



**Consorzio per la Gestione del Centro
di Coordinamento delle Attività di Ricerca
inerenti il Sistema Lagunare di Venezia**

Palazzo Franchetti S. Marco 2847 30124 Venezia

Tel. +39.041.2402511 Fax +39.041.2402512

Progetto **STUDIO B.6.72 B/7**

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

Contratto n. 102000953

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

Versione **1.0**

Emissione **30 Luglio 2012**

Redazione

Verifica

Verifica

Approvazione

Ing. Alessandro Casasso
(POLITECNICO TORINO)

Ing. Rajandrea Sethi
(POLITECNICO TORINO)

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta Ing. Pierpaolo Campostrini

Indice

INTRODUZIONE: DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' DI MONITORAGGIO.....	3
1. INTRODUZIONE	4
1.1 Monitoraggio falda - Punta Sabbioni.....	4
1.2 Monitoraggio falda - Ca' Roman.....	9
PARTE PRIMA: MONITORAGGIO CANTIERE DI PUNTA SABBIONI.....	13
2. MONITORAGGIO DI FALDA - PUNTA SABBIONI.....	14
2.1 Rete di monitoraggio	14
2.2 Analisi dei dati.....	17
2.2.1 <i>Descrizione delle forzanti naturali</i>	17
2.2.2 <i>Piezometri superficiali - primo livello acquifero (Strato A)</i>	25
2.2.3 <i>Piezometri profondi - secondo livello acquifero (Strato C)</i>	53
2.3 Studio piezometrico	87
2.3.1 <i>Piezometria superficiale</i>	88
2.3.2 <i>Piezometria profonda</i>	95
2.4 Verifica del rispetto delle soglie di azione.....	102
2.5 Analisi della densita' dell'acqua di falda.....	104
2.5.1 <i>Profili verticali di densità</i>	104
2.6 Conclusioni.....	127
PARTE SECONDA: MONITORAGGIO CANTIERE DI CA' ROMAN	129
3. MONITORAGGIO FALDA - CA' ROMAN	130
3.1 Rete di monitoraggio	130
3.2 Analisi dei dati.....	131
3.2.1 <i>Descrizione delle forzanti naturali</i>	131
3.2.2 <i>Piezometro superficiale - primo livello acquifero (Strato A)</i>	139
3.2.3 <i>Piezometro profondo - secondo livello acquifero (Strato C)</i>	143
3.3 Verifica del rispetto delle soglie di azione.....	149
3.4 Analisi della densita' dell'acqua di falda.....	151
3.4.1 <i>Profili verticali di densità</i>	151
3.5 Conclusioni.....	154

**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 01/05/2011 - 30/04/2012 presso le aree di cantiere poste alla bocca di porto di Lido - lato Nord (Punta Sabbioni) e di Chioggia - lato Nord (Ca' Roman).

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

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

1.1 Monitoraggio falda - Punta Sabbioni

La realizzazione del porto rifugio di Treporti ha richiesto la realizzazione di un bacino (tura) in un'area precedentemente occupata dal mare, al fine di rendere agibile ai lavori un'area di cantiere di circa 50000 m² posta alla quota di -8.70 m s.l.m., che è stata utilizzata per il getto dei cassoni di alloggiamento delle barriere mobili.

La realizzazione della tura ha previsto l'esecuzione di reinterri, la realizzazione di una cinturazione (costituita da diaframmi plastici lato terra, realizzato tra marzo e ottobre 2006, e da palancolati lato mare) e l'installazione di un sistema di pozzi e pompe per il *dewatering* (Fig. 1.1), che è stato messo in funzione il 3 gennaio 2007 al fine di mantenere i livelli di falda al di sotto del fondo della tura. In Fig. 1.2 sono riportati i carichi idraulici misurati nei piezometri interni alla tura dalla Direzione Lavori. Si fornisce inoltre il diagramma delle portate medie e di seguito si riporta la descrizione di alcune misure intraprese dalla Direzione Lavori al fine di ottimizzare il sistema di emungimento (comunicazione del Consorzio Venezia Nuova avvenuta in data 28/06/2012).

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

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

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

Messo a regime il sistema sono state intraprese alcune misure di mitigazione quali la variazione della quota della soglia di attenzione da -11 metri a -10 metri nel giugno 2009, e la successiva regimazione della falda che ha determinato una conseguente riduzione delle portate giornaliere a fine ottobre 2009 da 650 mc a 550 mc al giorno.

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

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

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

Il pompaggio è rimasto attivo fino al mese di marzo 2012 (62 mesi), quando è stato interrotto in seguito al completamento della prefabbricazione dei cassoni di alloggiamento delle barriere mobili (fonte: comunicazione della Direzione Lavori).

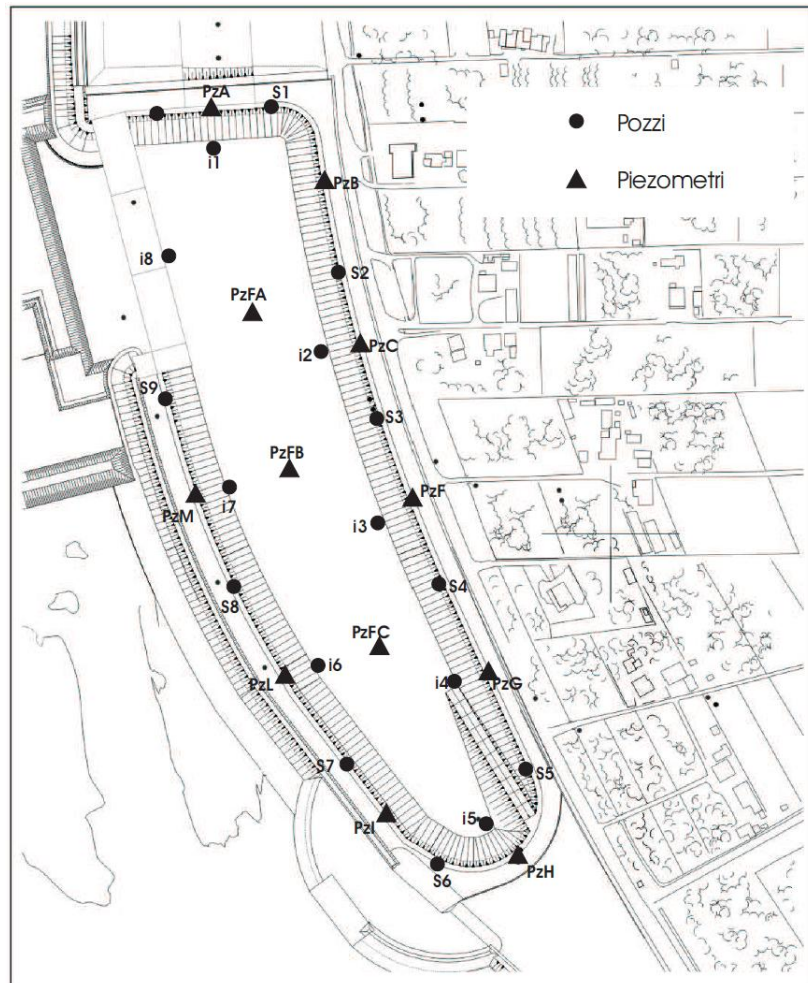


Fig. 1.1 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

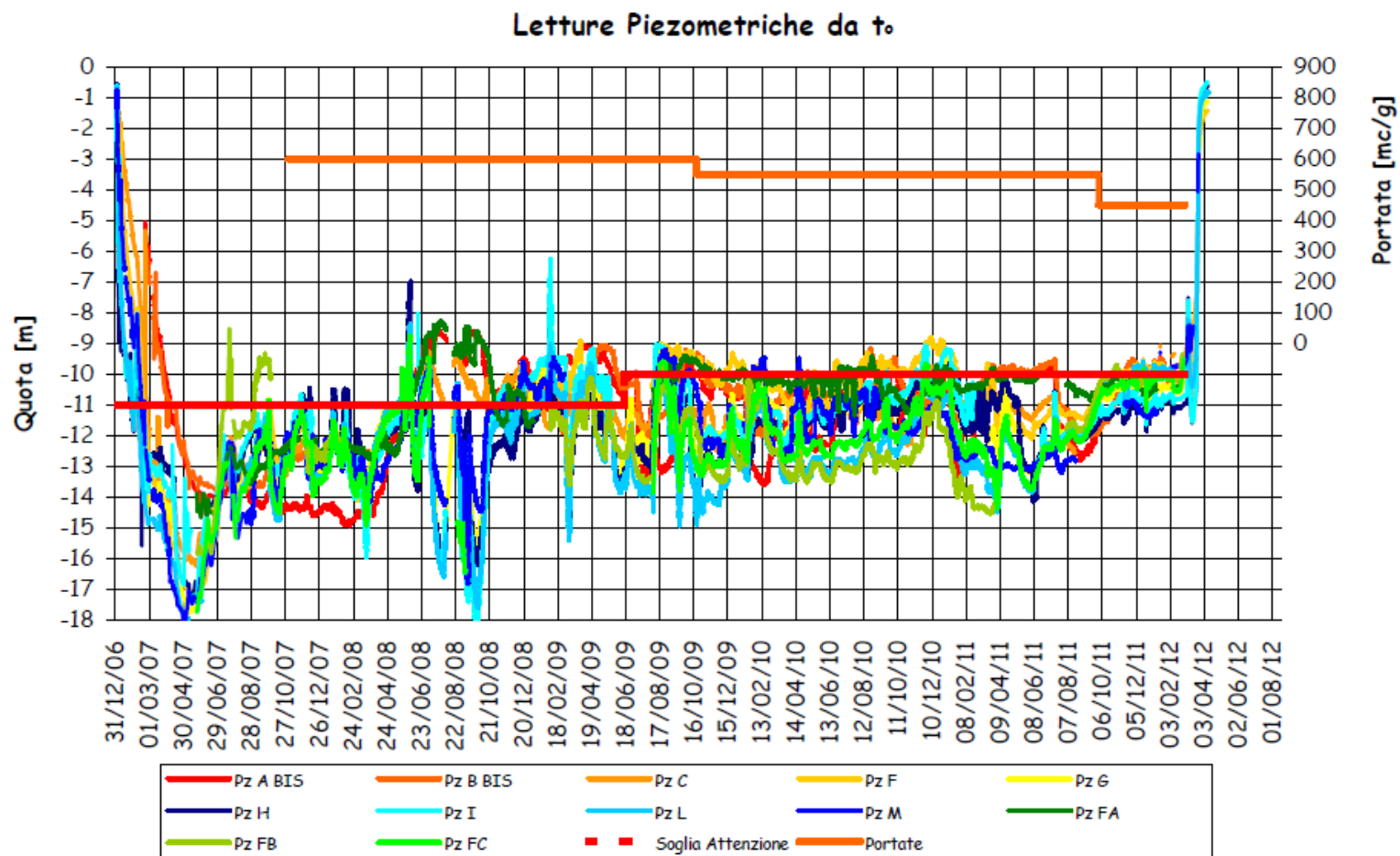


Fig. 1.2 - Andamento temporale dei carichi idraulici misurati all'interno della tura di Punta Sabbioni (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

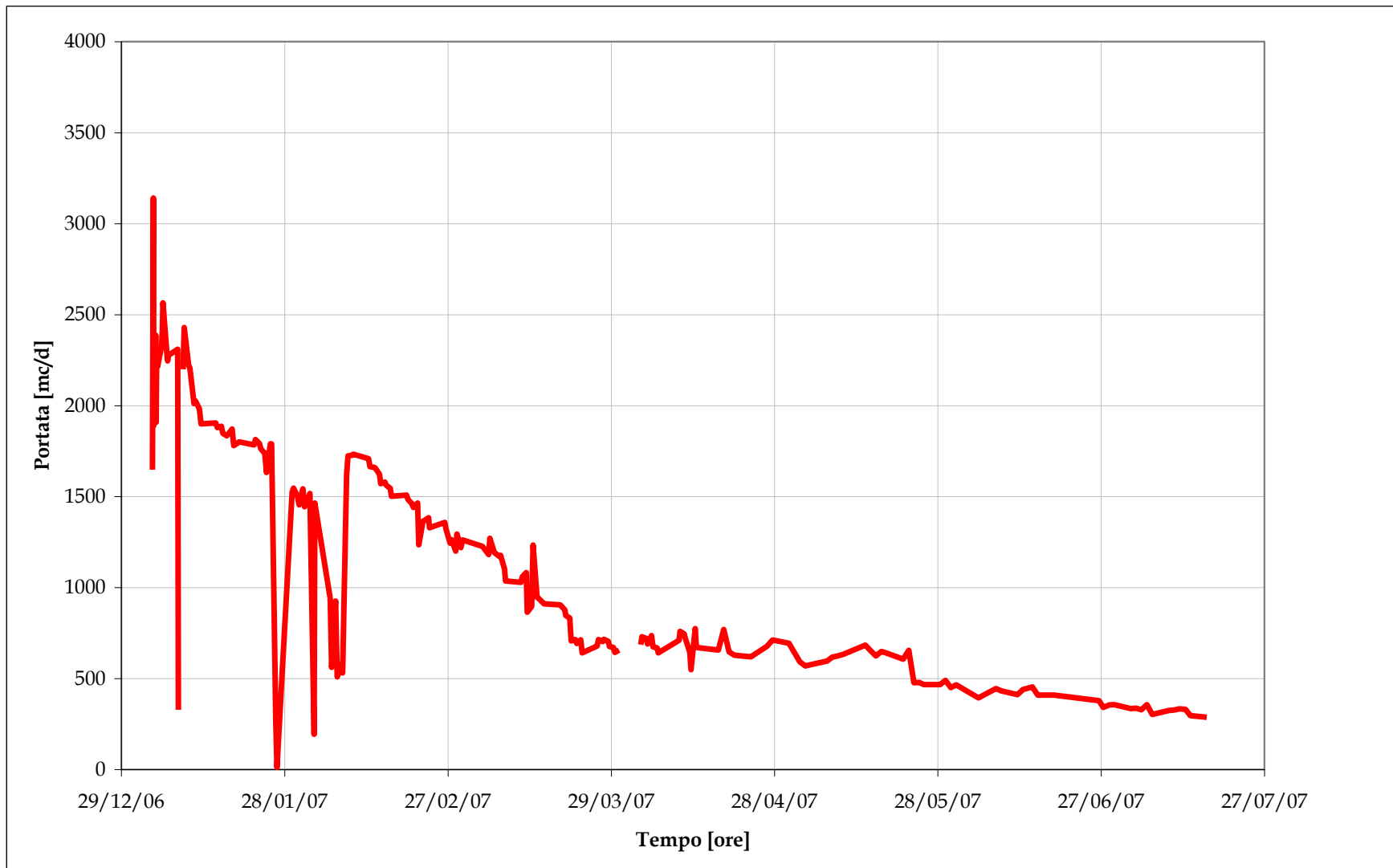


Fig. 1.3 - Portate di emungimento del sistema di dewatering durante l'aggotamento della tura di Punta Sabbioni (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

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

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

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

Il monitoraggio della falda, iniziato nell'ottobre 2005, è stato condotto in parallelo all'esecuzione delle attività di la realizzazione della tura al fine di monitorare gli eventuali effetti sui livelli di falda. La rete è attiva da 82 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

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. circa 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.

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

Nel periodo agosto 2008 - gennaio 2009 la Direzione Lavori ha proceduto ad ottimizzare la portata di emungimento riducendola a 3500 mc/d. Per mitigare ulteriormente l'effetto indotto dall'emungimento, nel febbraio del 2010 è stato realizzato un diaframma jet grouting (Fig. 8.1) che ha consentito di ridurre la portata da 3000 a 2100 mc /d, salvo occasionali incrementi necessari a contrastare gli effetti indotti da forzanti naturali o da problemi tecnici di cantiere, quali le attività manutentive programmate o imprevisti mal funzionamenti.

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

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

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

La configurazione del sistema di emungimento vede attualmente funzionanti tutti i pozzi inferiori ed i soli pozzi P2, P4, P5, P6, P10 e P11 posti al coronamento.

In Fig. 1.5 sono riportate le serie temporali dei carichi idraulici misurati nei piezometri interni alla tura e le portate di emungimento del sistema di dewatering della tura di Ca' Roman.

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

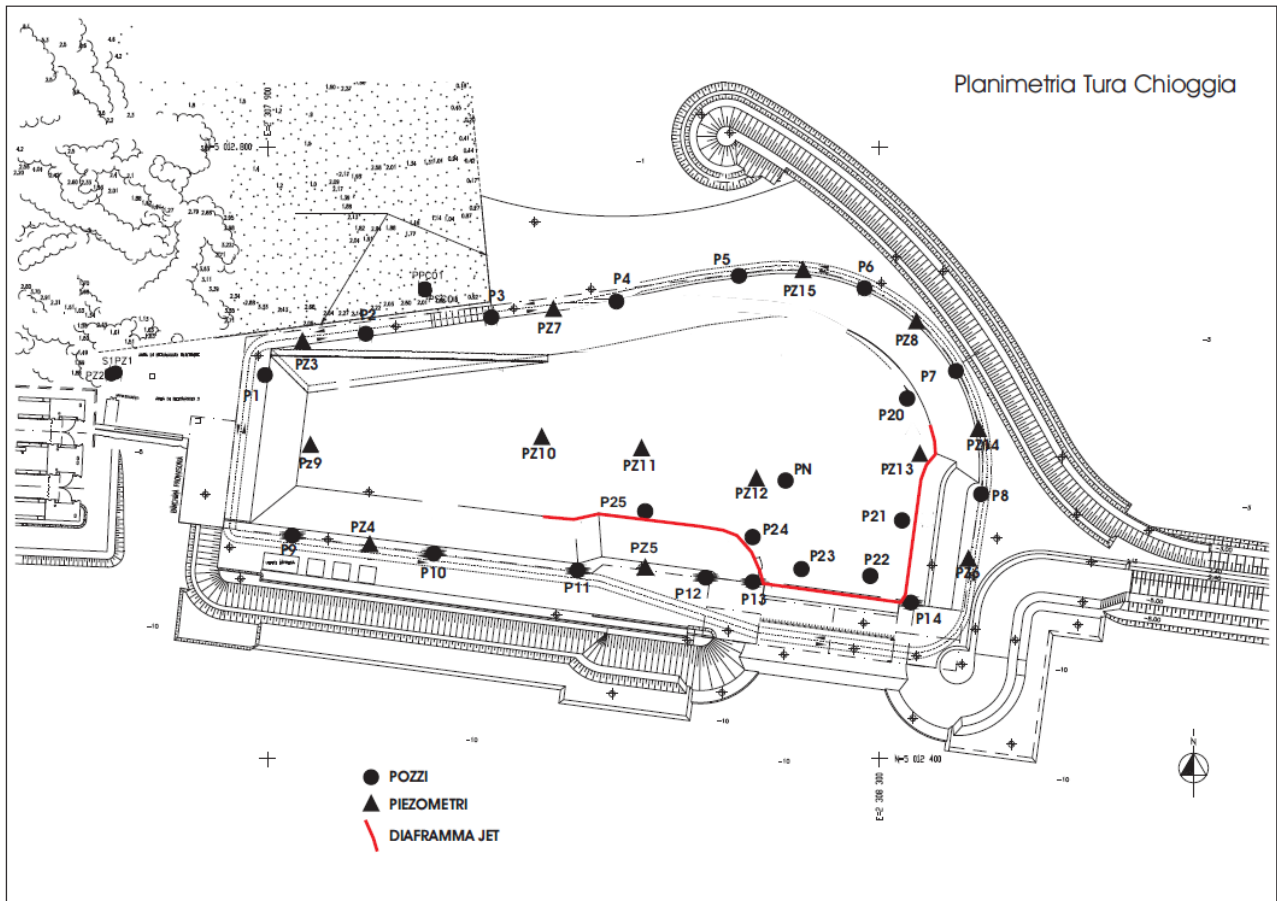


Fig. 1.4 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

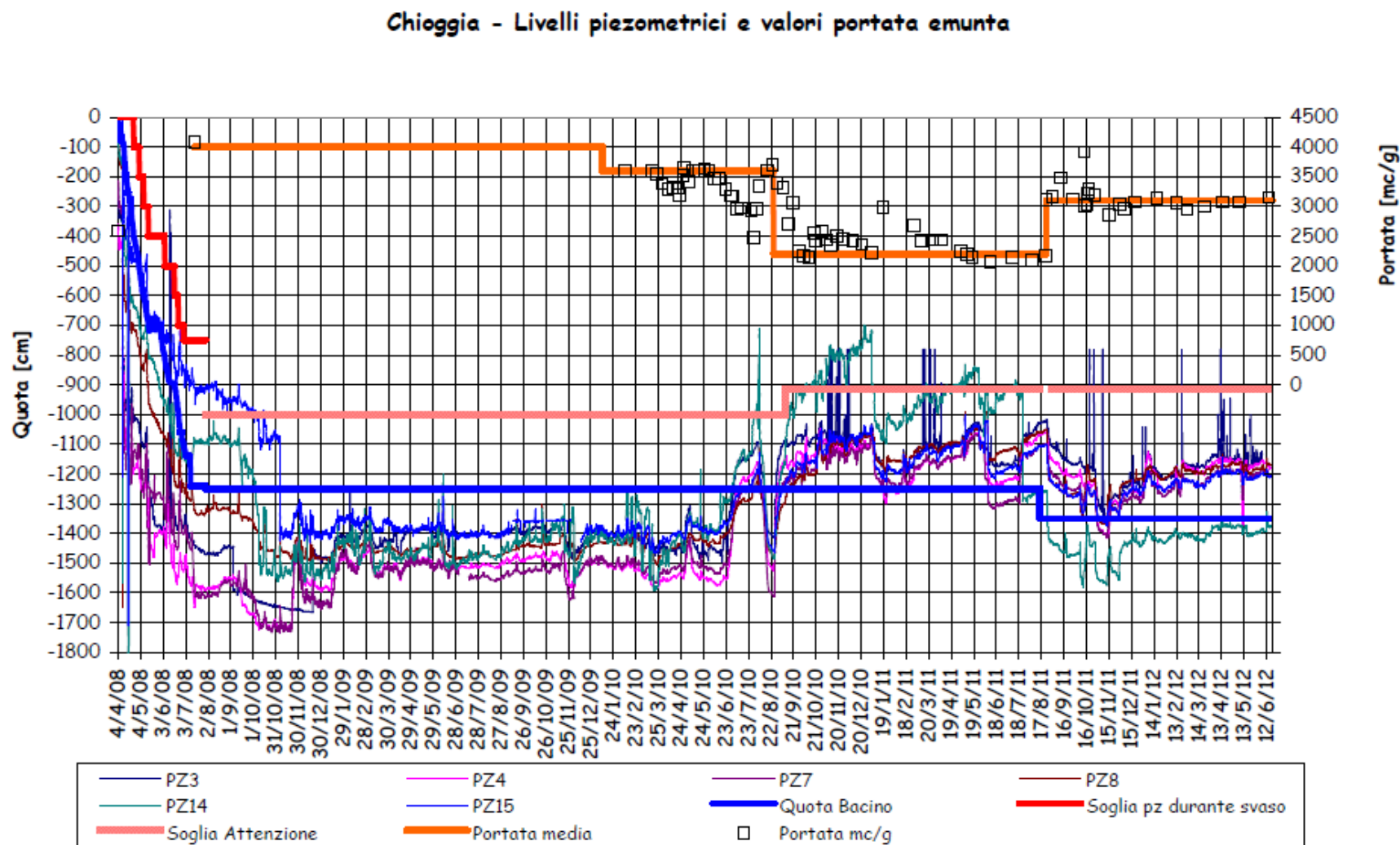


Fig. 1.5 - Portate di emungimento e carichi idraulici misurati all'interno della tura di Ca' Roman (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

La rete di monitoraggio 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, Aprile 2007), è stato condotto in parallelo all'esecuzione delle attività di realizzazione della tura al fine di monitorare gli eventuali effetti sui livelli di falda. La rete è attiva da 62 mensilità. In Tab. 1.7 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 2011 e il 30 aprile 2012.

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

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

I dati di livello misurati all'interno dei piezometri sono messi in relazione alle forzanti naturali (precipitazioni, oscillazioni mareali e pressione atmosferica) che concorrono alla determinazione dei livelli piezometrici dei due livelli acquiferi (Cap. 2.2). Ogni grafico riporta il livello assoluto relativo a ciascun piezometro, il livello del mare, le precipitazioni e le Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo; 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

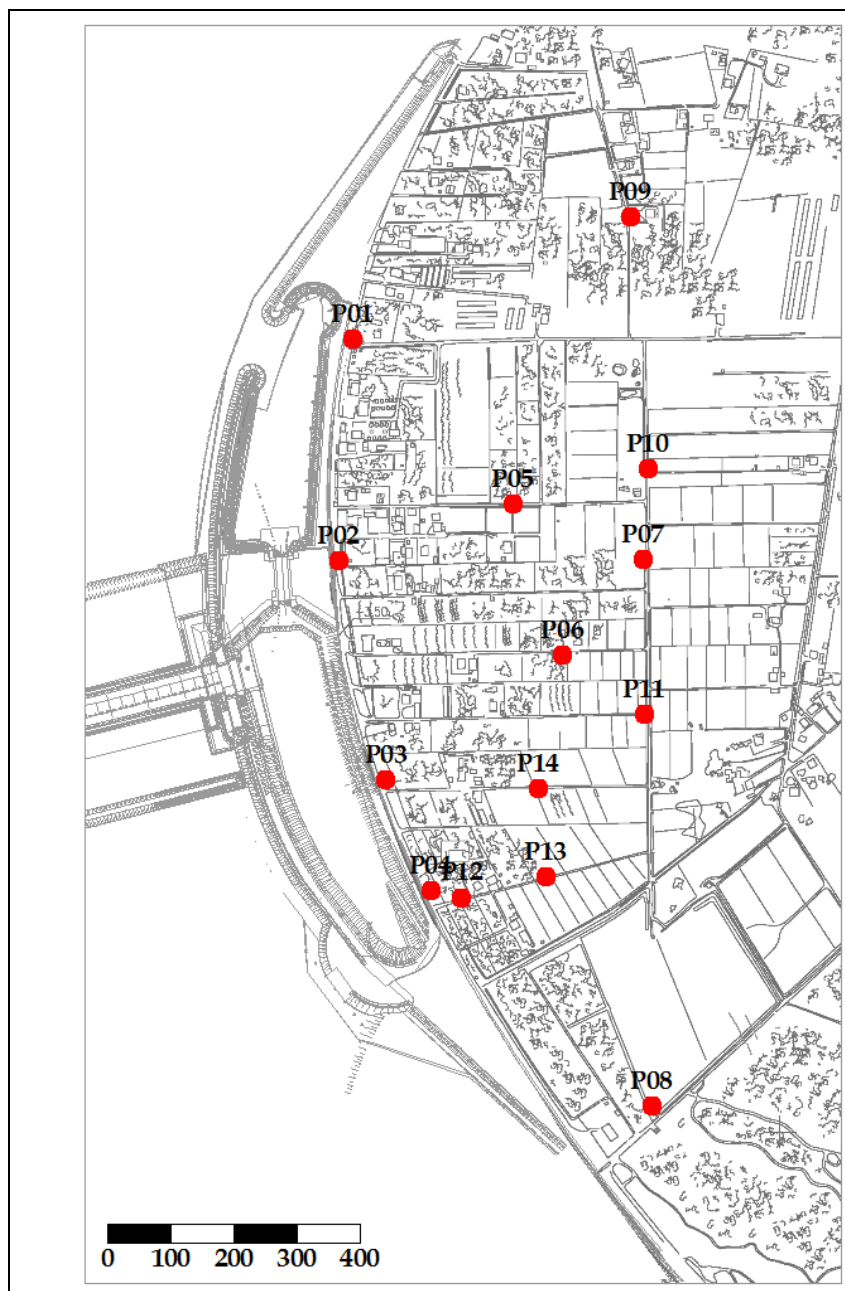


Fig. 2.1- Ubicazione delle postazioni di monitoraggio, dei Levellogger e dei Barologger.

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

2.2 ANALISI DEI DATI

2.2.1 *Descrizione delle forzanti naturali*

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

- precipitazioni, registrate dalla stazione meteorologica gestita dalla “Matrice Aria e Agenti Chimici” (per i mesi da maggio ad agosto 2011) e dalla stazione meteorologica “ARPAV - Cavallino Treporti” (per i mesi da settembre 2011 ad aprile 2012);
- 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, vicino alla recinzione dell’area di cantiere), gestita dal settore “Matrice Aria e Agenti Chimici per i mesi da maggio ad agosto 2011, mentre per i mesi da settembre 2011 ad aprile 2012 sono stati utilizzati i dati della stazione meteorologica “ARPAV - Cavallino Treporti”, ubicata a circa 5.5 km a nord-est rispetto al cantiere (vedi Fig.2.2).

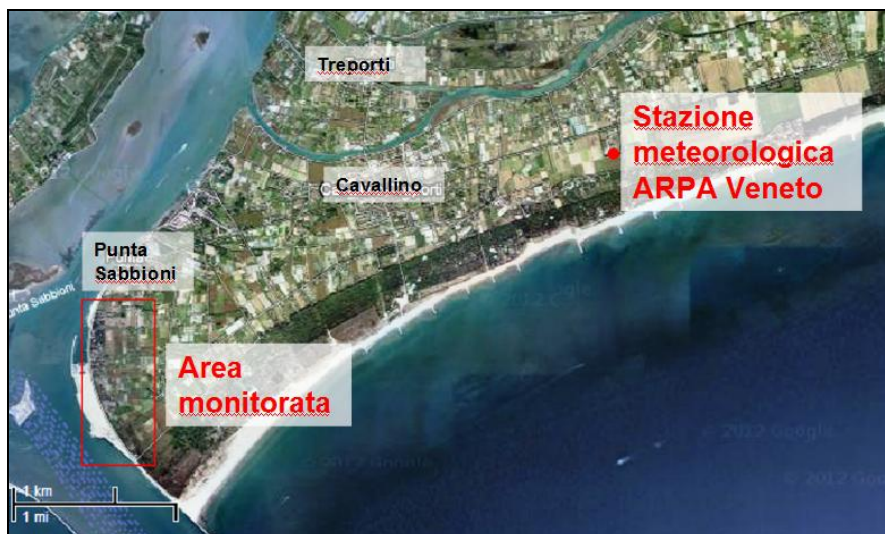


Fig. 2.2 - Posizione della centralina meteo “ARPAV - Cavallino Treporti” rispetto all’area monitorata.

Nelle Figg. 2.3-2.4 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)
03-04/05/11	8	7.4
15/05/11	12	19
06/06/11	2	9.6

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

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
07-08/06/11	25	13.4
05/07/11	7	21.8
19-20/07/11	6	16.2
24/07/11	9	13.8
27/07/11	4	5.2
07/08/11	2	10.8
04-06/09/11	72	17.6
12/09/11	24	14.4
18-20/09/11	72	20.6
07/10/11	24	14.0
20/10/11	24	34.0
25-26/10/11	48	33.0
04-07/11/11	96	47.0
12/12/11	24	6.8
29/12/11	24	6.0
02-03/01/12	48	9.8
19-20/02/12	48	21.8
03-08/04/12	144	13.4
10-16/04/12	168	31.4
18-20/04/12	72	12.4
22-24/04/12	72	19.4

2.2.1.2 Livello del mare

Nelle Figg. 2.5-2.6 è tracciato l'andamento del livello del mare registrato dal mareografo Diga Sud Lido durante l'anno di monitoraggio (da aprile 2012 si fa riferimento al mareografo "Burano"). 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_b

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.2.7 e Fig.2.8 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.

Nel tracciato del Barologger B02 non sono presenti i dati relativi al periodo 07/10/11 - 05/11/11, a causa di un'anomalia del trasduttore. Per effettuare la compensazione barometrica sui battenti idrici misurati in questo periodo, sono stati utilizzati i dati del Barologger B01, tenendo conto dello scarto medio con la serie del Barologger B02, utilizzata normalmente per la compensazione barometrica.

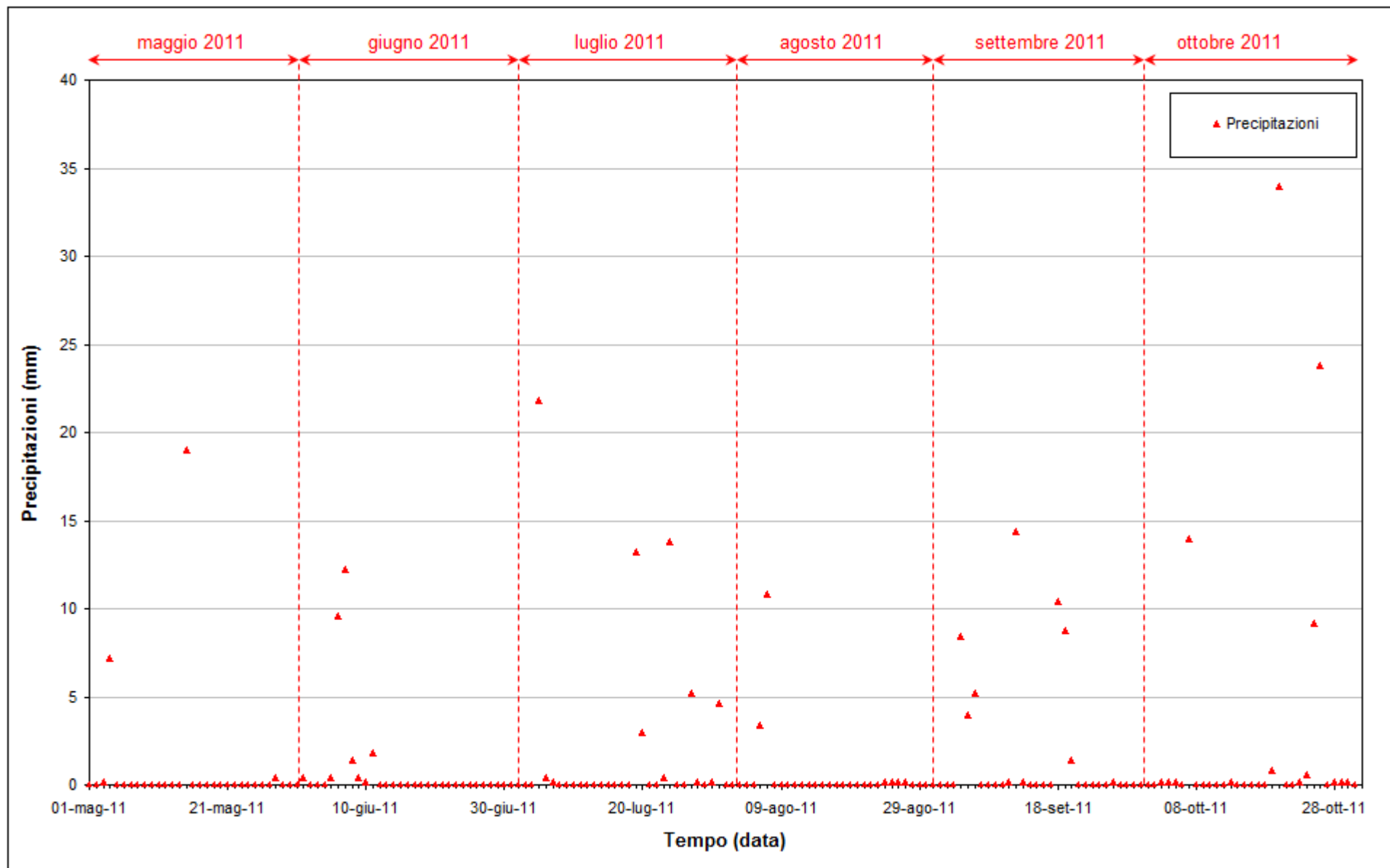


Fig. 2.3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

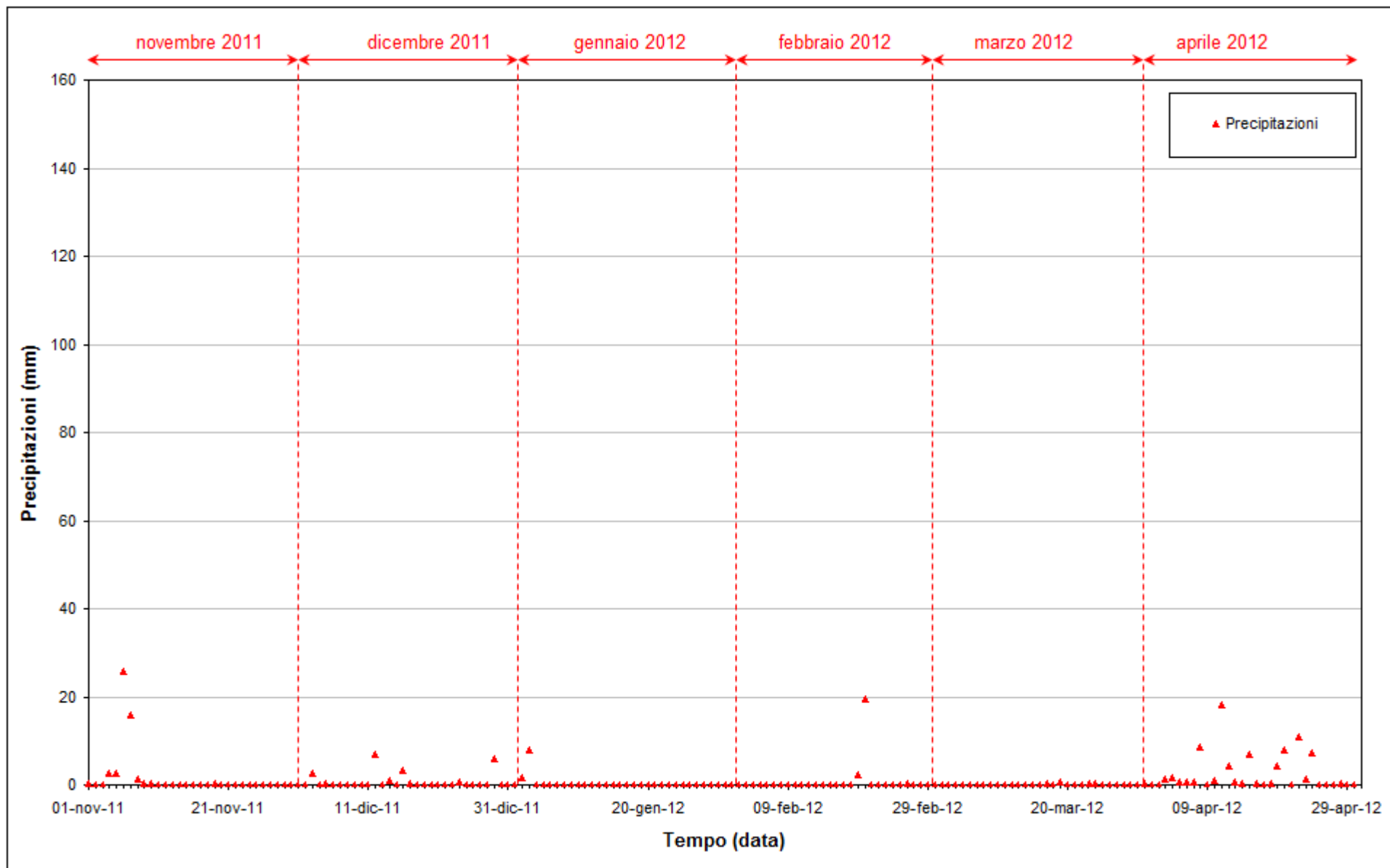


Fig. 2.4 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

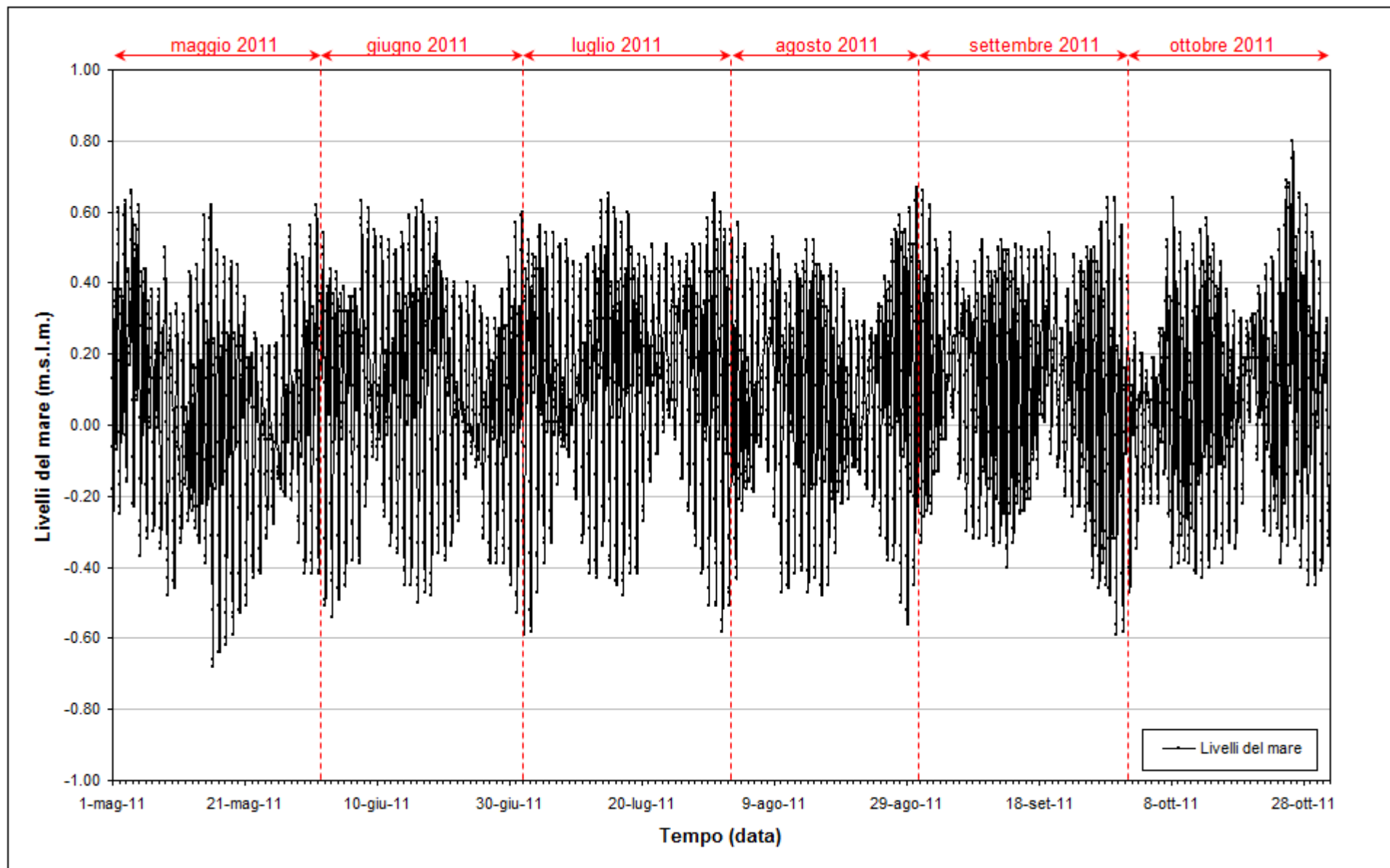


Fig. 2.5 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

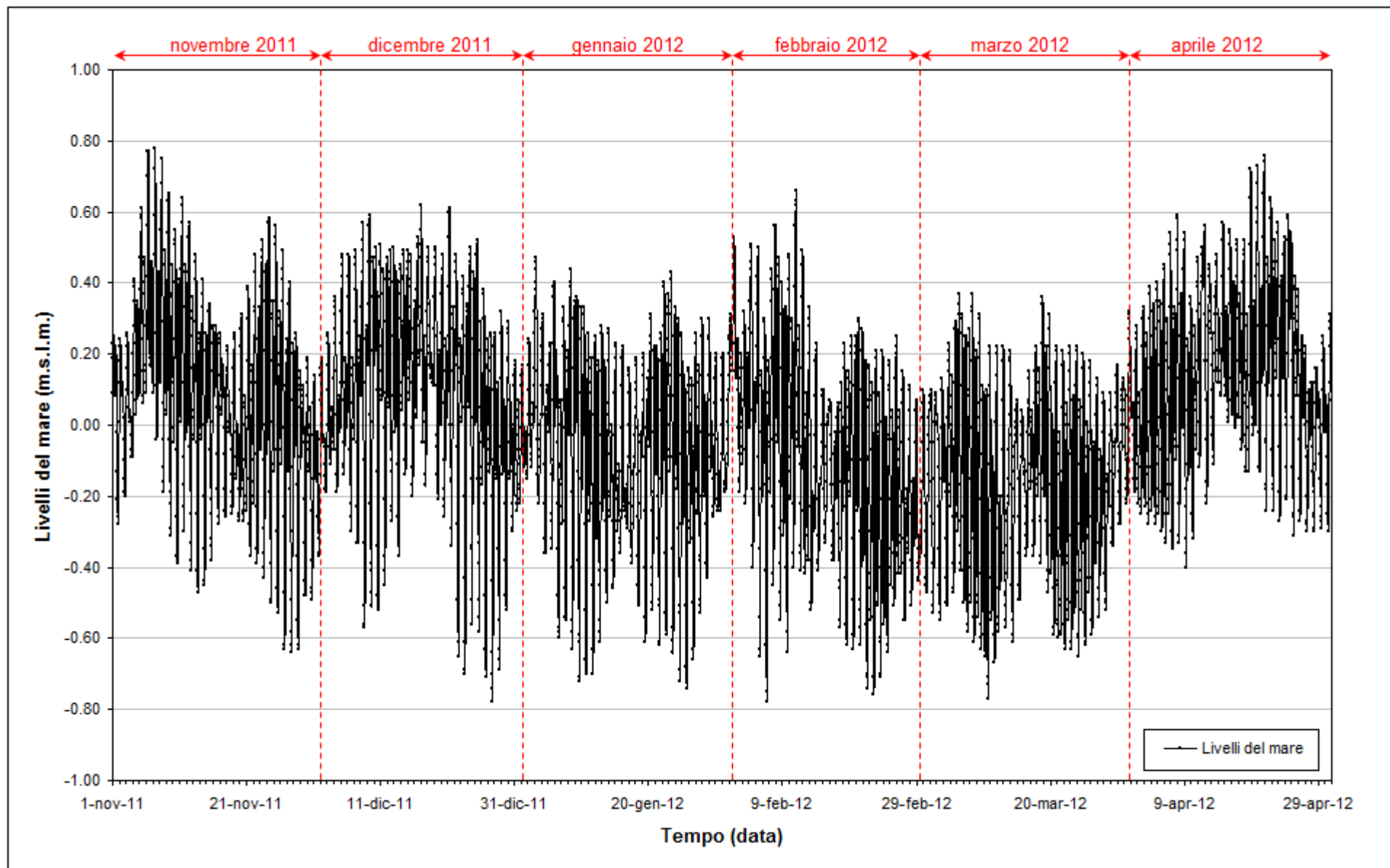


Fig. 2.6 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

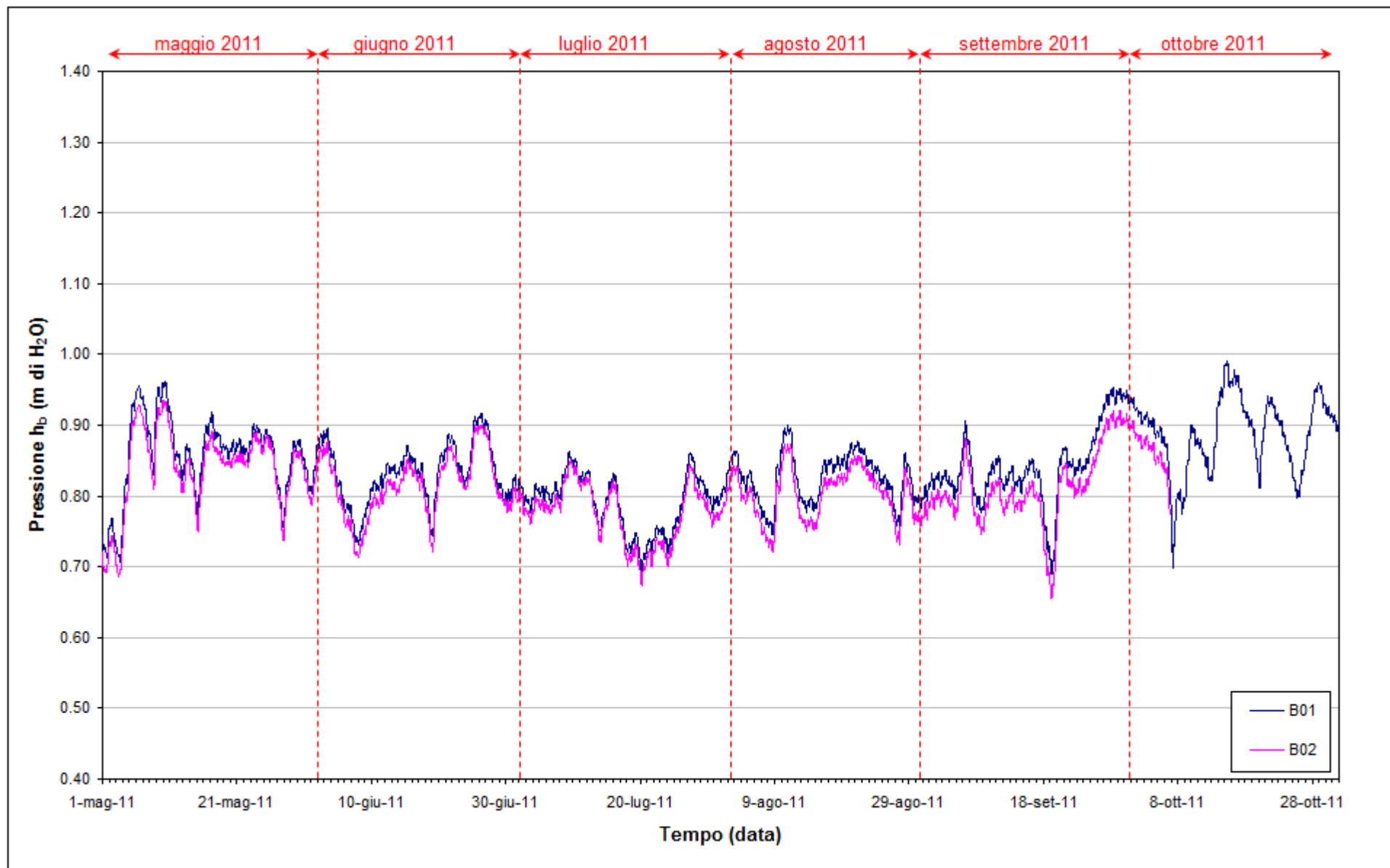


Fig. 2.7 - Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 (h_b) nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

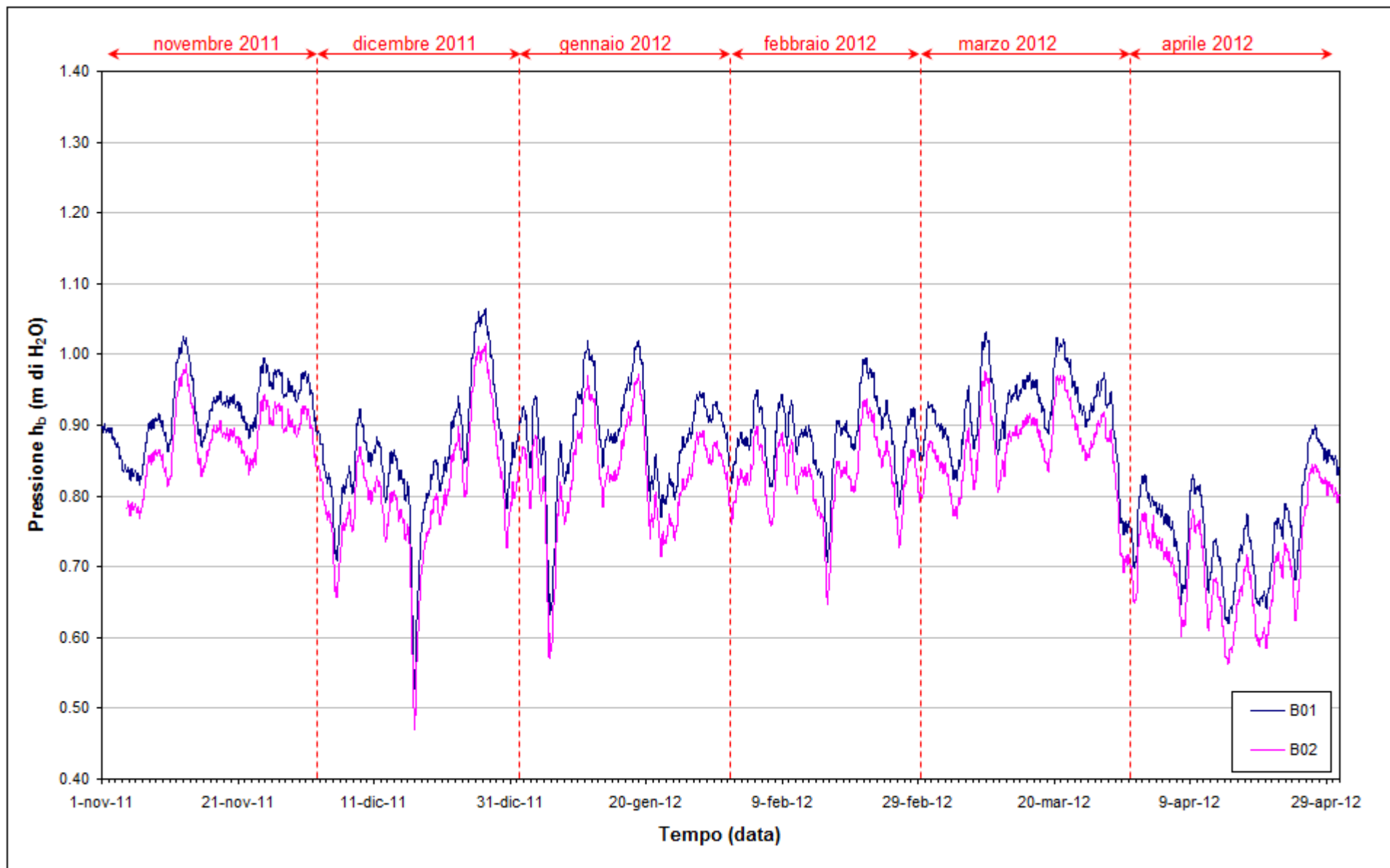


Fig. 2.8 - Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 (h_b) nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

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. 2.9 sono rappresentate le serie temporali degli 11 piezometri superficiali e delle precipitazioni nella fase A (ottobre - novembre 2005).

