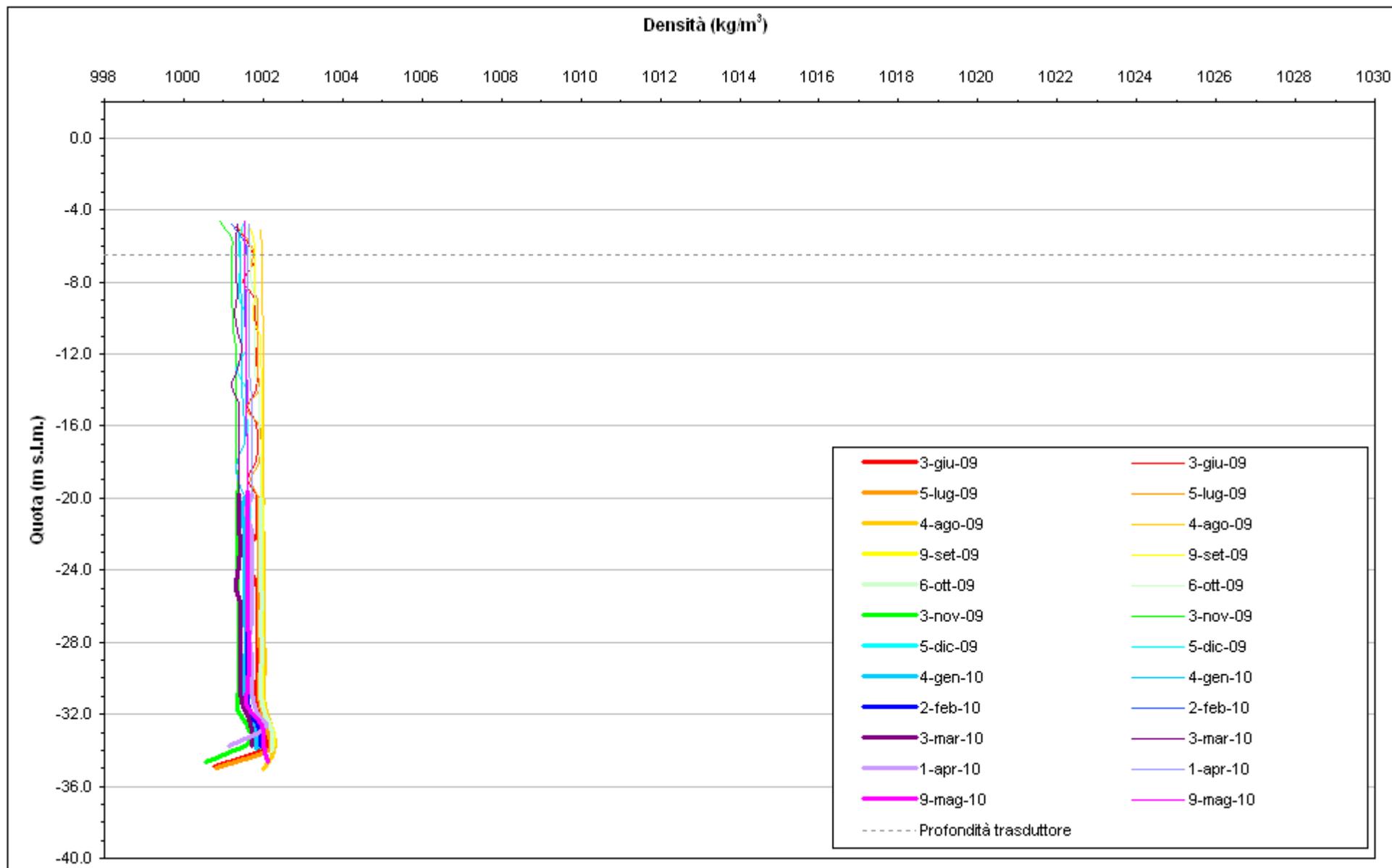


Fig. 3.17 - Profili verticali di densità PPC01.

3.5 Conclusioni

Nel periodo monitorato, i carichi idraulici nella falda profonda sono rimasti sostanzialmente stabili, con lievi oscillazioni attribuibili a variazioni nelle portate di pompaggio del sistema di dewatering della tura (dati non resi disponibili alla Matrice Suolo). Dal confronto con i livelli misurati nella fase A, l'abbassamento di livello indotto dal pompaggio è pari, nella postazione PPC01, a circa 5.5 m e stabile rispetto a quanto osservato già nel precedente anno di monitoraggio.

I livelli registrati dal piezometro superficiale PSC01 risultano svincolati dalle oscillazioni mareali in seguito all'infissione dei palancolati della tura, avvenuta nel mese di gennaio 2008. Tra l'inizio e la fine del periodo monitorato (01/05/09 - 30/04/10) si osserva una lieve diminuzione - circa 20 cm - del livello di falda nel piezometro PSC01.

BIBLIOGRAFIA

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

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

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2009. Studio B.6.72 B/4 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Suolo. Macroattività: Livelli di falda. II Rapporto di Valutazione. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2009-10. Studio B.6.72 B/5 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Suolo. Macroattività: Livelli di falda. Rapporti mensili da Maggio 2009 ad Aprile 2010. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2009. Studio B.6.72 B/5 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Suolo. Macroattività: Livelli di falda. I Rapporto di Valutazione. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2010a. Studio B.6.72 B/5 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Suolo. Macroattività: Livelli di falda. II Rapporto di Valutazione. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

Magistrato alle Acque di Venezia - CORILA. 2010b. Studio B.6.72 B/5 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Area: Suolo. Macroattività: Livelli di falda. III Rapporto di Valutazione. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova.

ALLEGATI

Allegato I: Livelli piezometrici assoluti (h_{it}) misurati dalle reti di monitoraggio di Punta Sabbioni e Ca' Roman