Nelle Figg.2.10-2.11 è rappresentato l'andamento complessivo degli undici piezometri superficiali e delle precipitazioni durante il periodo di monitoraggio, mentre nelle Figg.2.12÷2.33 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. 2.34-2.35 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.

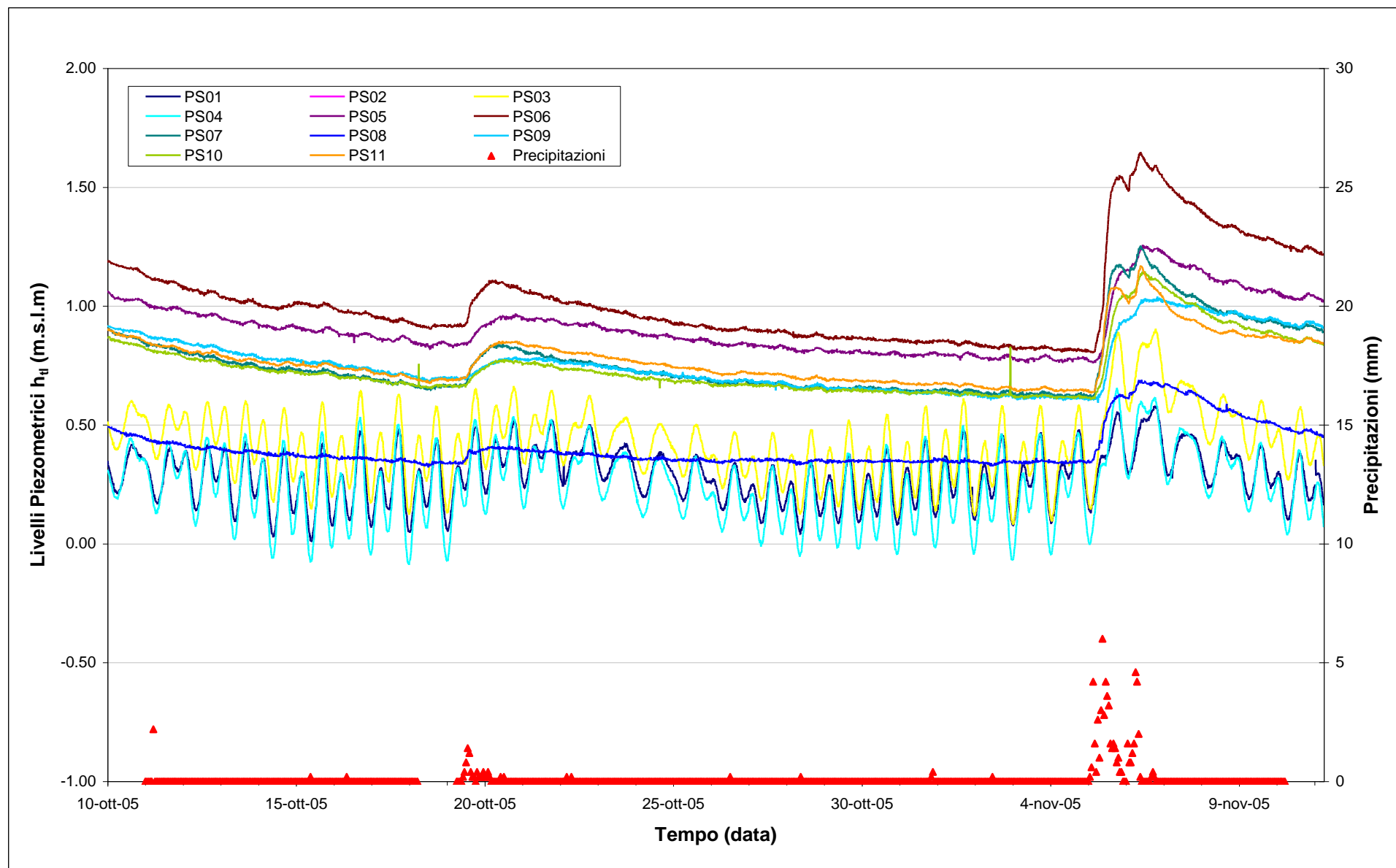
Tra l'inizio e la fine dell'anno di monitoraggio, si osservano le seguenti variazioni:

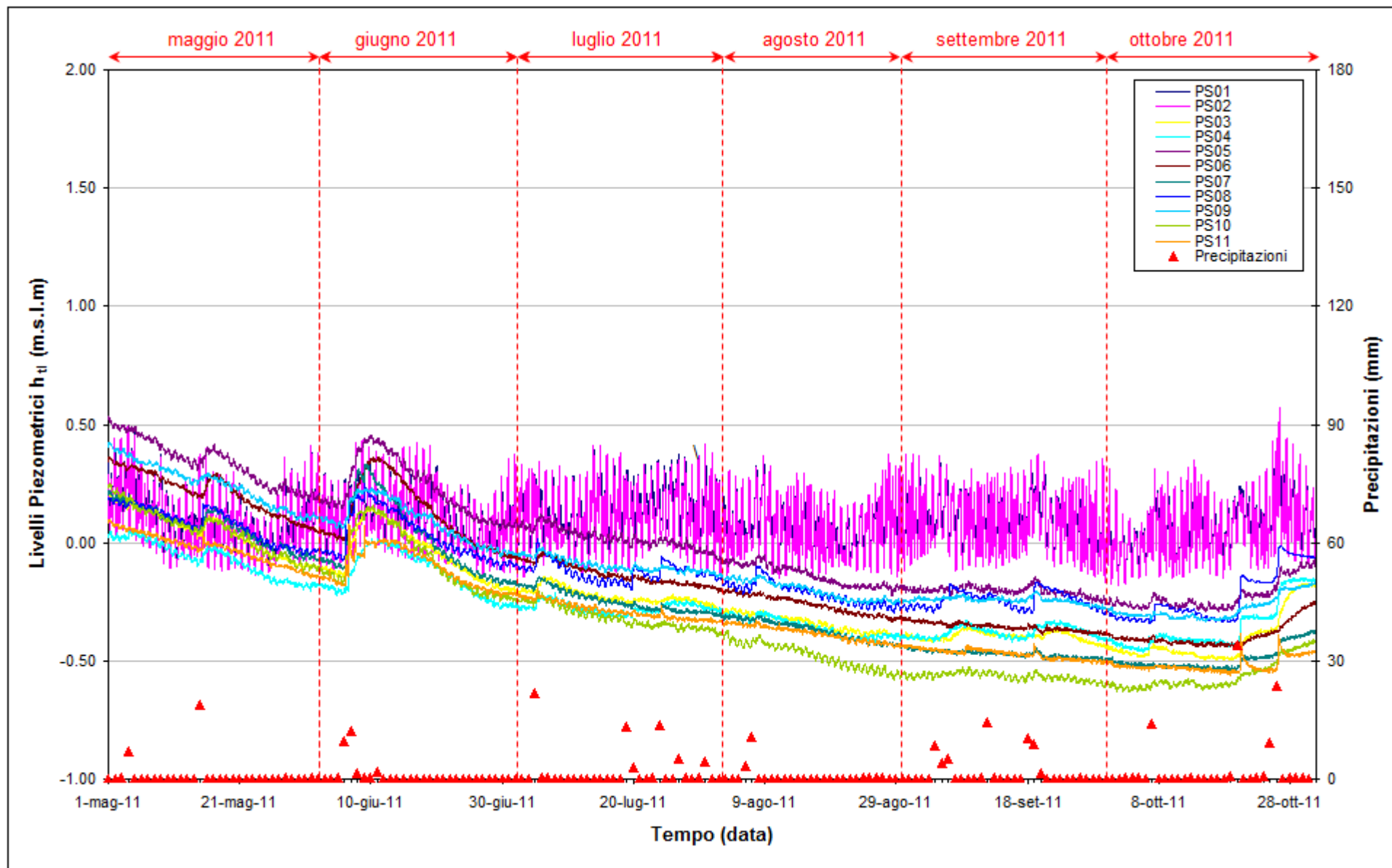
- un lieve incremento di livello nella porzione di acquifero superficiale a ridosso del diaframma della tura (5 cm circa in PS03 e 15 cm in PS04);
- una riduzione del carico idraulico nei piezometri PS05÷PS11 (in particolare, circa 20 cm in PS05 e PS09 e 10 cm in PS06 e PS11), attribuibile alle scarse precipitazioni piovose nel periodo monitorato (448.4 mm nel periodo 01/05/11 - 30/04/12, a fronte di un totale di 1028.2 mm nel periodo 01/05/10 - 30/04/11).

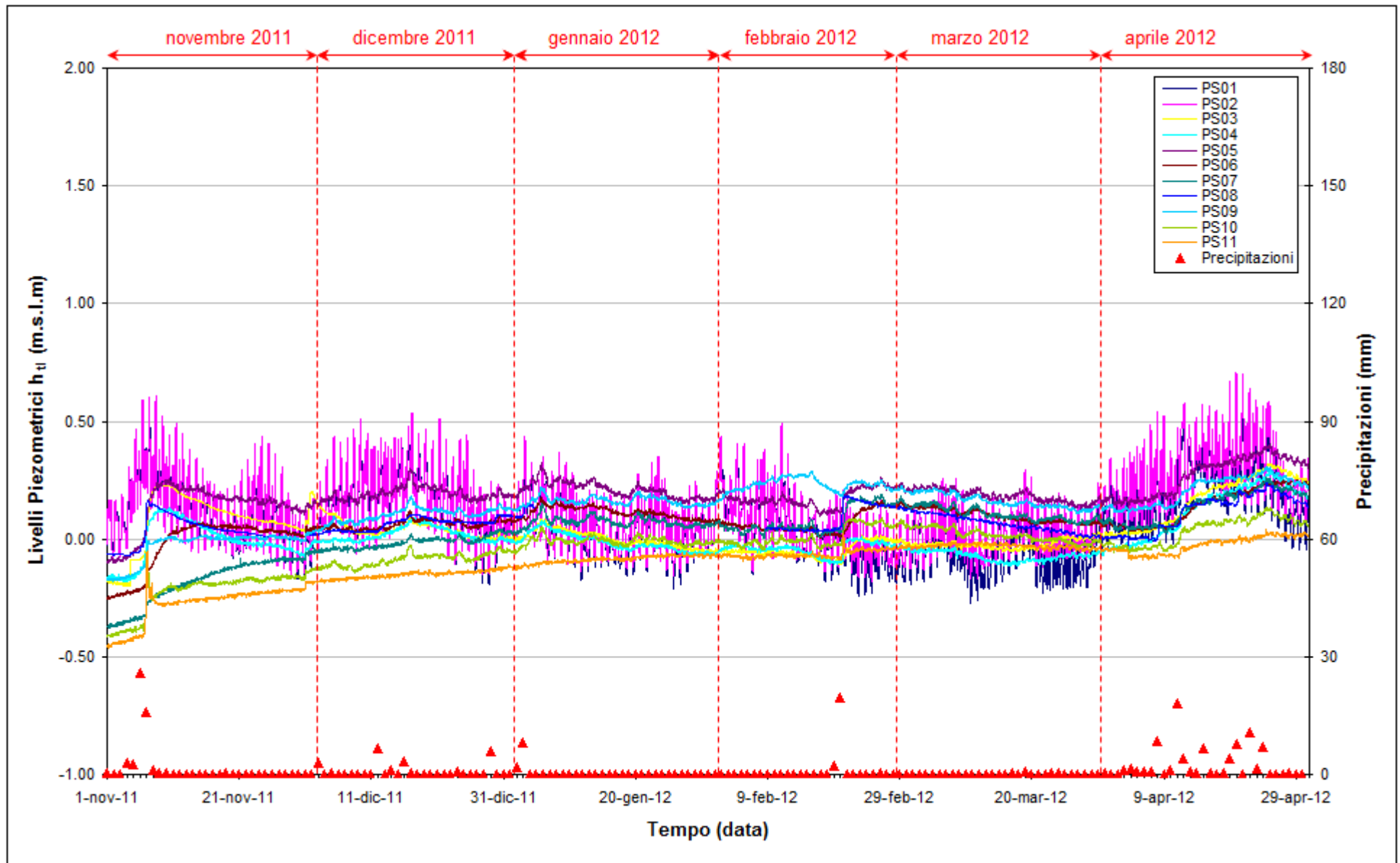
Le soglie di Alto Livello Istantaneo e Alto Livello Medio, corrispondenti alla quota di bocca pozzo ¹, sono state rispettate per tutto il periodo monitorato.

La soglia di Basso Livello Istantaneo è stata superata in occasione di alcuni massimi mareali, nei mesi di agosto, settembre e ottobre, nei piezometri PS03, PS04, PS06, PS07, PS10, PS11. Tali superamenti sono attribuibili alla diminuzione dei livelli di falda causata dalla prolungata siccità, e non al pompaggio di dewatering della tura. Nel periodo monitorato non sono stati registrati superamenti della soglia di Basso Livello Medio.

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

Fig. 2.9 - Livelli piezometrici (h_{π}) relativi ai piezometri superficiali nella fase A (ottobre - novembre 2005).

Fig. 2.10 - Livelli piezometrici (h_u) relativi ai piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

Fig. 2.11 - Livelli piezometrici (h_u) relativi ai piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

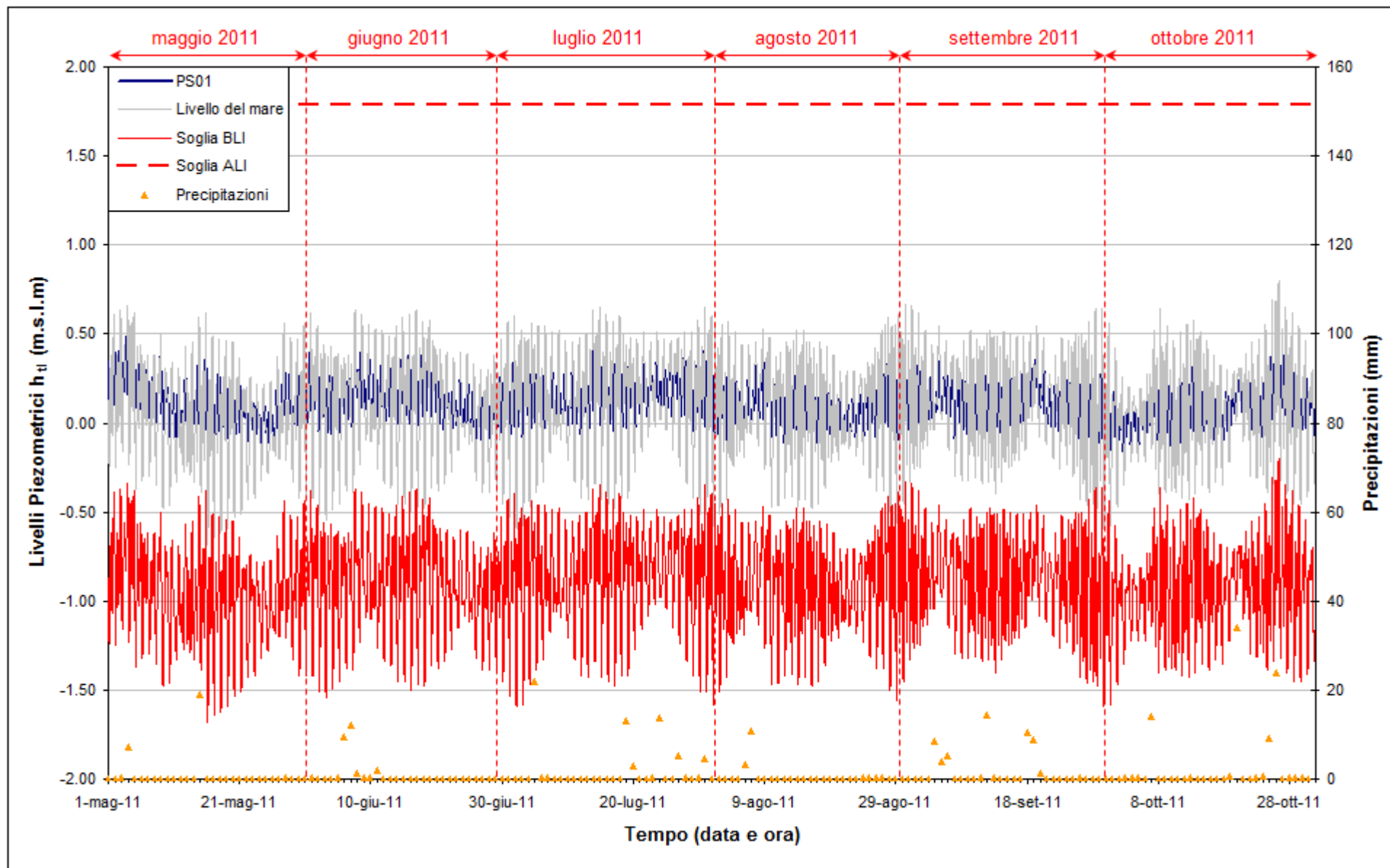


Fig. 2.12 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

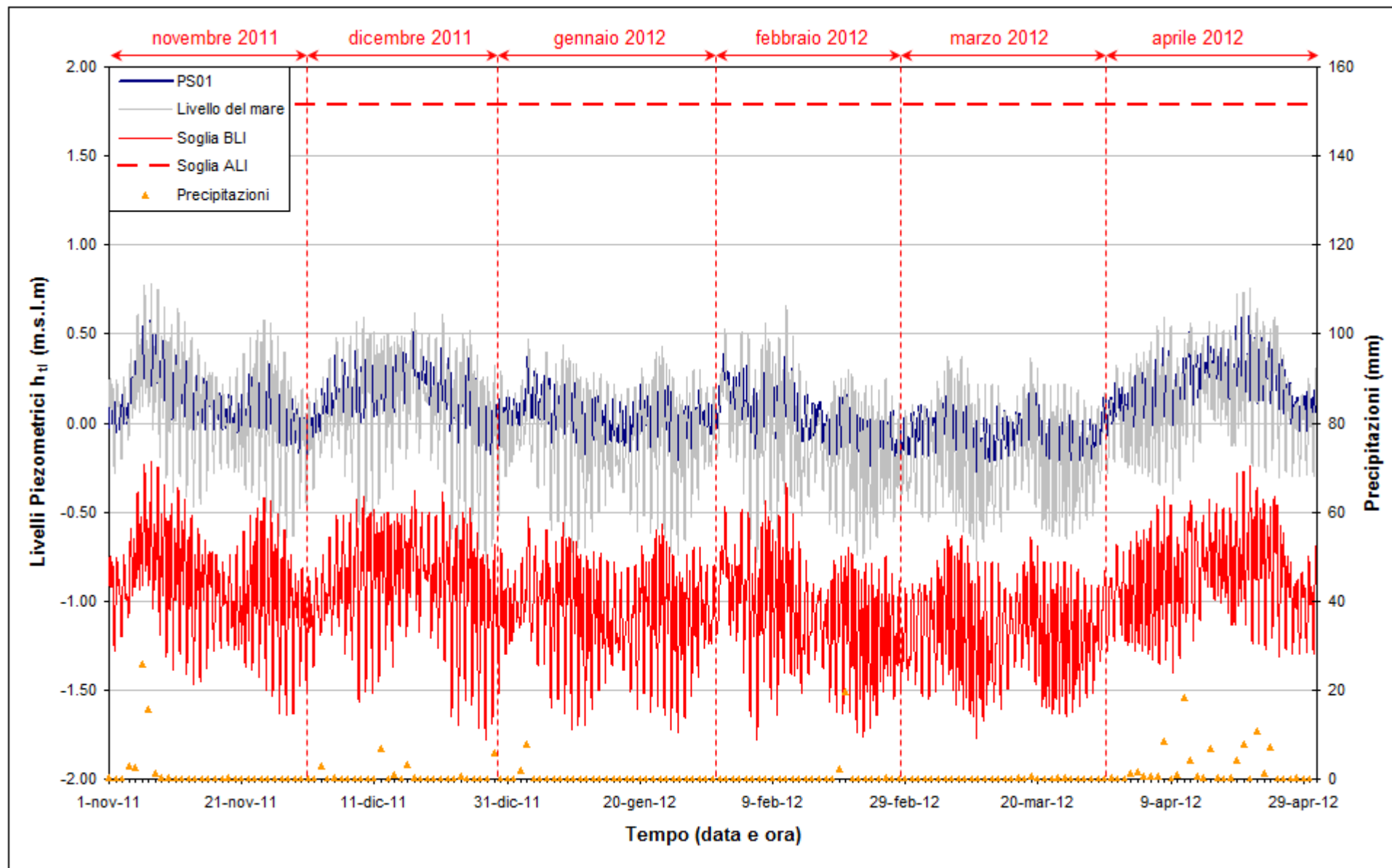


Fig. 2.13 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 – 30/04/2012.

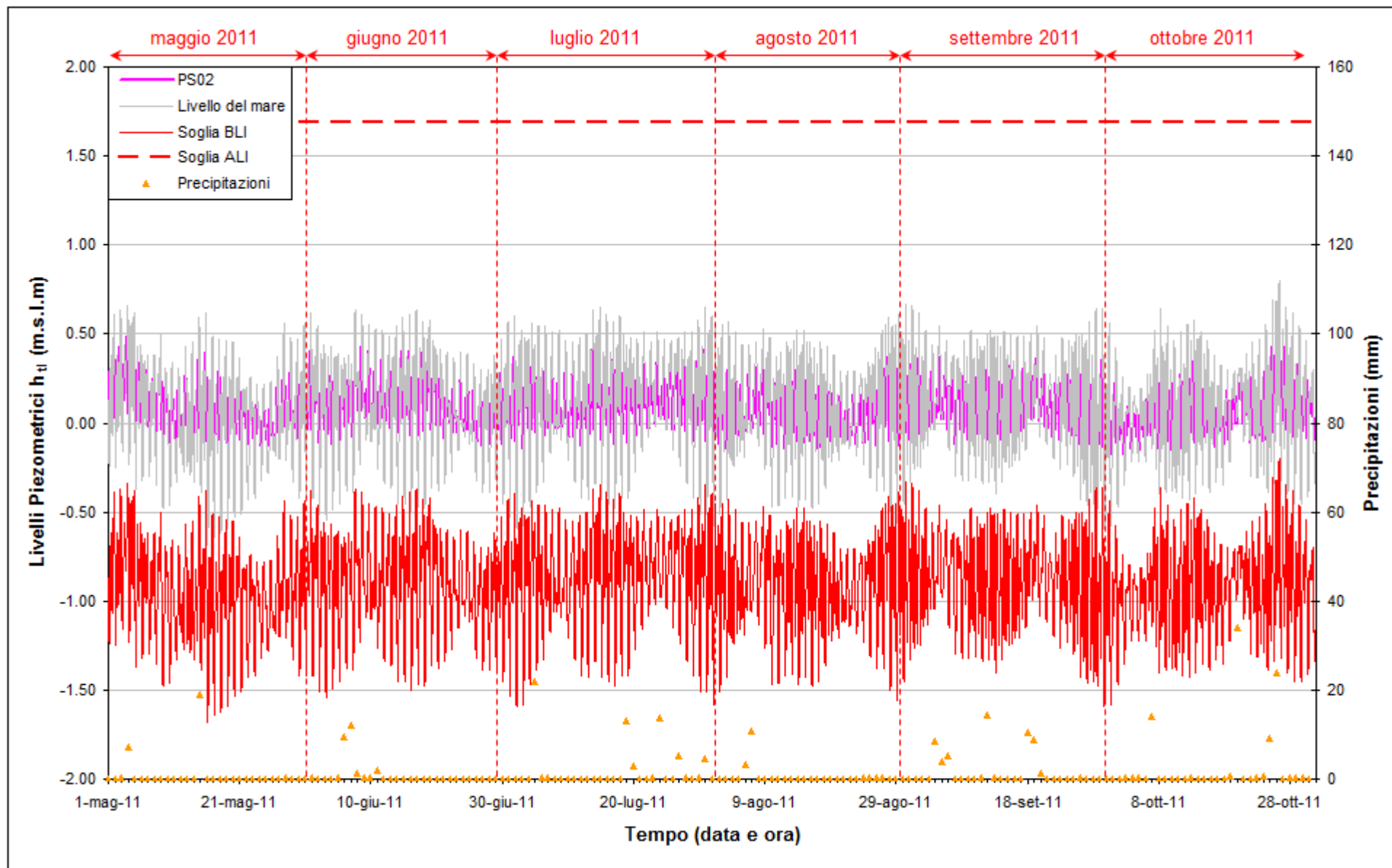


Fig. 2.14 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS02 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

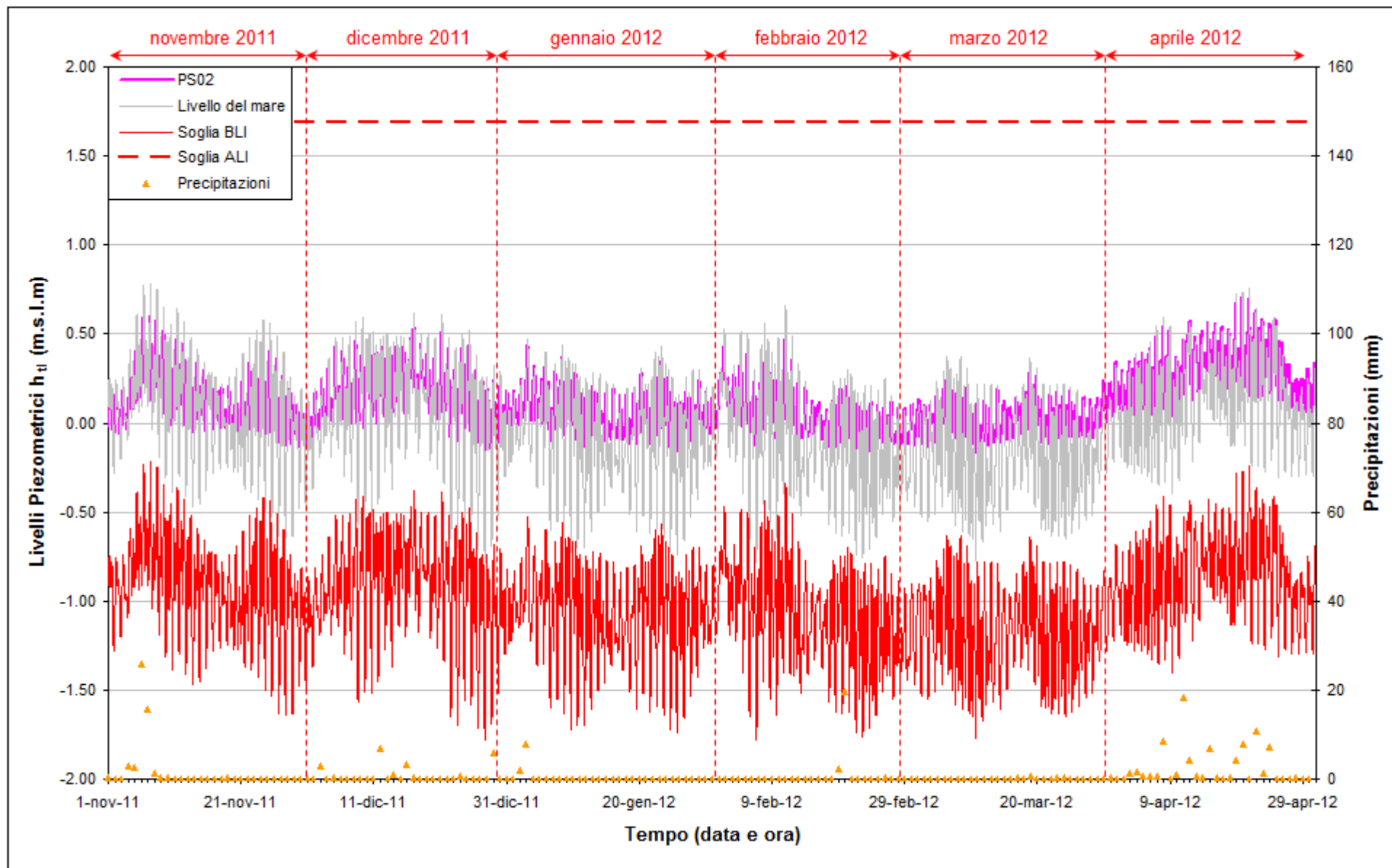


Fig. 2.15 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS02 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 – 30/04/2012.

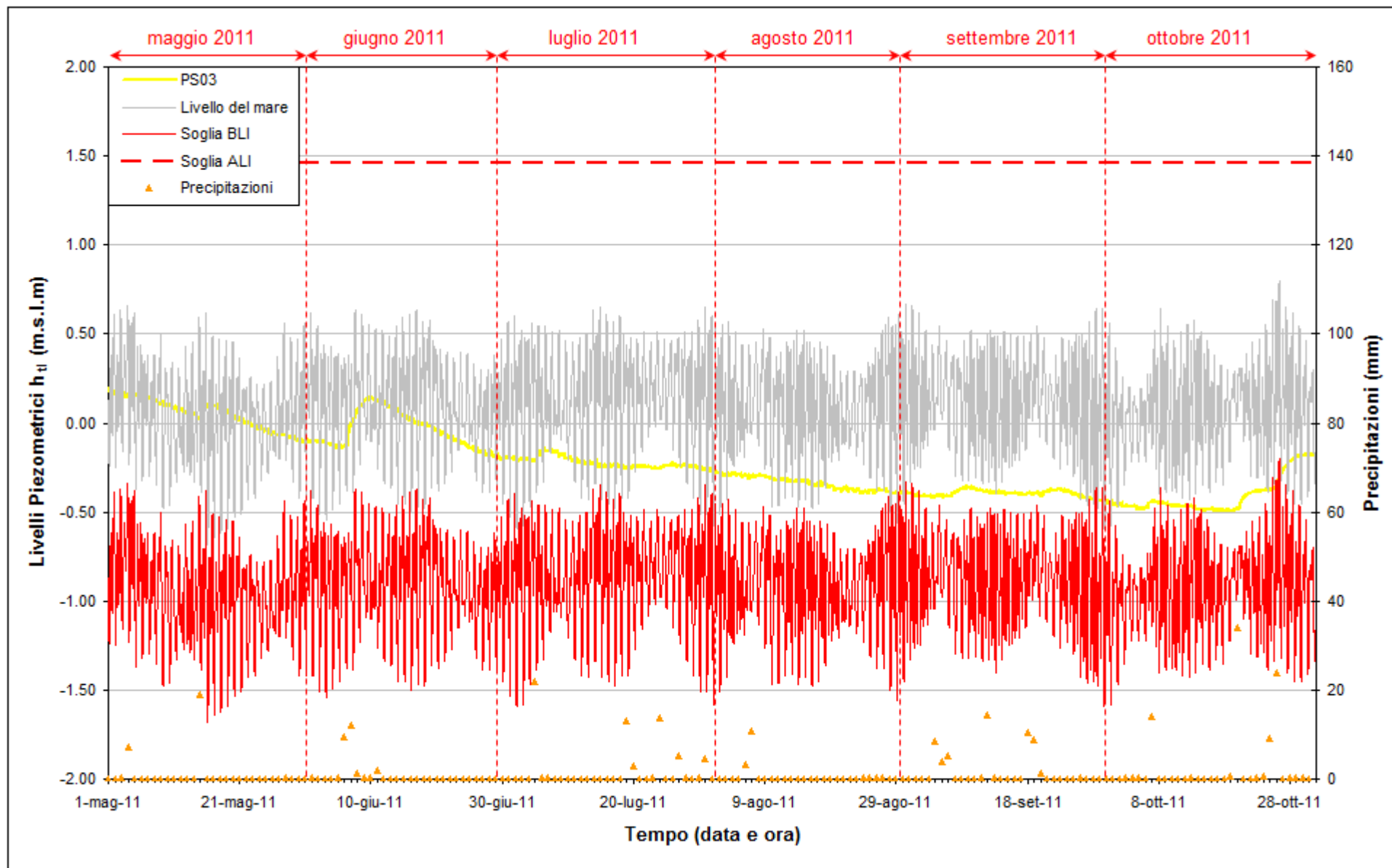


Fig. 2.16 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS03 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 – 31/10/2011.

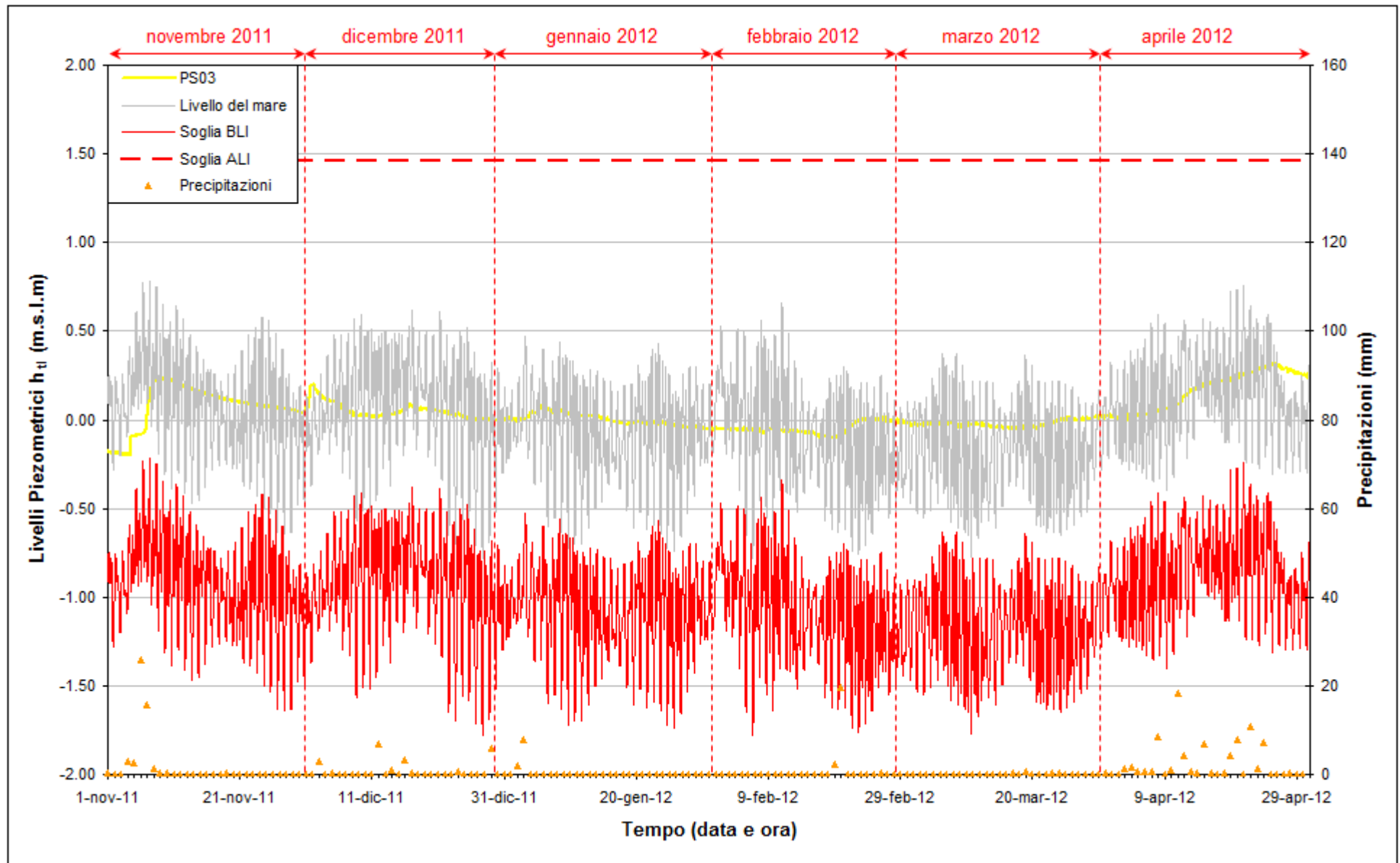


Fig. 2.17 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS03 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 – 30/04/2012.

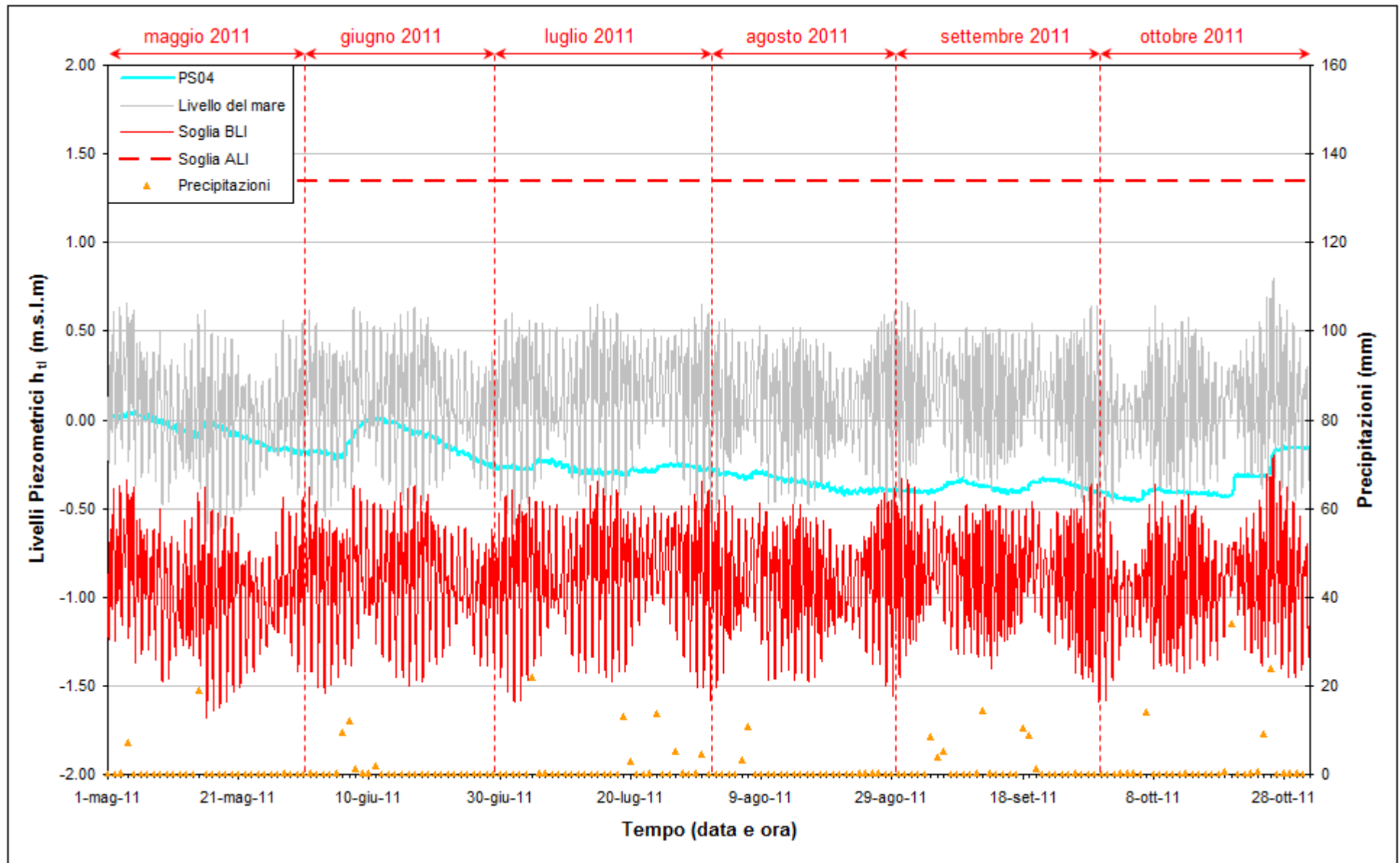
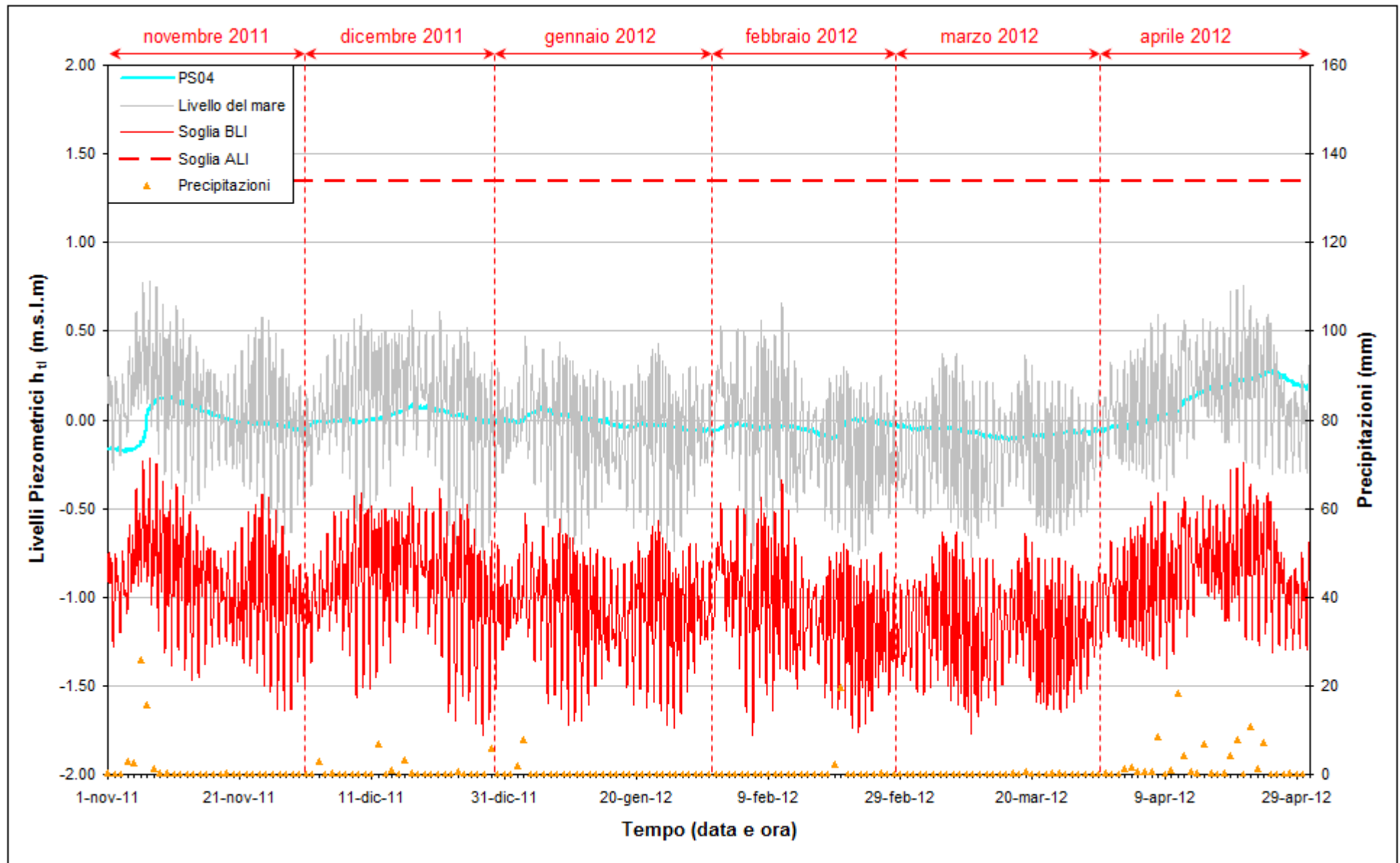


Fig. 2.18 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS04 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 – 31/10/2011.

Fig. 2.19 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro superficiale PS04 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011- 30/04/2012.

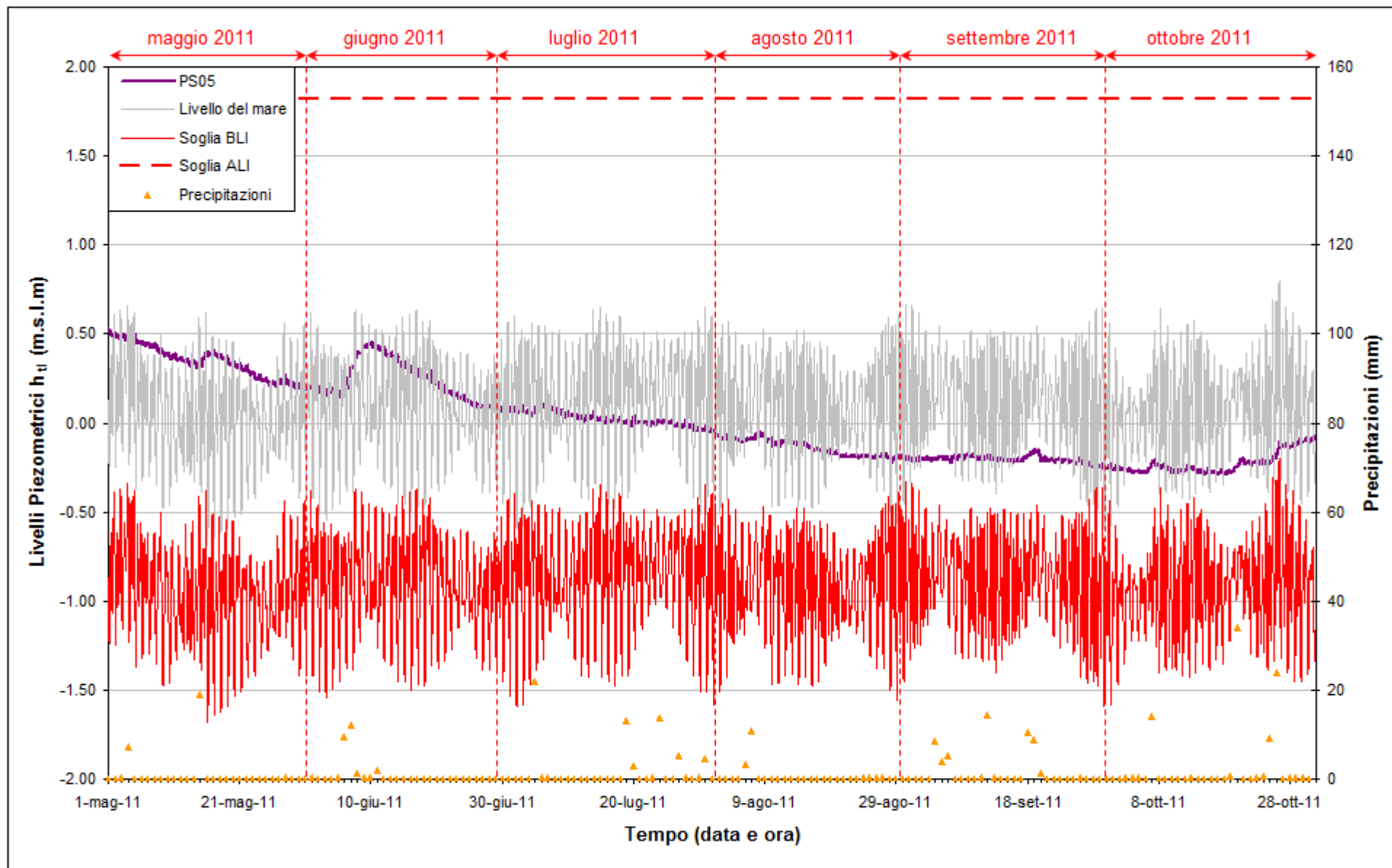
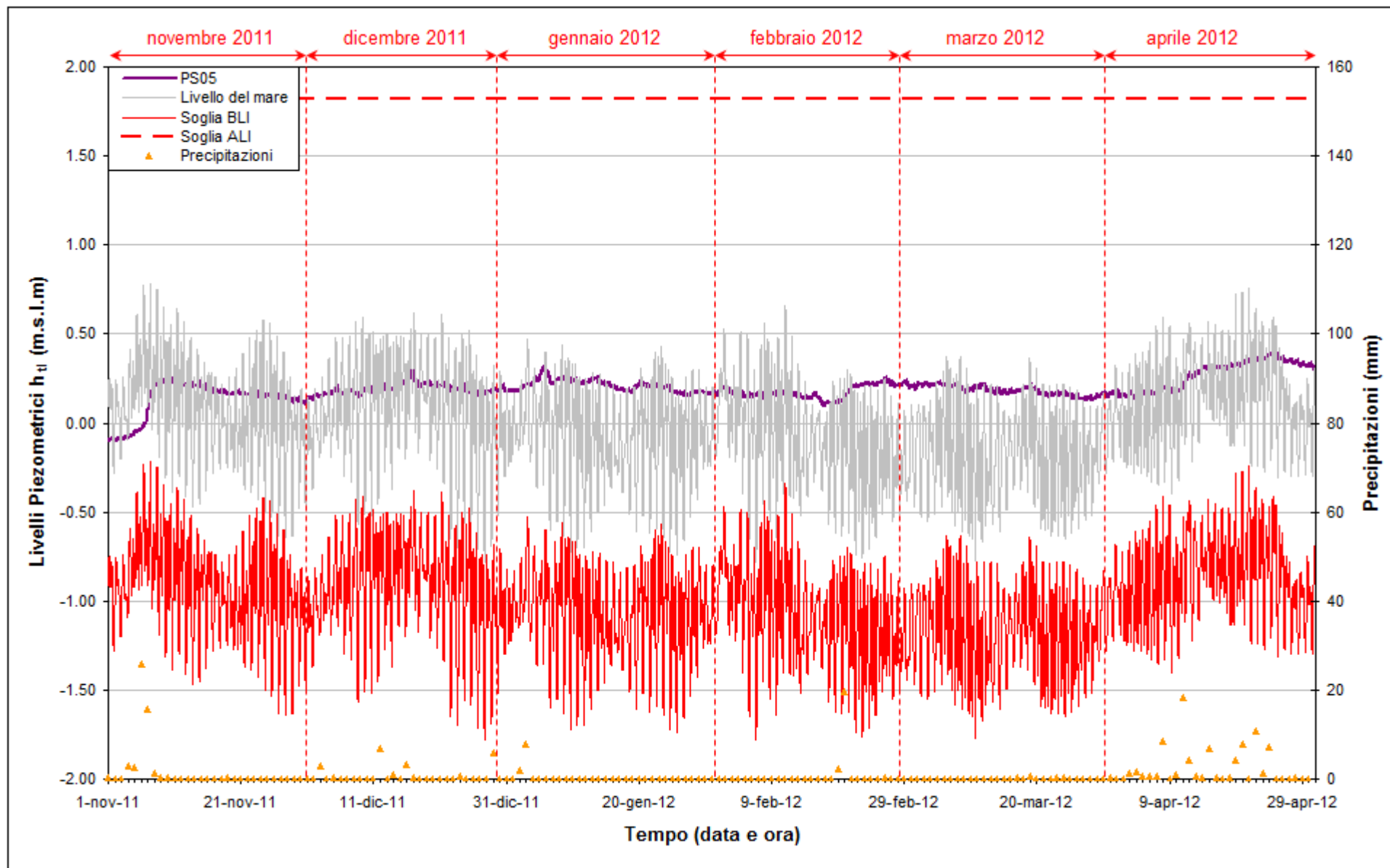


Fig. 2.20 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS05 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 – 31/10/2011.

Fig. 2.21 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS05 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

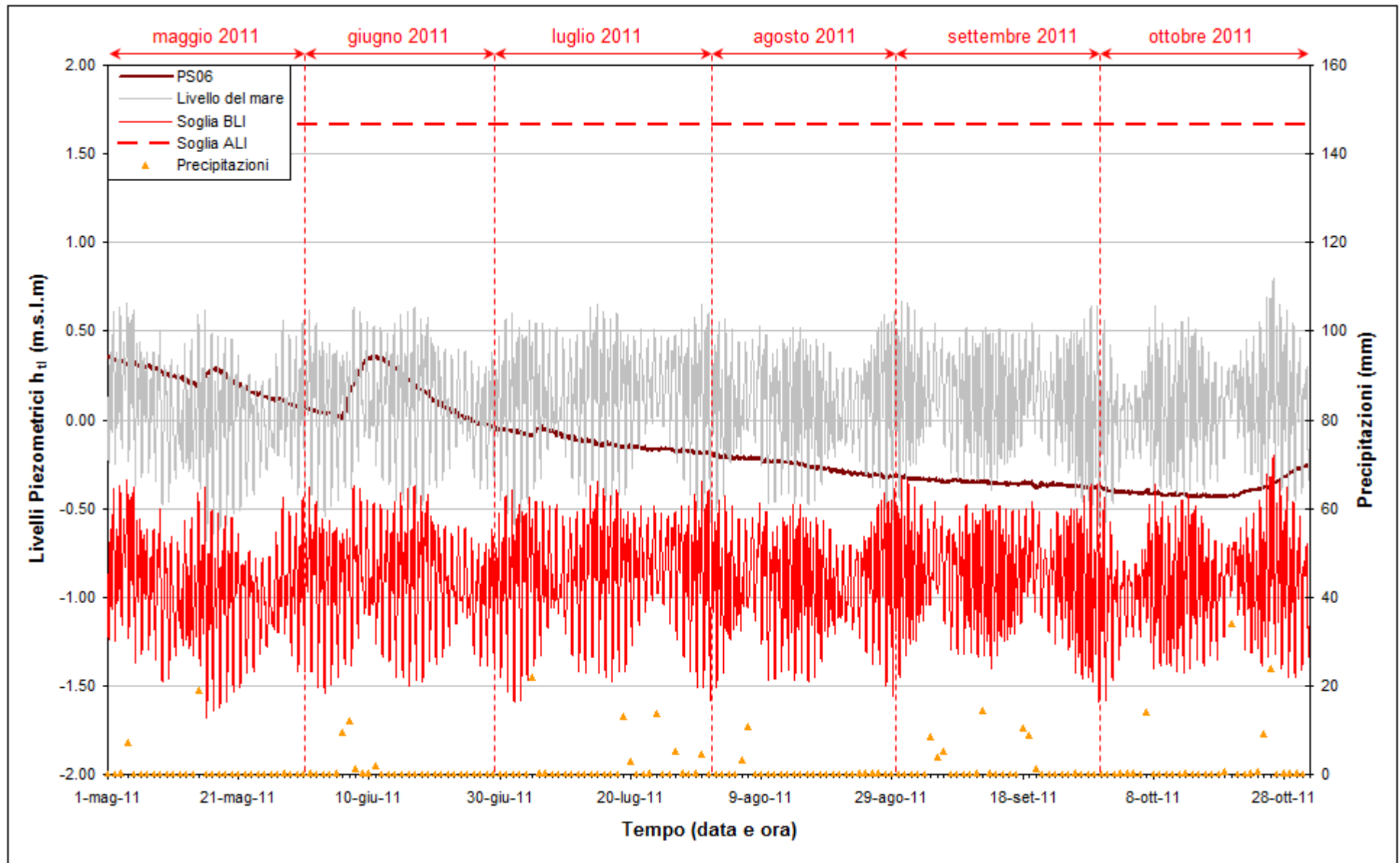


Fig. 2.22 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS06 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 – 31/10/2011.

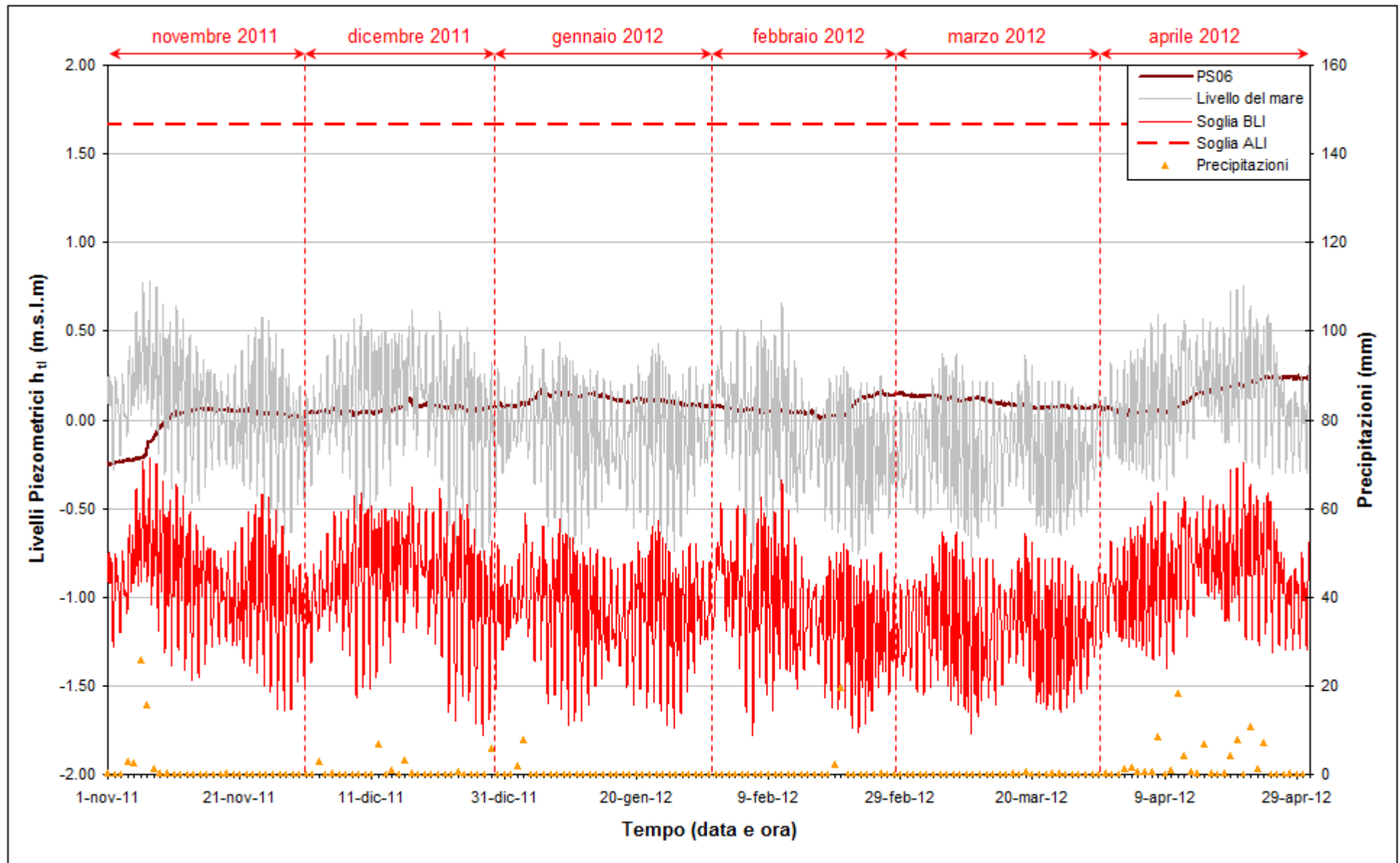


Fig. 2.23 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro superficiale PS06 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011- 30/04/2012.

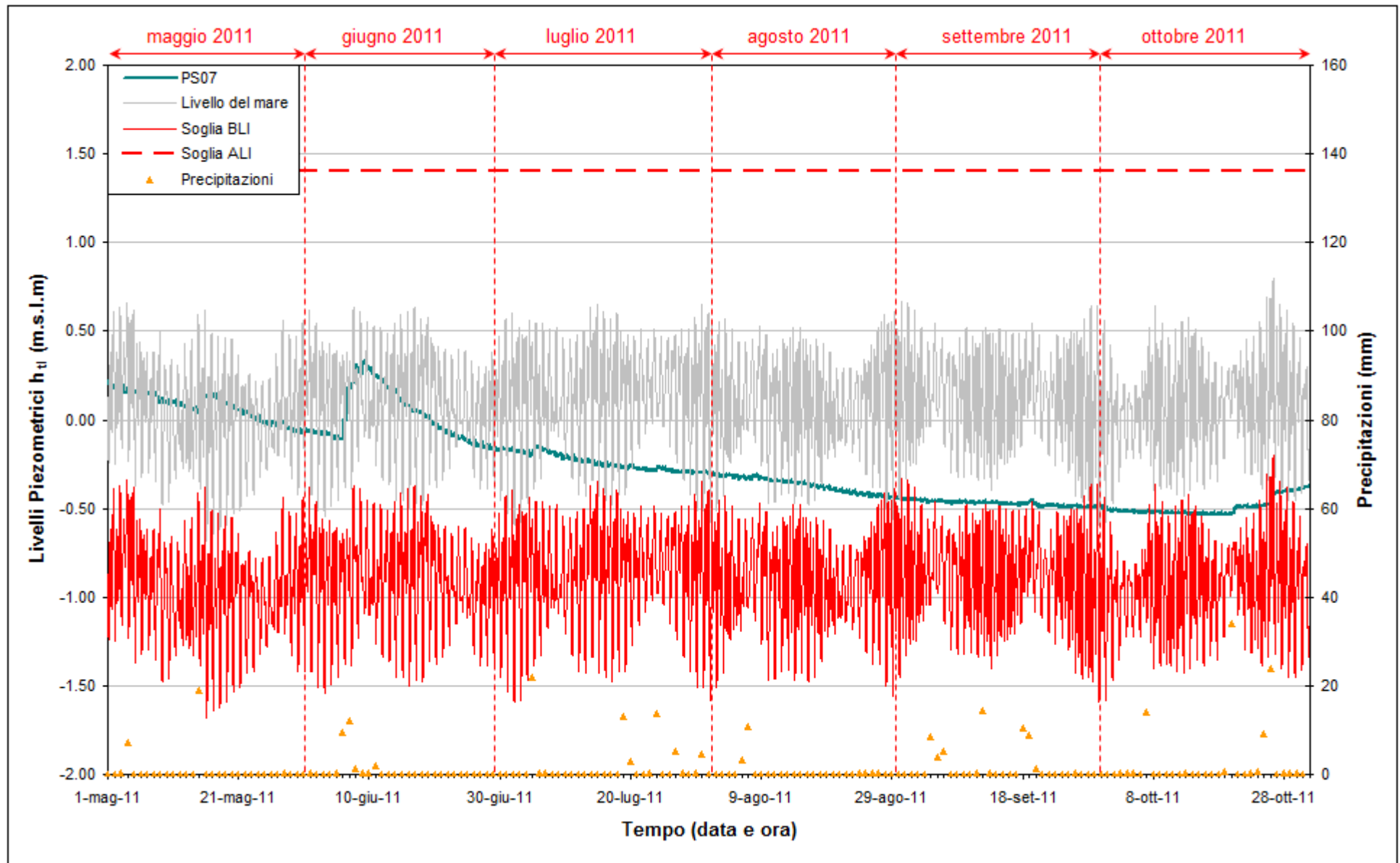


Fig. 2.24 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS07 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

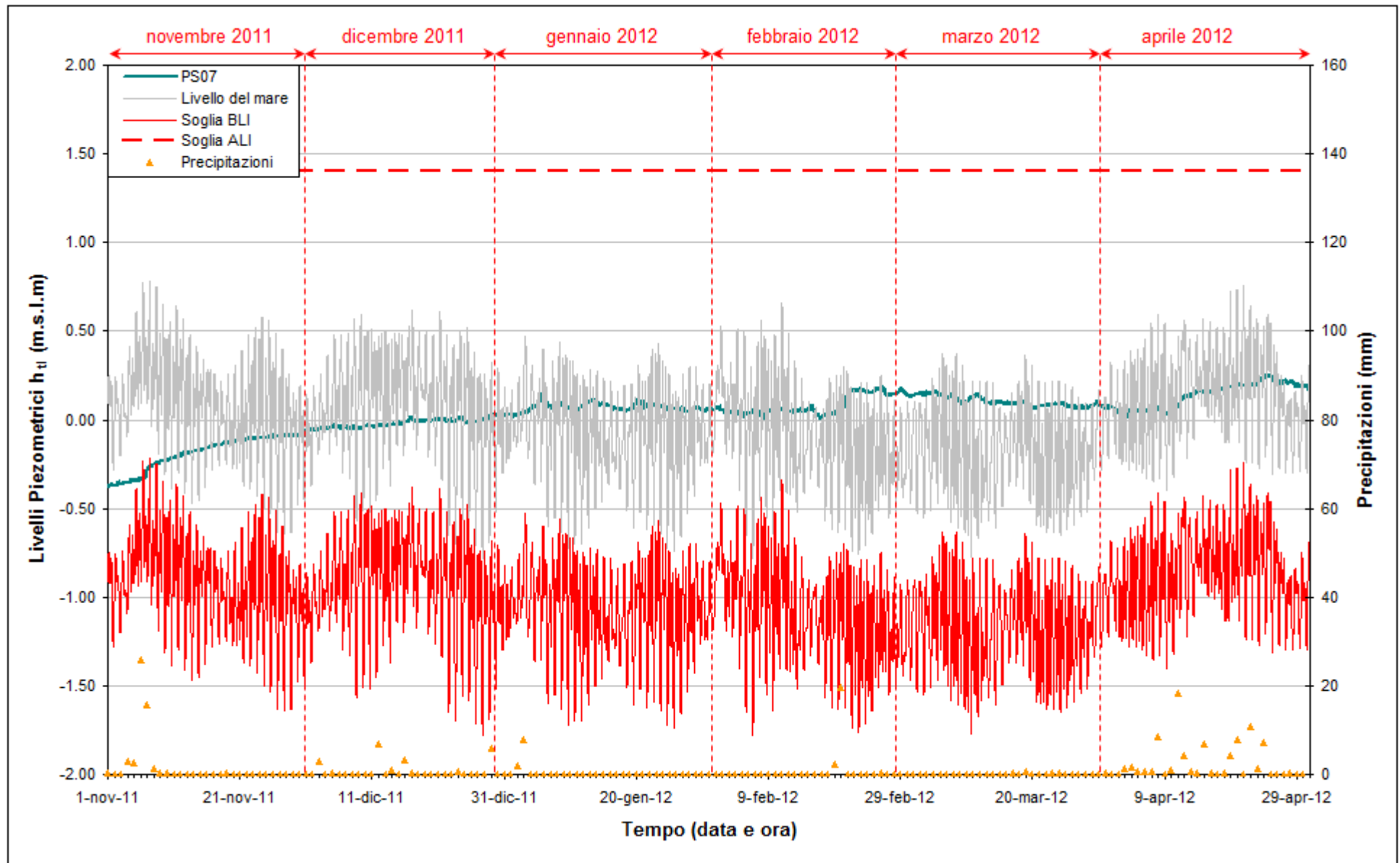


Fig. 2.25 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS07 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 – 30/04/2012.

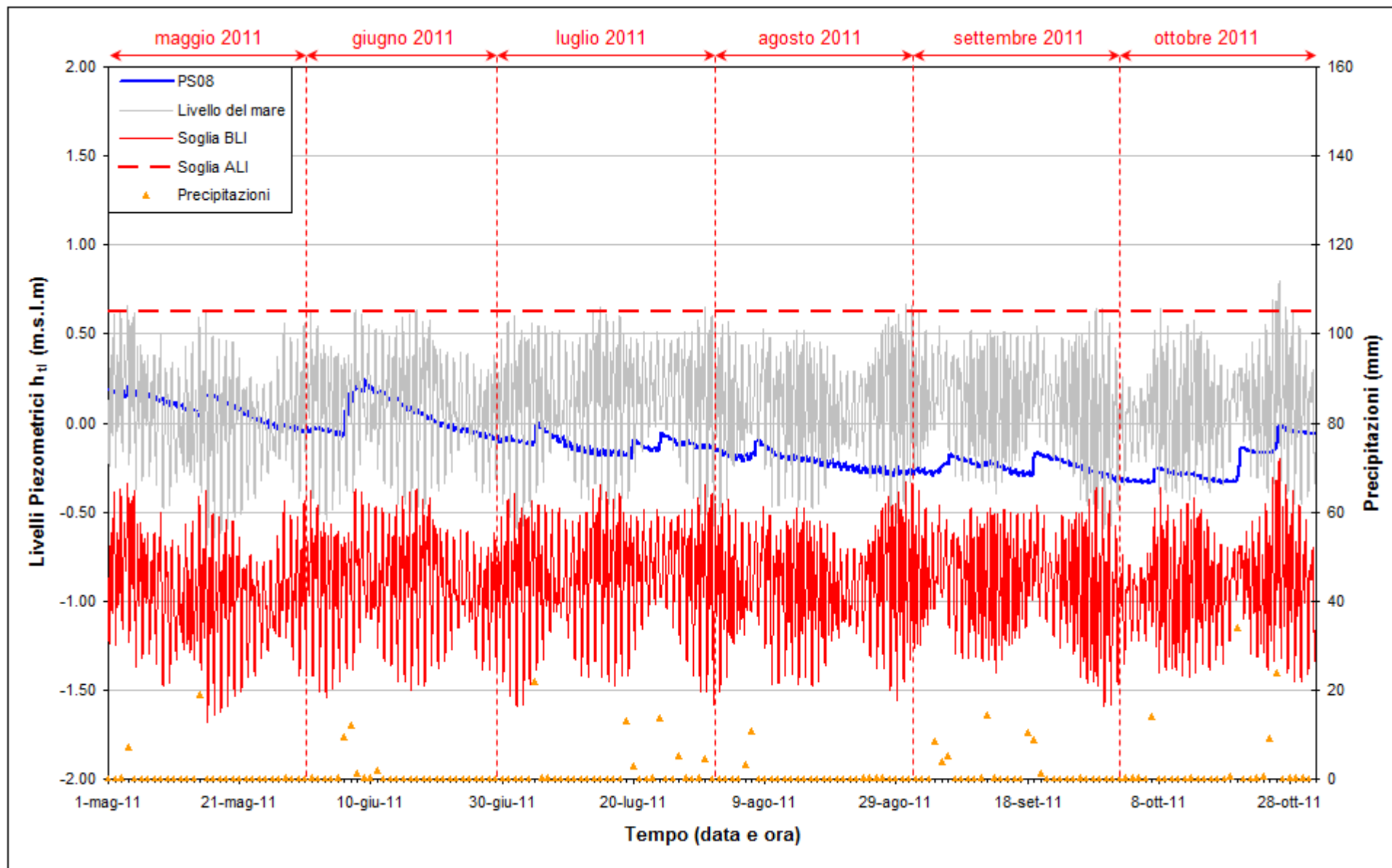


Fig. 2.26 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS08 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 – 31/10/2011.

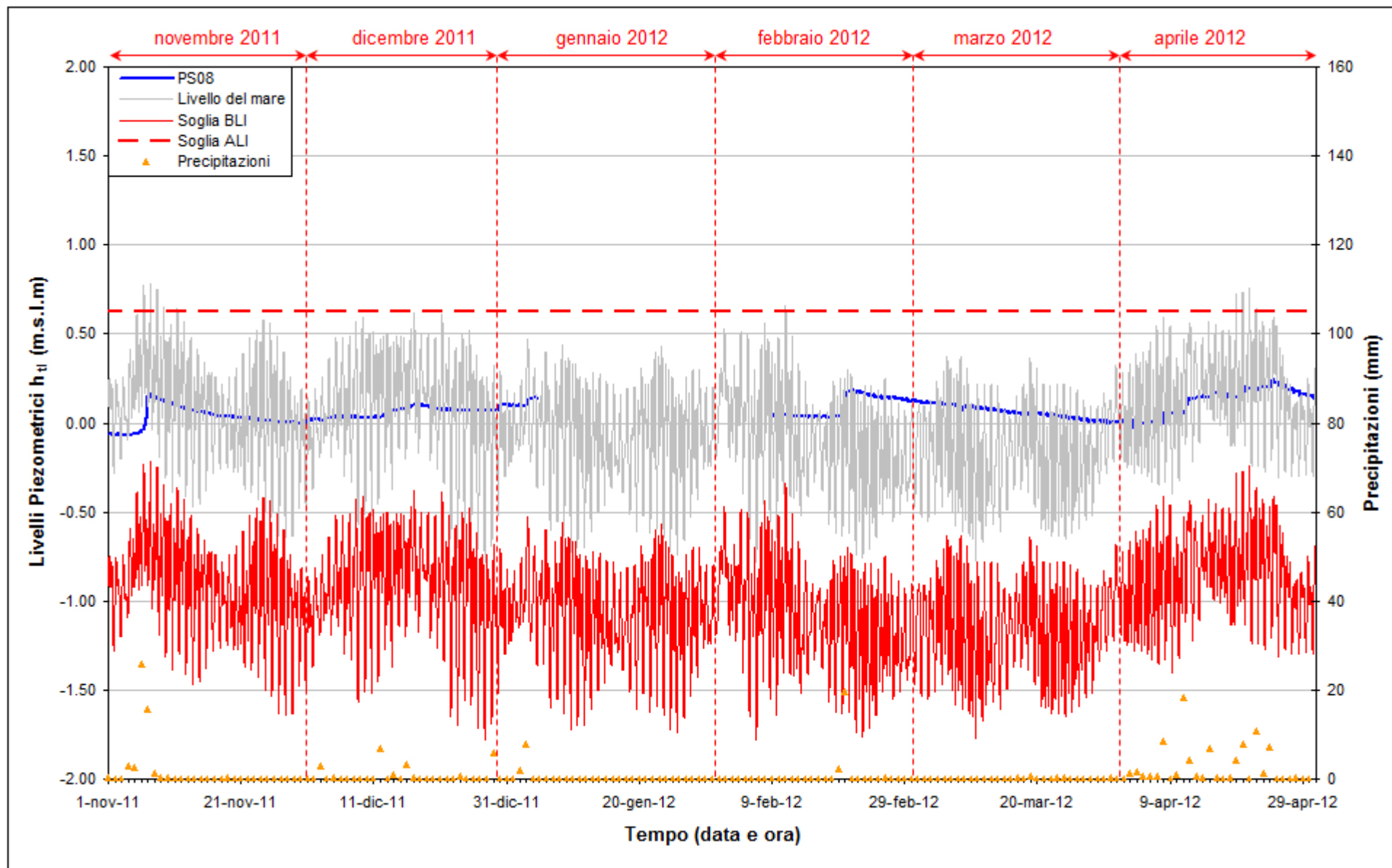


Fig. 2.27 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS08 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

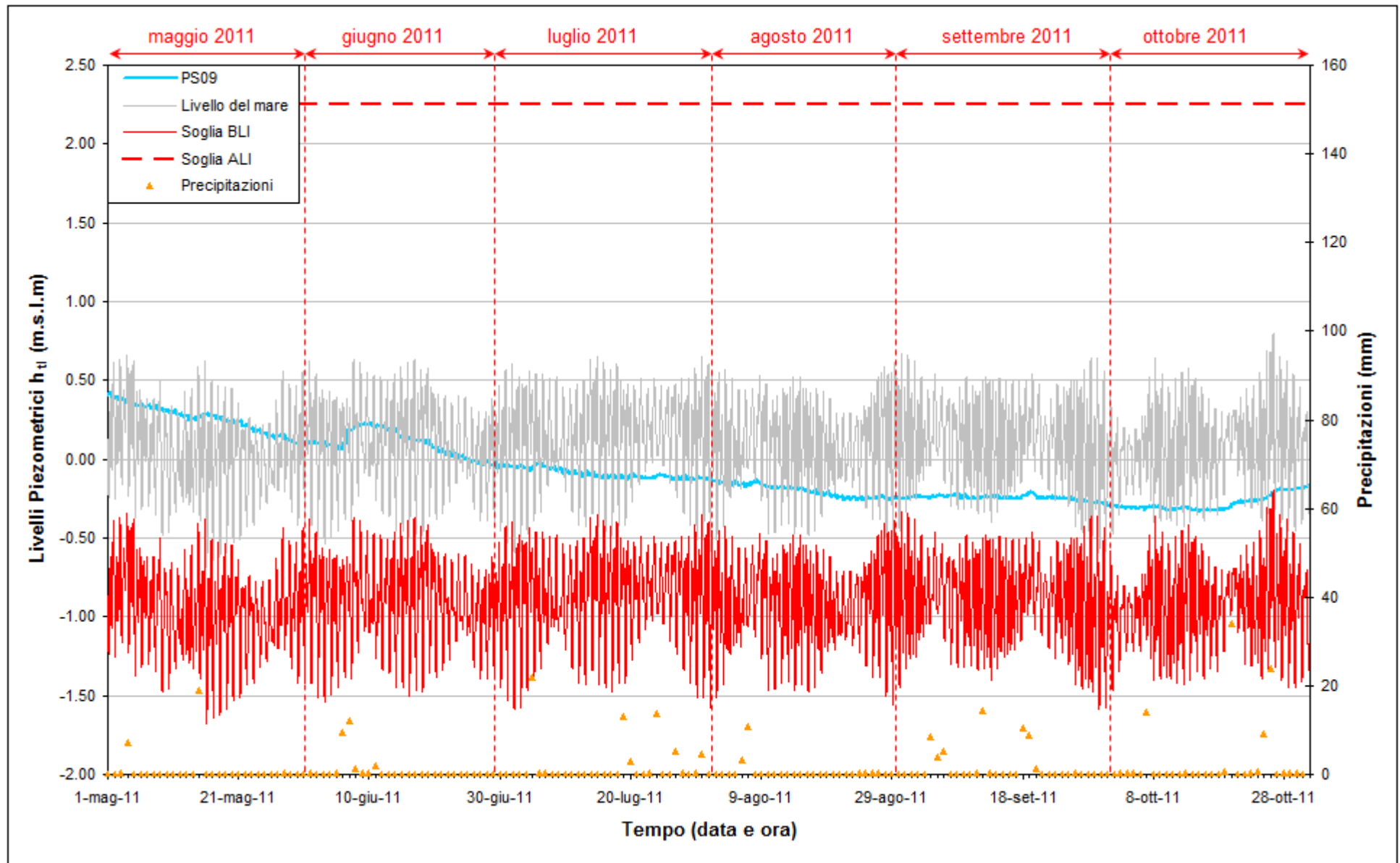


Fig. 2.28 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS09 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

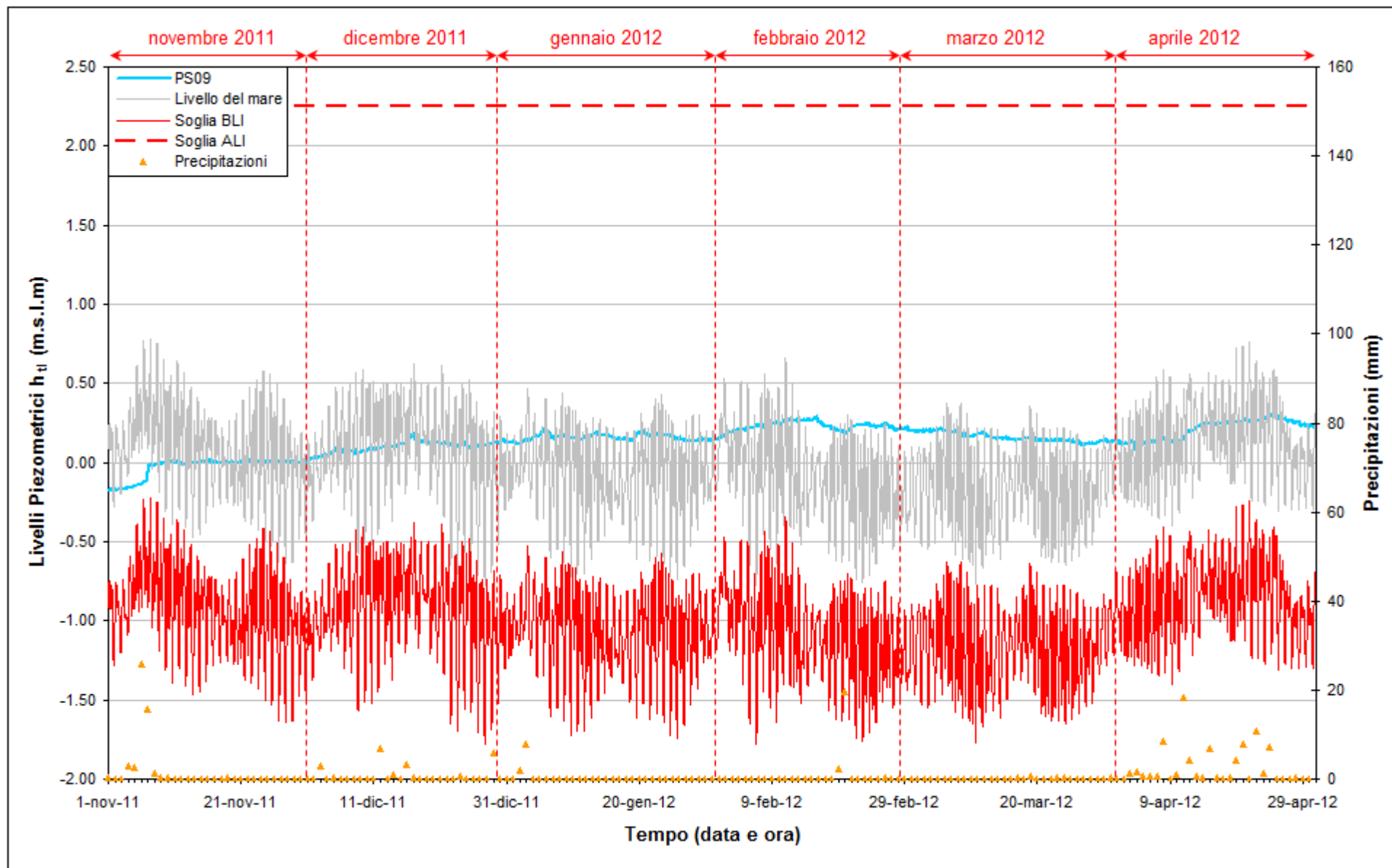


Fig. 2.29 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS09 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 – 30/04/2012.

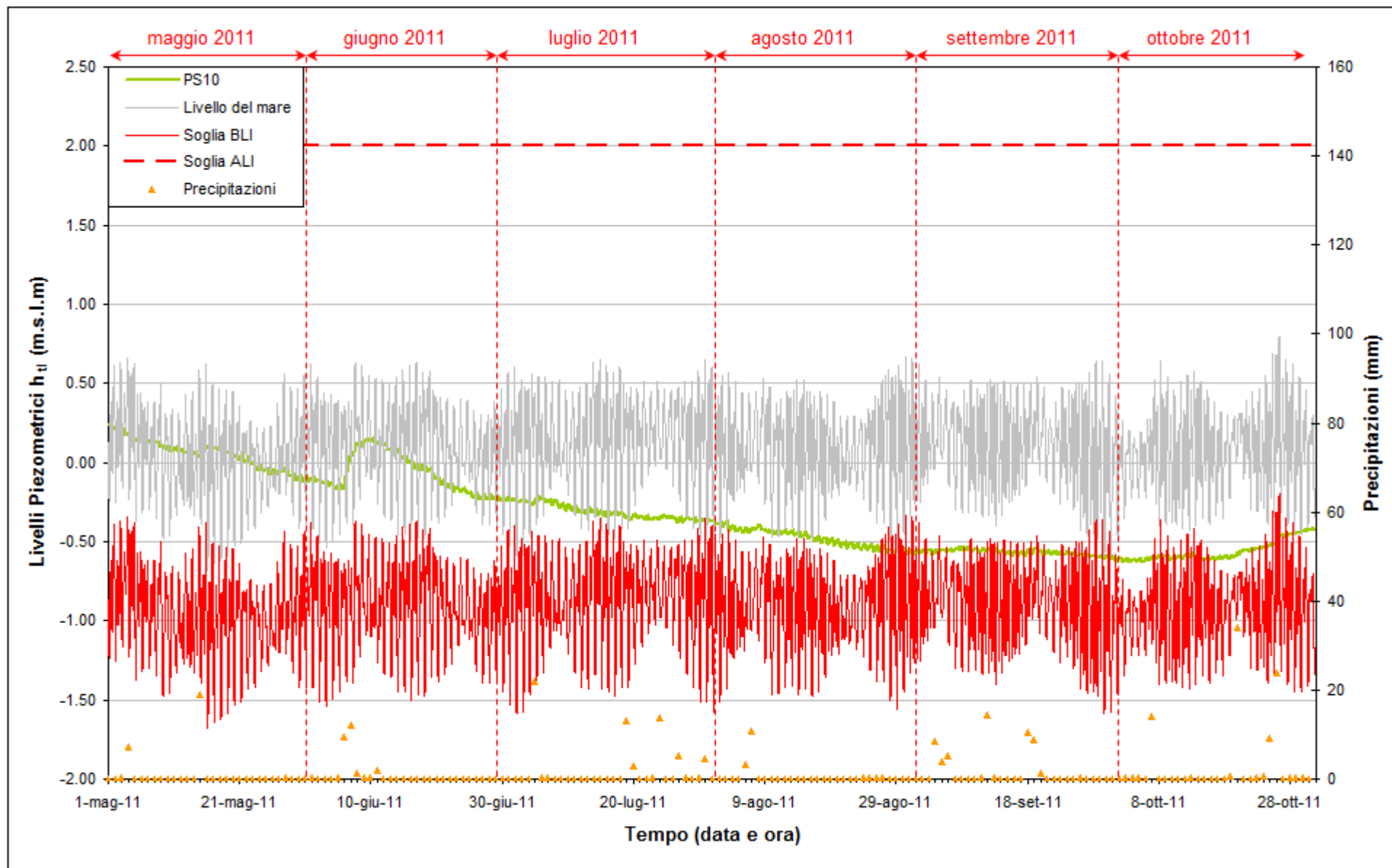


Fig. 2.30 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS10 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 – 31/10/2011.

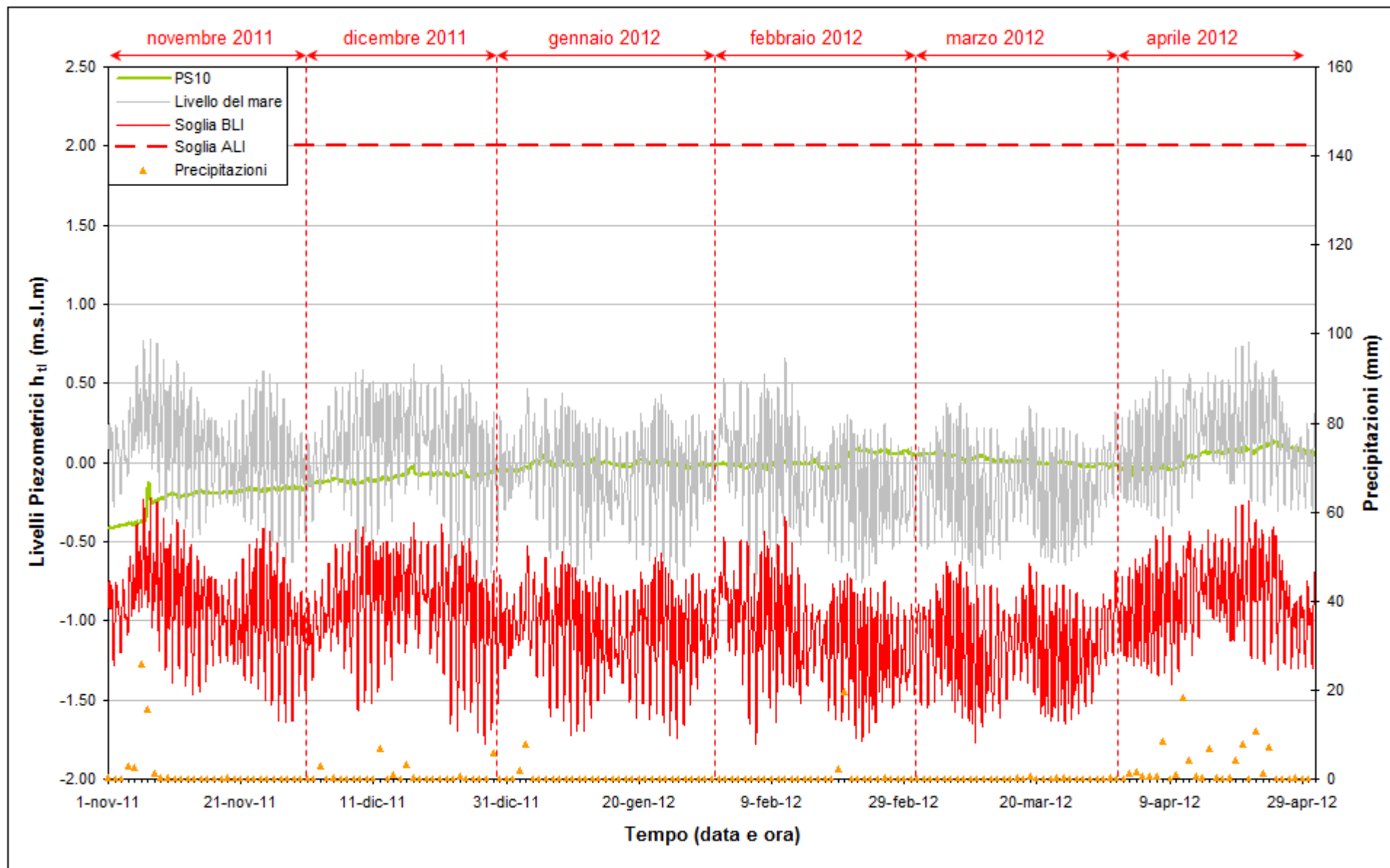


Fig. 2.31 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS10 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 – 30/04/2012.

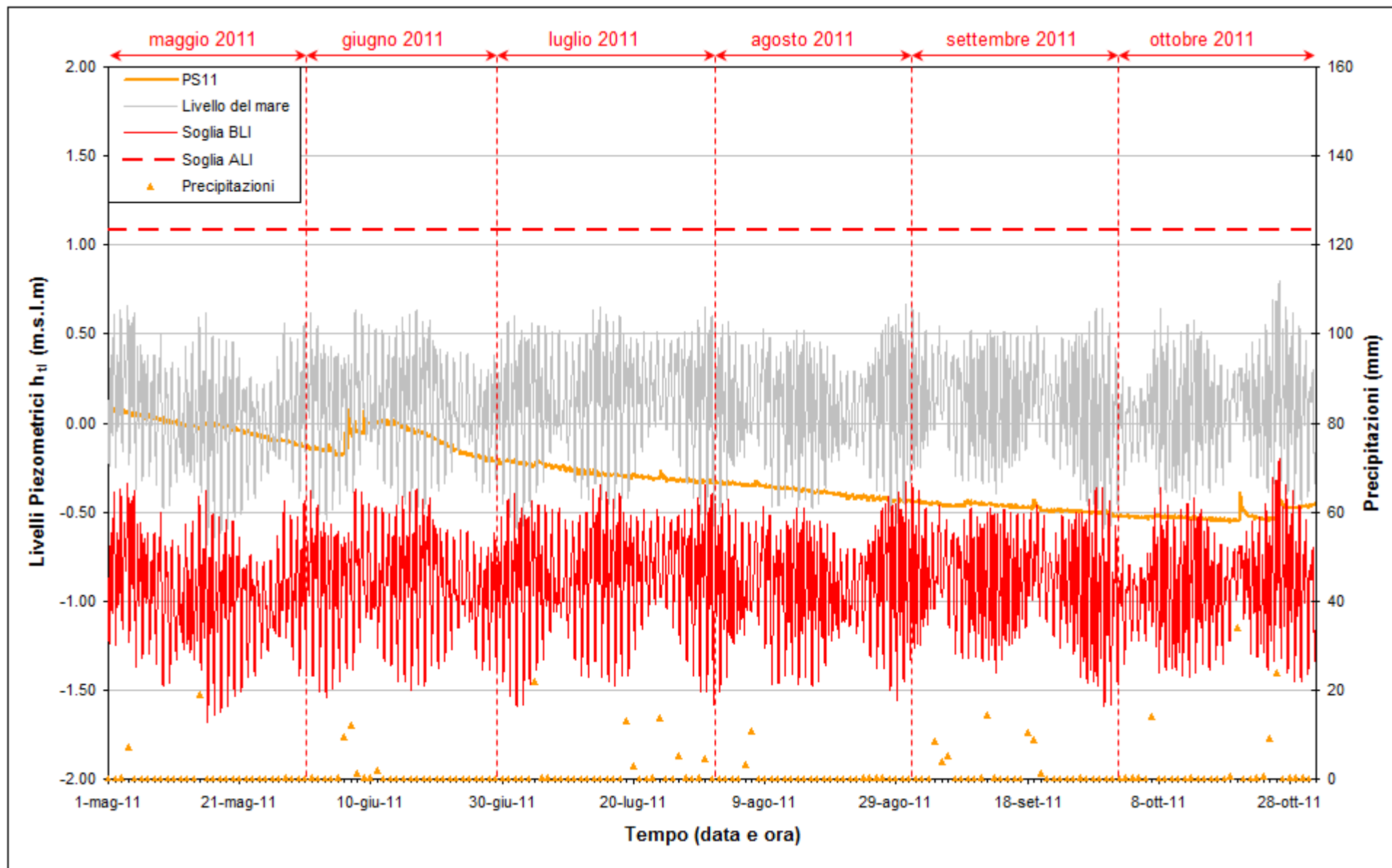


Fig. 2.32 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS11 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 – 31/10/2011.

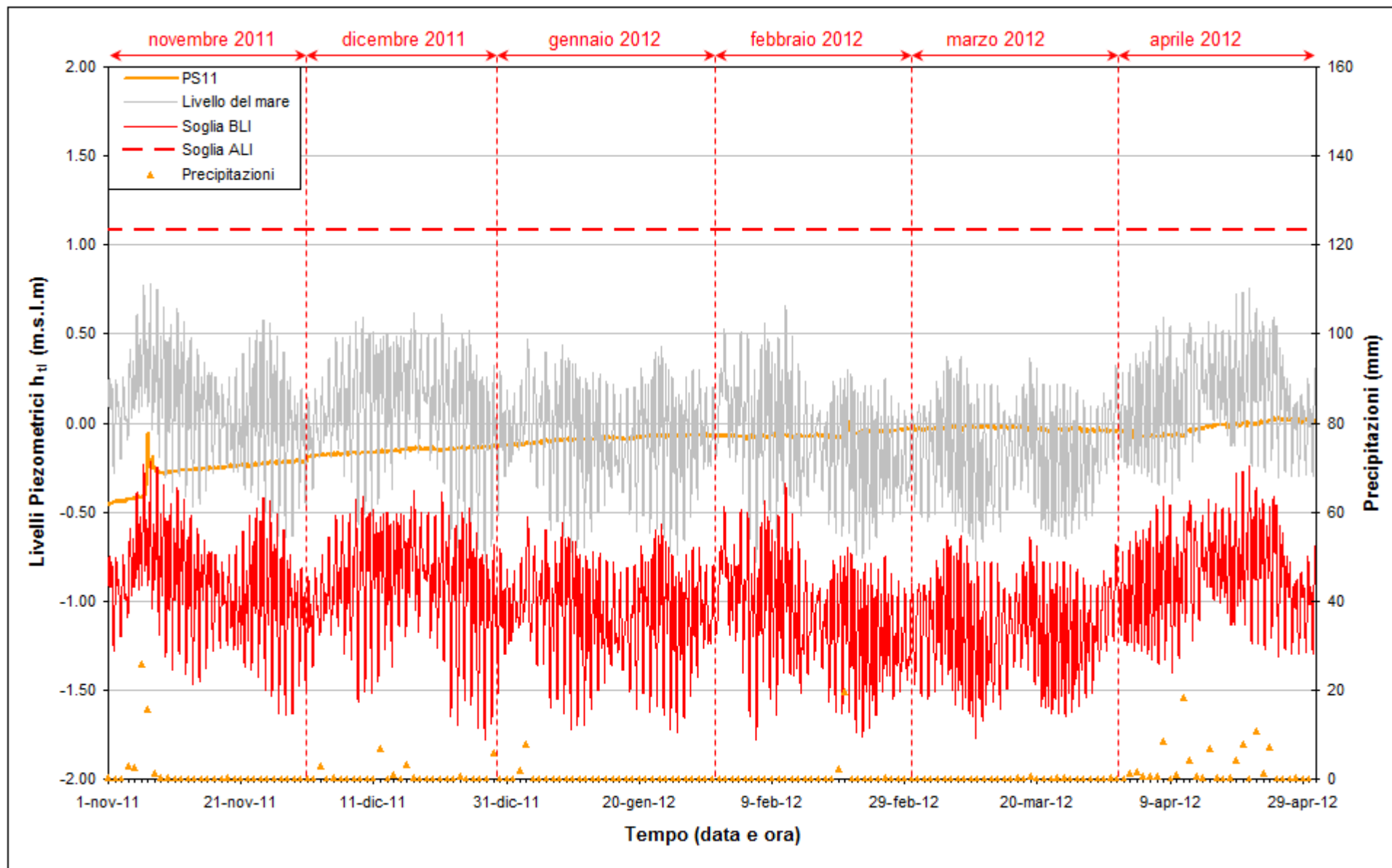


Fig. 2.33 – Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale PS11 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 – 30/04/2012.

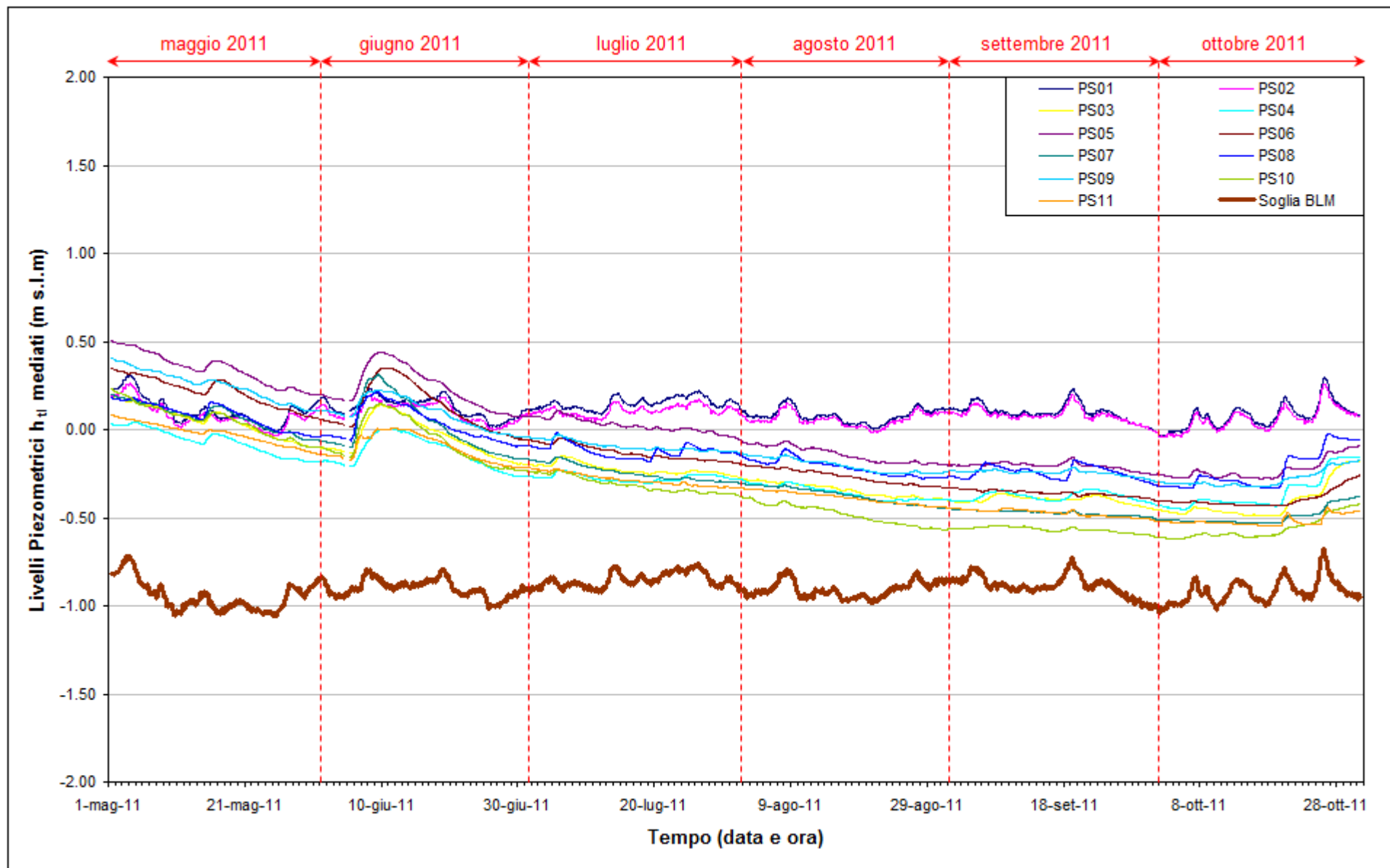


Fig. 2.34 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

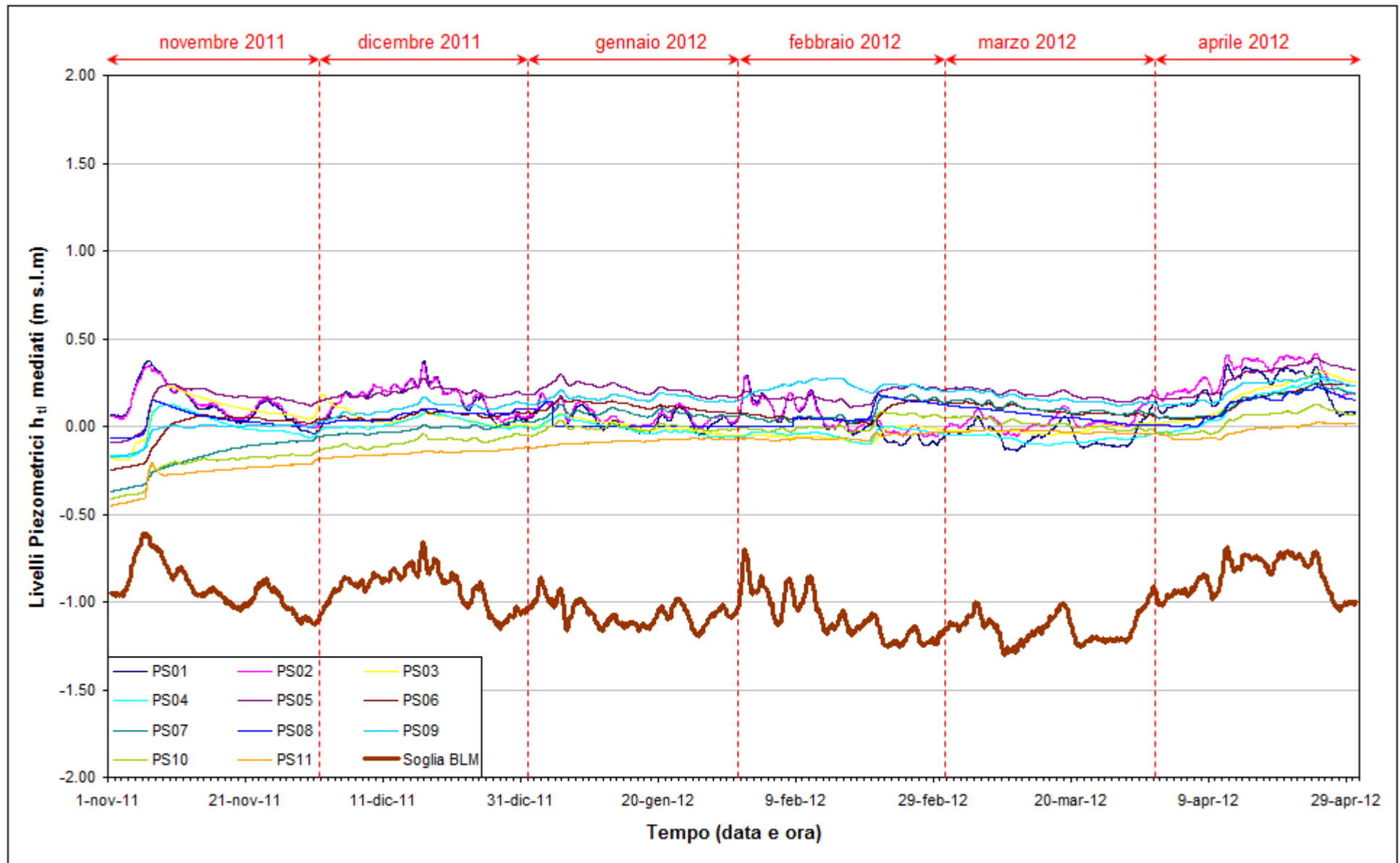


Fig. 2.35 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

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. 2.36 sono rappresentate le serie temporali degli 11 piezometri profondi e delle precipitazioni nella fase A (ottobre - novembre 2005). Nelle Fig.2.37-2.38 è rappresentato l'andamento complessivo dei 14 piezometri profondi e delle precipitazioni durante il periodo di monitoraggio, mentre nelle Figg. 2.39÷2.66 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. 2.67 - 2.68 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 compreso tra maggio 2011 e febbraio 2012 si osservano ancora gli effetti del pompaggio di dewatering. Dopo una iniziale discesa del carico idraulico nei piezometri PP04 e PP12, segue una risalita di circa 100 cm tra giugno e ottobre 2011, dovuta ad un affinamento del sistema di dewatering, la cui portata è stata ridotta progressivamente da 550 a 450 mc/d circa con lo spegnimento dei pozzi S5 ed S1, ed alla manutenzione straordinaria dei pozzi collocati nella porzione inferiore della tura (fonte: comunicazione CVN del 28/06/2012).

In data 03/03/12, essendo terminata la prefabbricazione dei cassoni di alloggiamento delle barriere mobili, la Direzione Lavori ha comunicato l'interruzione del pompaggio di dewatering della tura. In data 3 Marzo è iniziato l'allagamento della tura, mentre in data 19 Marzo tutte le pompe del sistema di dewatering sono state definitivamente spente.

Di conseguenza, a partire dalla fine del pompaggio, si è osservato l'innalzamento dei carichi idraulici nell'acquifero profondo, con le seguenti variazioni:

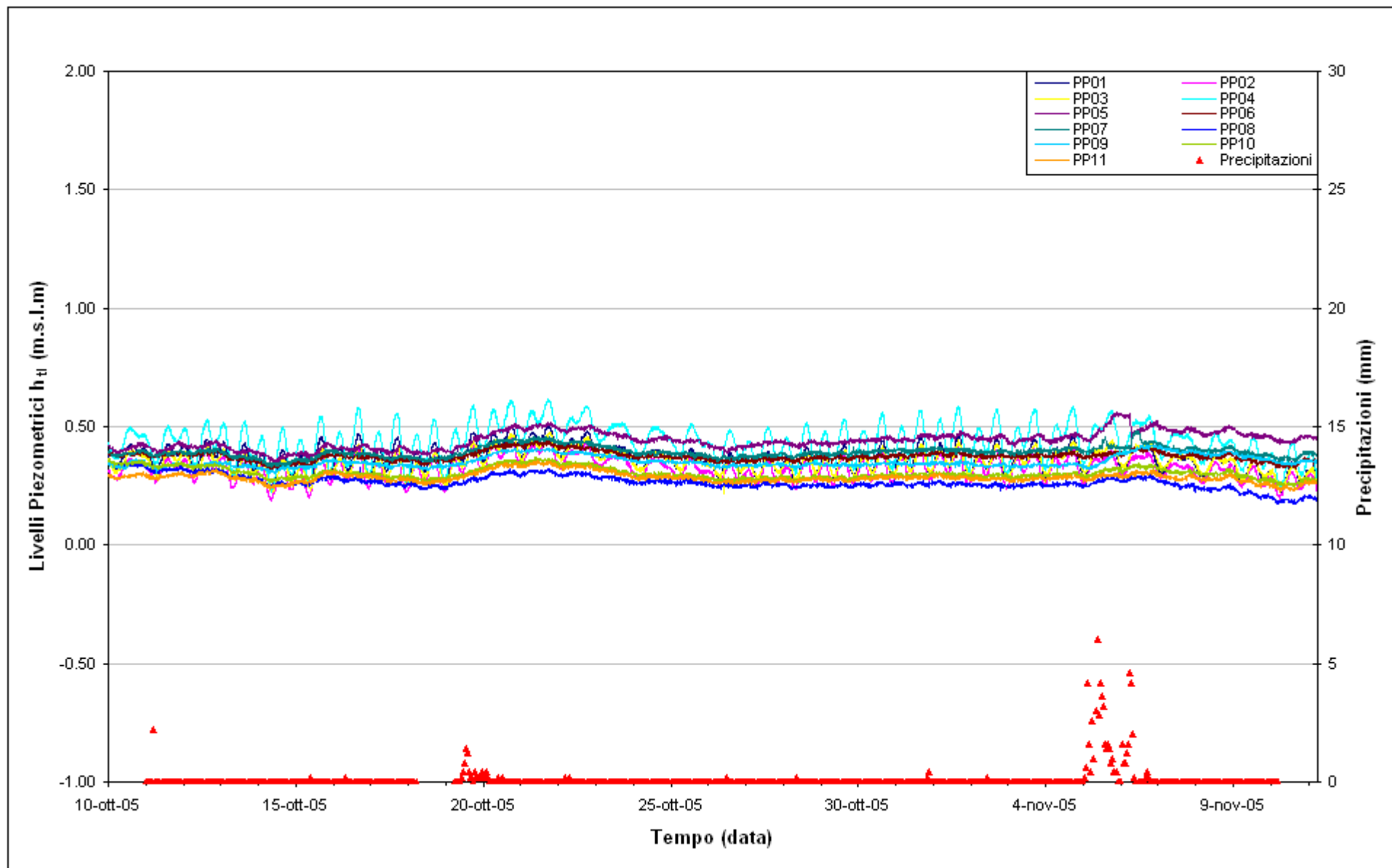
- circa 450 cm in PP04 e 330 cm in PP12, le due postazioni più vicine alla tura;
- circa 170 cm in PP03, 120 cm in PP13 e 80 cm in PP14, poste a una distanza di circa 200m da PP04;
- 30÷50 cm circa in PP01, PP02, PP05, PP06, PP08, PP11, poste tra 400 e 900 m di distanza da PP04;

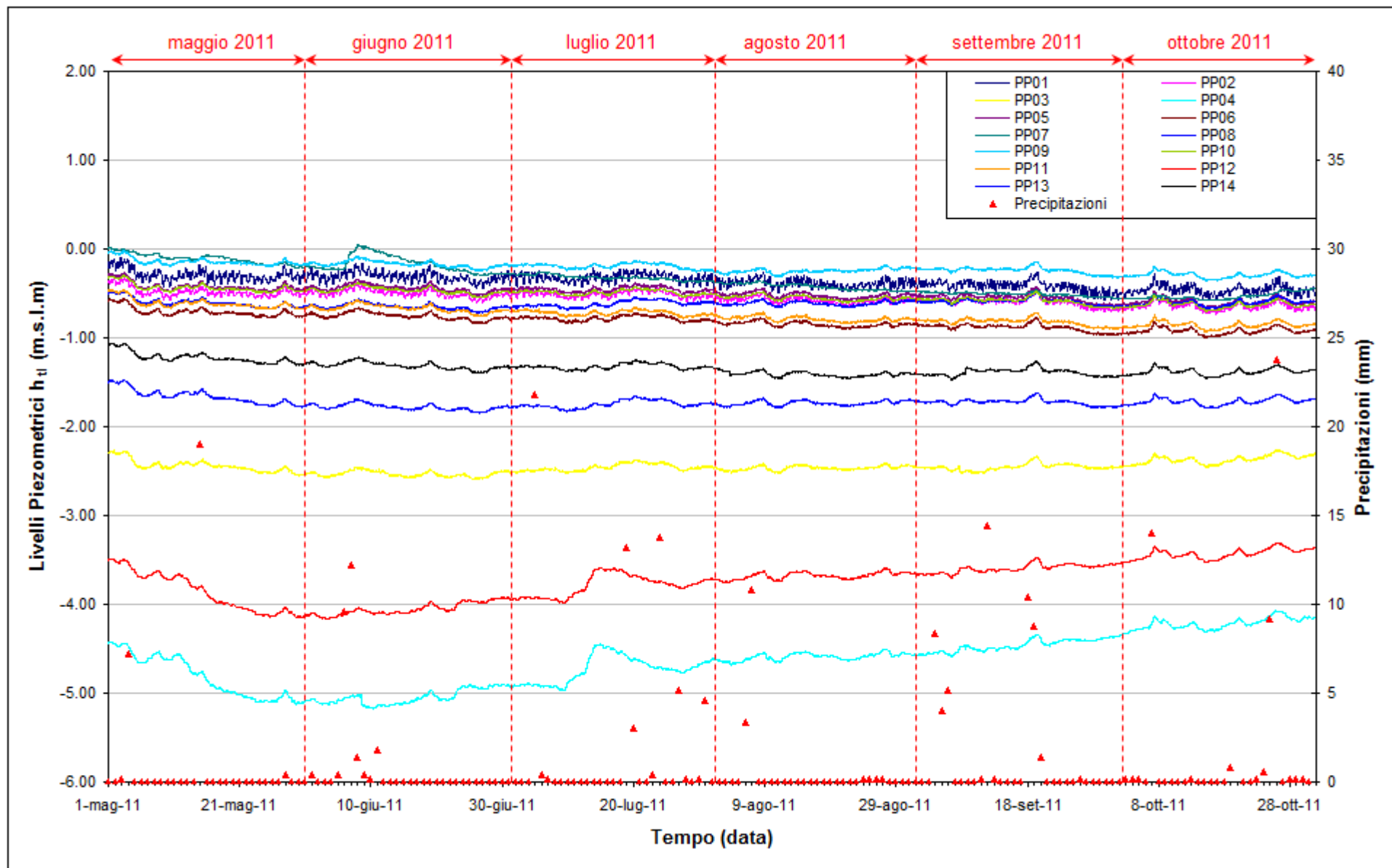
Nella postazione PP09 si osserva invece un aumento del carico idraulico di circa 220 cm: dal confronto tra la soggiacenza di falda e il carico idraulico misurato dal trasduttore è stato però appurato che questa variazione è dovuta a un'anomalia strumentale. Il trasduttore sarà sostituito nel sopralluogo di giugno 2012.

Le soglie di Alto Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate in tutti i piezometri profondi.

La soglia di Basso Livello Istantaneo è stata sempre superata, fino all'interruzione del pompaggio di dewatering, nei piezometri PP03, PP04, PP12, PP13, PP14, mentre negli altri piezometri profondi si sono verificati alcuni superamenti in occasione dei massimi mareali.

La soglia di Basso Livello Medio è stata sempre superata, fino all'interruzione del pompaggio di dewatering, nei piezometri PP03, PP04, PP12, PP13, PP14, mentre nei piezometri PP06 e PP11 si sono verificati alcuni superamenti durante i periodi caratterizzati da maggiori altezze di marea.

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

Fig. 2.37 - Livelli piezometrici (h_u) relativi ai piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

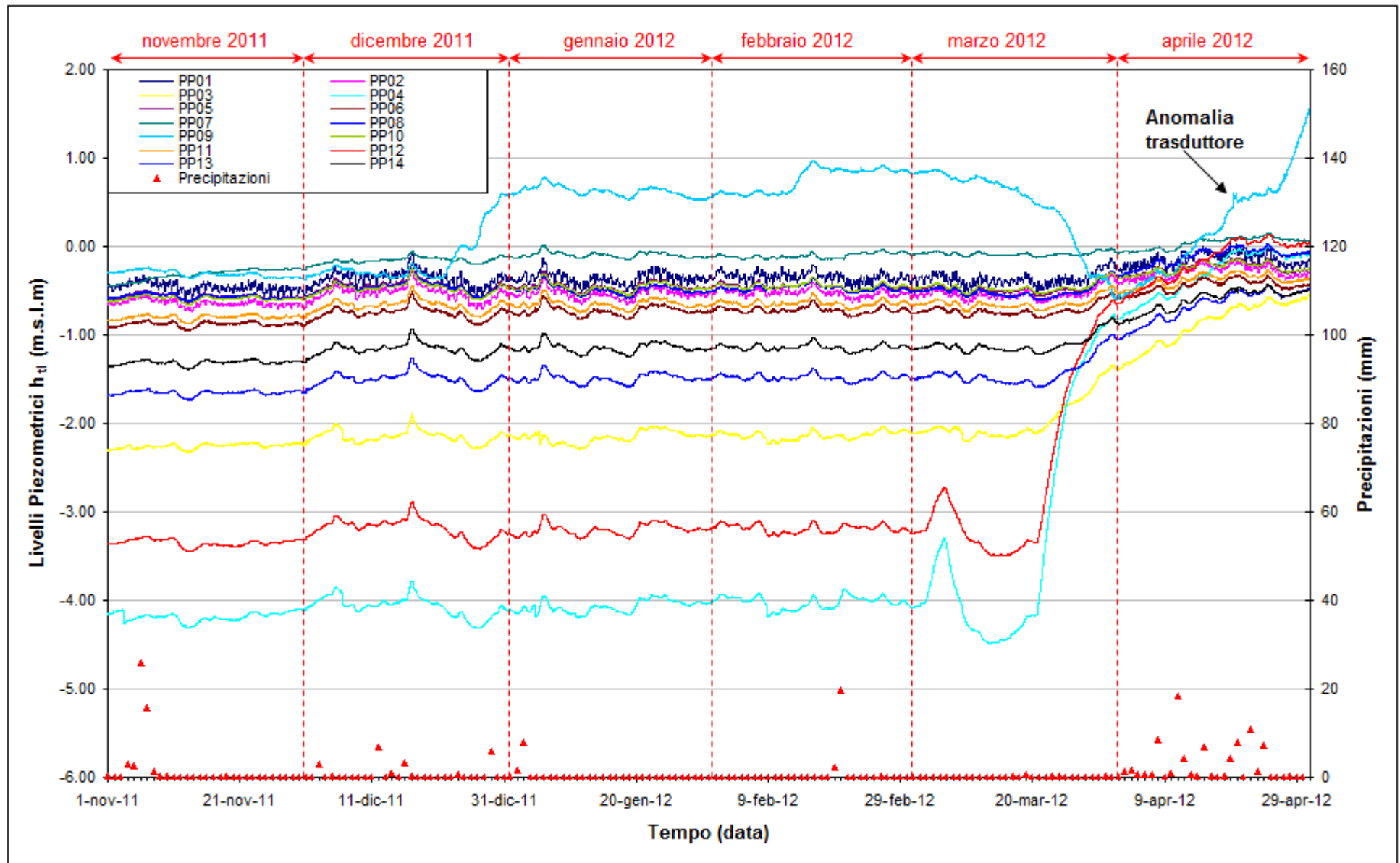


Fig. 2.38 - Livelli piezometrici (h_u) relativi ai piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

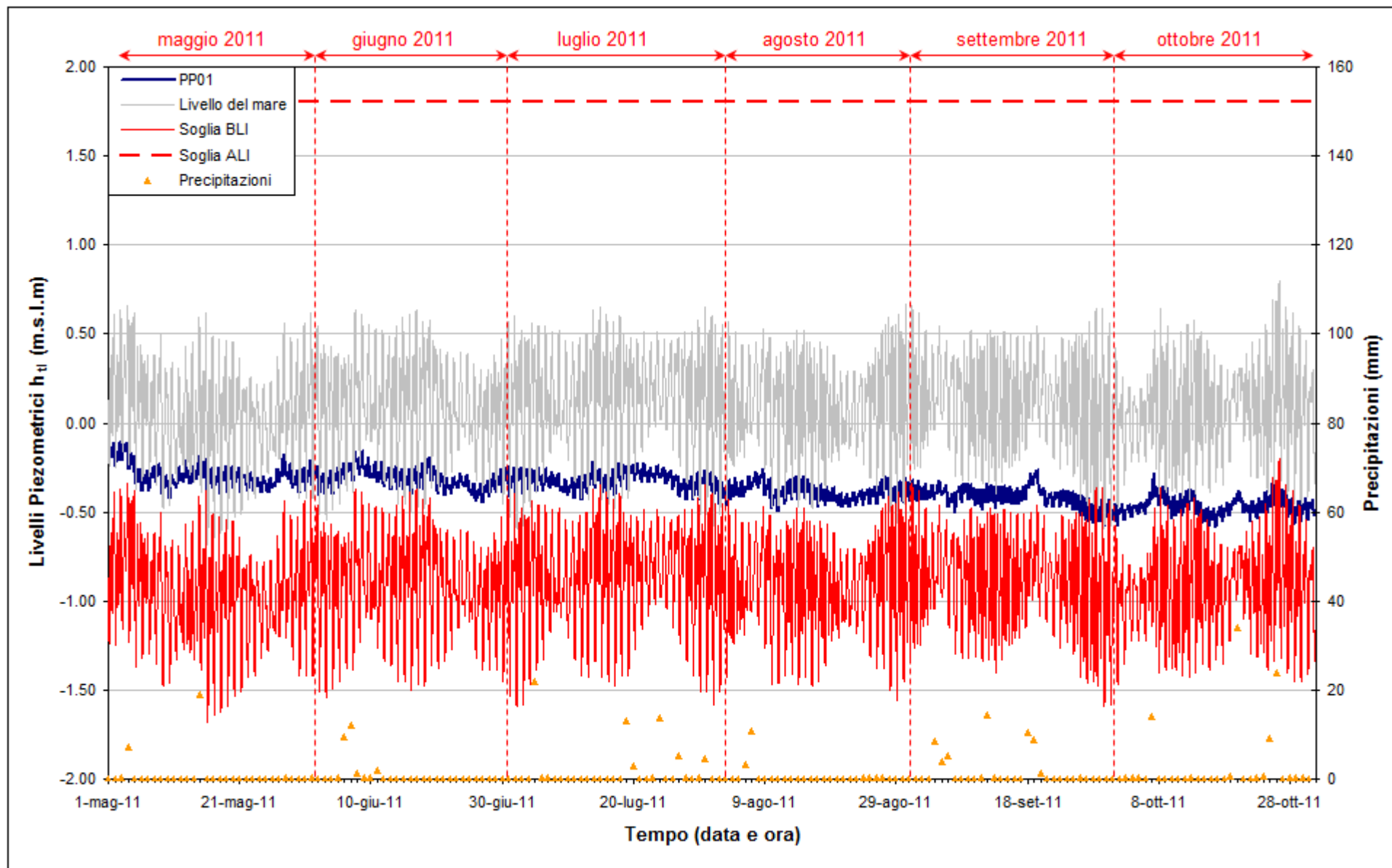


Fig. 2.39 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

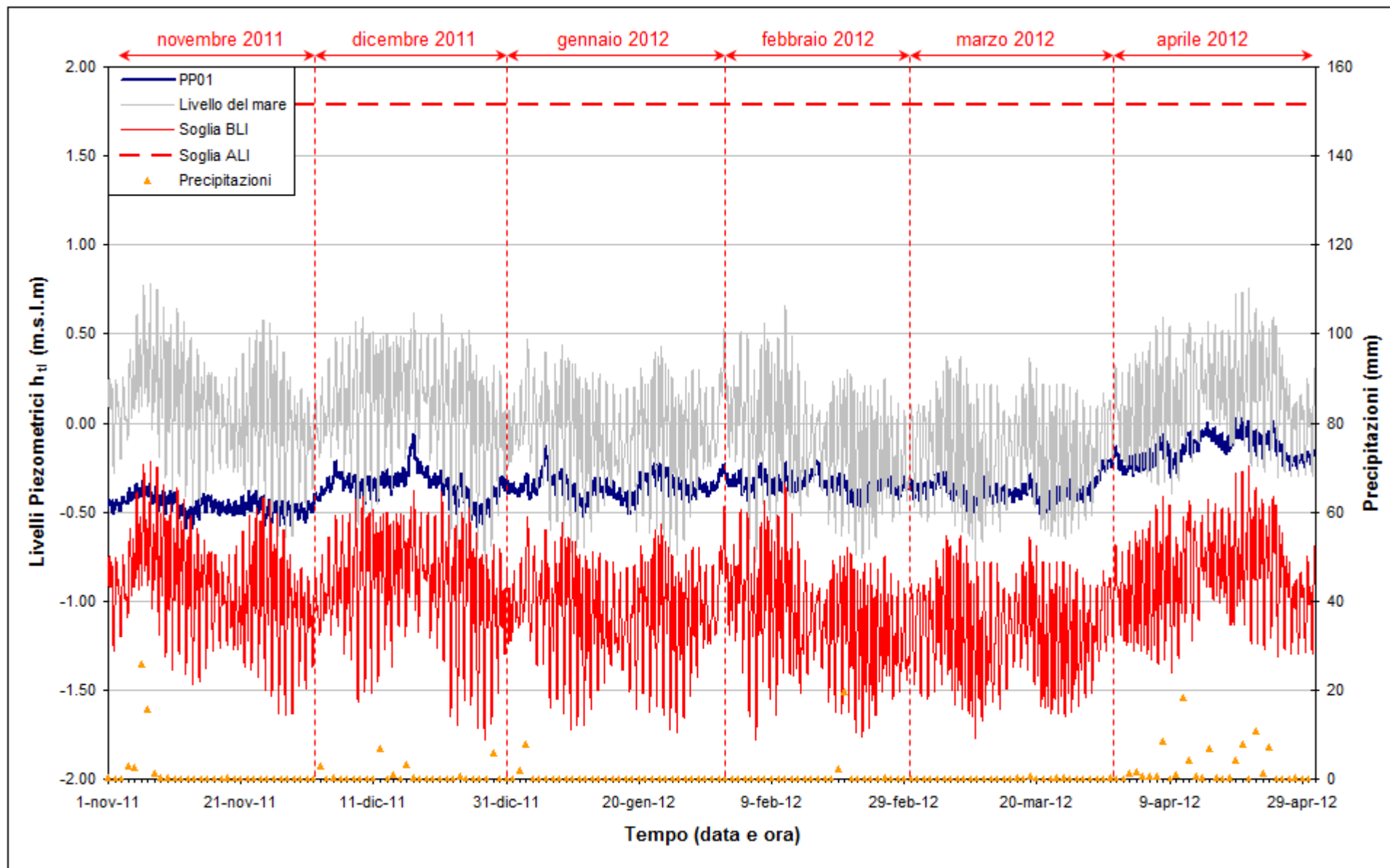


Fig. 2.40 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

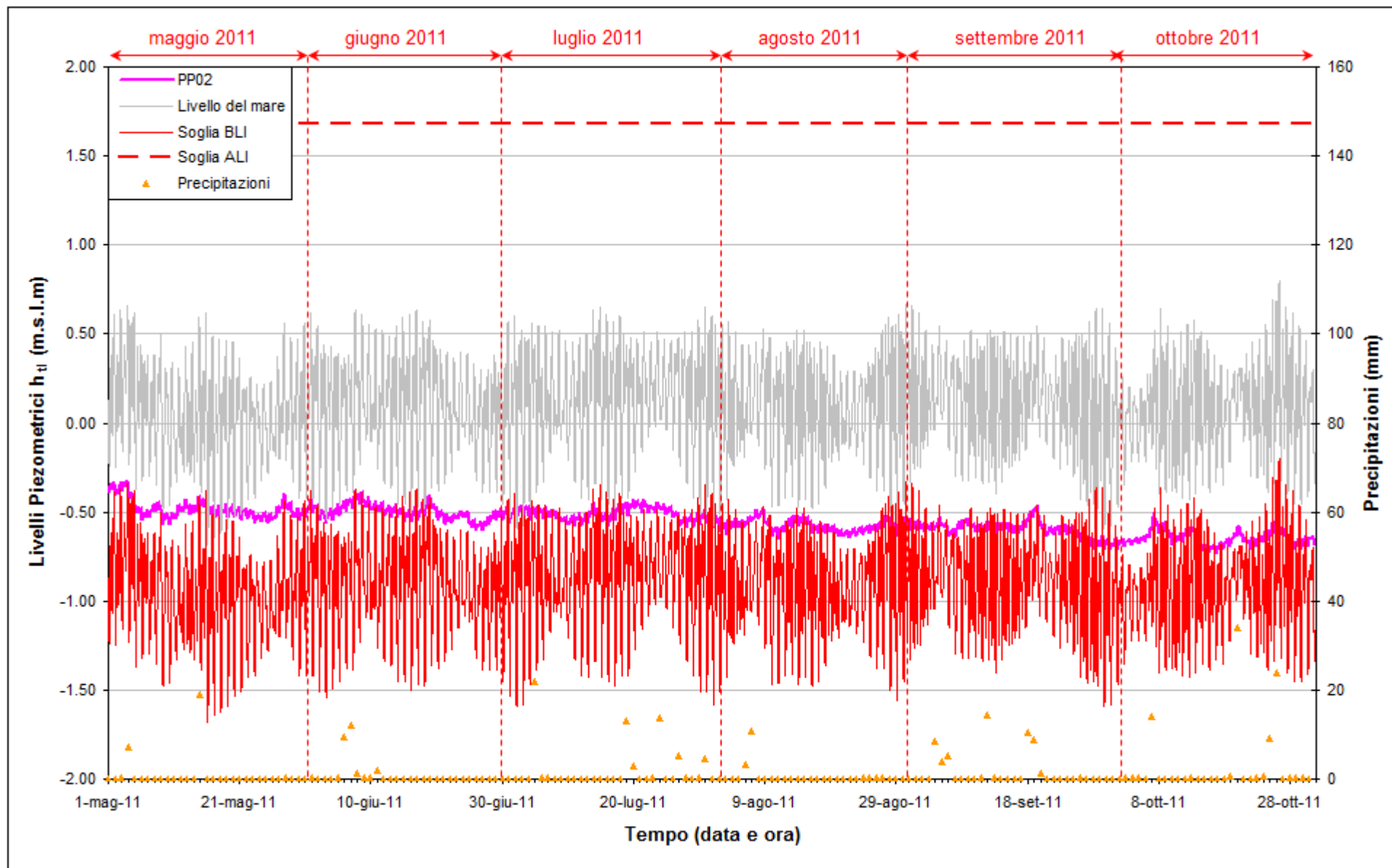
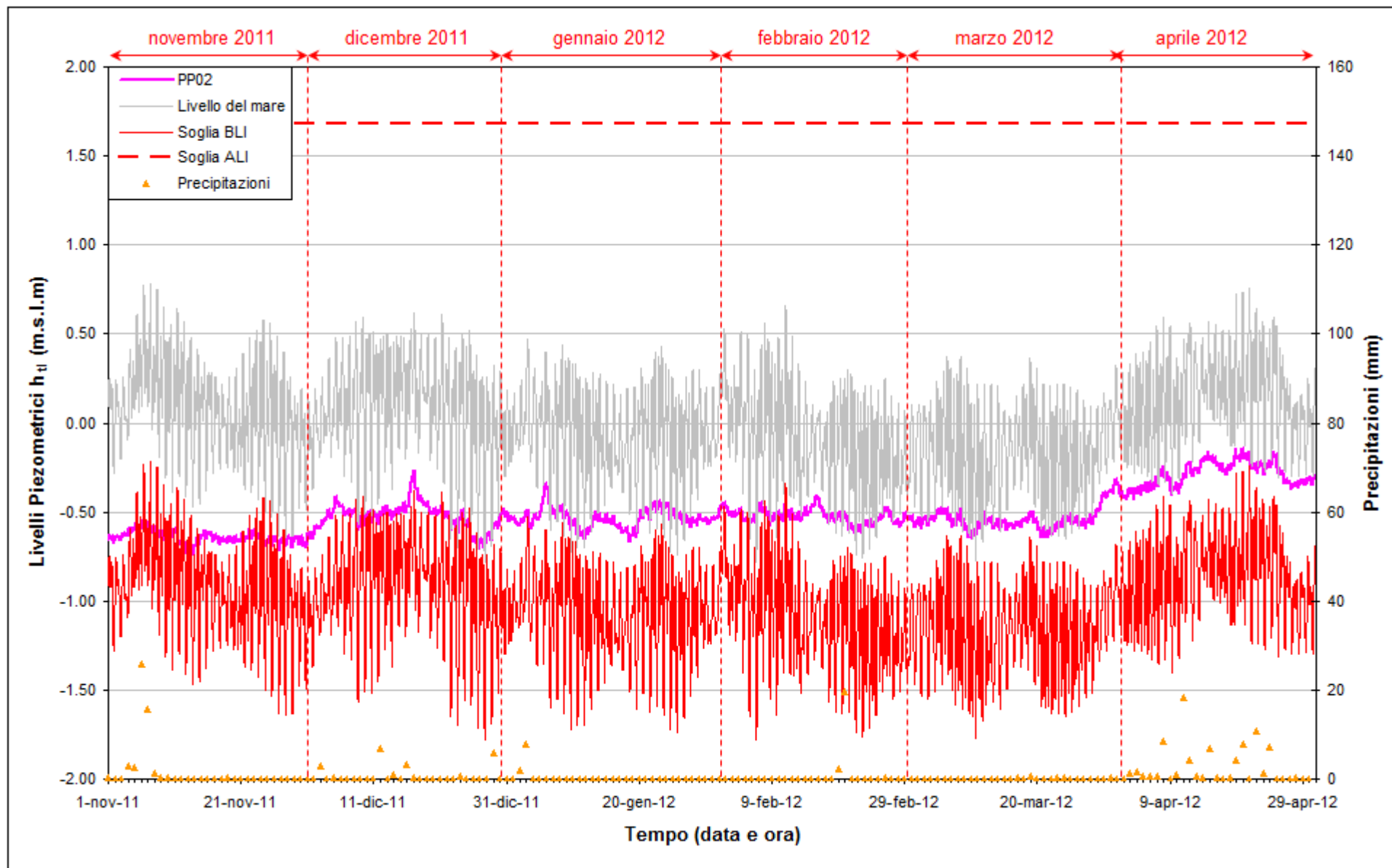


Fig. 2.41 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP02 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

Fig. 2.42 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP02 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

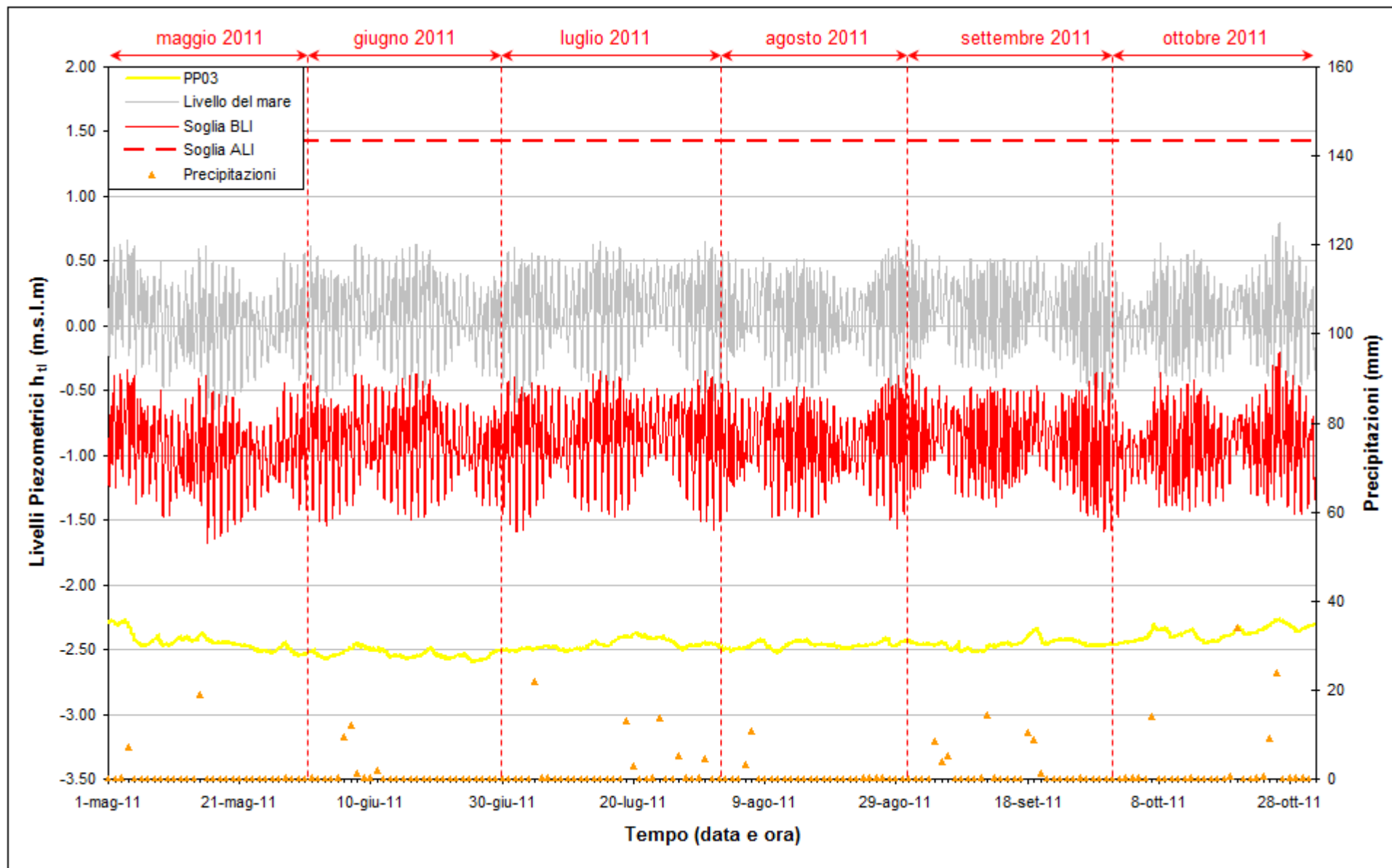


Fig. 2.43 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP03 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

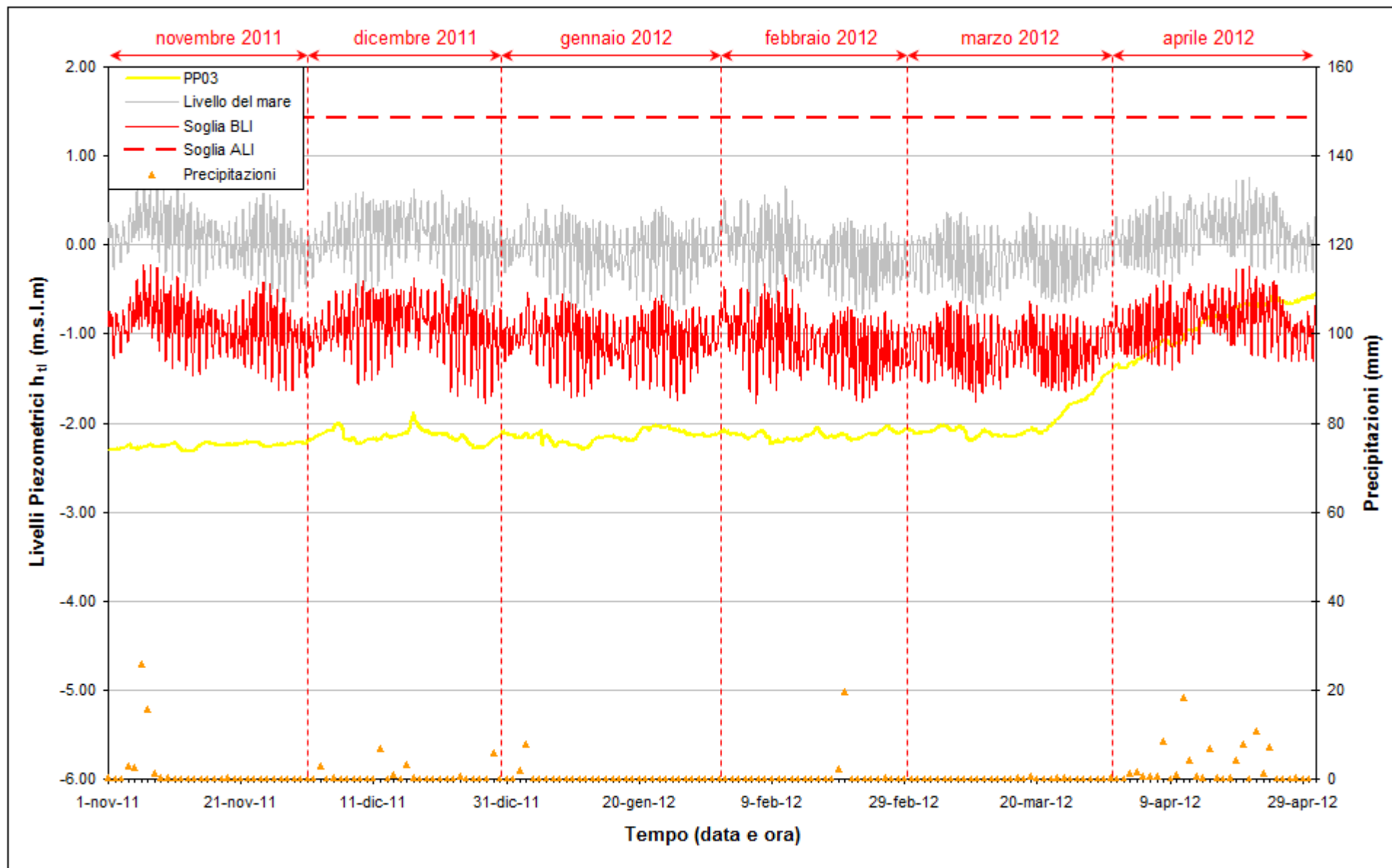


Fig. 2.44 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP03 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

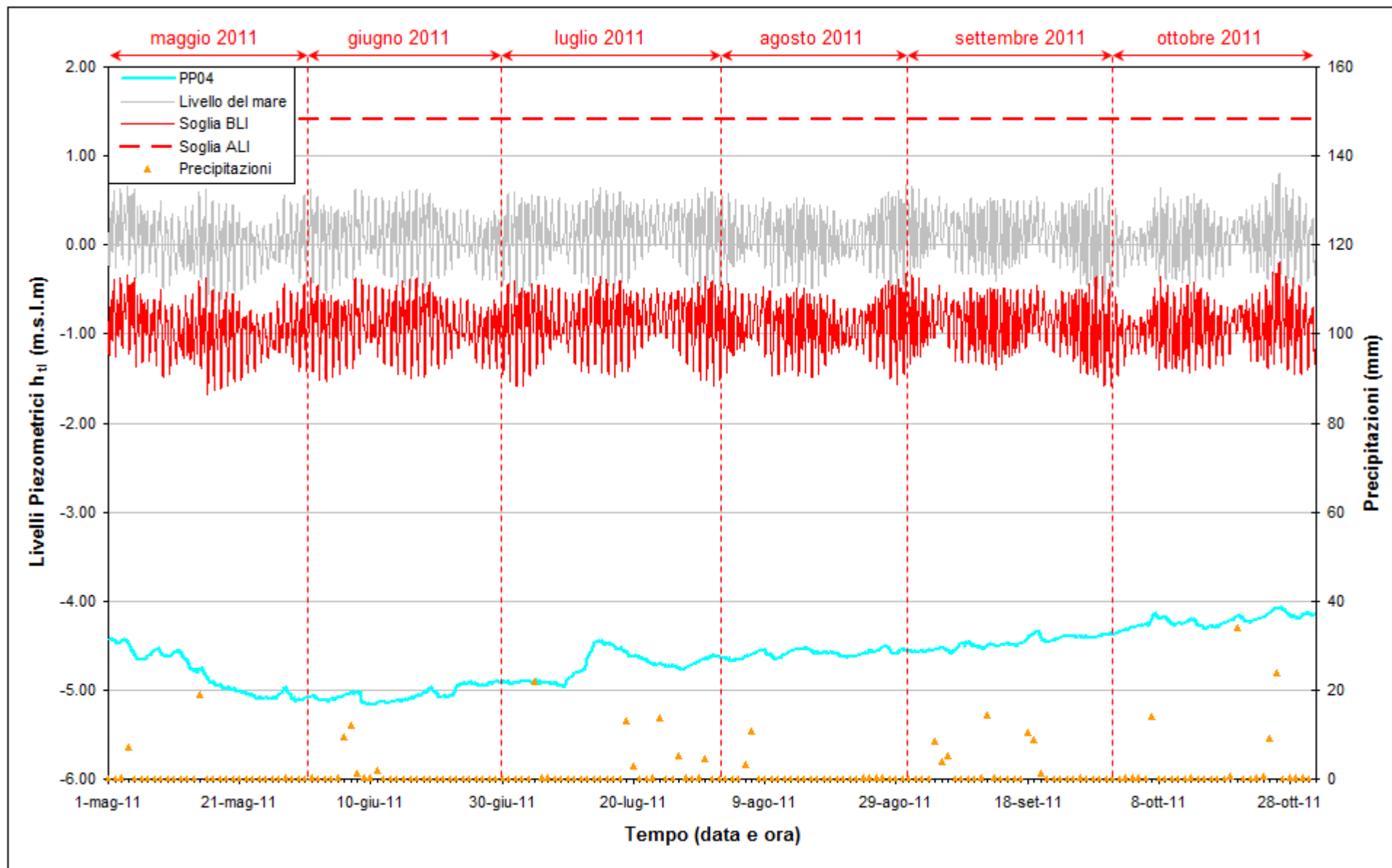


Fig. 2.45 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP04 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

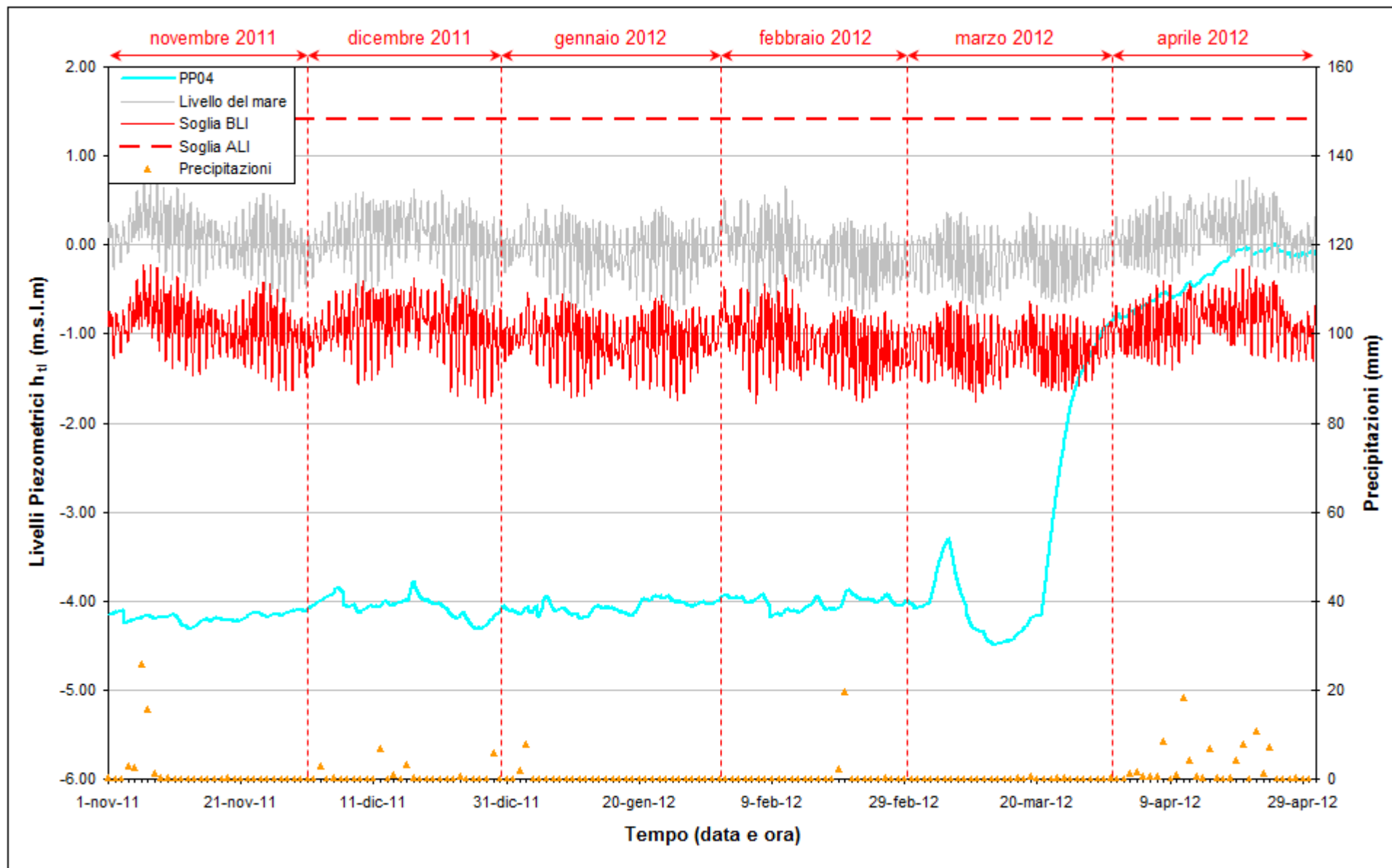


Fig. 2.46 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP04 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

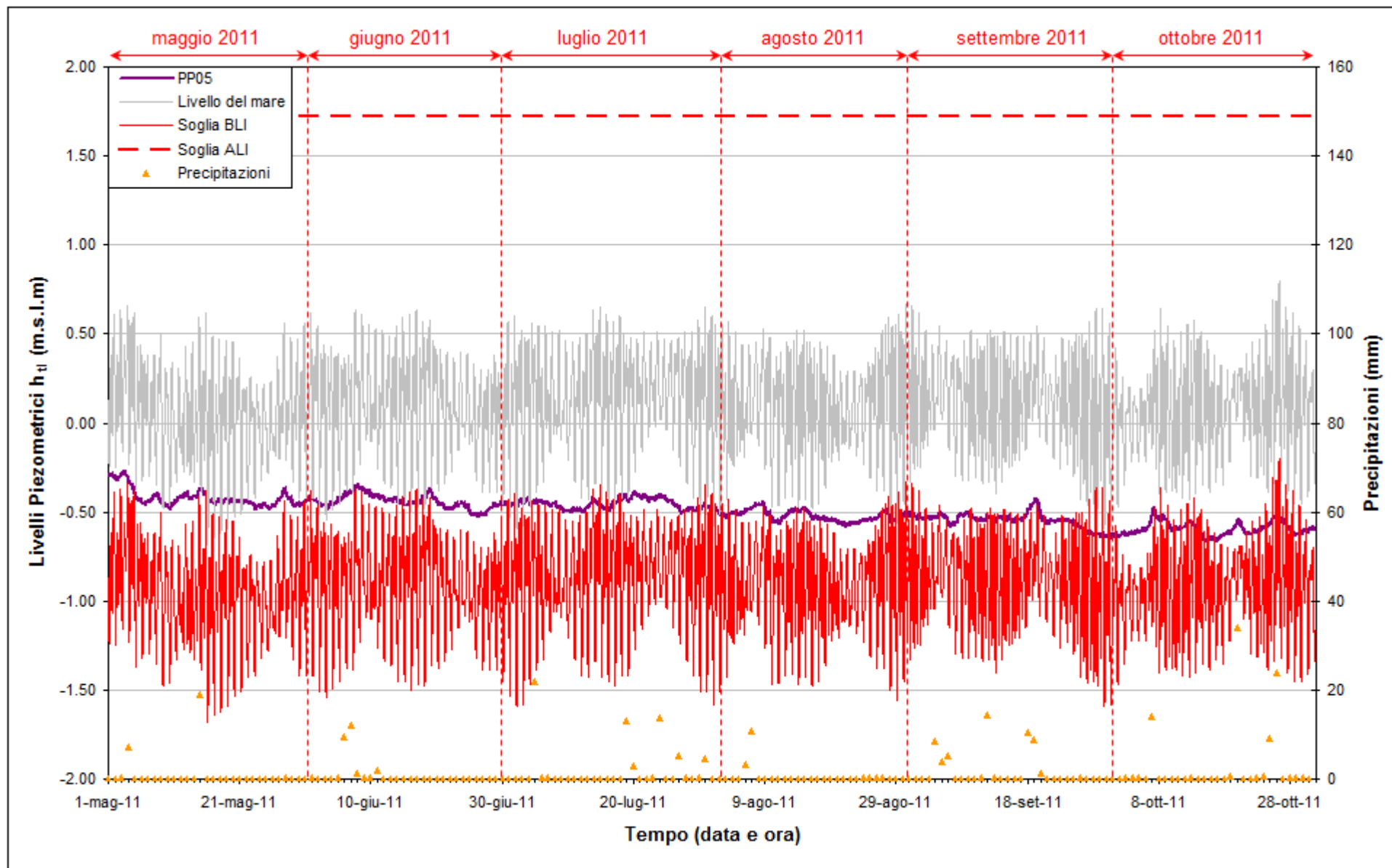


Fig. 2.47 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP05 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

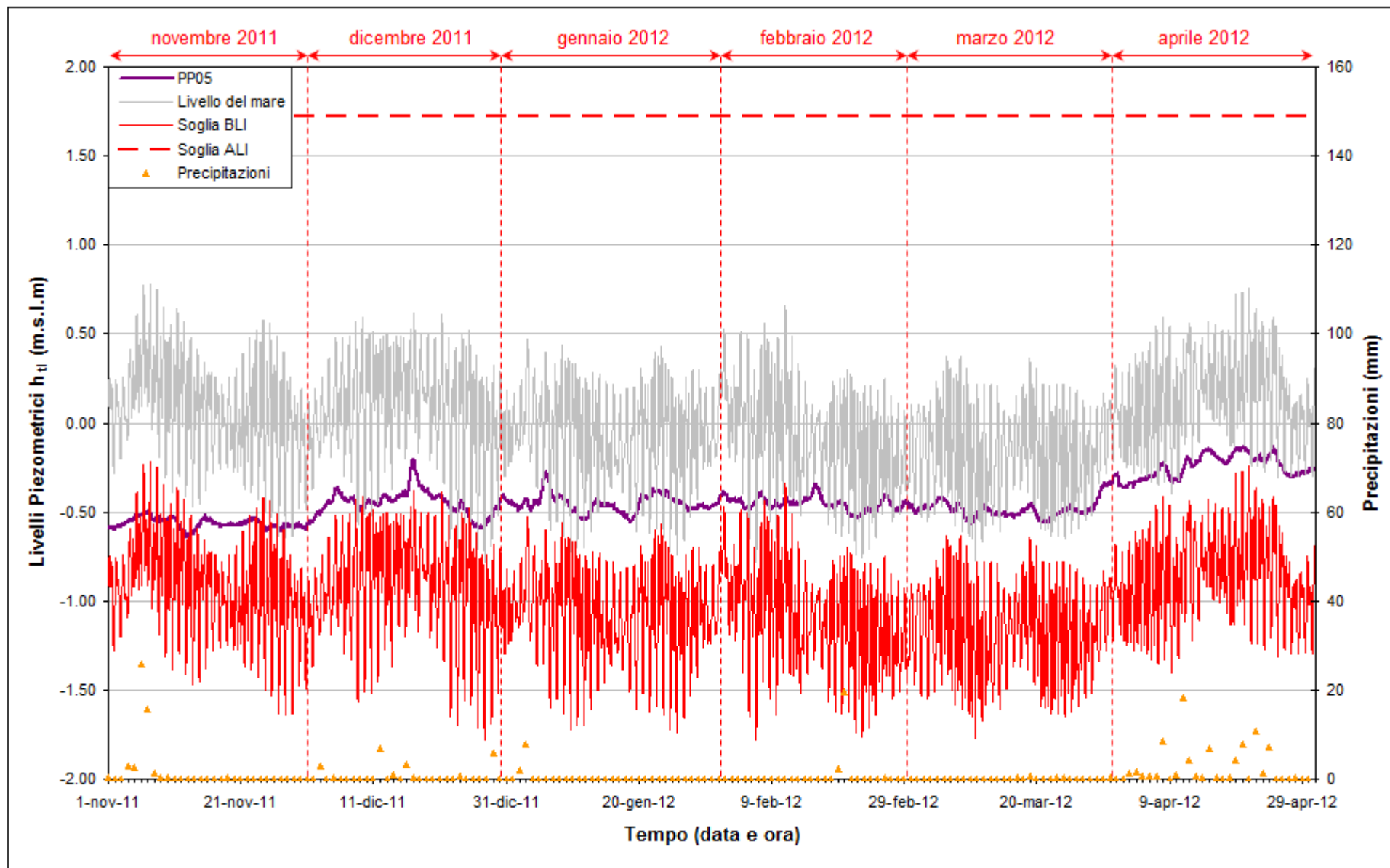


Fig. 2.48 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP05 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

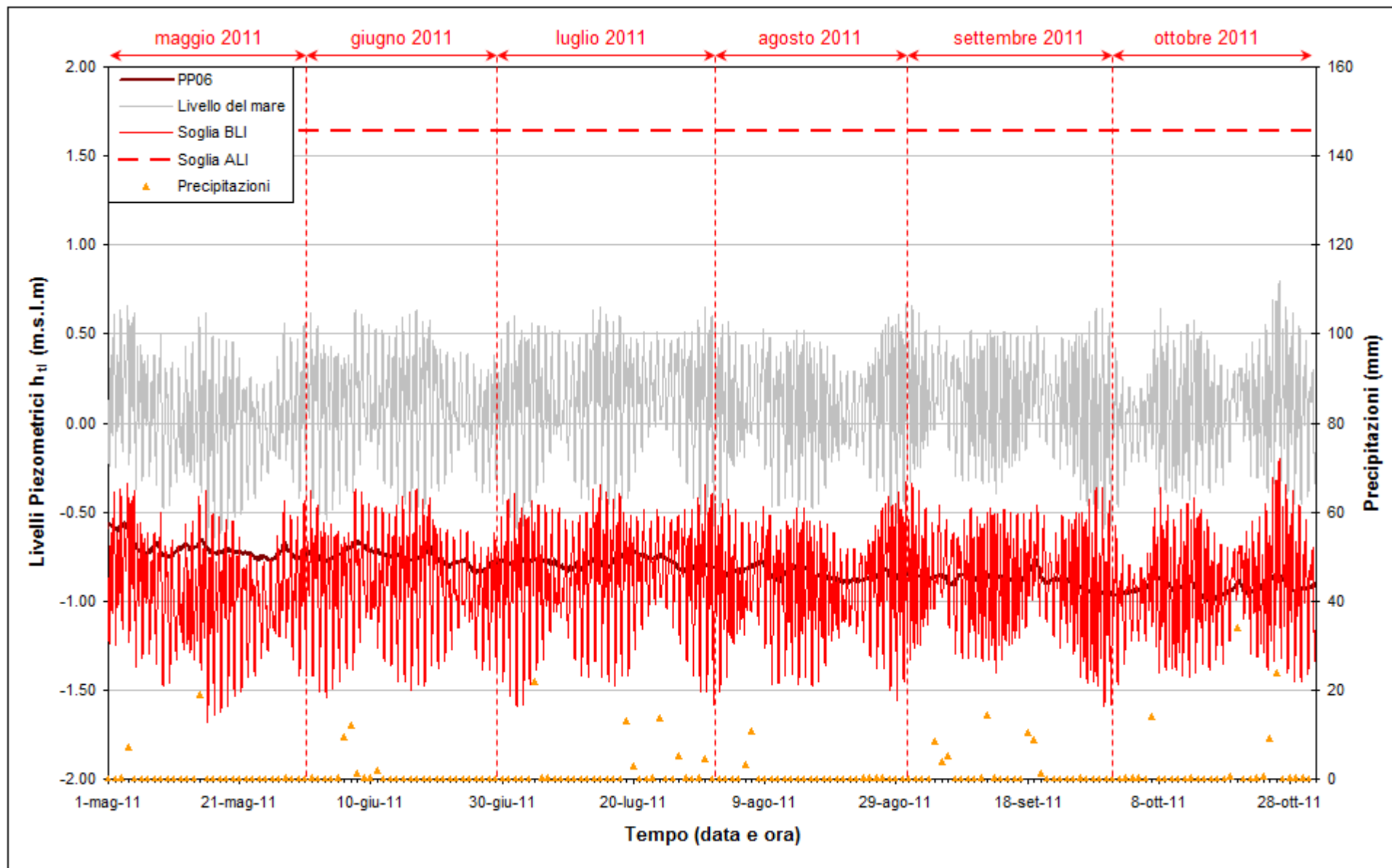


Fig. 2.49 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP06 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

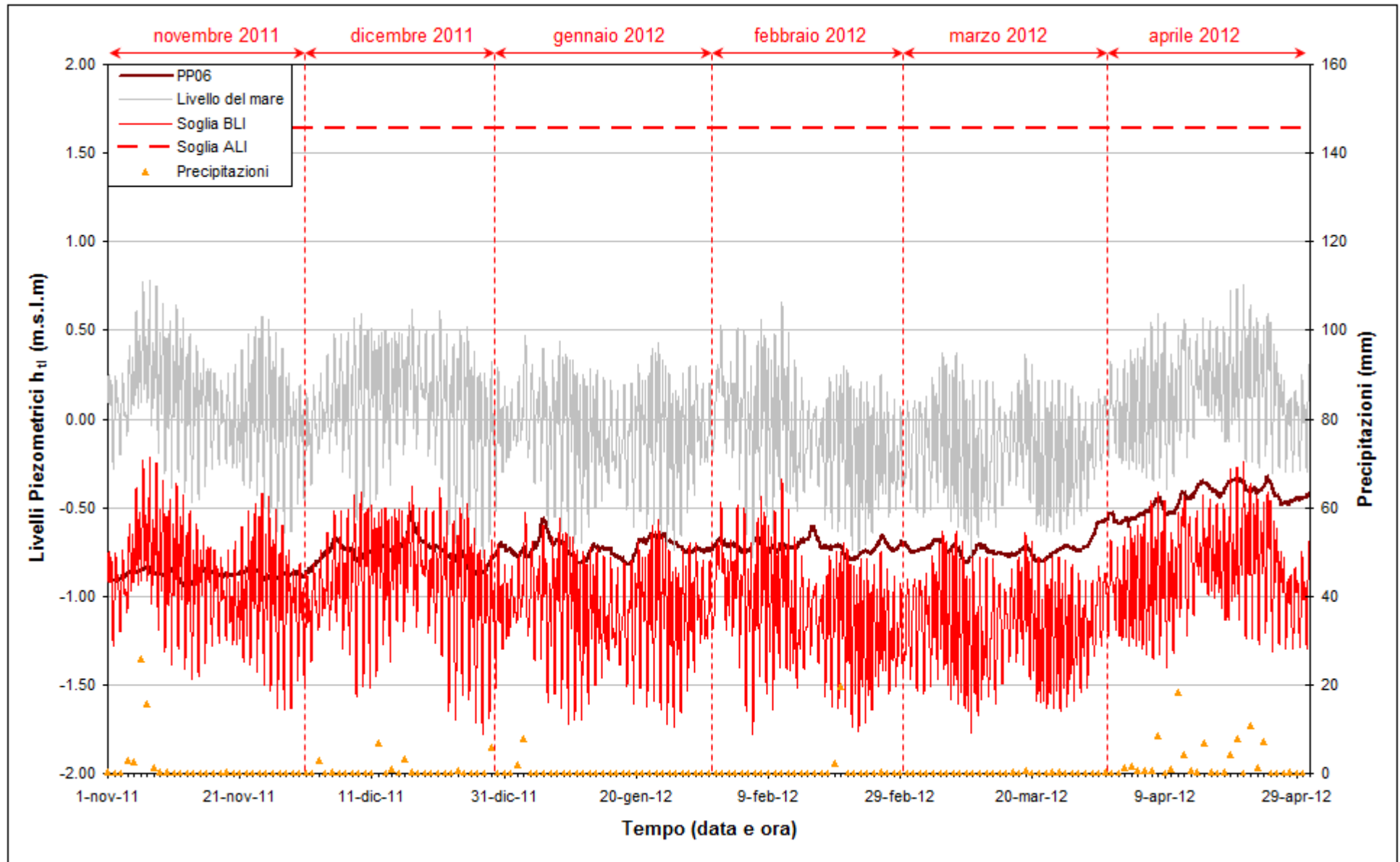


Fig. 2.50 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP06 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

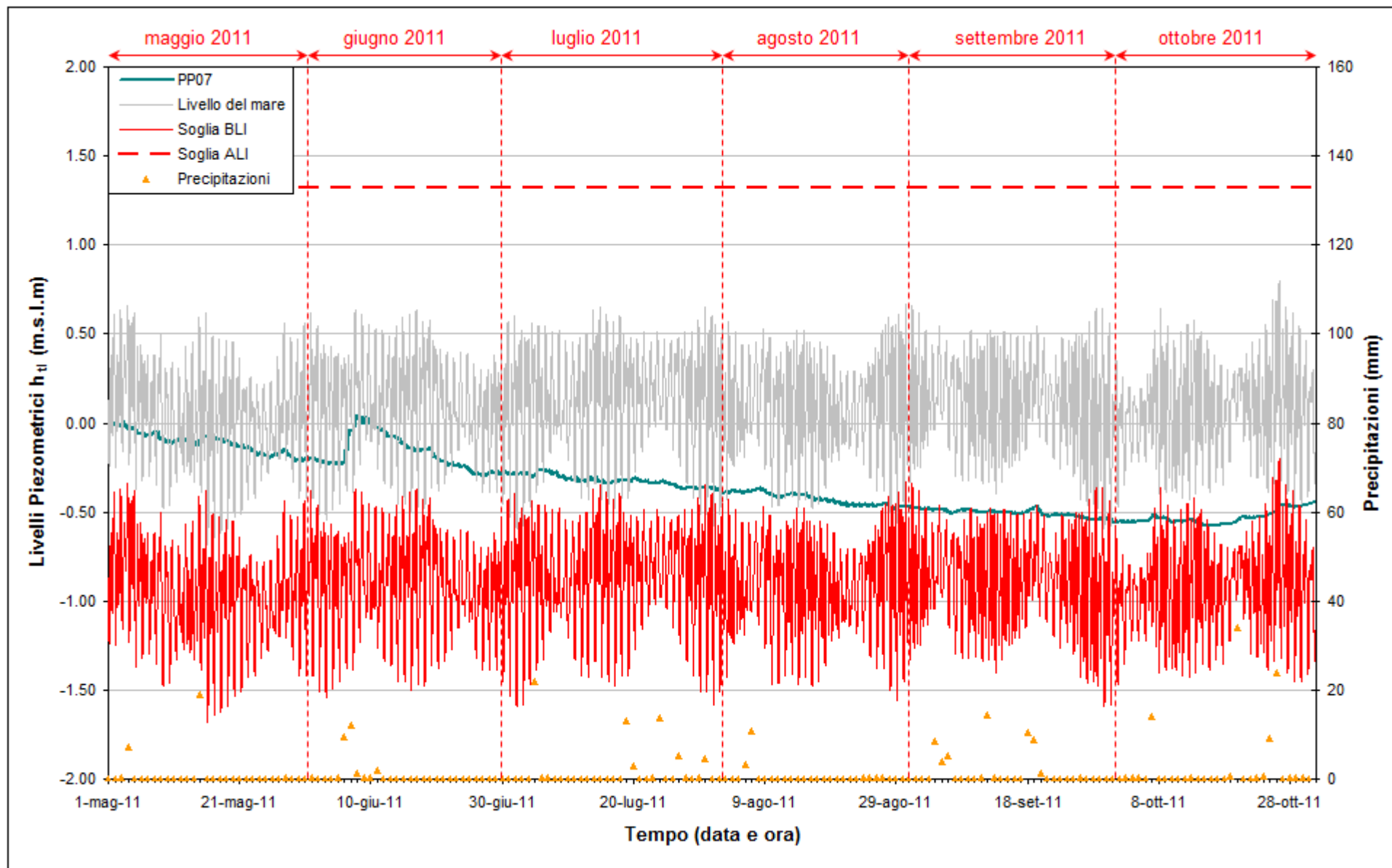


Fig. 2.51 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP07 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

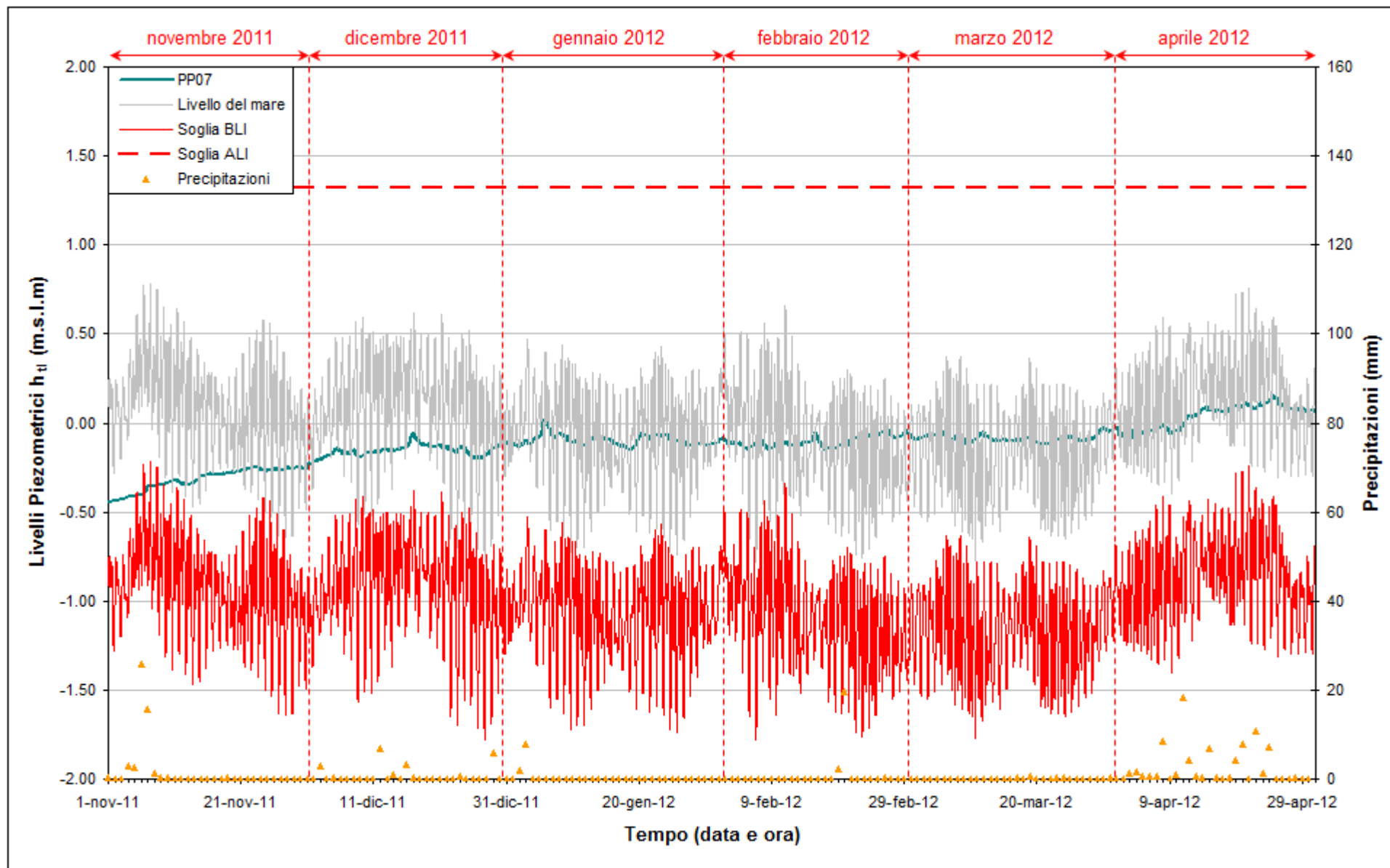


Fig. 2.52 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP07 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

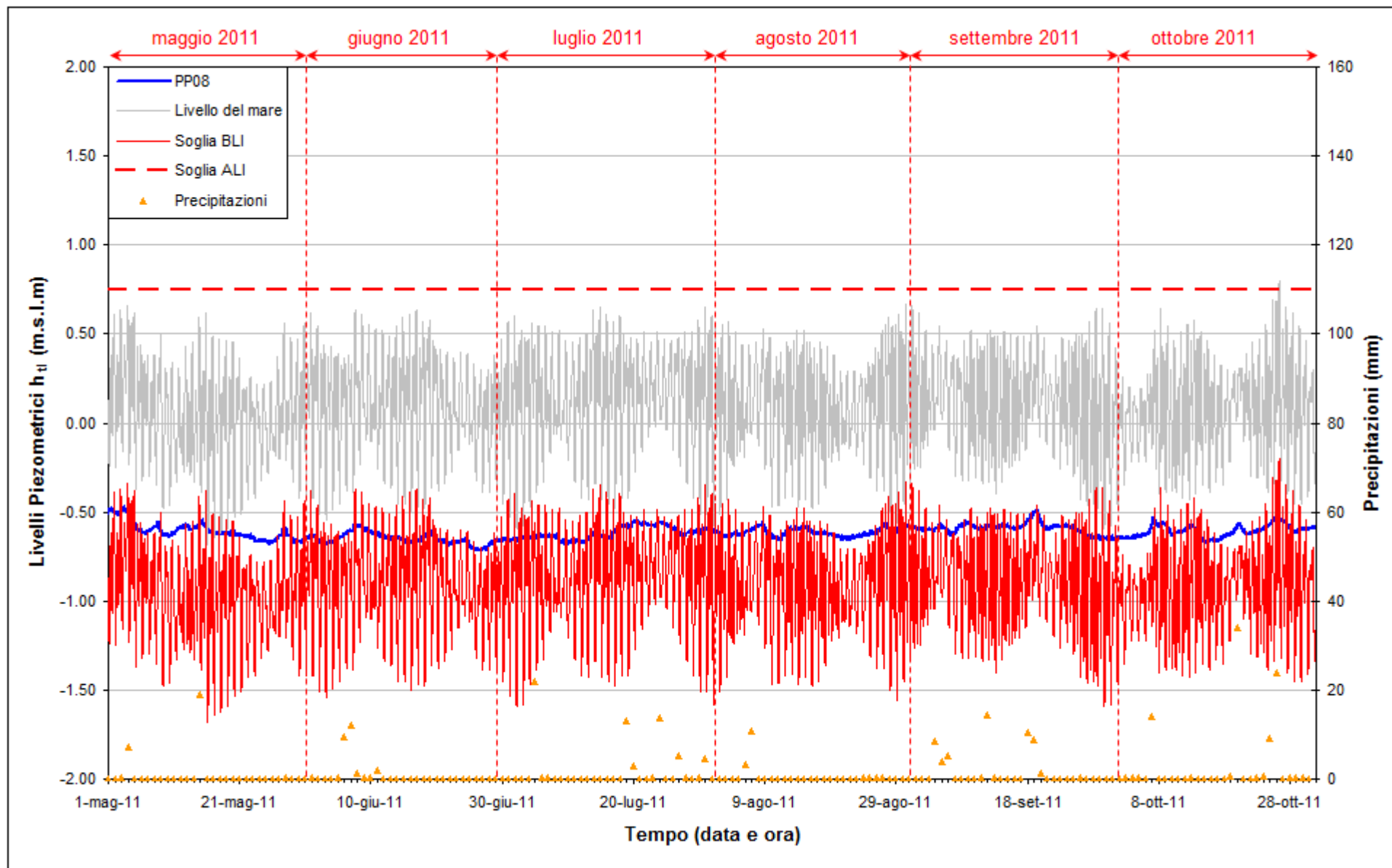


Fig. 2.53 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP08 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

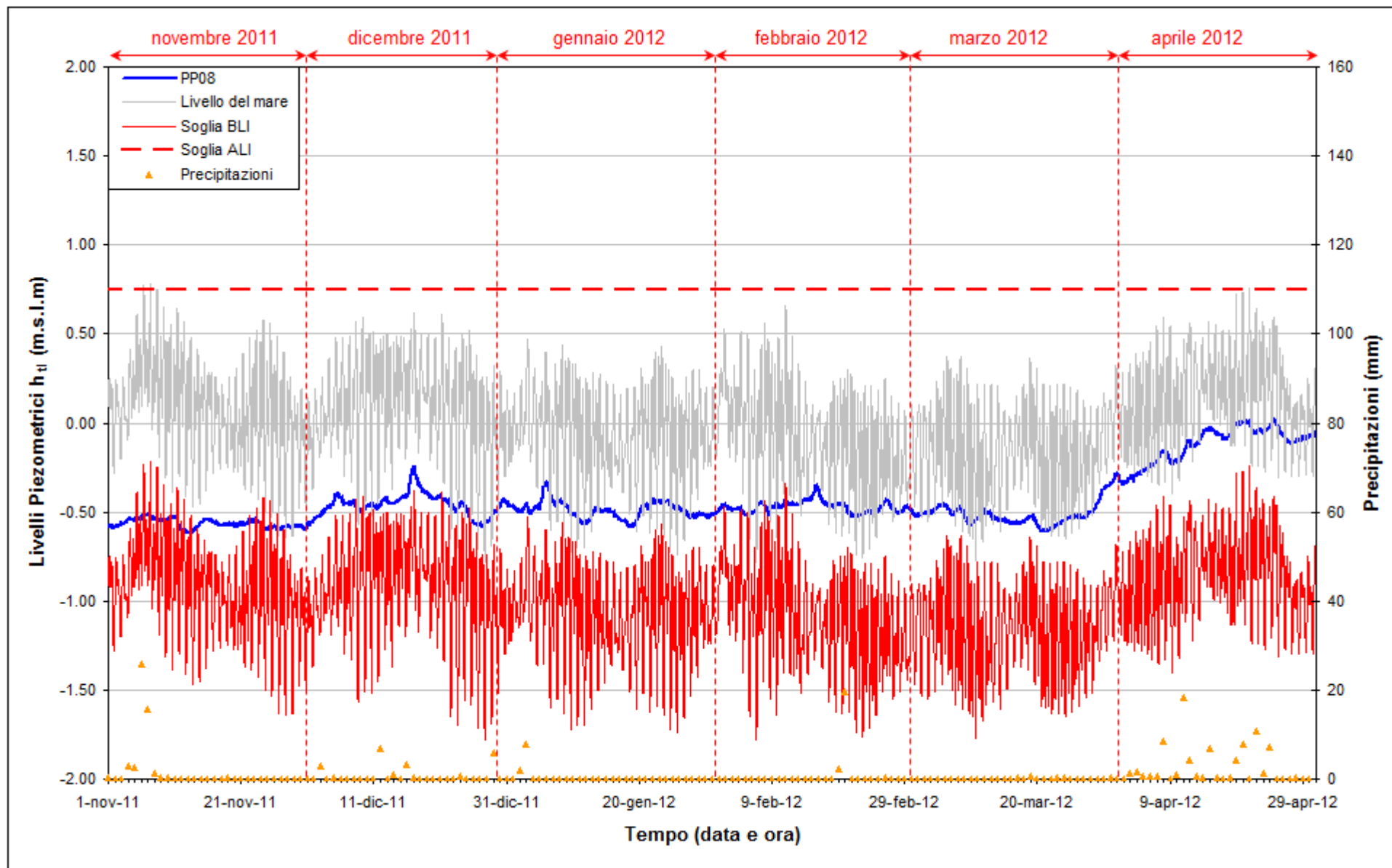


Fig. 2.54 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP08 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

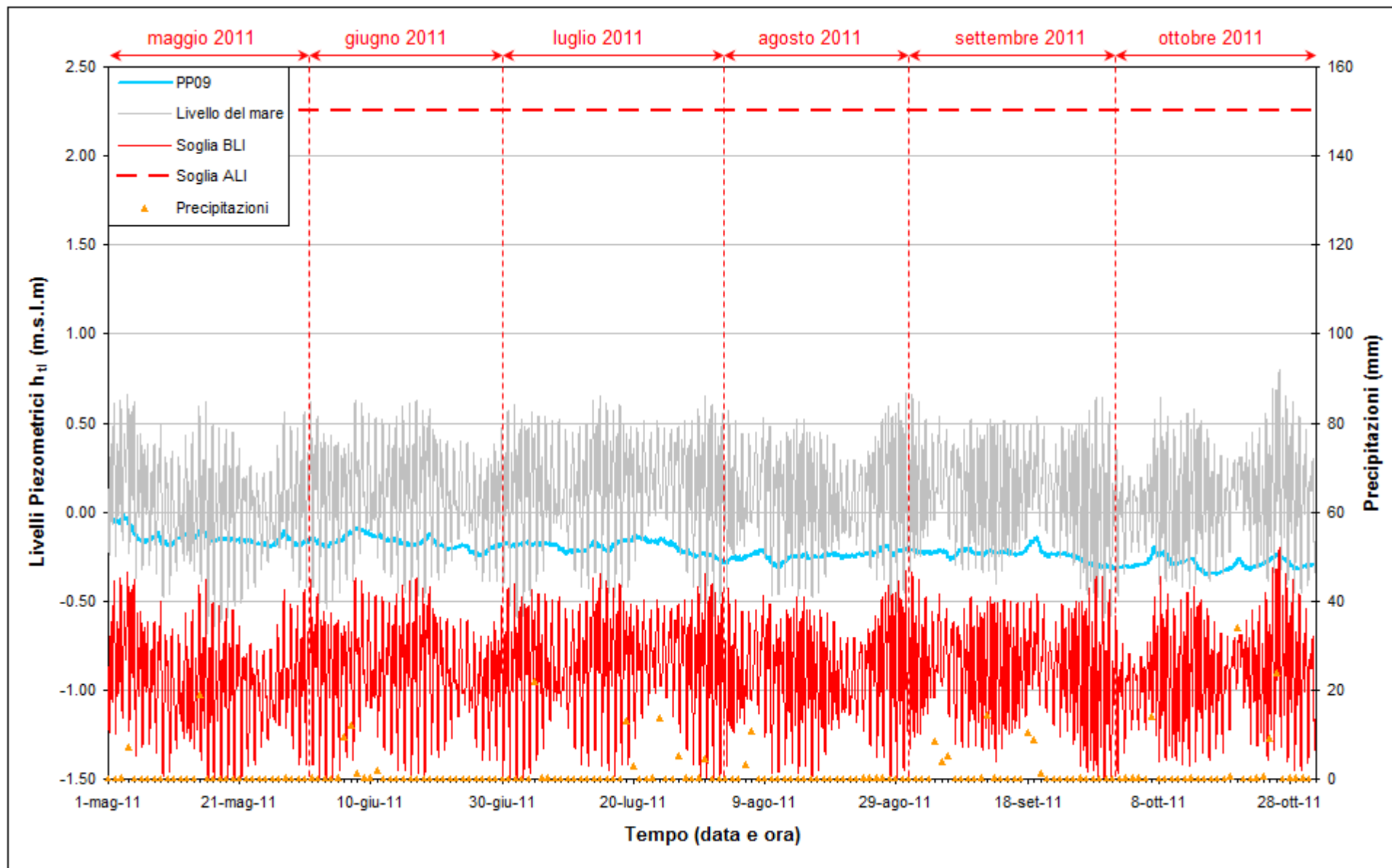


Fig. 2.55 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo PP09 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

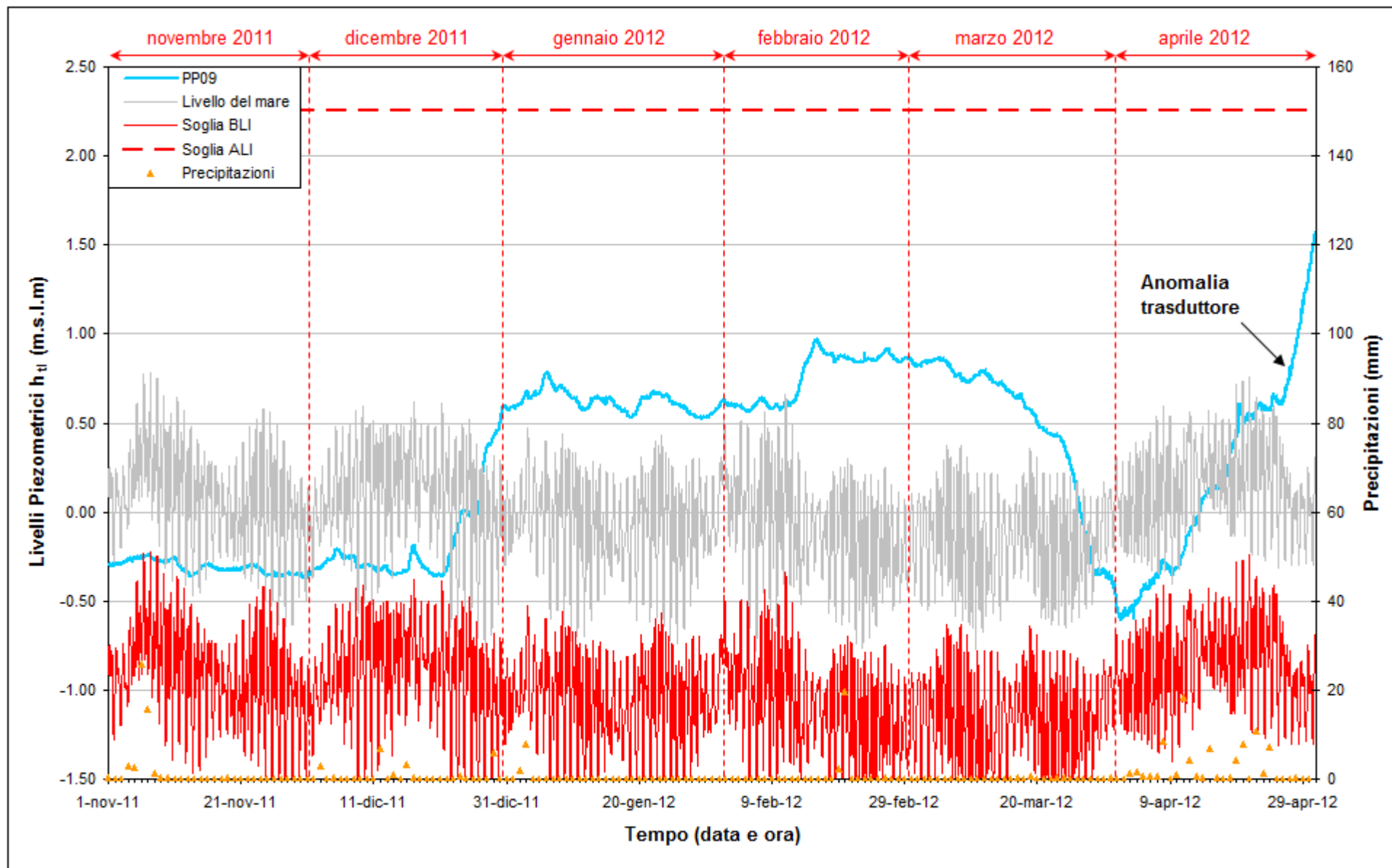


Fig. 2.56 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo PP09 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

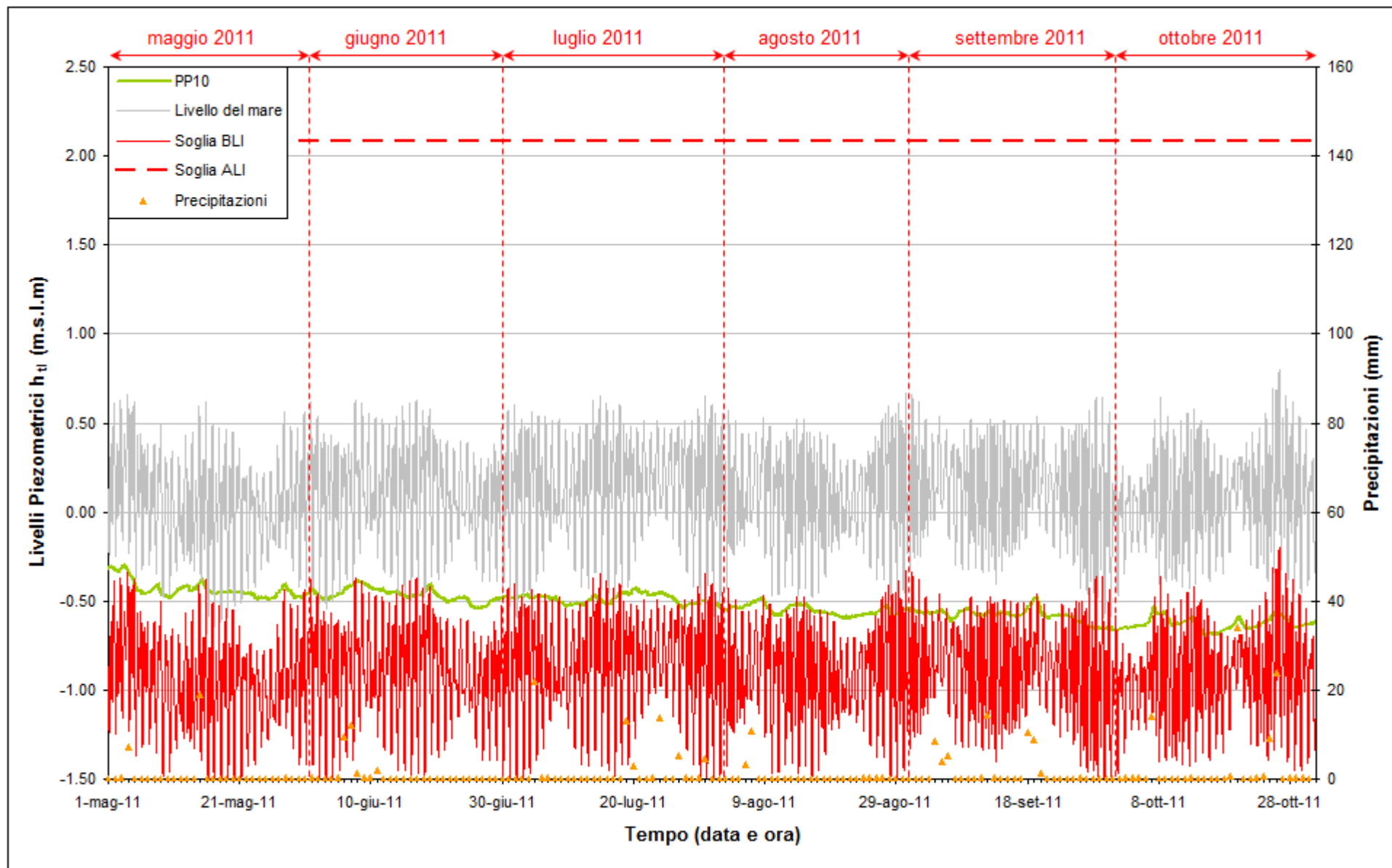


Fig. 2.57 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP10 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

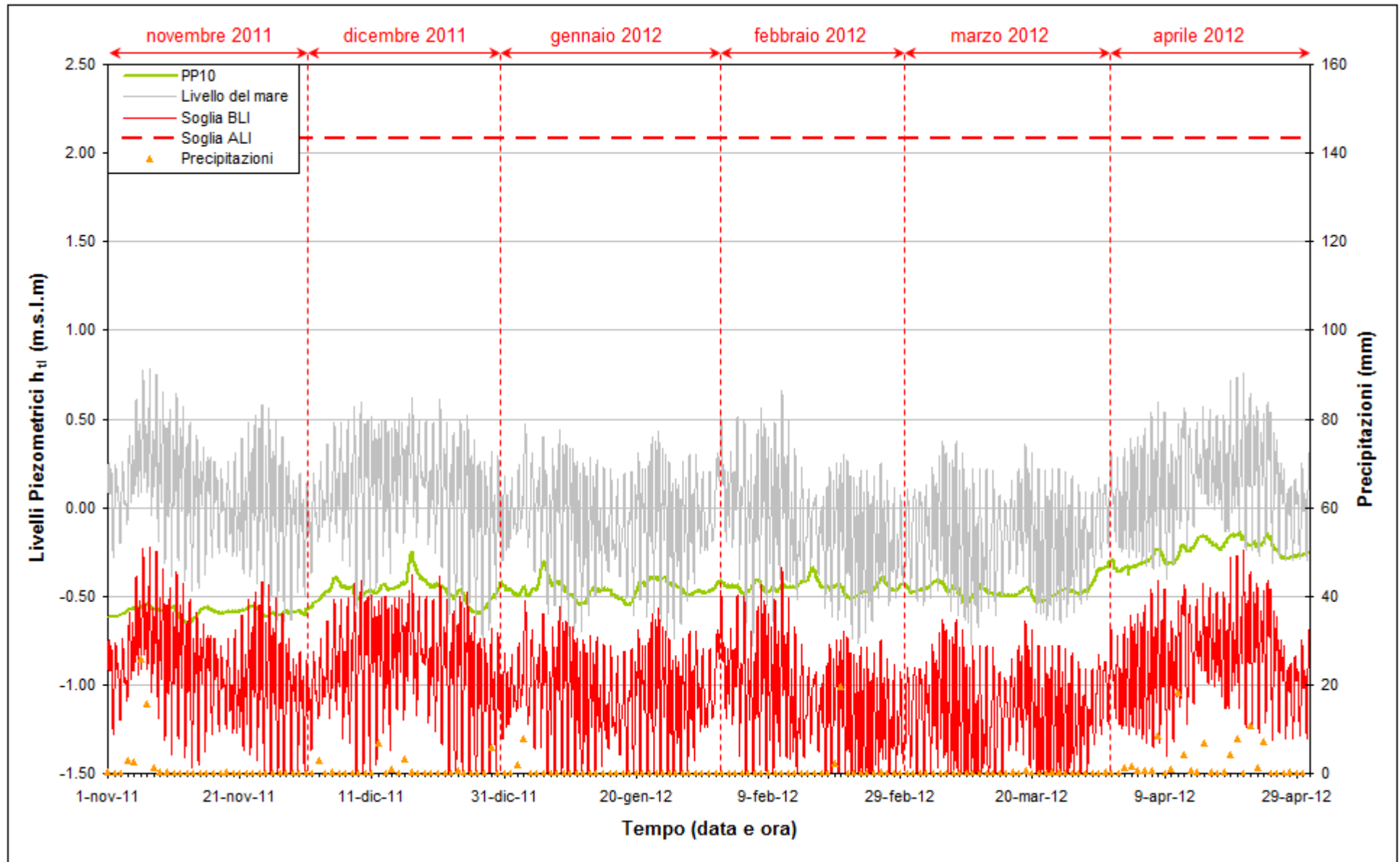


Fig. 2.58 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP10 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

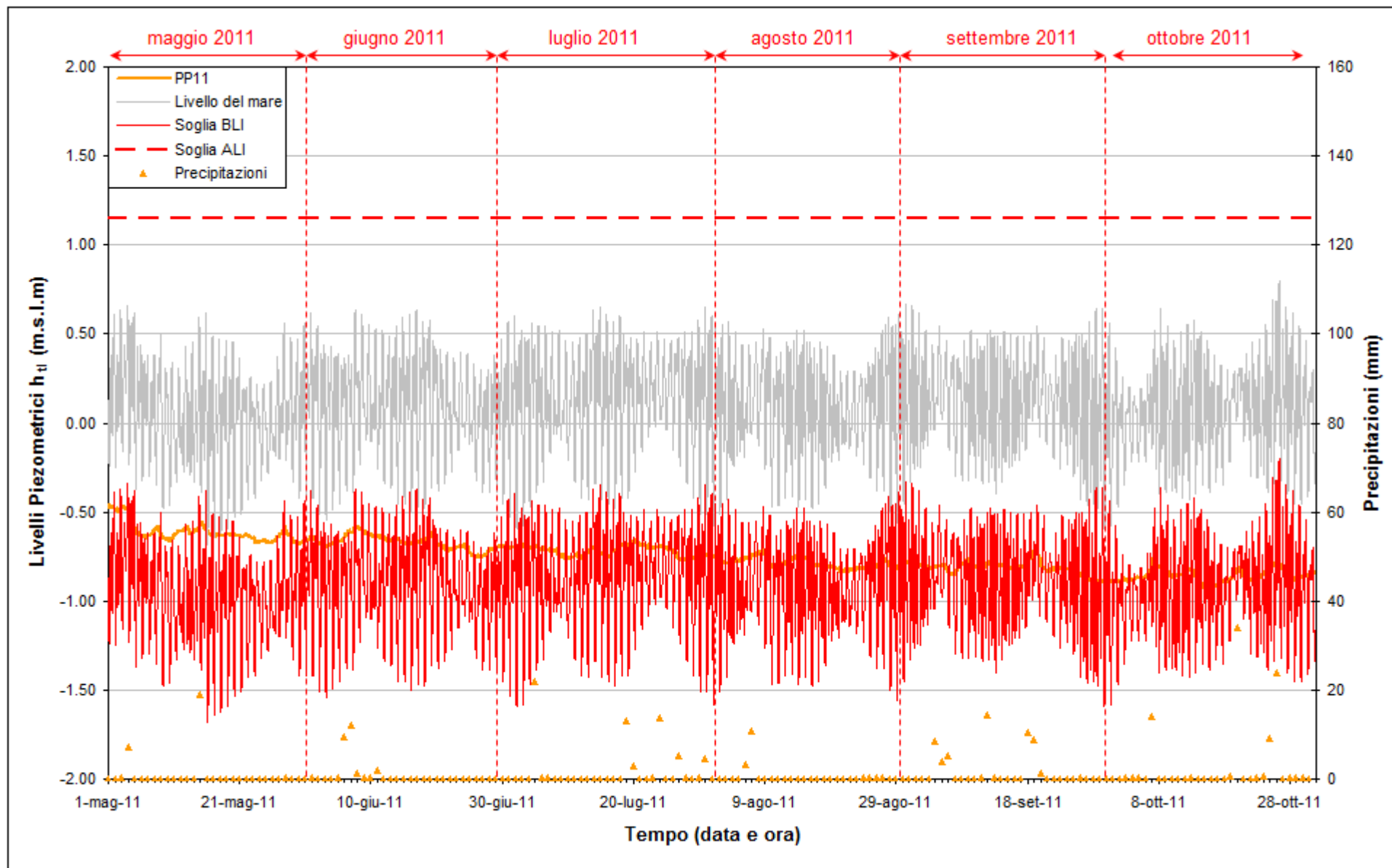


Fig. 2.59 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP11 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

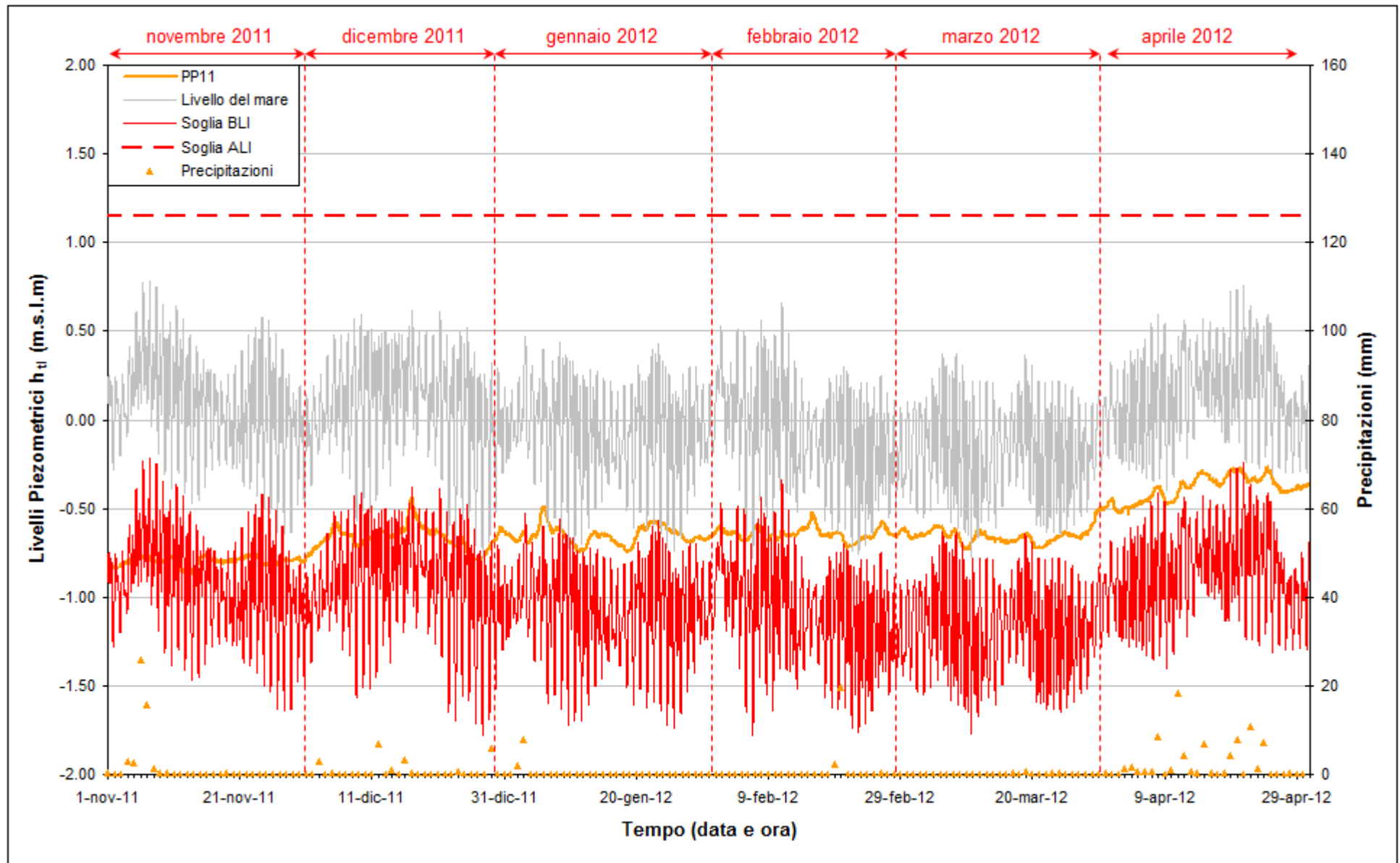


Fig. 2.60 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP11 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

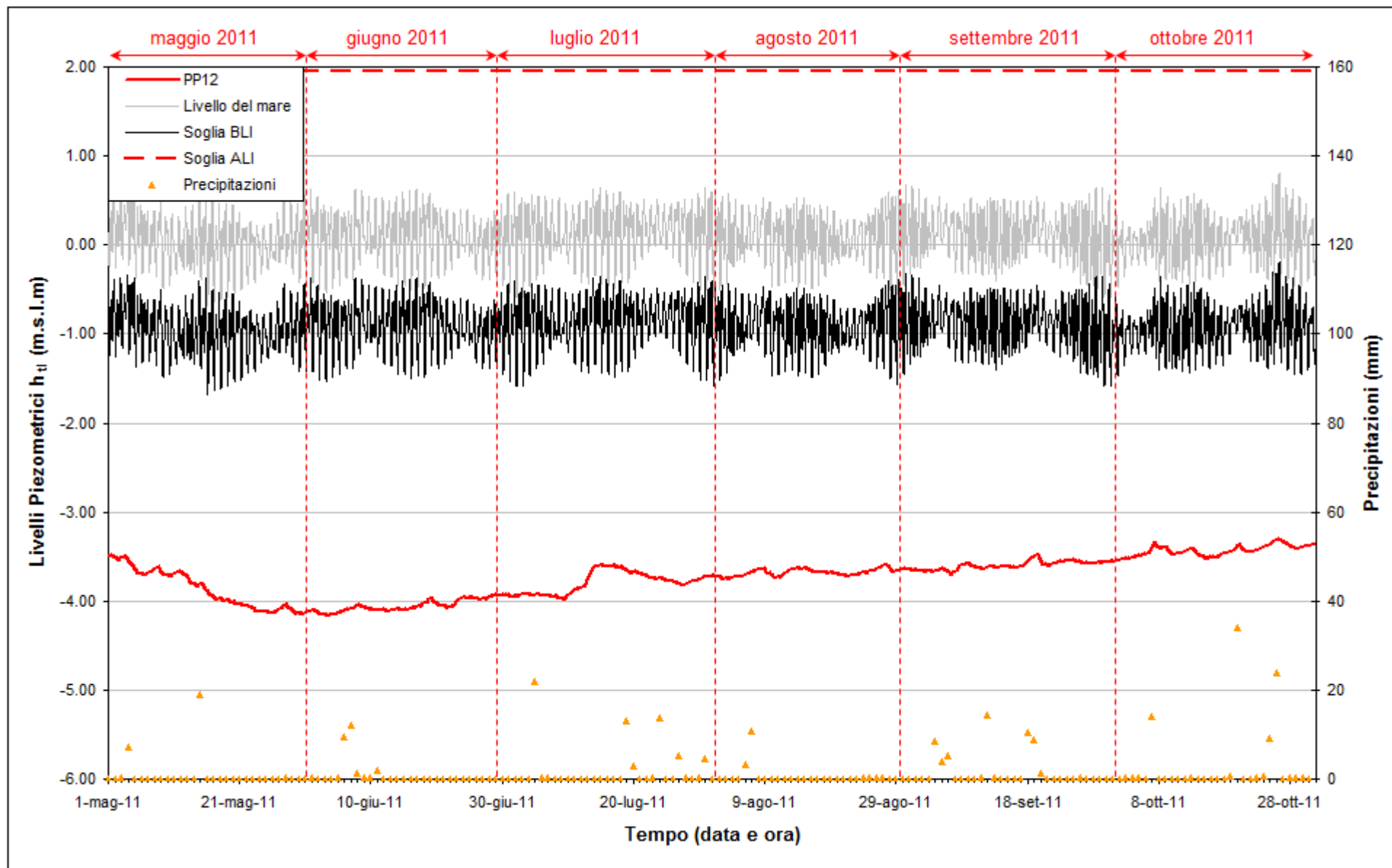


Fig. 2.61 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP12 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

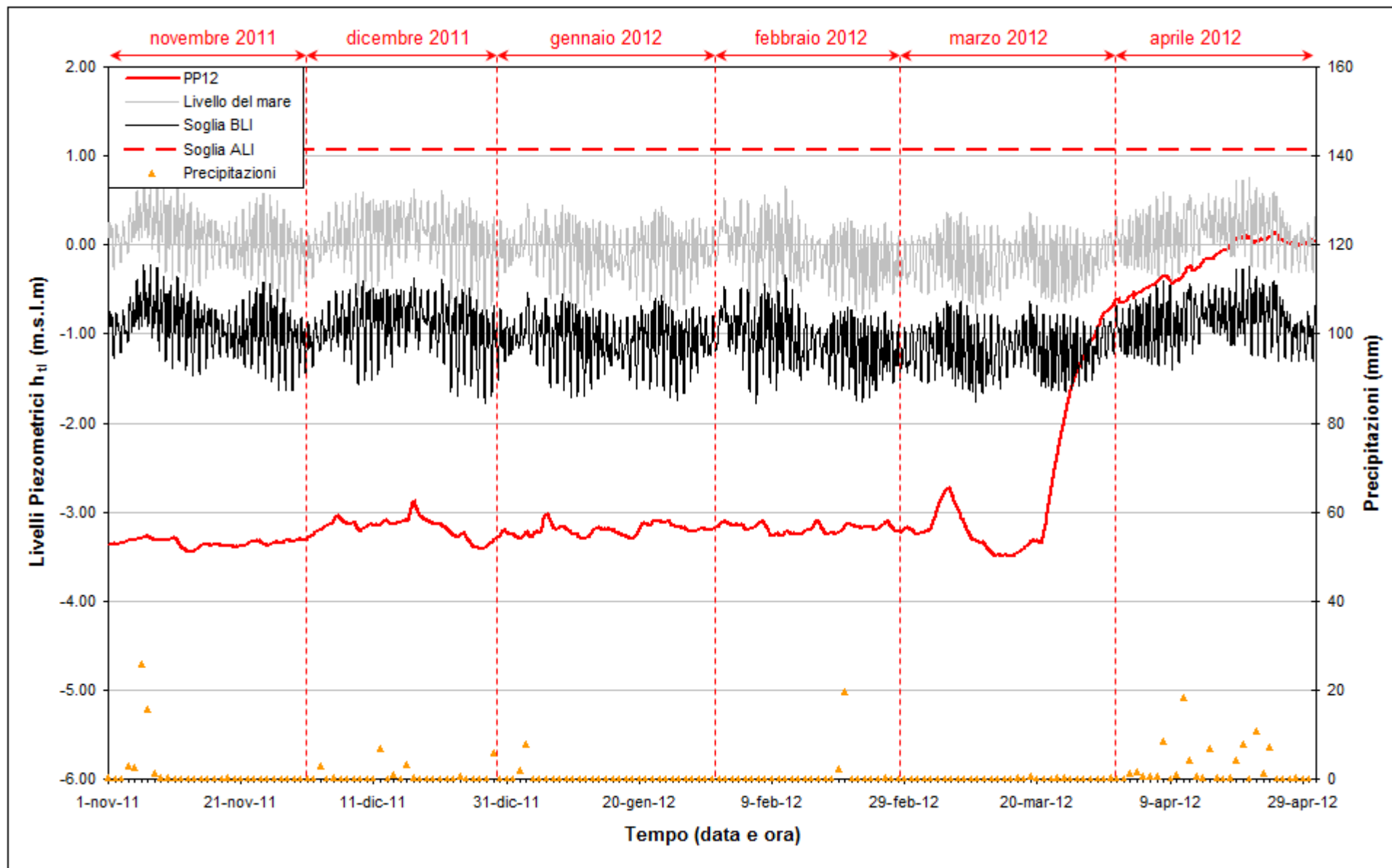


Fig. 2.62 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP12 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

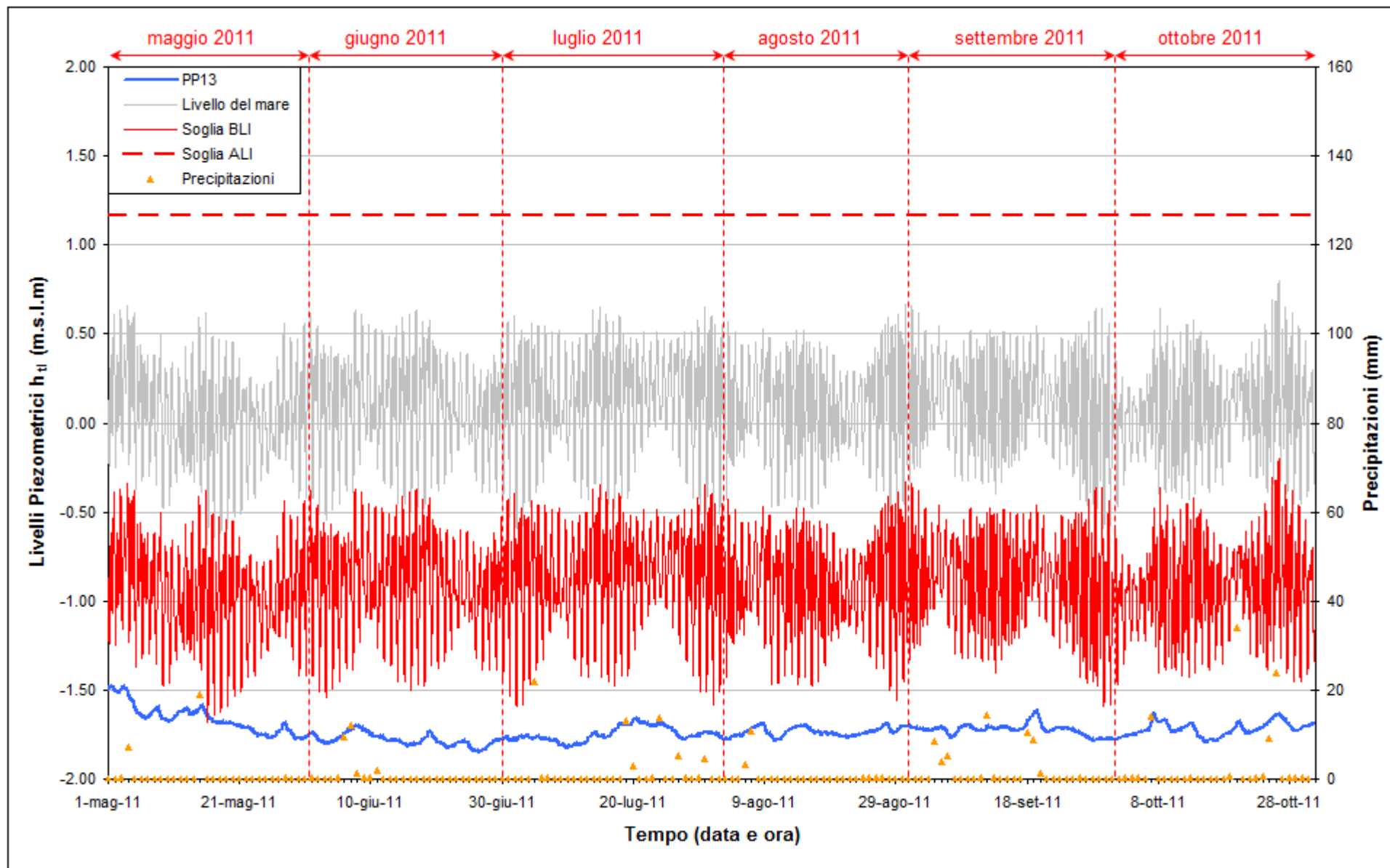


Fig. 2.63 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP13 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

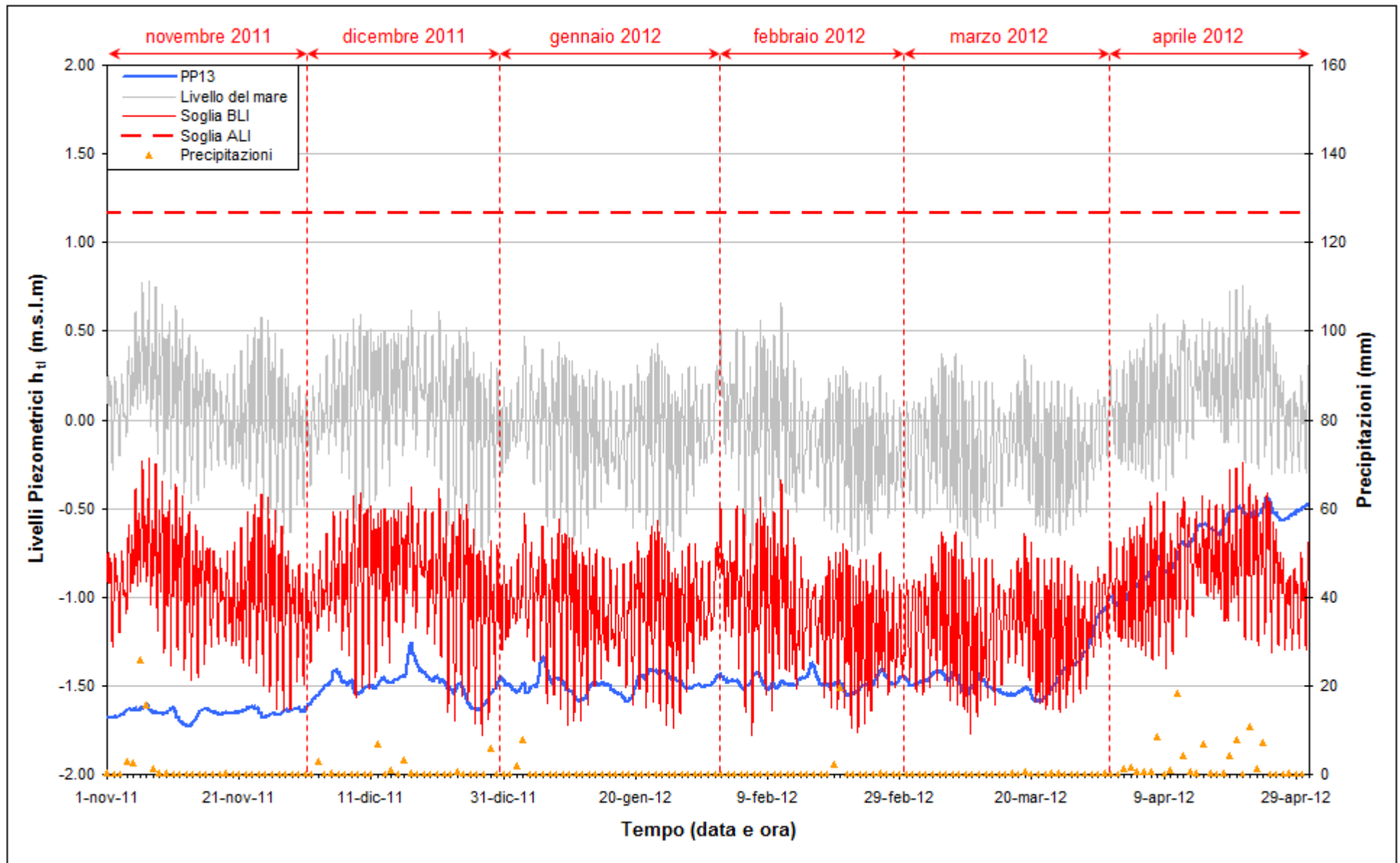


Fig. 2.64 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP13 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

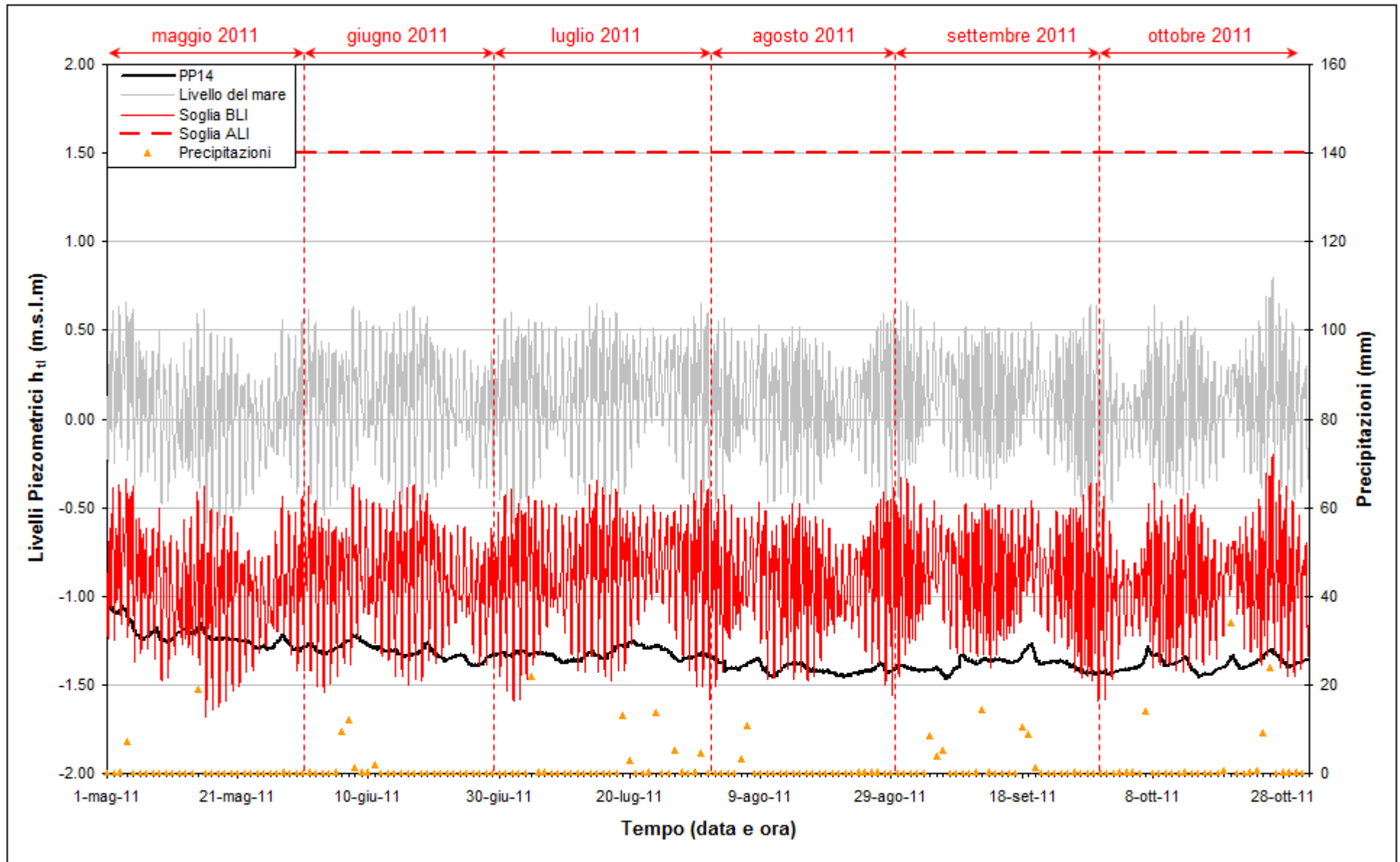


Fig. 2.65 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP14 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

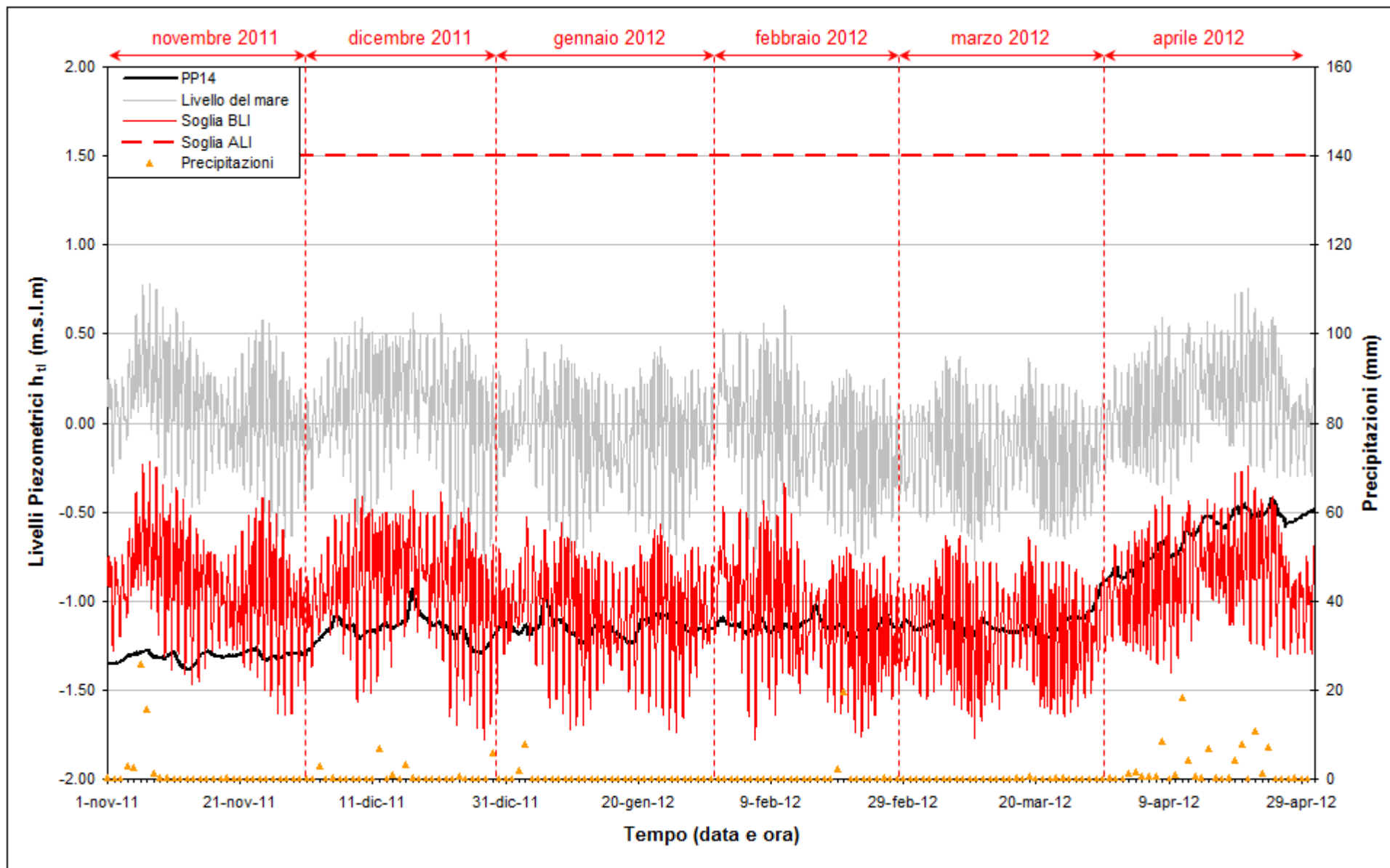


Fig. 2.66 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PP14 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

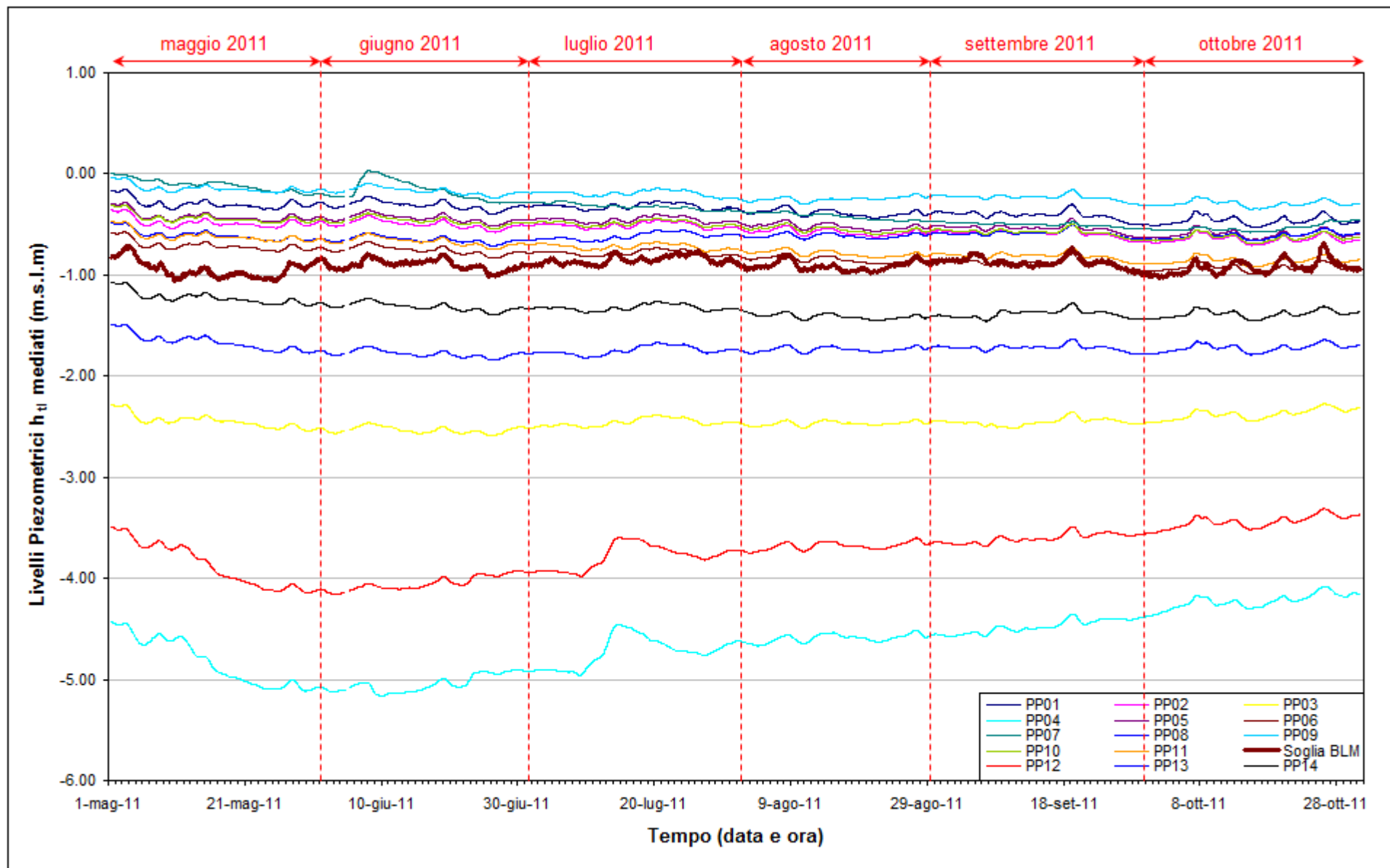


Fig. 2.67 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

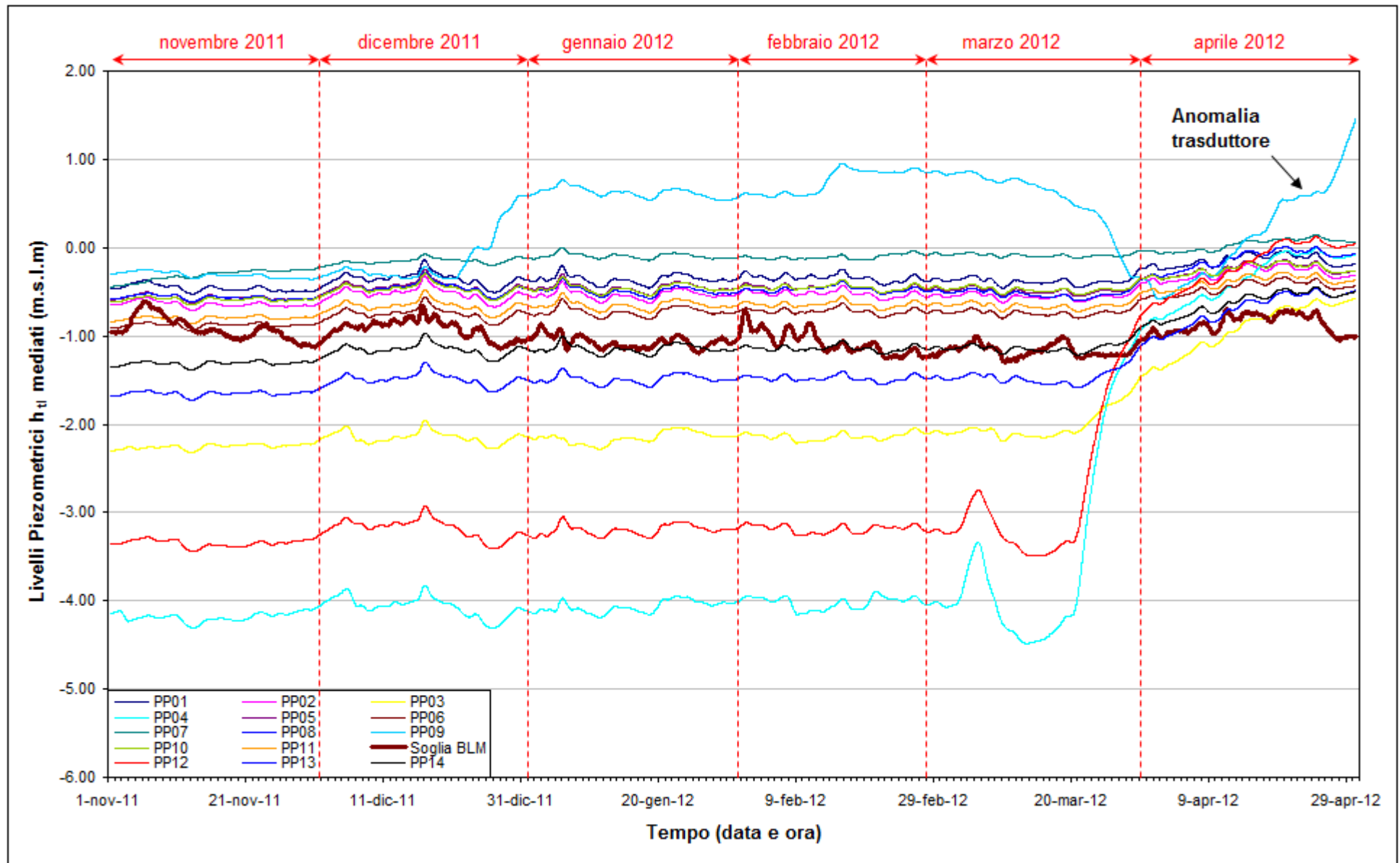


Fig. 2.68 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

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.2.3). 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
Giugno	12 giugno 2011 - h. 8:00
Settembre	14 settembre 2011 - h. 2:00
Gennaio	10 gennaio 2012 - h. 9:00
Marzo	16 marzo 2012 - h. 8:00
Aprile	22 aprile 2012 - h. 9:00

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

2.3.1 *Piezometria superficiale*

La piezometria del primo livello acquifero (Strato A) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levelogger posti nei piezometri superficiali. In Tab. 2.4 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_{fl} relativi al primo livello acquifero: Fase A e cinque date di riferimento.

Piez.	X	Y	z_t (m s.l.m.)	Fase A	Giugno	Settembre	Gennaio	Marzo	Aprile
				h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)	h_{fl} (m s.l.m.)
PS01	2318325.88	5035253.68	1.790	0.271	0.111	0.105	0.143	-0.055	0.154
PS02	2318303.30	5034900.48	1.687	nd	0.119	0.060	0.170	-0.024	0.244
PS03	2318377.62	5034552.61	1.459	0.331	0.108	-0.397	0.036	-0.040	0.264
PS04	2318449.34	5034373.27	1.344	0.147	0.009	-0.393	0.024	-0.098	0.227
PS05	2318582.01	5034989.80	1.816	0.799	0.393	-0.202	0.240	0.183	0.345
PS06	2318658.27	5034750.84	1.664	0.843	0.335	-0.360	0.135	0.084	0.214
PS07	2318785.95	5034898.62	1.403	0.654	0.215	-0.473	0.082	0.095	0.196
PS08	2318799.69	5034032.43	0.623	0.345	0.163	-0.243	-	0.061	0.184
PS09	2318764.67	5035448.00	2.248	0.638	0.202	-0.242	0.158	0.150	0.269
PS10	2318792.99	5035043.94	2.003	0.634	0.114	-0.557	-0.012	0.004	0.082
PS11	2318787.28	5034652.23	1.086	0.673	0.007	-0.463	-0.097	-0.025	0.002

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

- nel mese di giugno 2011 (Fig.2.70) i livelli sono leggermente inferiori (circa 40÷70 cm) rispetto alla configurazione *ante operam* (Novembre 2005);
- nel periodo estivo (giugno - settembre 2011) si verifica un consistente abbassamento dei livelli di falda, di ulteriori 40÷70 cm dovuti all'evapotraspirazione, come si può osservare nella piezometria di settembre 2011 (Fig.2.71). Nel periodo estivo, i livelli di falda superficiale misurati nei piezometri interni (PS03÷11) sono inferiori al livello medio del mare, pertanto il flusso di falda è diretto dal mare alla terraferma;
- i livelli di falda superficiale sono cresciuti nel periodo autunnale e invernale, con un parziale recupero, osservabile nelle piezometrie di gennaio, marzo e aprile 2012 (Fig.2.72÷2.74). I livelli alla fine del periodo monitorato sono superiori al livello medio del mare, ma si mantengono inferiori a quelli della situazione *ante operam*.

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

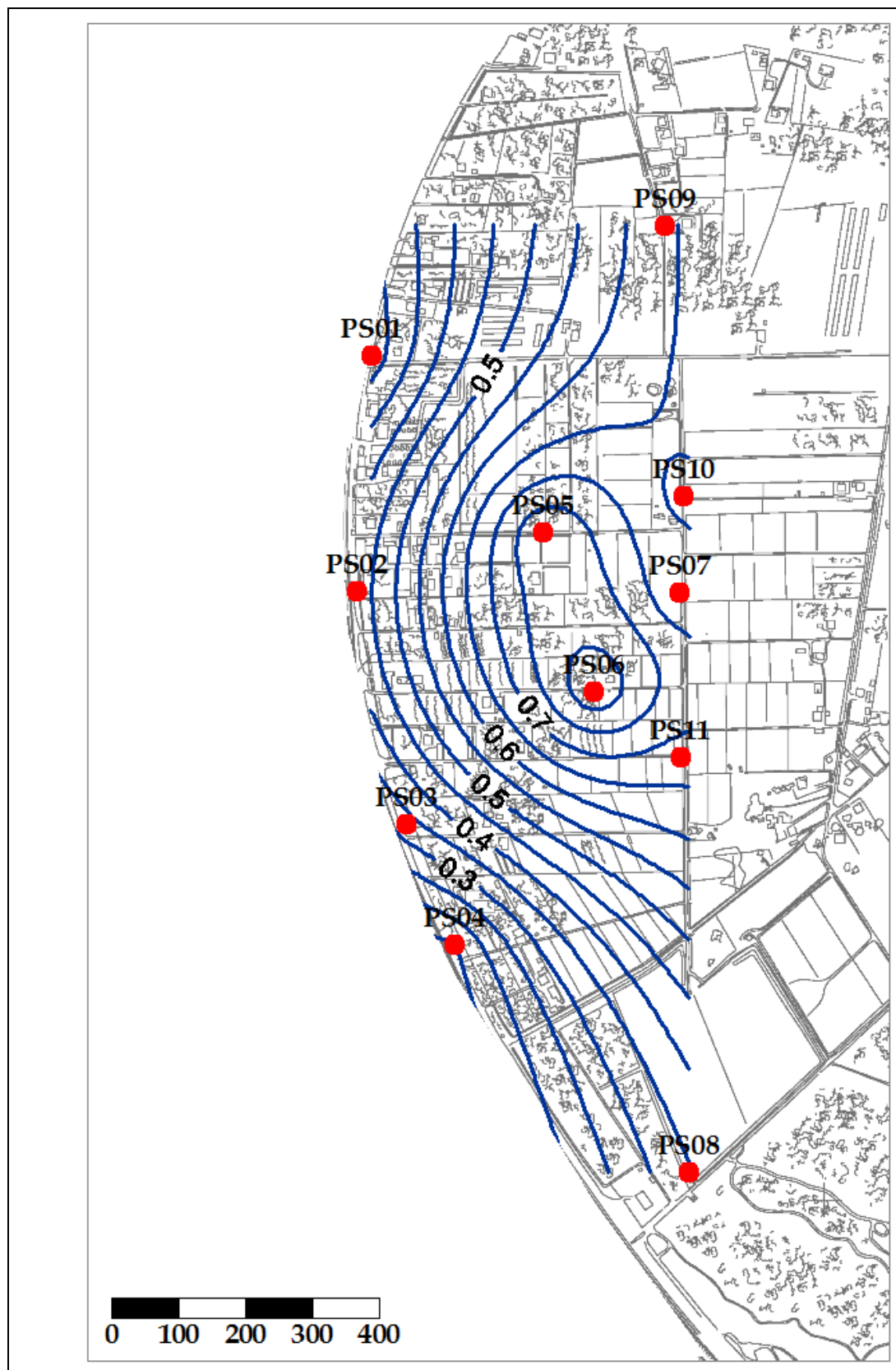


Fig. 2.69 - Piezometri superficiale Fase A - novembre 2005 (h_{fl} - m s.l.m.).

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

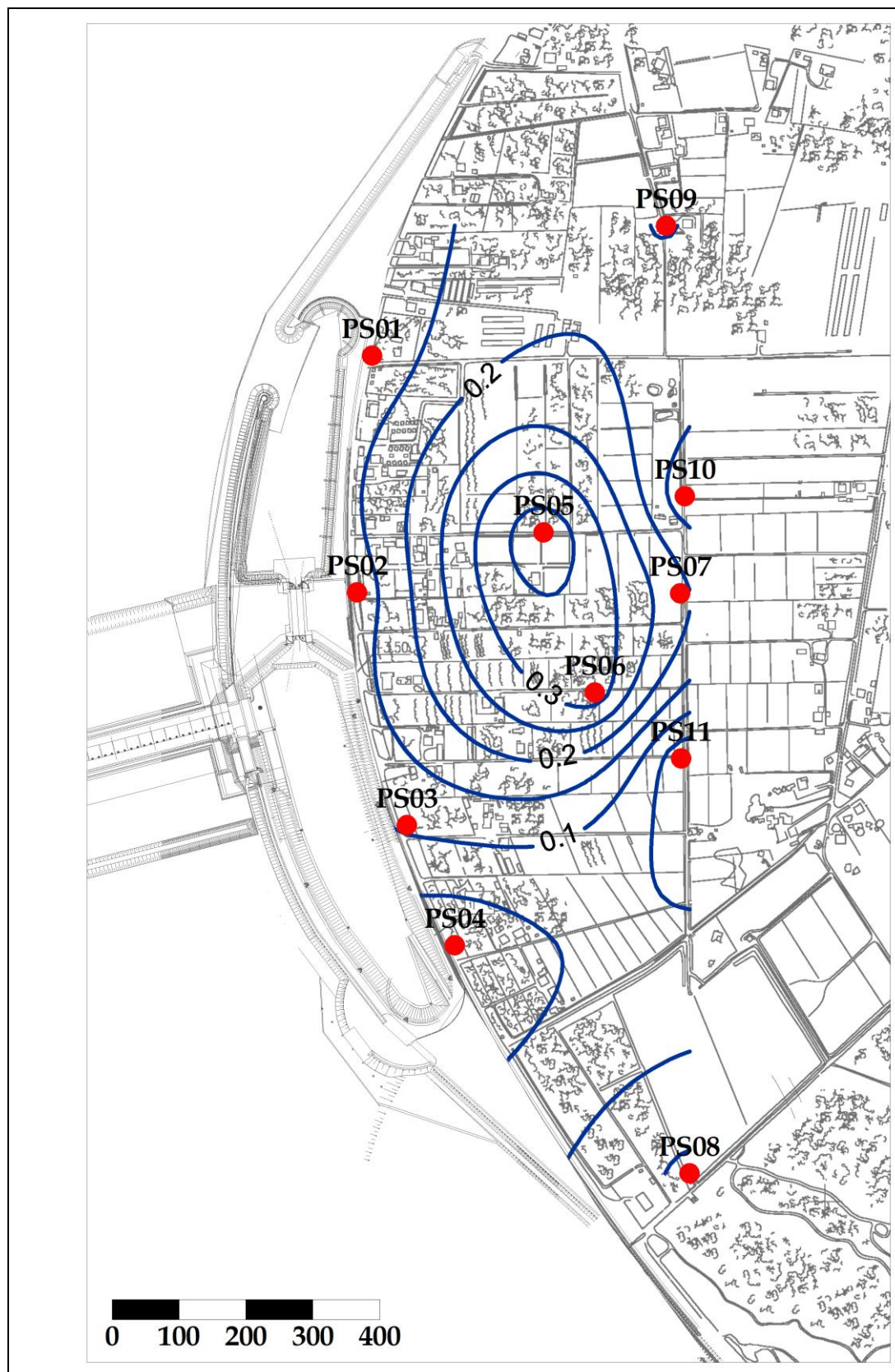


Fig. 2.70- Piezometria superficiale - giugno 2011 (h_{fl} - m s.l.m.).

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

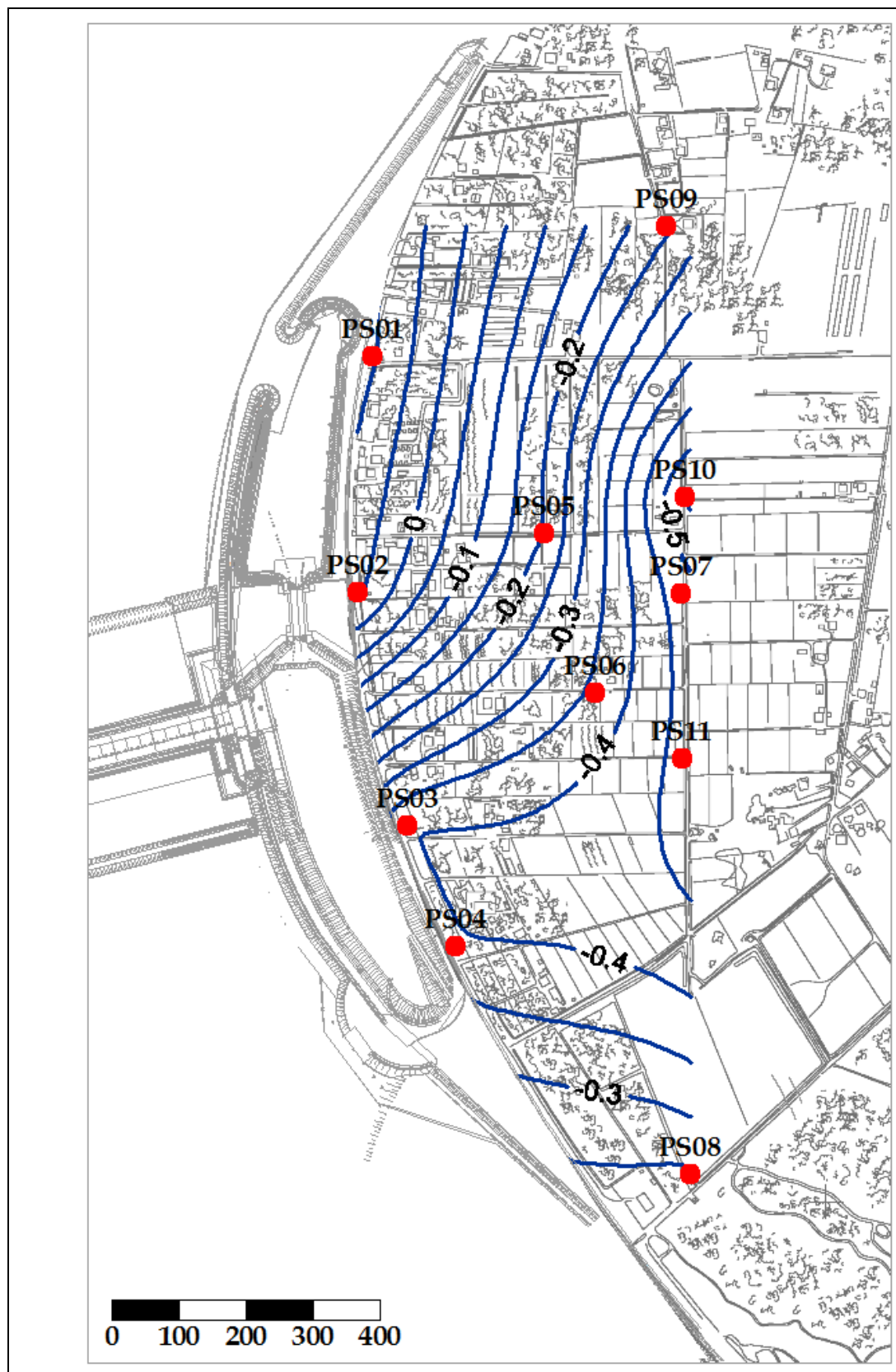


Fig. 2.71 - Piezometria superficiale - settembre 2011 (h_d - m s.l.m.).

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

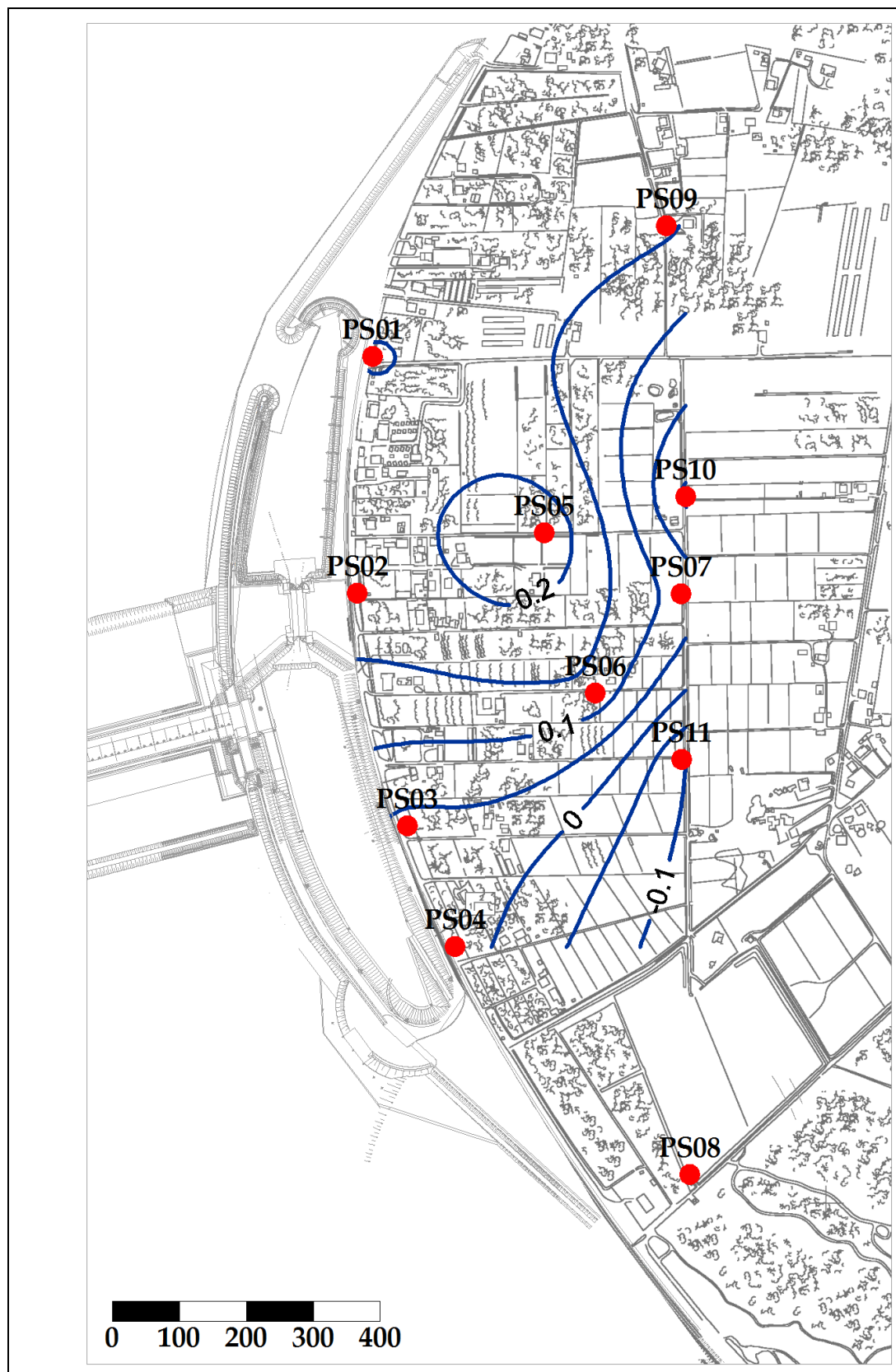


Fig. 2.72 - Piezometria superficiale - gennaio 2012 (h_{fl} - m s.l.m.).

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

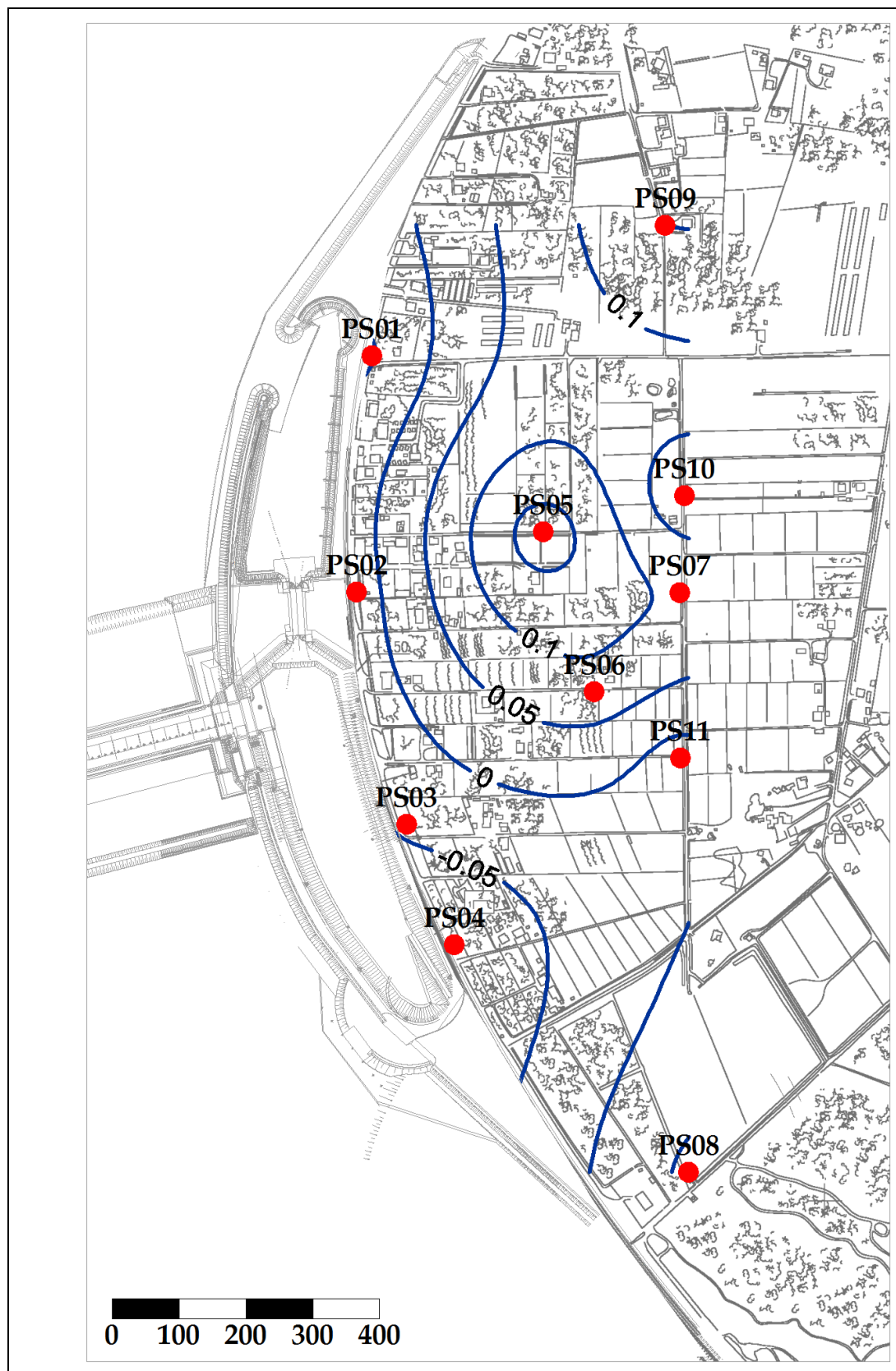


Fig. 2.73 - Piezometria superficiale - marzo 2012 (htl - m s.l.m.).

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

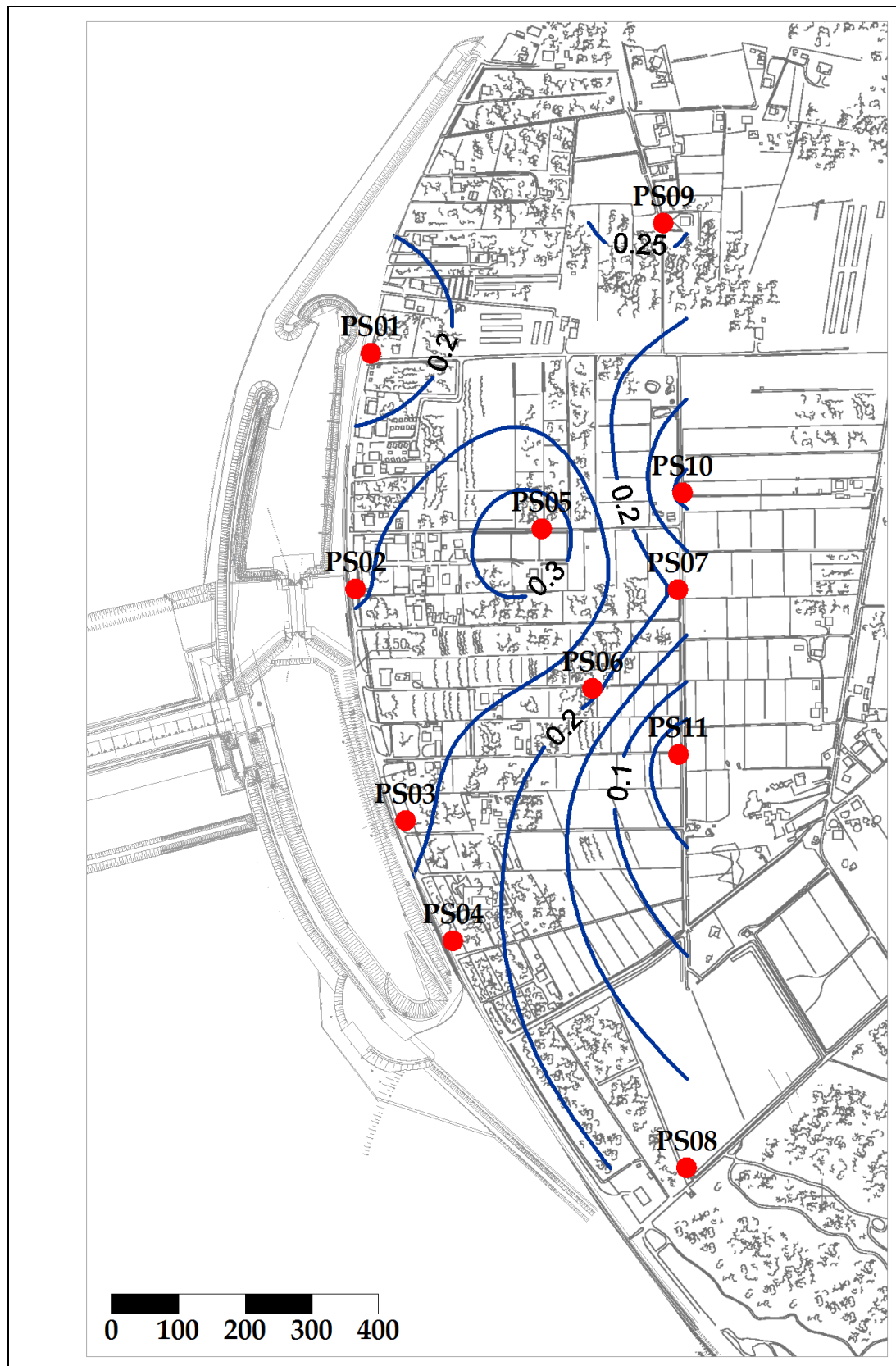


Fig. 2.74 - Piezometria superficiale - aprile 2012 (h_{ti} - m s.l.m.).

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. 2.76÷2.80 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.

Piez.	X	Y	z_t (m s.l.m.)	Fase A	Giugno	Settembre	Gennaio	Marzo	Aprile
				h_{tl} (m s.l.m.)	h_{tl} (m s.l.m.)	h_{tl} (m s.l.m.)	h_{tl} (m s.l.m.)	h_{tl} (m s.l.m.)	h_{tl} (m s.l.m.)
PP01	2318325.4	5035252.1	1.801	0.337	-0.296	-0.416	-0.346	-0.420	-0.132
PP02	2318303.4	5034898.3	1.681	0.298	-0.494	-0.586	-0.549	-0.578	-0.256
PP03	2318378.3	5034550.4	1.431	0.353	-2.520	-2.462	-2.251	-2.154	-0.689
PP04	2318448.5	5034374.6	1.416	0.394	-5.076	-4.496	-4.147	-4.433	-0.087
PP05	2318579.8	5034989.6	1.718	0.469	-0.438	-0.529	-0.487	-0.515	-0.207
PP06	2318658.2	5034748.8	1.636	0.375	-0.738	-0.874	-0.763	-0.765	-0.392
PP07	2318786.1	5034900.5	1.318	0.401	-0.056	-0.501	-0.101	-0.101	0.093
PP08	2318800.2	5034031.1	0.747	0.260	-0.632	-0.584	-0.512	-0.557	-0.043
PP09	2318765.0	5035445.9	2.255	0.339	-0.158	-0.227	-	-	-
PP10	2318793.0	5035045.8	2.086	0.302	-0.450	-0.569	-0.494	-0.501	-0.208
PP11	2318787.4	5034654.3	1.149	0.288	-0.653	-0.804	-0.691	-0.690	-0.339
PP12	2318498.2	5034363.4	1.071	nd	-4.109	-3.611	-3.244	-3.485	0.043
PP13	2318631.1	5034397.3	1.169	nd	-1.778	-1.711	-1.526	-1.551	-0.538
PP14	2318619.3	5034536.8	1.502	nd	-1.305	-1.362	-1.184	-1.178	-0.510

Nei mesi compresi tra maggio 2011 e marzo 2012, la configurazione della piezometria profonda risulta molto differente rispetto a quanto registrato durante la Fase A, risentendo delle operazioni di pompaggio della tura lato mare: in particolare nel piezometro PP03 si riscontra un abbassamento di livello di circa 250÷300 cm rispetto alla Fase A, mentre nel piezometro PP04 tale diminuzione di livello è pari a circa 450÷550 cm; negli altri piezometri i livelli risultano inferiori rispetto a quelli registrati nella Fase A, con differenze comprese tra 45 e 125 cm.

Durante il mese di marzo 2012, il pompaggio di dewatering è stato interrotto. Si è pertanto verificata una consistente risalita dei carichi idraulici nella falda profonda. Nel mese di aprile 2012 (Fig. 2.80) la distribuzione spaziale dei carichi idraulici si è riportata a una configurazione simile a quella ante operam, seppure con valori inferiori di circa 30÷100 cm. Il recupero del carico idraulico è ancora in atto e nei prossimi mesi si valuterà il ripristino alla situazione *ante operam*.

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

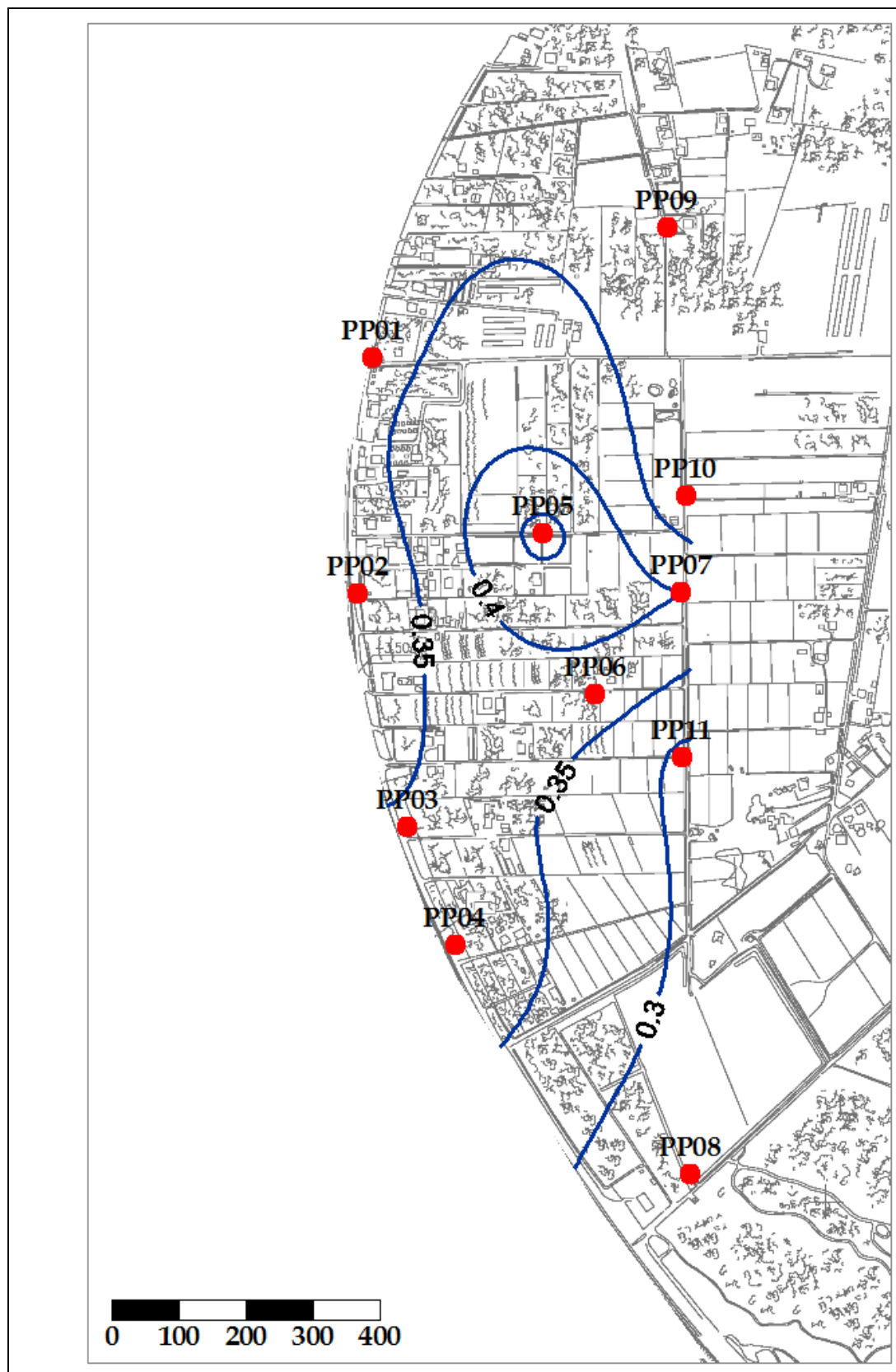


Fig. 2.75- Piezometria profonda Fase A - novembre 2005 (h_u - m s.l.m.).

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

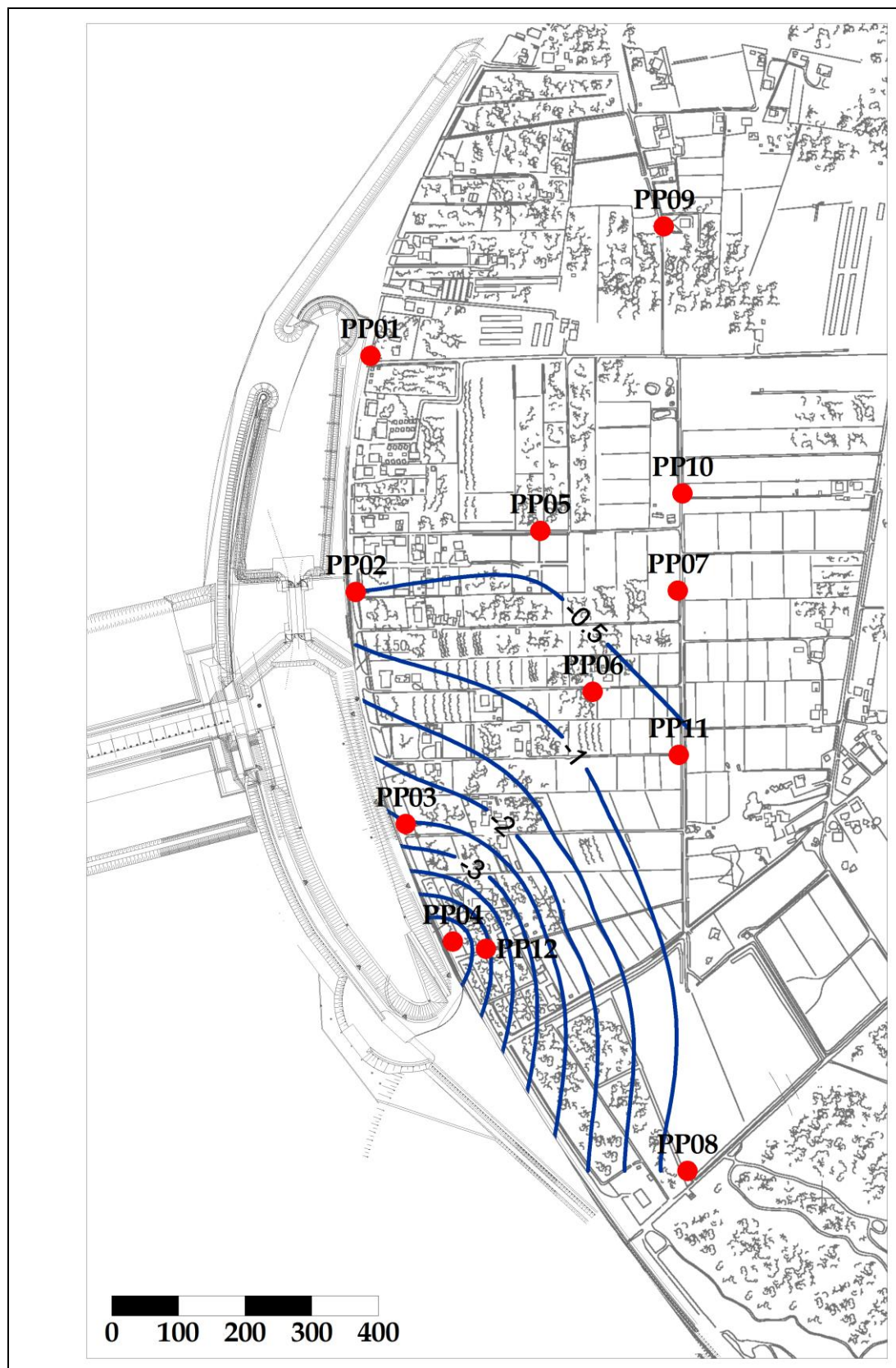


Fig. 2.76 - Piezometria profonda - giugno 2011 (h_{ti} - m s.l.m.)

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

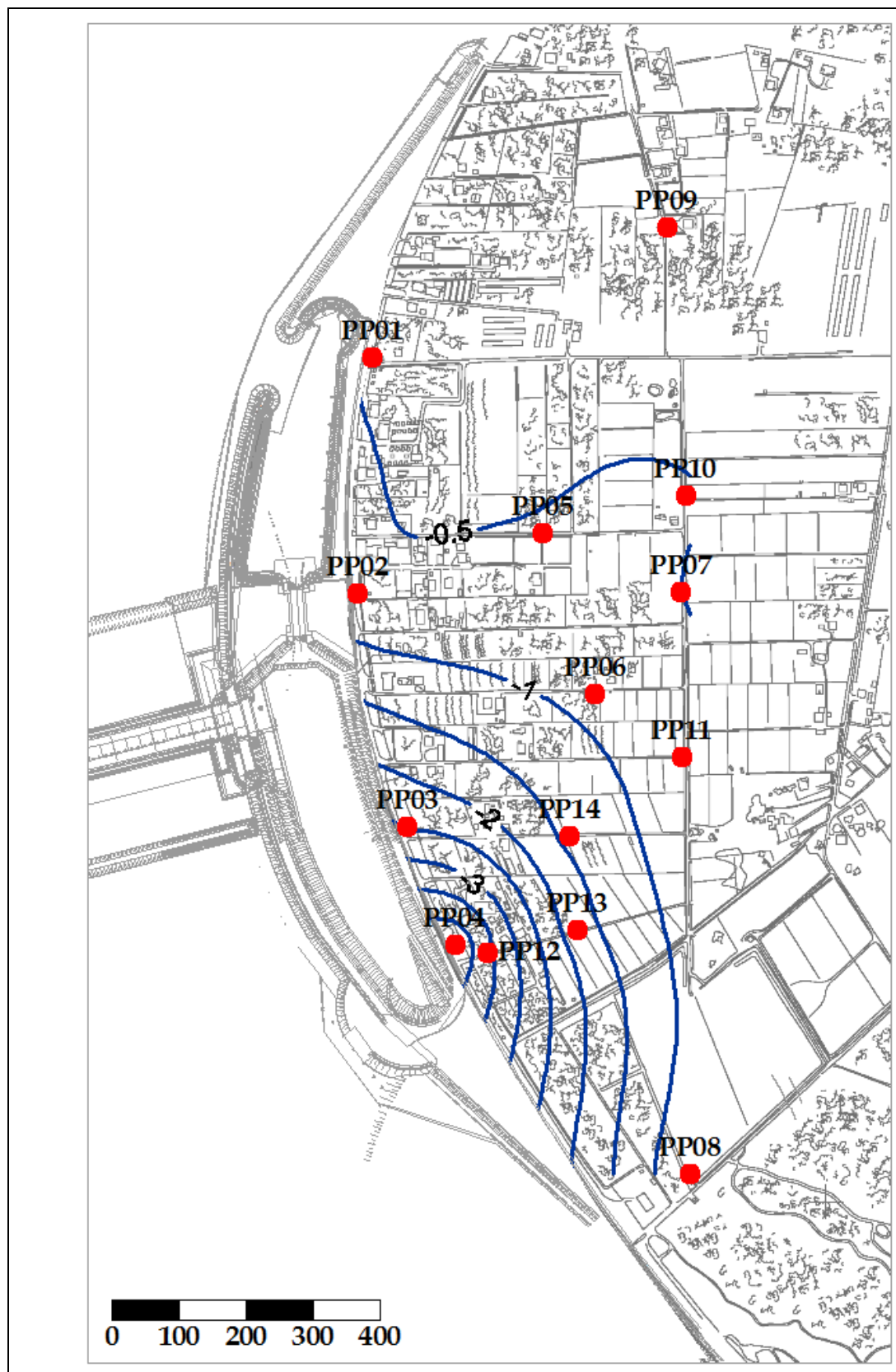


Fig. 2.77 - Piezometria profonda - settembre 2011 (h_H - m s.l.m.).

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

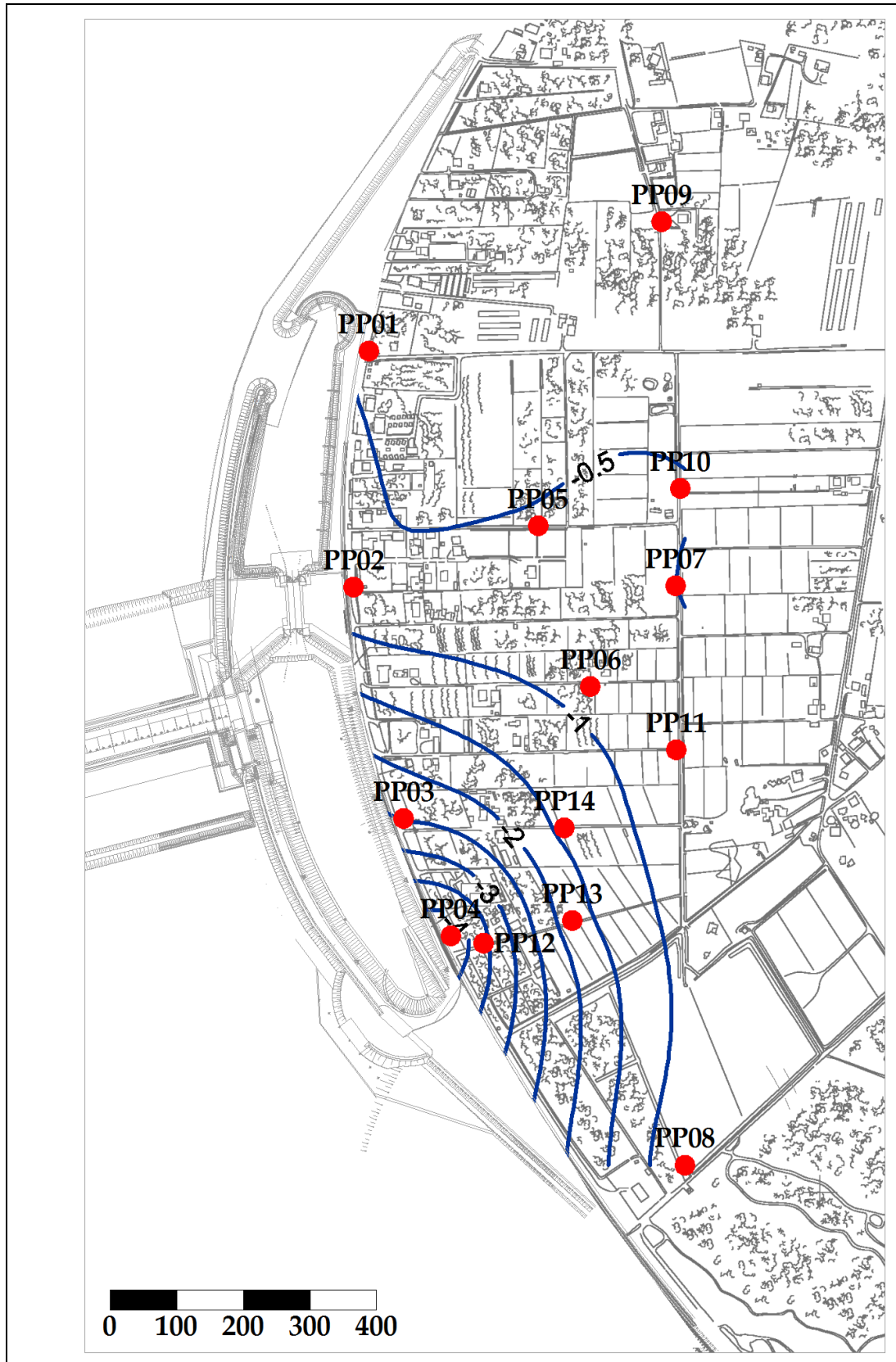


Fig. 2.78 - Piezometria profonda - gennaio 2012 (h_{t1} - m s.l.m.).

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

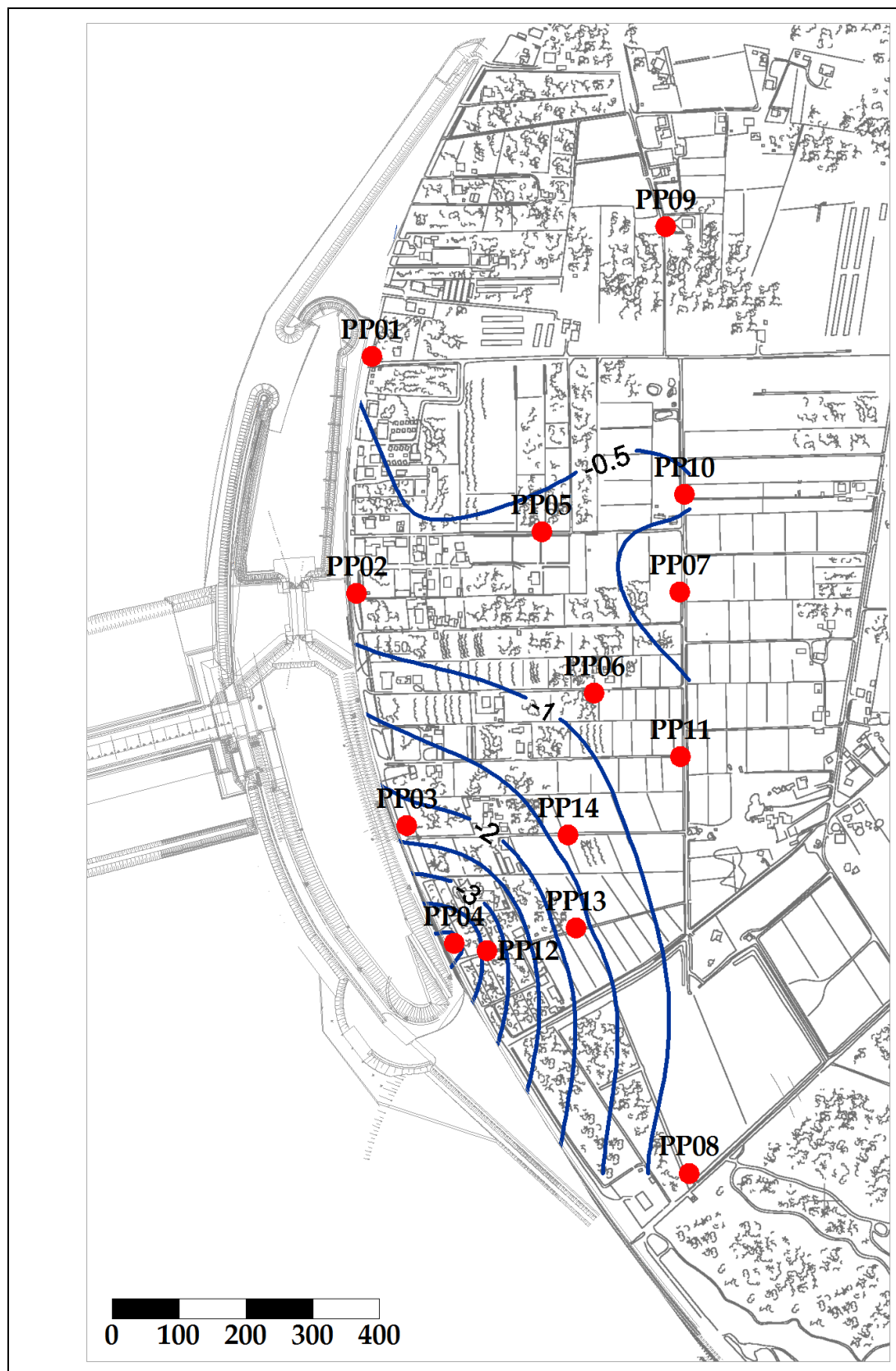


Fig. 2.79 - Piezometria profonda - marzo 2012 (h_{PI} - m s.l.m.).

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

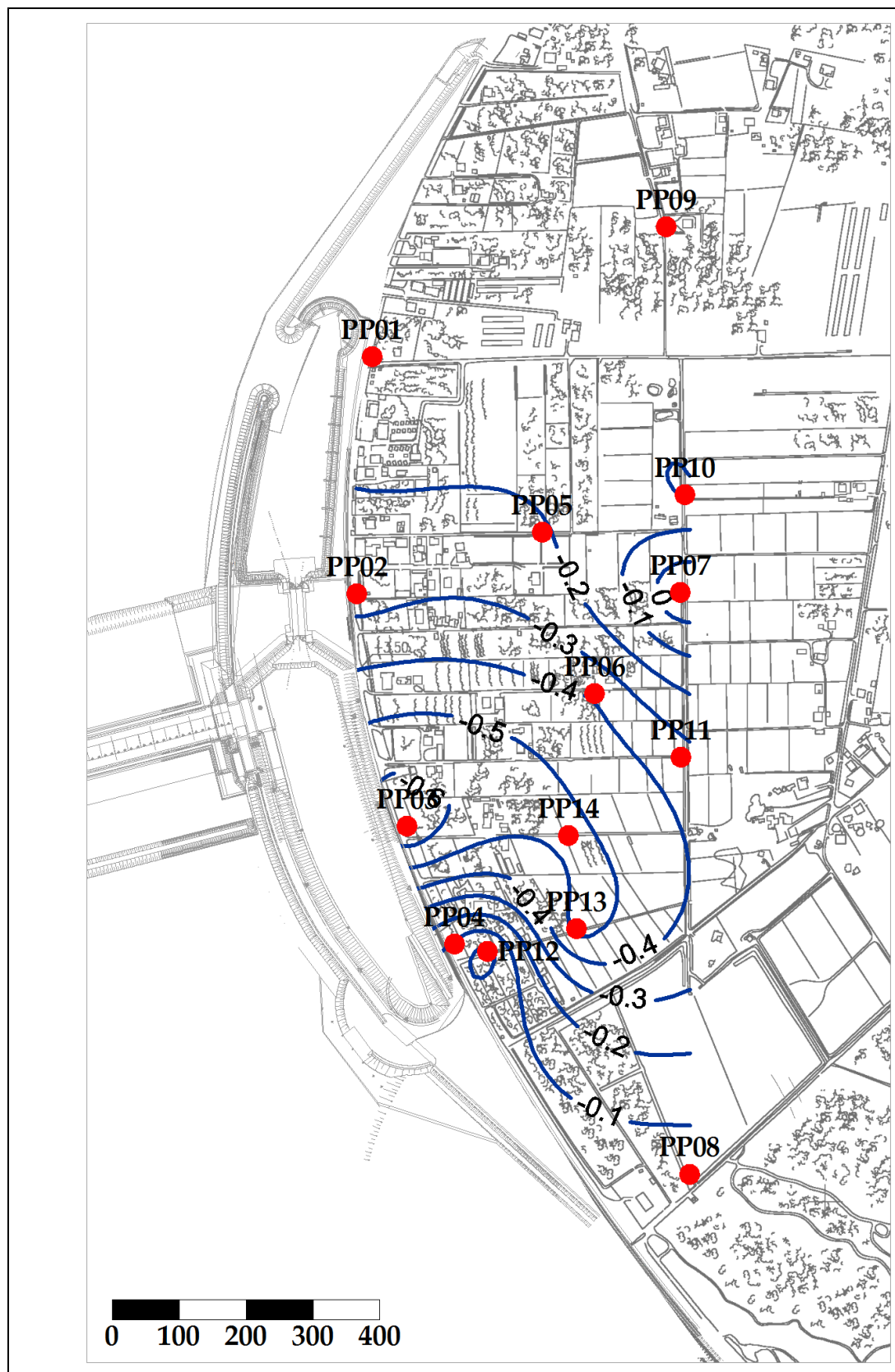


Fig. 2.80 - Piezometria profonda - aprile 2012 (h_{cl} - m s.l.m.).

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.2.6):

- 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.

Le soglie di Alto Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate per tutto il periodo monitorato (01/05/11 - 30/04/12), sia nei piezometri superficiali che in quelli profondi.

La soglia di Basso Livello Istantaneo è stata superata in occasione di alcuni massimi mareali, nei mesi di agosto, settembre e ottobre 2011, nei piezometri PS03, PS04, PS06, PS07, PS10, PS11. Tali superamenti sono attribuibili alla diminuzione dei livelli di falda causata dalla prolungata siccità, e non al pompaggio di dewatering della tura.

Nel periodo monitorato non sono stati registrati superamenti della soglia di Basso Livello Medio nei piezometri superficiali.

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

- nei piezometri PP01, PP02, PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10, PP11 si è verificato almeno un superamento della soglia di Basso Livello Istantaneo in corrispondenza dei massimi mareali;
- nei piezometri PP04, PP12 (periodo: 01/05/11 - 25/03/12), PP03 (periodo: 01/05/11 - 04/04/12), PP13 e PP14 (periodo: 01/05/11 - 24/04/12), a causa del pompaggio di dewatering della tura.

La soglia di Basso Livello Medio è stata superata:

- nei piezometri PP06 e PP11 si sono verificati brevi superamenti della soglia di Basso Livello Medio, durante periodi di alta marea;
- nei piezometri profondi PP04, PP12 (periodo: 01/05/11 - 28/03/12), PP03 (periodo: 01/05/11 - 17/04/12), PP13 e PP14 (periodo: 01/05/11 - 12/04/12). In seguito all'interruzione del pompaggio di dewatering, a partire dal 17/04/12 la soglia di Basso Livello Medio è rispettata in tutti i piezometri profondi.

Nel prossimo quadrimestre si prevede che la soglia di Basso Livello Istantaneo e Medio verrà rispettata nei piezometri profondi, ad eccezione di alcuni possibili brevi superamenti, in occasione dei massimi mareali.

2.5 ANALISI DELLA DENSITA' 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. In ciascuna figura è inoltre riportato il confronto con il profilo di conducibilità elettrica misurato in fase A (ottobre 2005).

Nei piezometri superficiali si osservano i seguenti comportamenti:

- nei piezometri PS01 e PS09, situati a nord, si osserva una crescita della conducibilità elettrica (e, conseguentemente, della densità dell'acqua di falda) nei mesi invernali. Il profilo di densità a fine periodo di monitoraggio è simile a quello ante operam in PS09, mentre in PS01 si osservano valori inferiori rispetto alla fase A;
- nei piezometri PS02, PS04, PS08, PS10, PS11 si osserva un costante incremento della densità dell'acqua di falda, mentre tale incremento è più lieve nei piezometri PS05 e PS06. I valori misurati sono prossimi a quelli della configurazione ante operam (ad eccezione della postazione PS10, dove a fine periodo di monitoraggio si registrano valori superiori);
- nel piezometro PS03, durante tutto il periodo di monitoraggio, il profilo di densità è simile al profilo *ante operam* e non presenta variazioni apprezzabili, ad eccezione di un aumento nel mese di marzo 2012. Nel mese successivo, tuttavia, la densità dell'acqua di falda si riporta sui valori iniziali;
- nella postazione PS07 si osserva un forte aumento, nei mesi tra gennaio ed aprile 2012, della densità dell'acqua di falda sul fondo del piezometro. Tale aumento è attribuibile all'intrusione del cuneo salino in seguito al prolungato periodo di siccità.

In generale, nella falda superficiale si osserva un incremento consistente della salinità dell'acqua di falda (alla quale sono legati i parametri conducibilità elettrica e densità), attribuibile alla diminuzione dei livelli causata dal prolungato periodo di siccità, con conseguente intrusione del cuneo salino e riduzione della diluizione dei sali disciolti.

Nei piezometri profondi, si osservano i seguenti comportamenti:

- nei piezometri PP01, PP02, PP03, PP04, PP05, PP06, PP07, PP09, PP10 si osserva una crescita costante della densità dell'acqua di falda nel periodo compreso tra maggio 2011 e aprile 2012. I valori di densità sono inferiori rispetto alla situazione *ante operam*, ad eccezione dei piezometri PP02 (nel quale tali valori sono superiori rispetto alla fase A), PP04 e PP06 (nei quali si registrano valori simili alla configurazione *ante operam*);
- nel piezometro PP08, i profili di densità variano in un range piuttosto ampio, con una diminuzione della densità tra maggio 2011 e aprile 2012. I valori di densità in questa postazione sono molto inferiori rispetto a quelli registrati in fase A;
- nel piezometro PP11 i profili di densità non presentano variazioni apprezzabili e i valori misurati sono molto inferiori rispetto a quelli registrati in fase A.

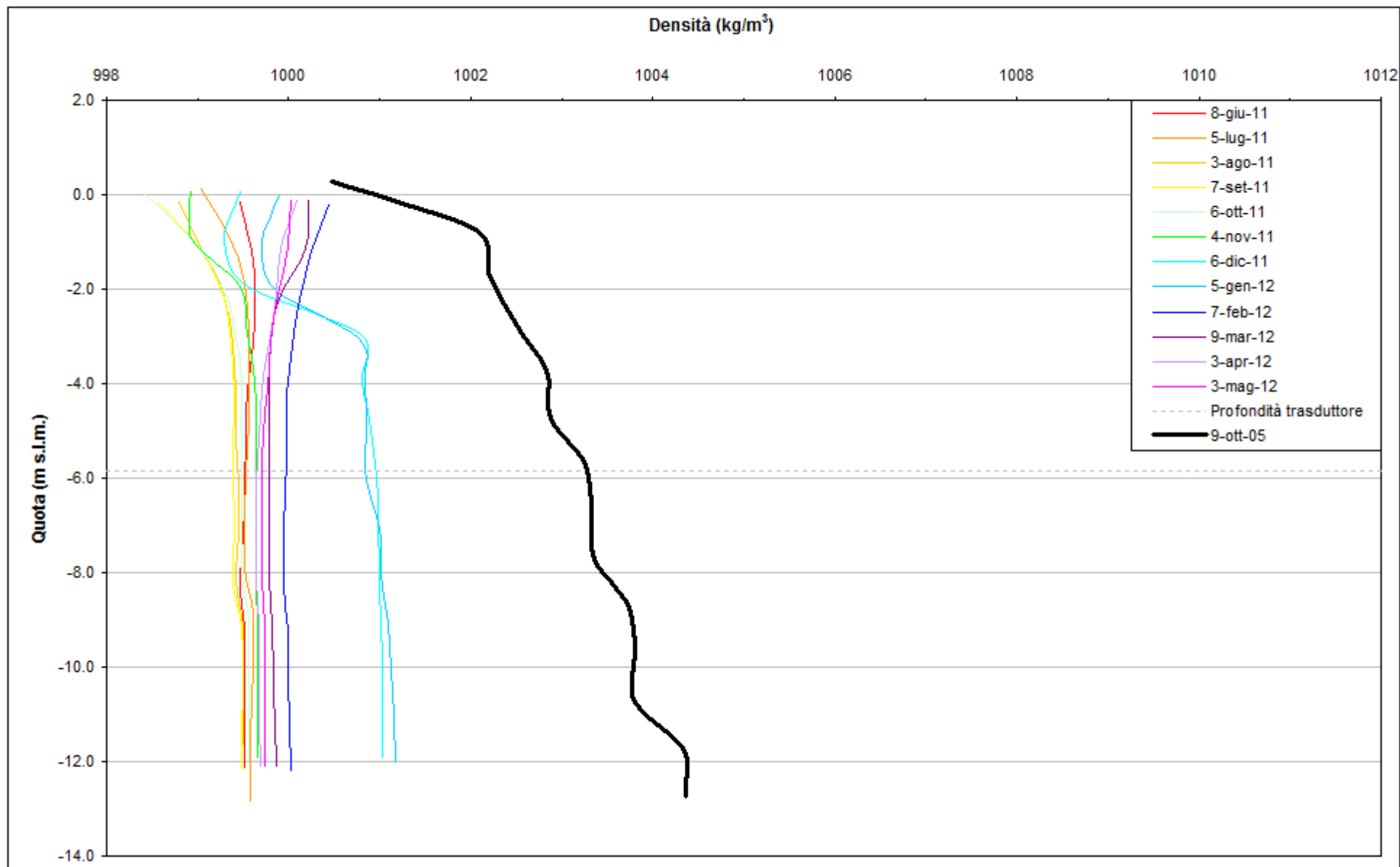


Fig. 2.81 - Profili verticali di densità PS01.



Fig. 2.82 - Profili verticali di densità PS02.

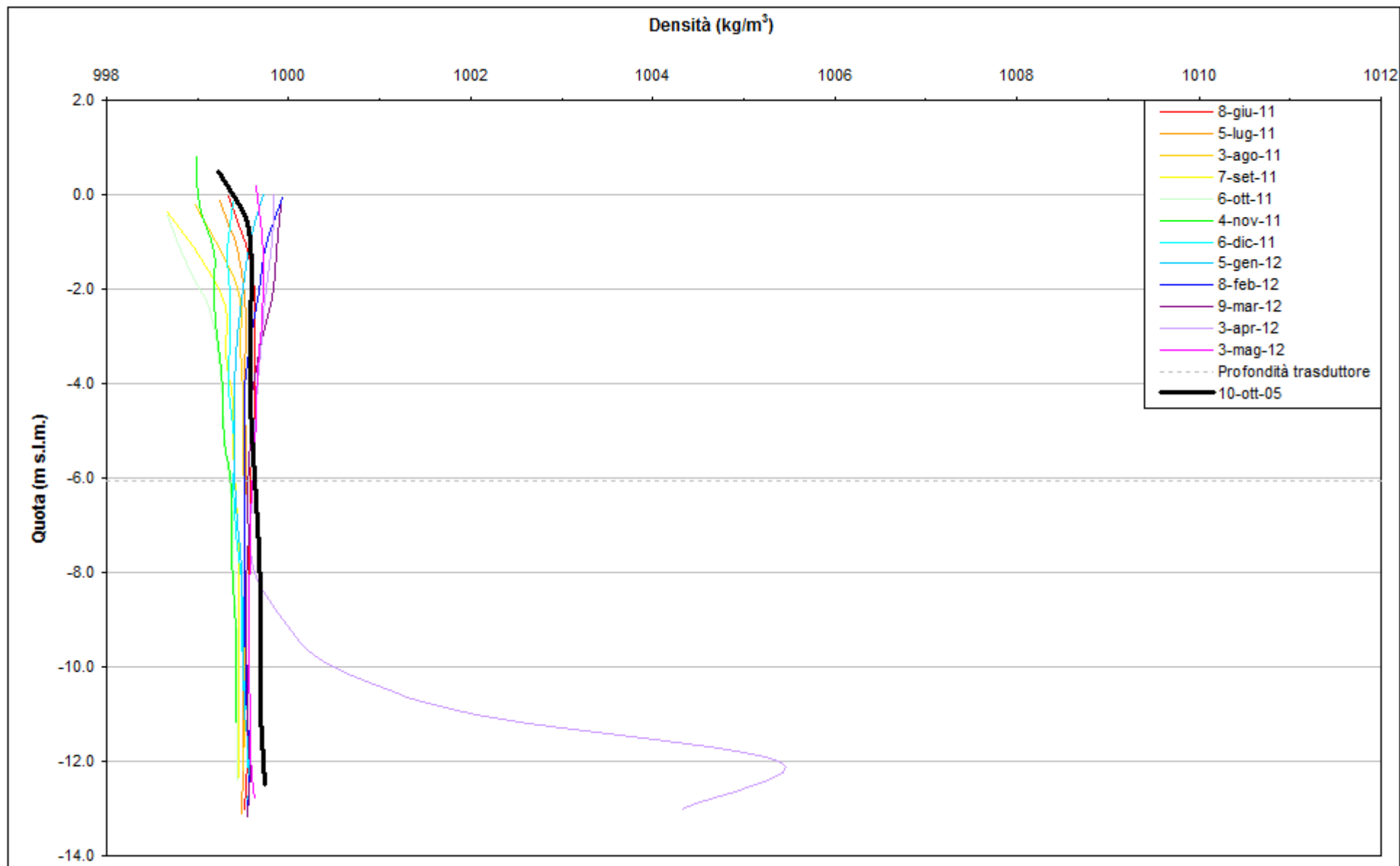


Fig. 2.83 - Profili verticali di densità PS03.

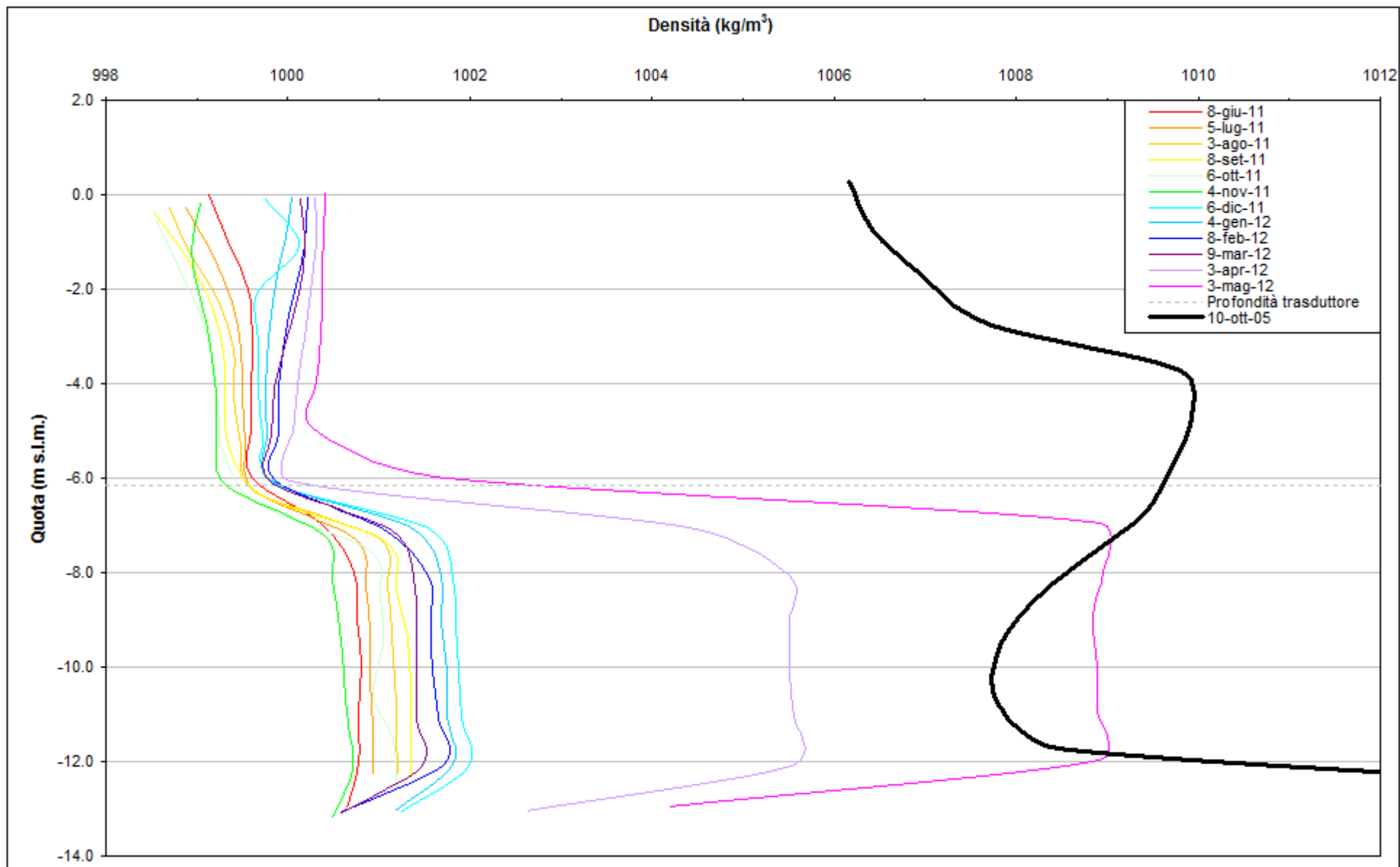


Fig. 2.84 - Profili verticali di densità PS04.

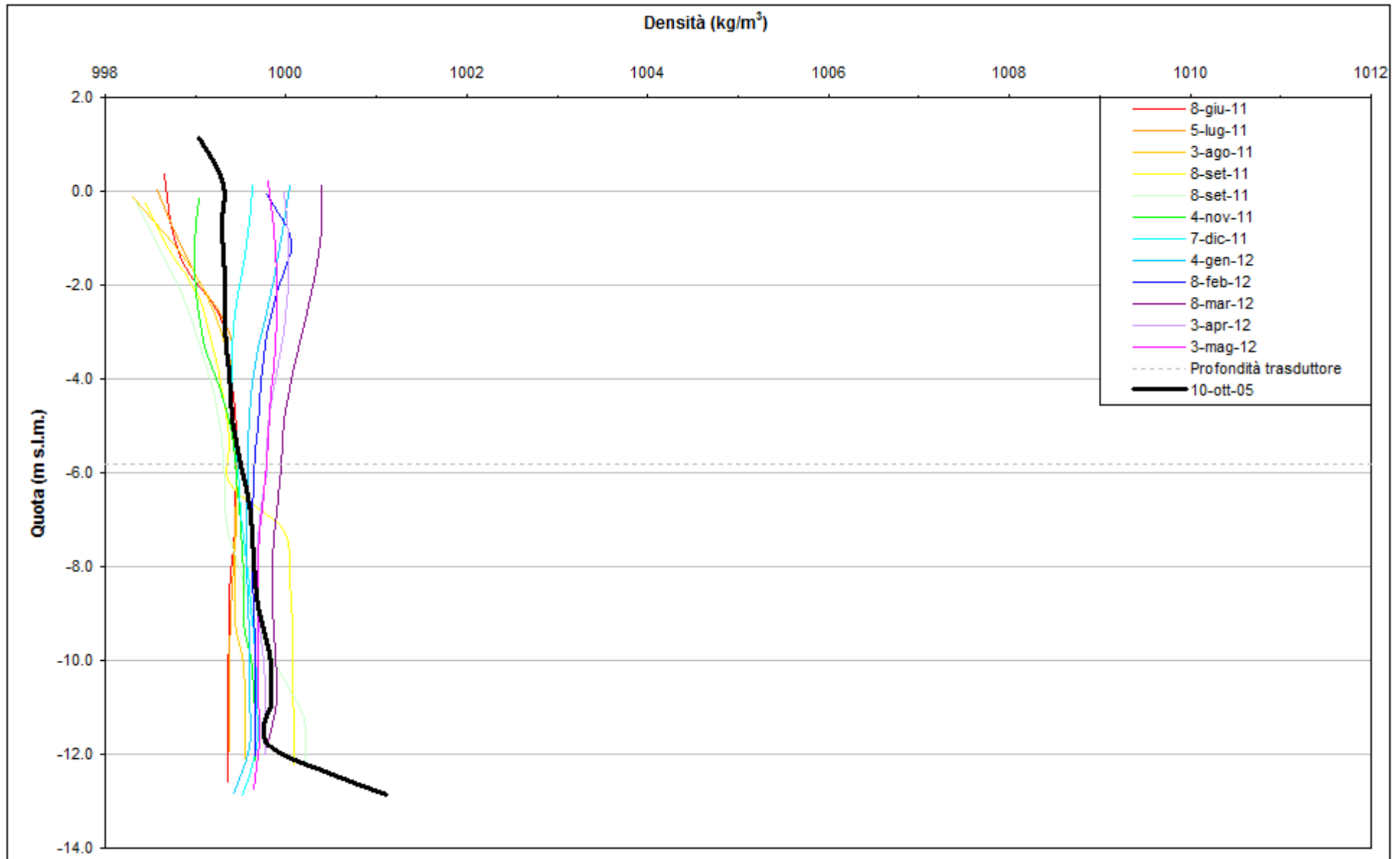


Fig. 2.85 - Profili verticali di densità PS05.

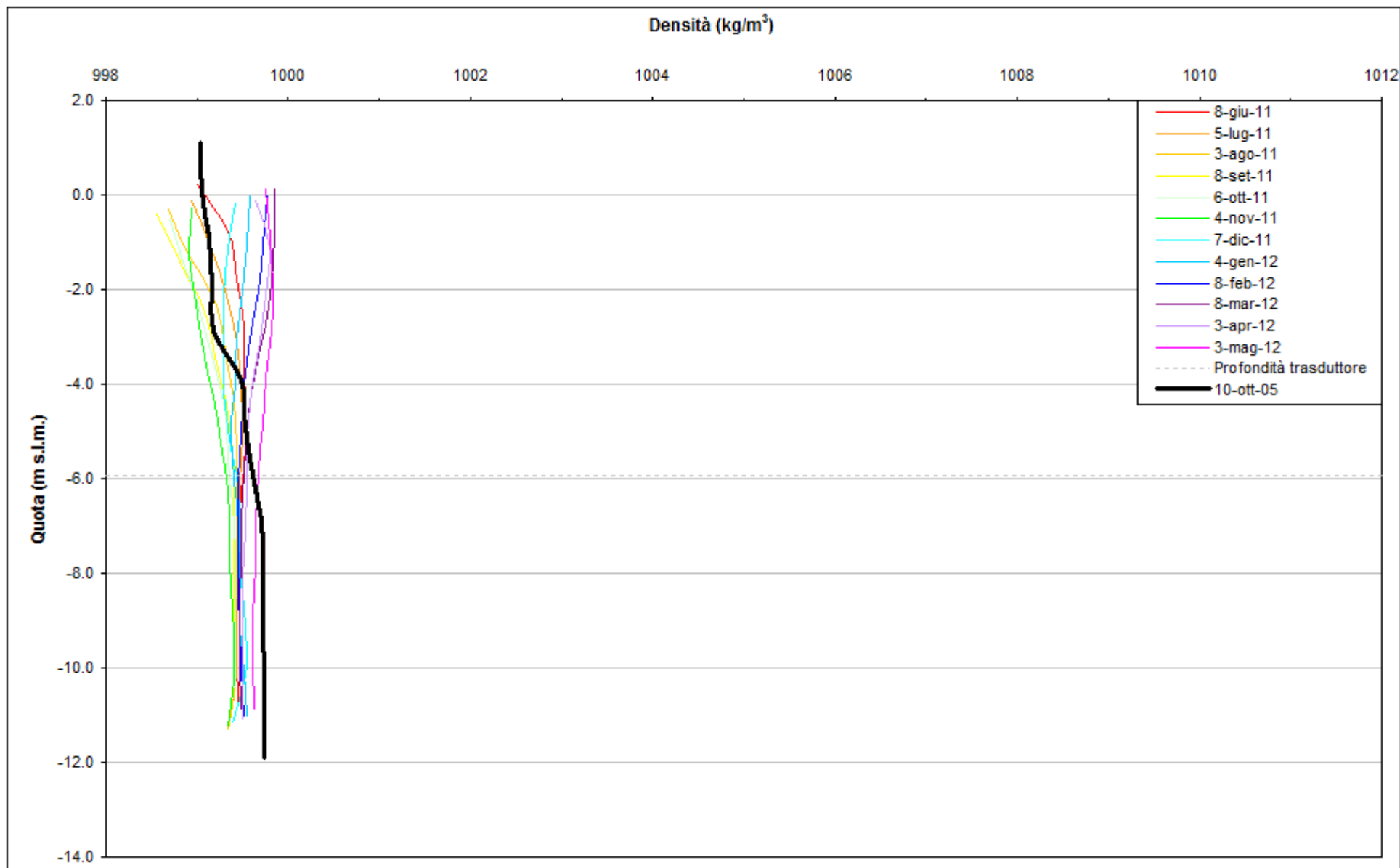


Fig. 2.86 - Profili verticali di densità PS06.

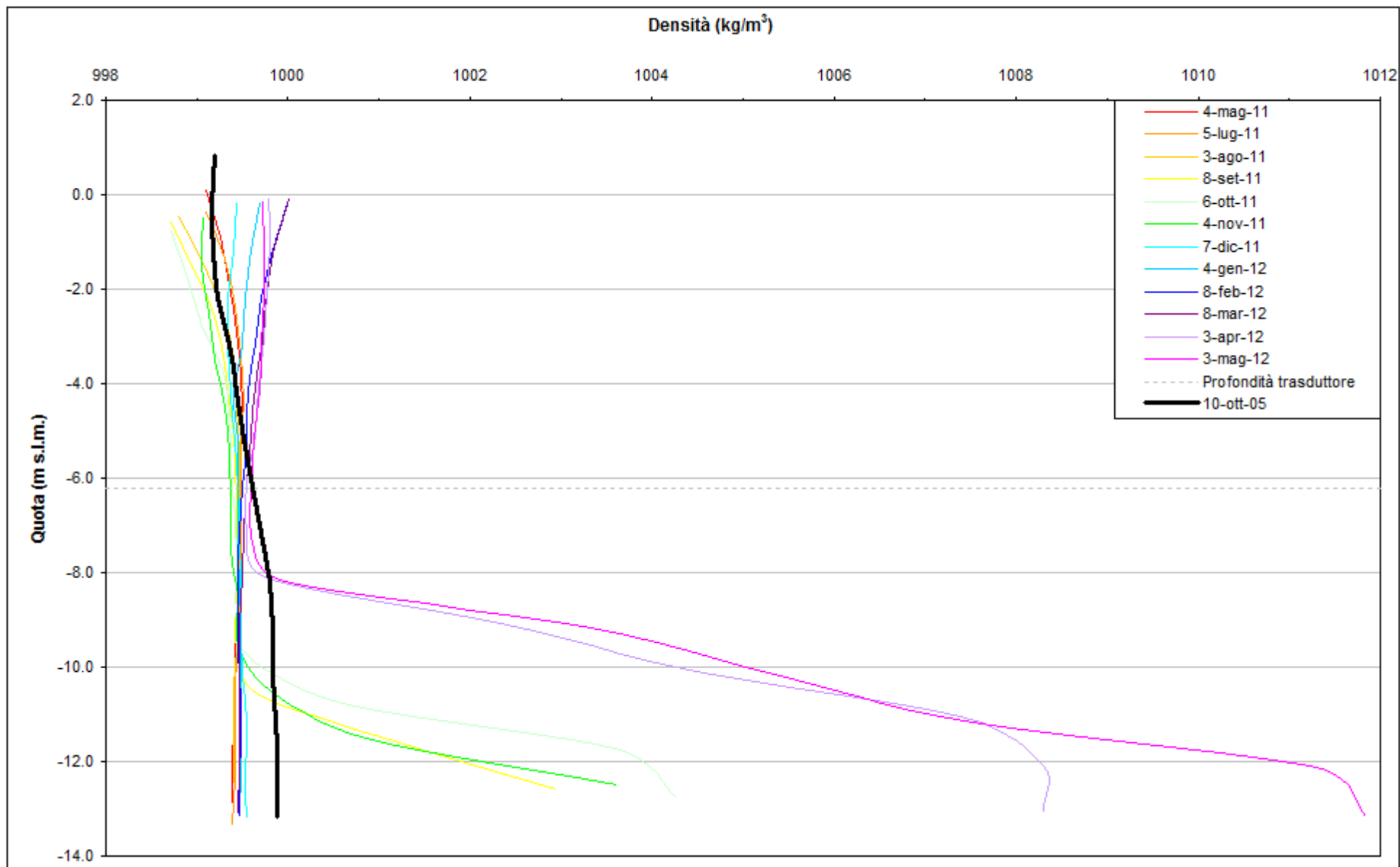


Fig. 2.87 - Profili verticali di densità PS07.

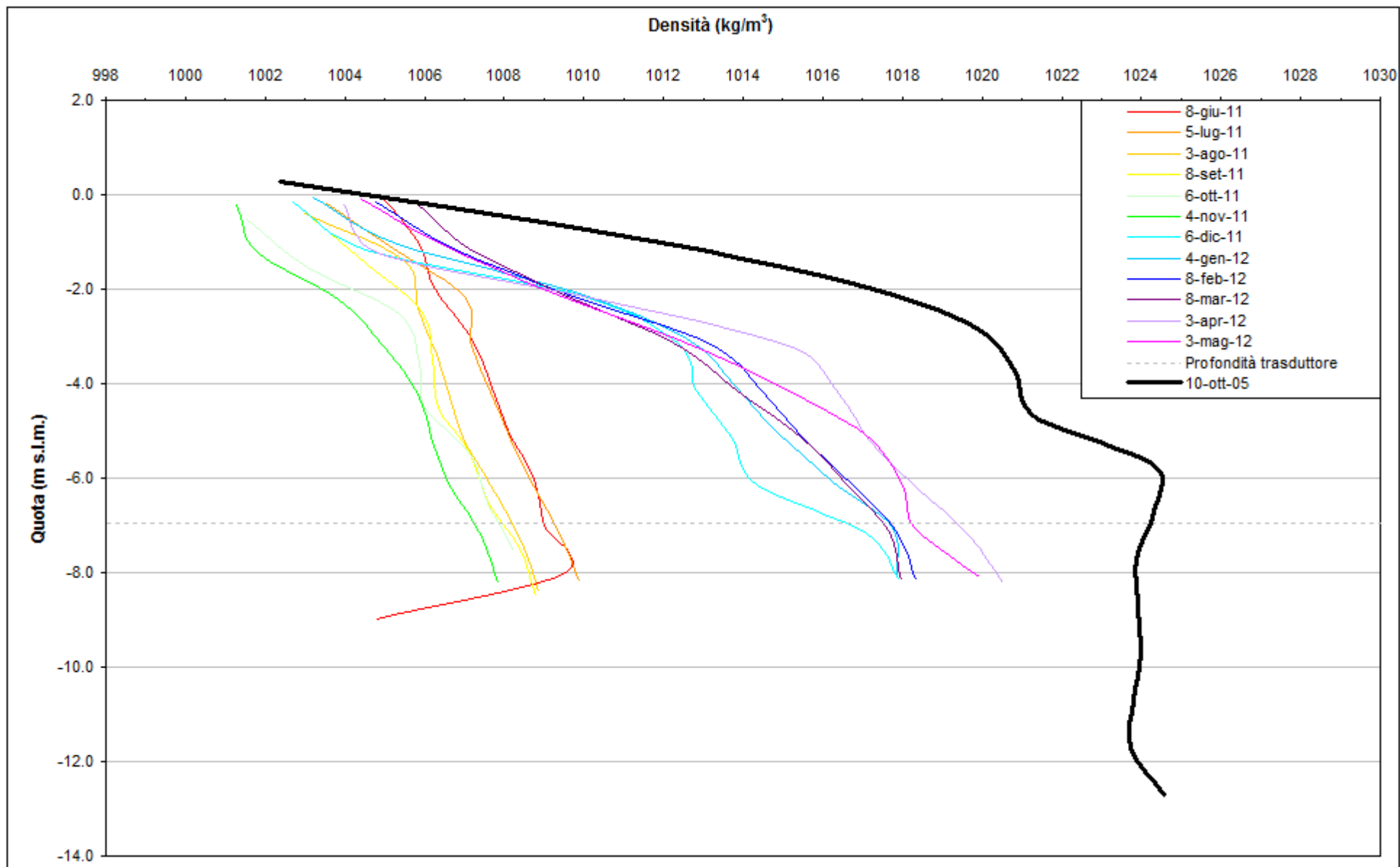


Fig. 2.88 - Profili verticali di densità PS08.

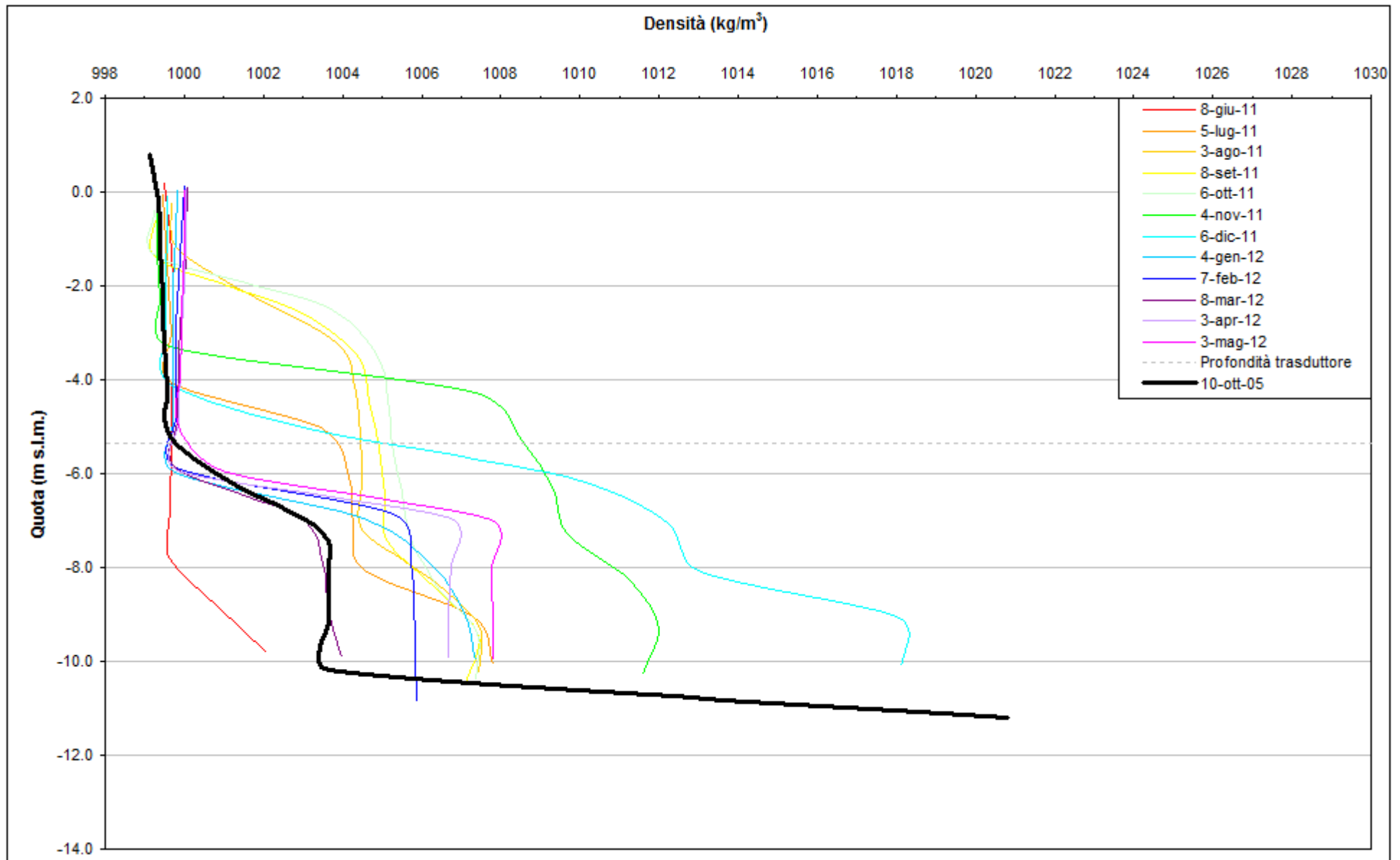


Fig. 2.89 - Profili verticali di densità PS09.

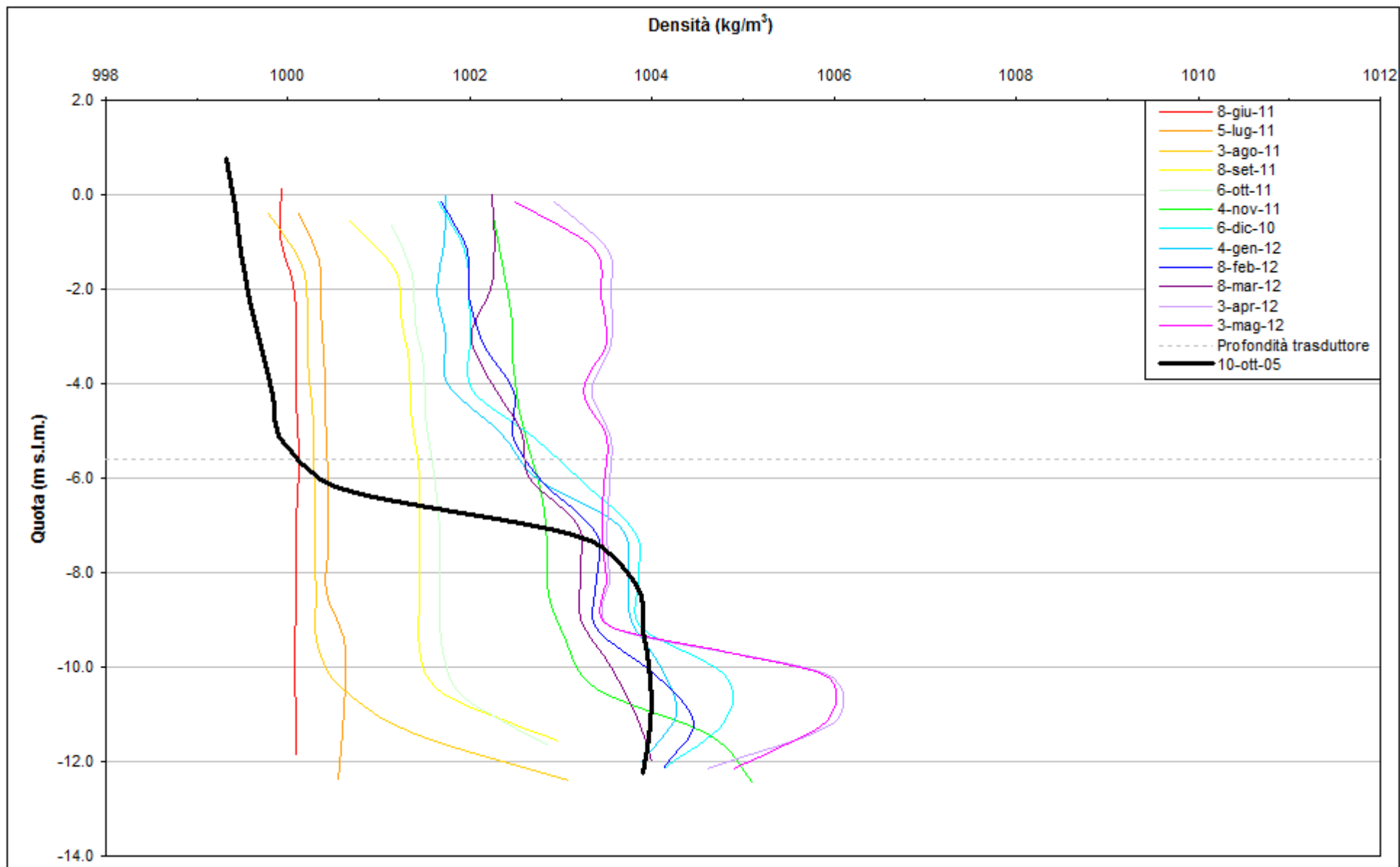


Fig. 2.90 - Profili verticali di densità PS10.



Fig. 2.91 - Profili verticali di densità PS11.

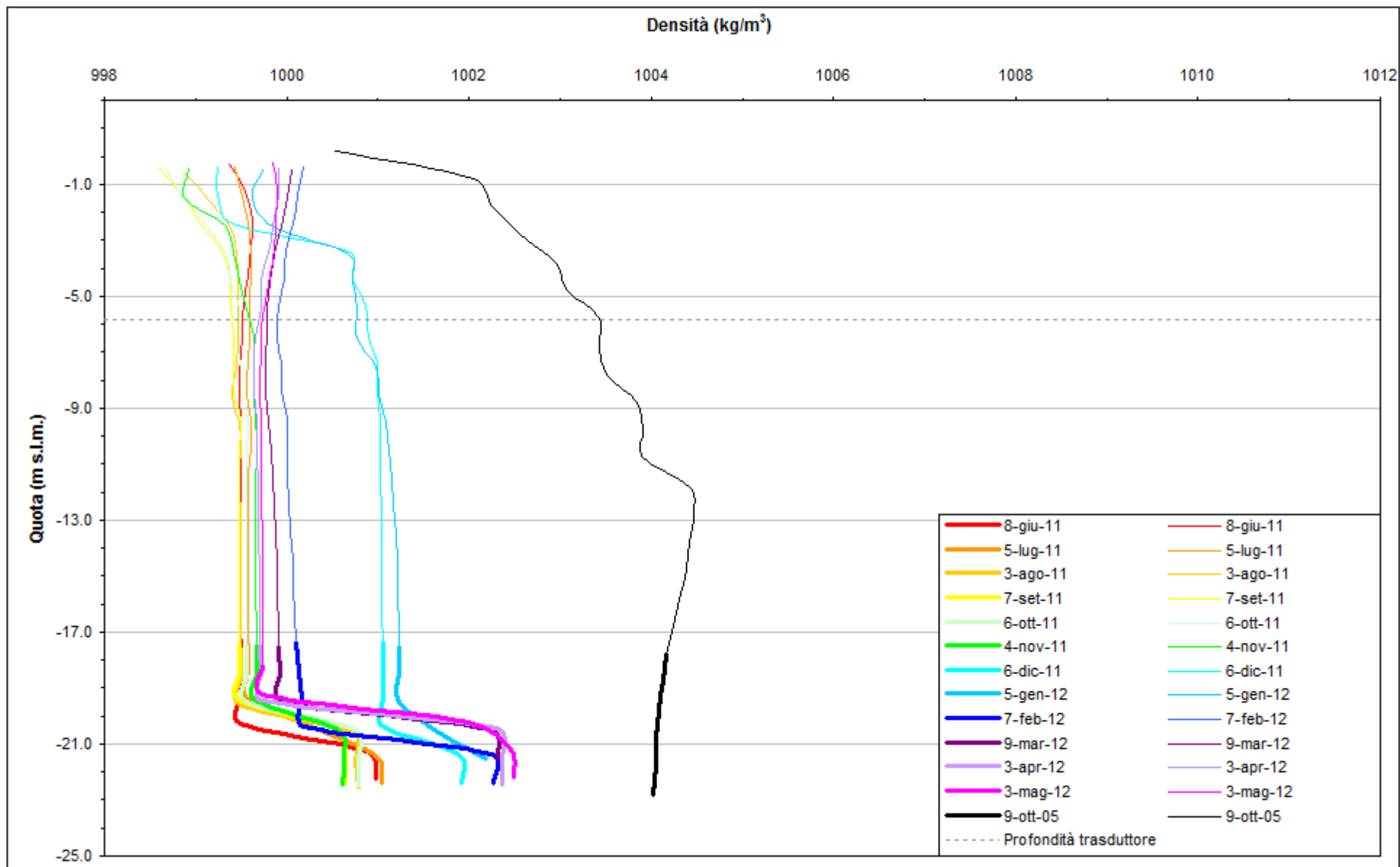


Fig. 2.92 - Profili verticali di densità PP01.

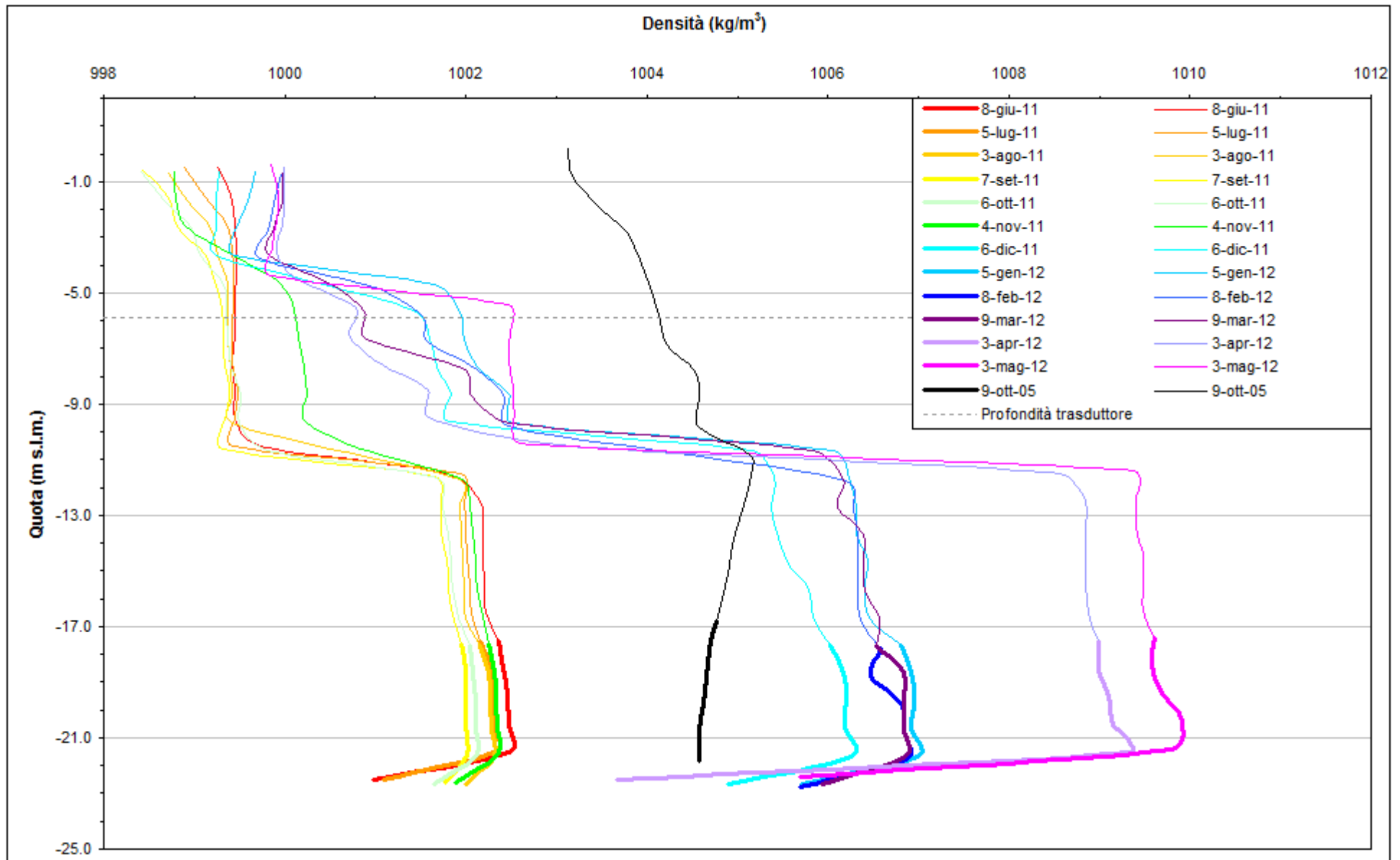


Fig. 2.93 - Profili verticali di densità PP02.

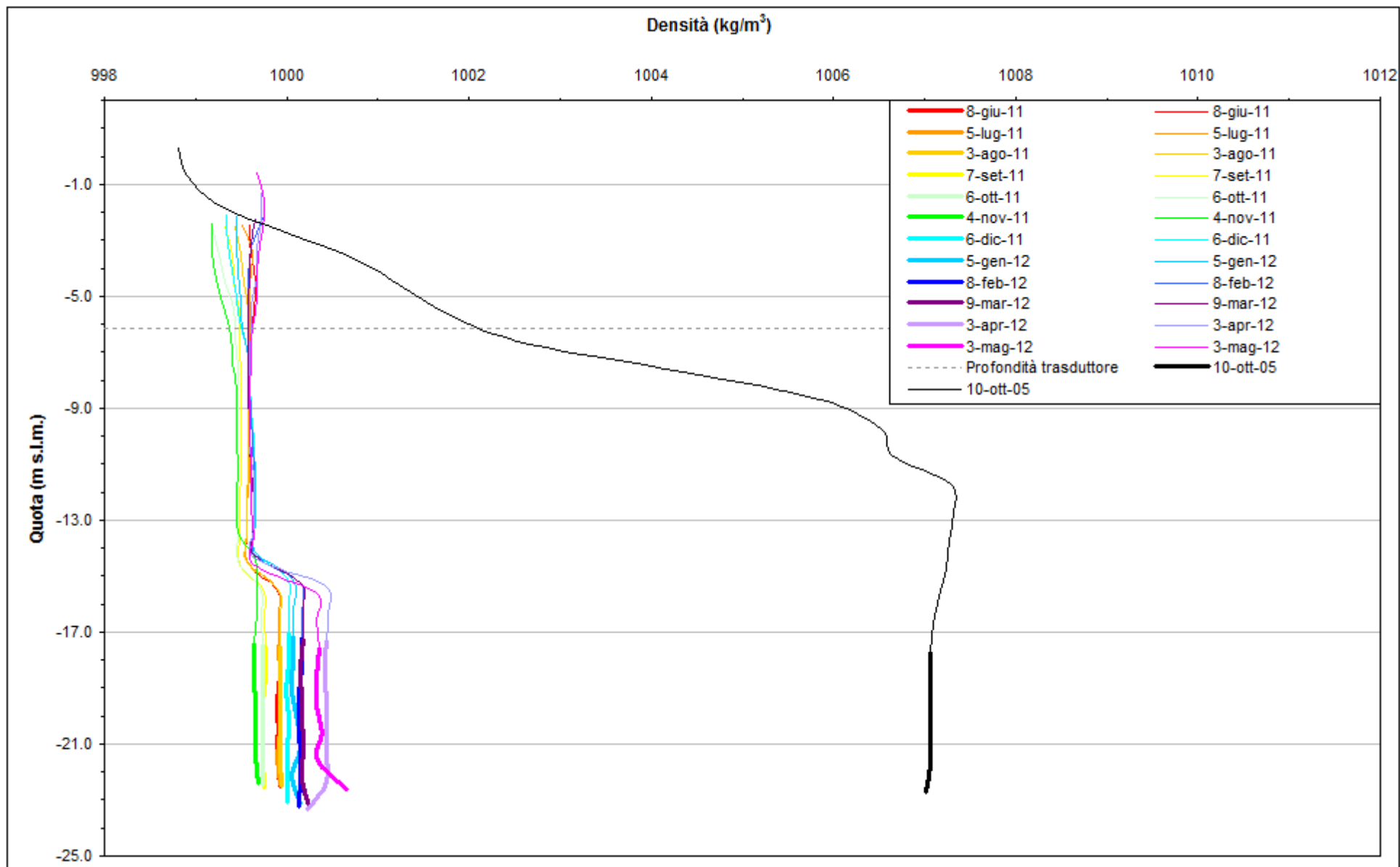


Fig. 2.94 - Profili verticali di densità PP03.

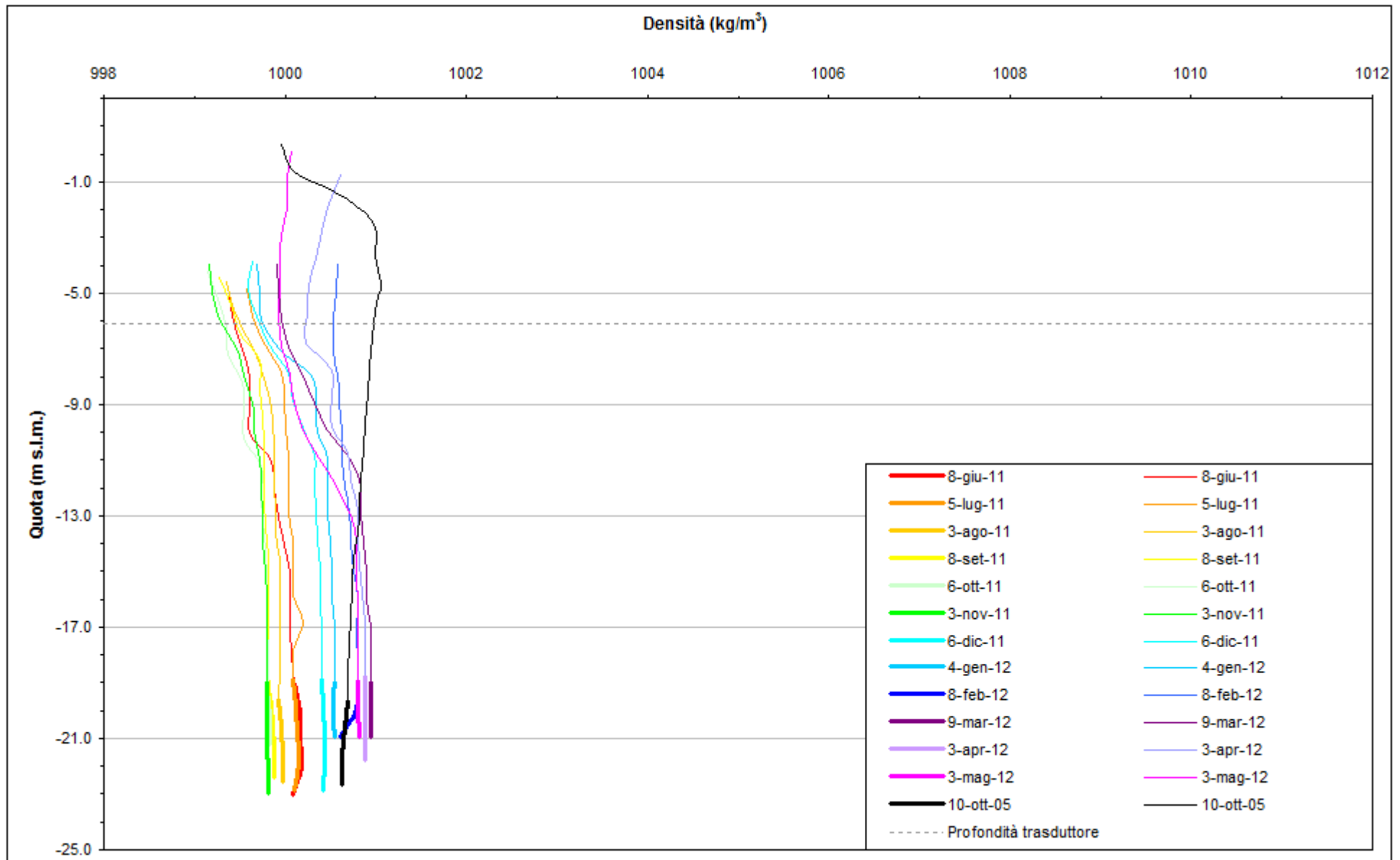


Fig. 2.95 - Profili verticali di densità PP04.

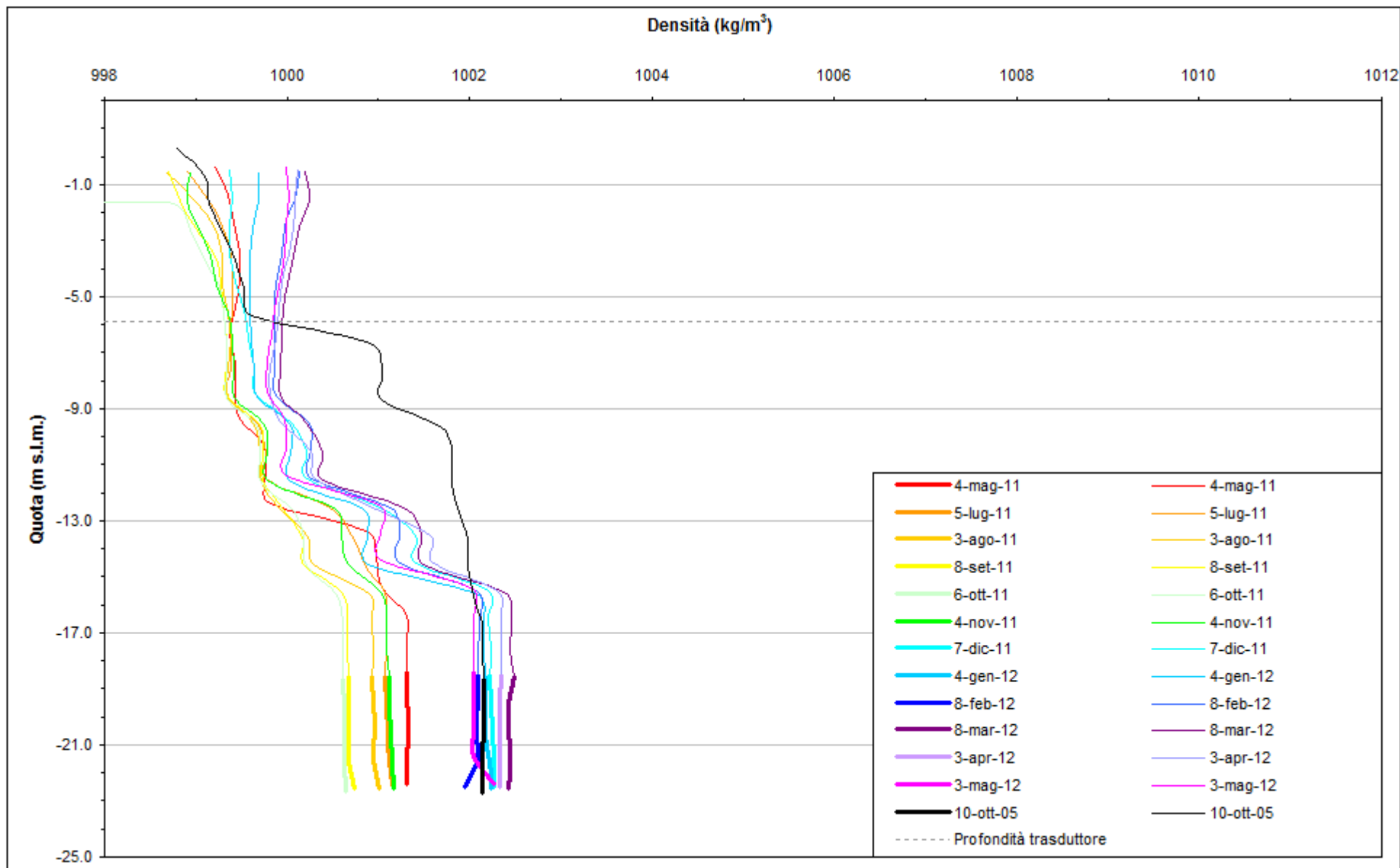


Fig. 2.96 - Profili verticali di densità PP05.

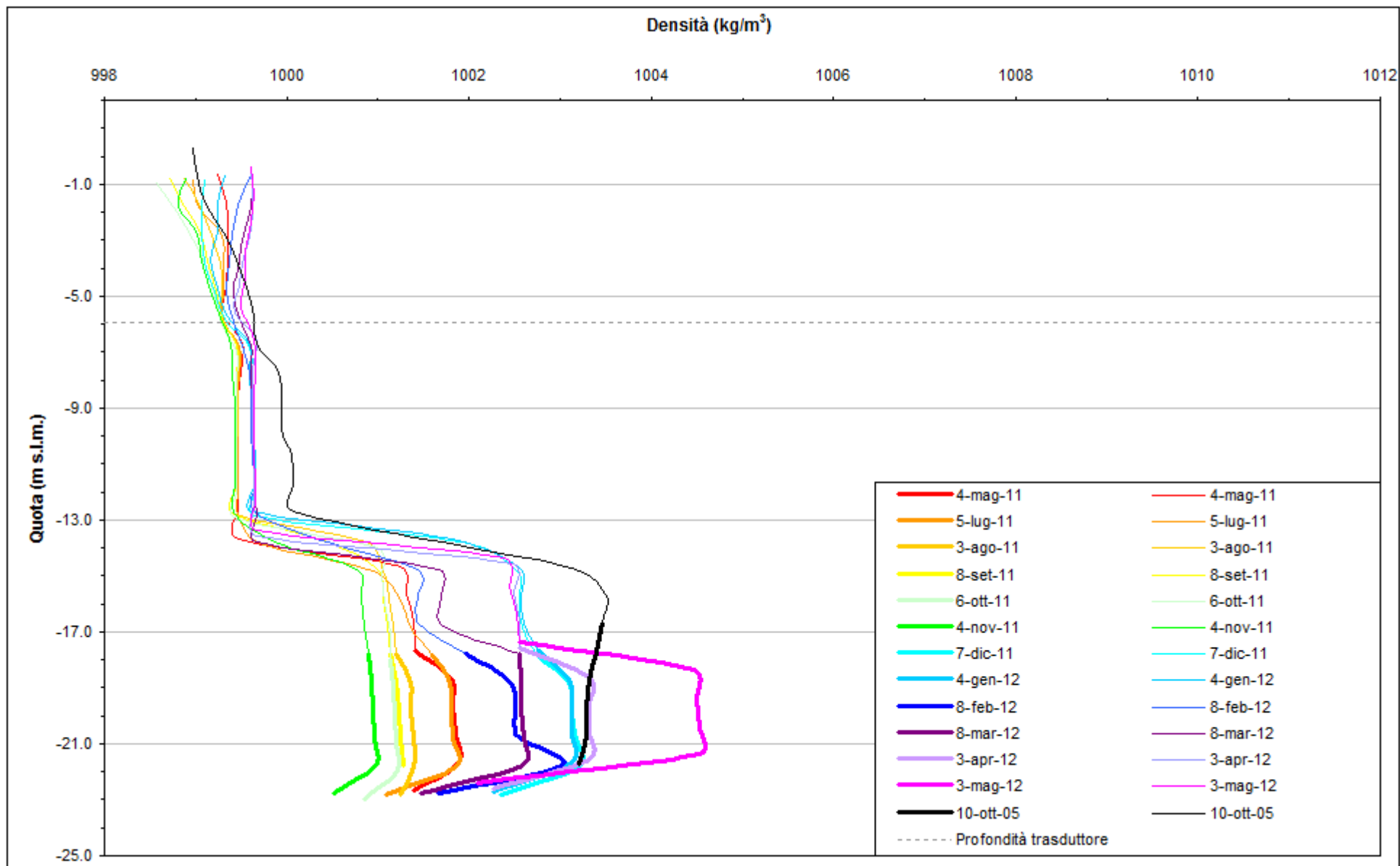


Fig. 2.97 - Profili verticali di densità PP06.

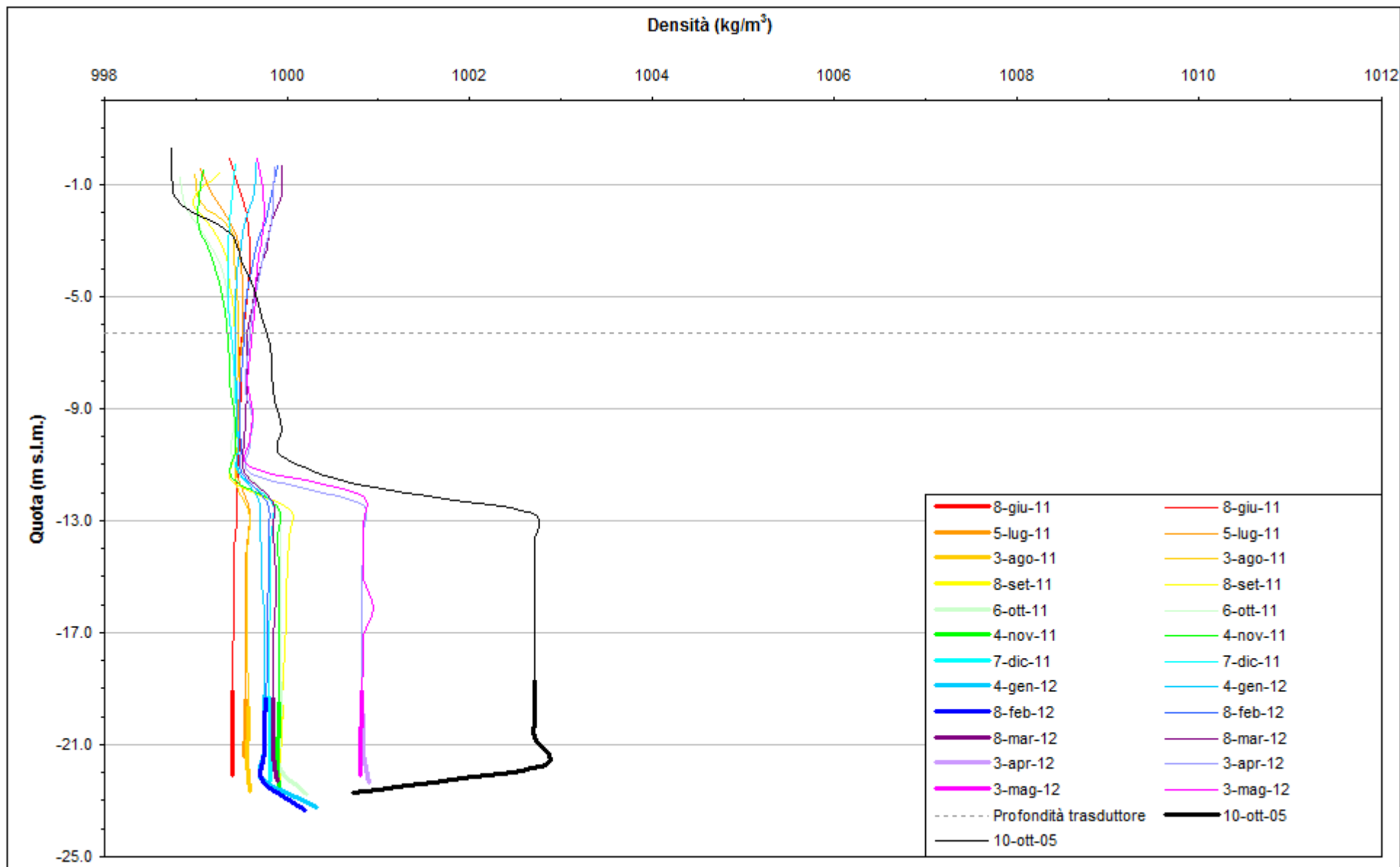


Fig. 2.98 - Profili verticali di densità PP07.

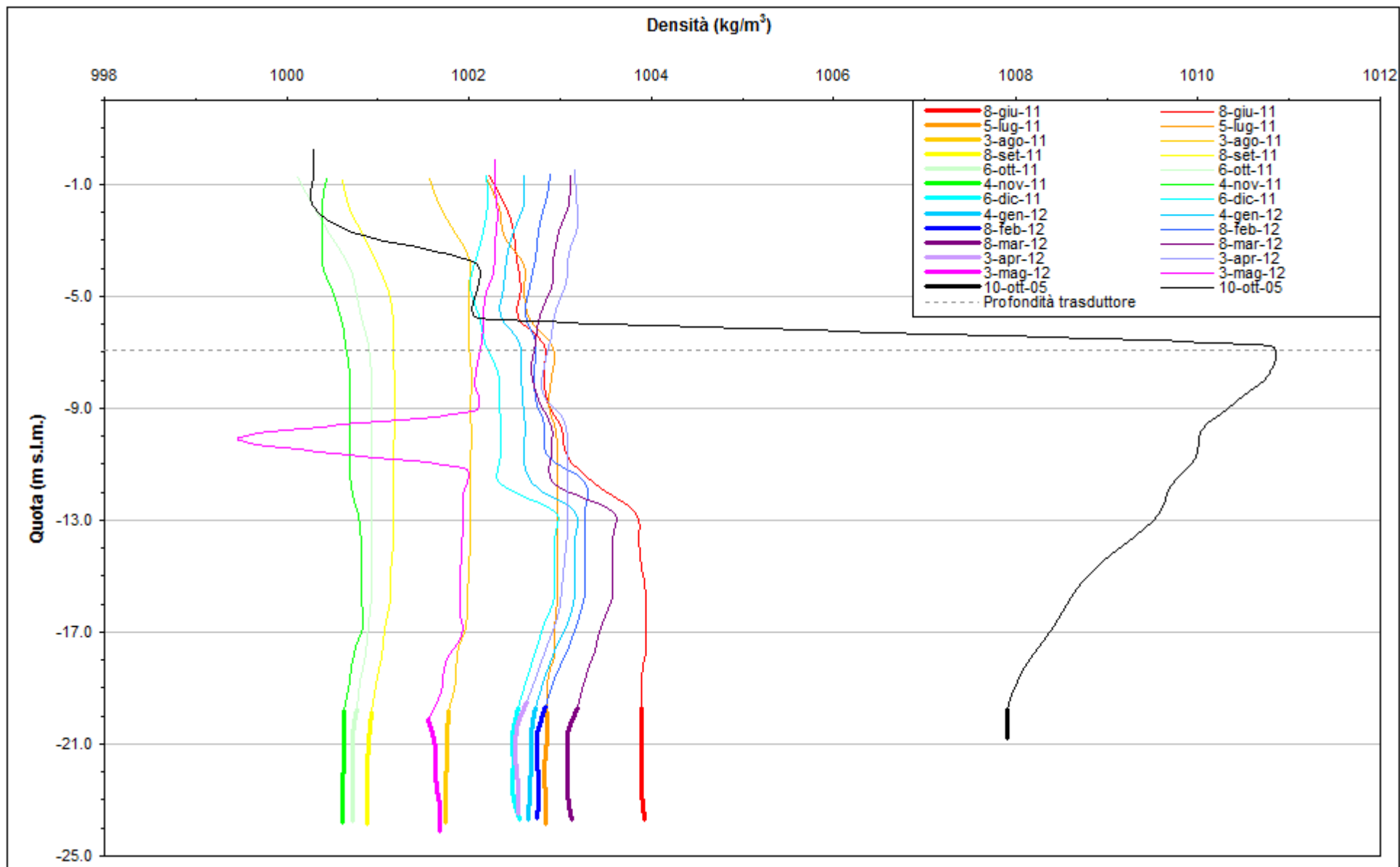


Fig. 2.99 - Profili verticali di densità PP08.

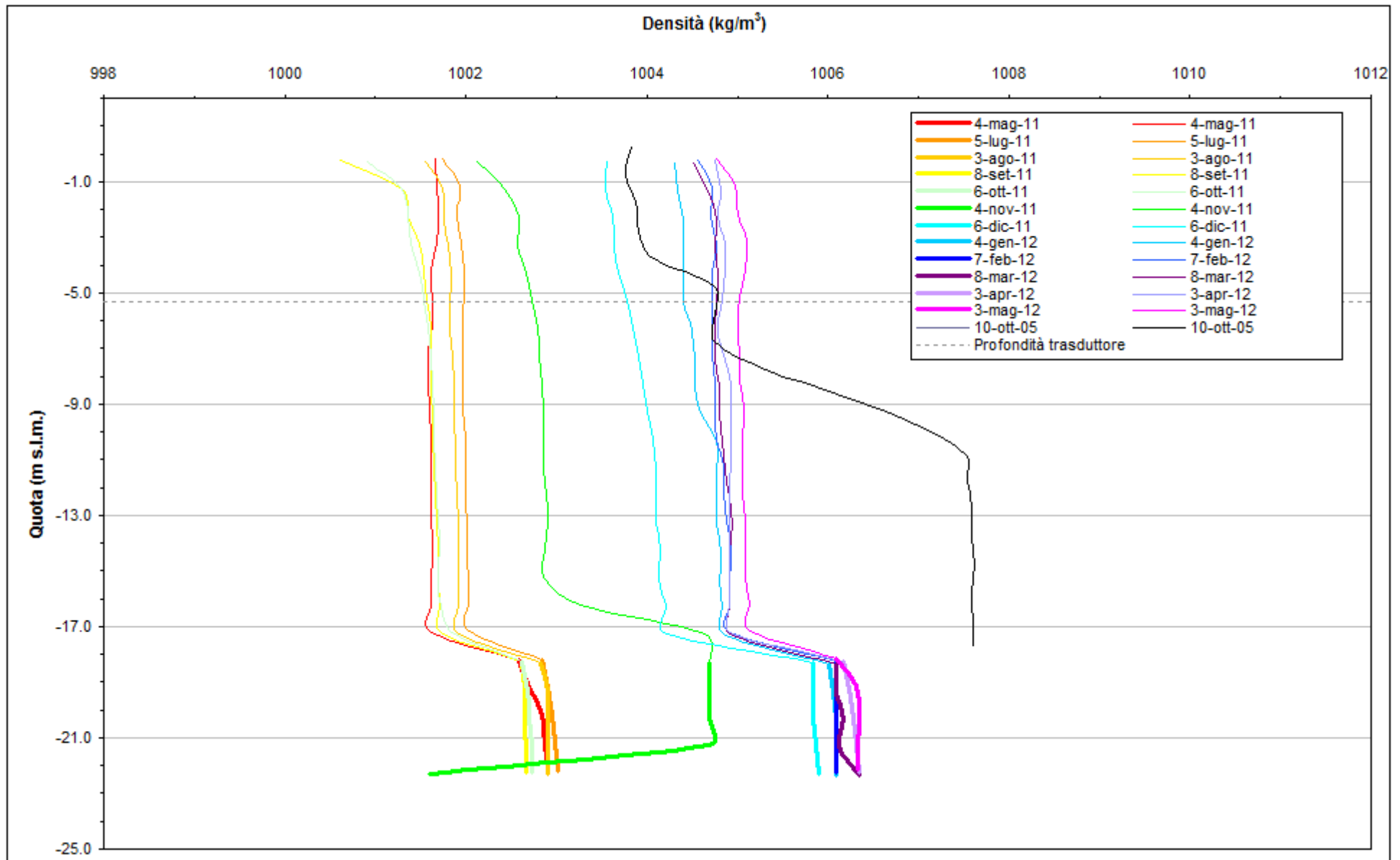


Fig. 2.100 - Profili verticali di densità PP09.

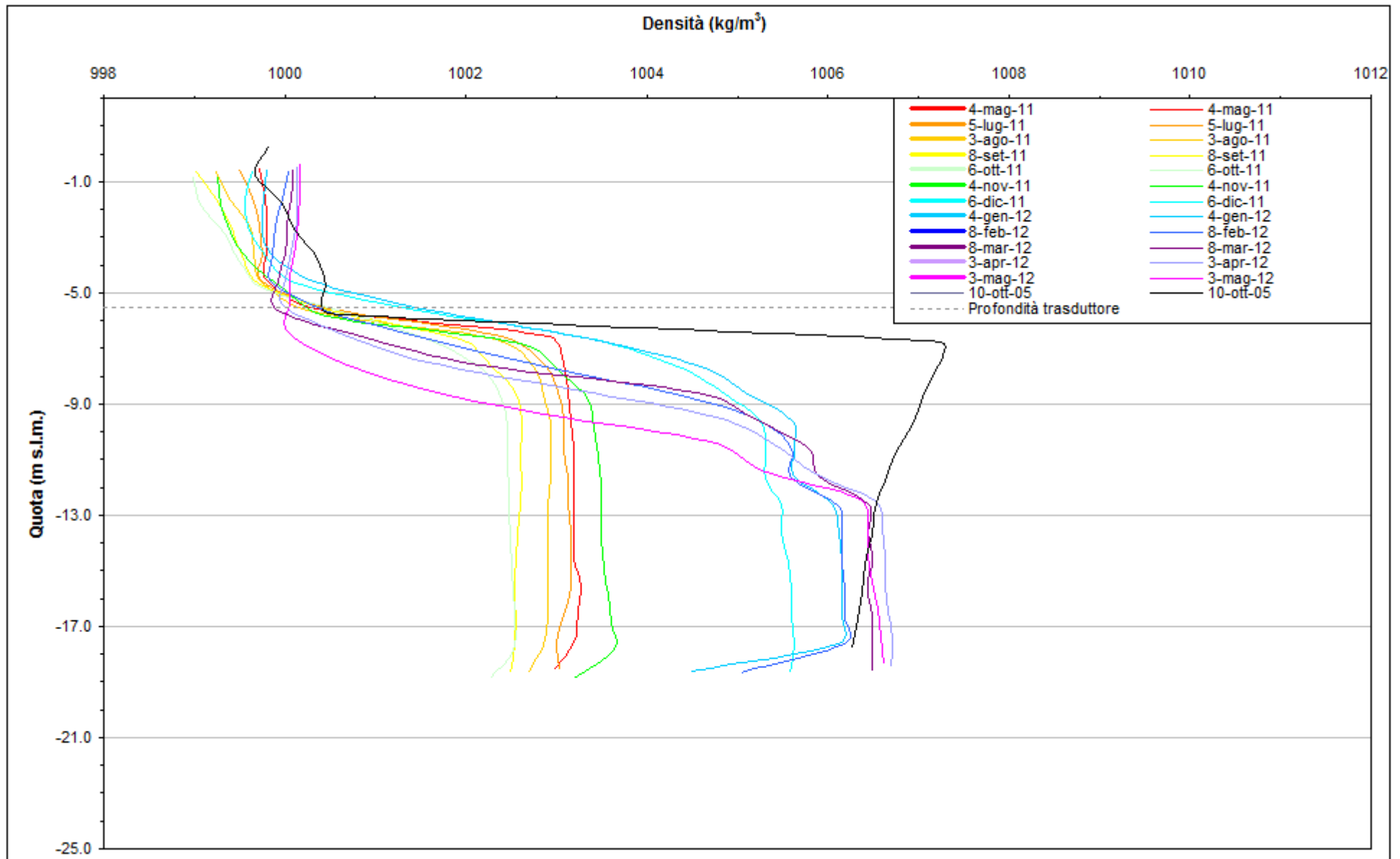


Fig. 2.101 - Profili verticali di densità PP10.

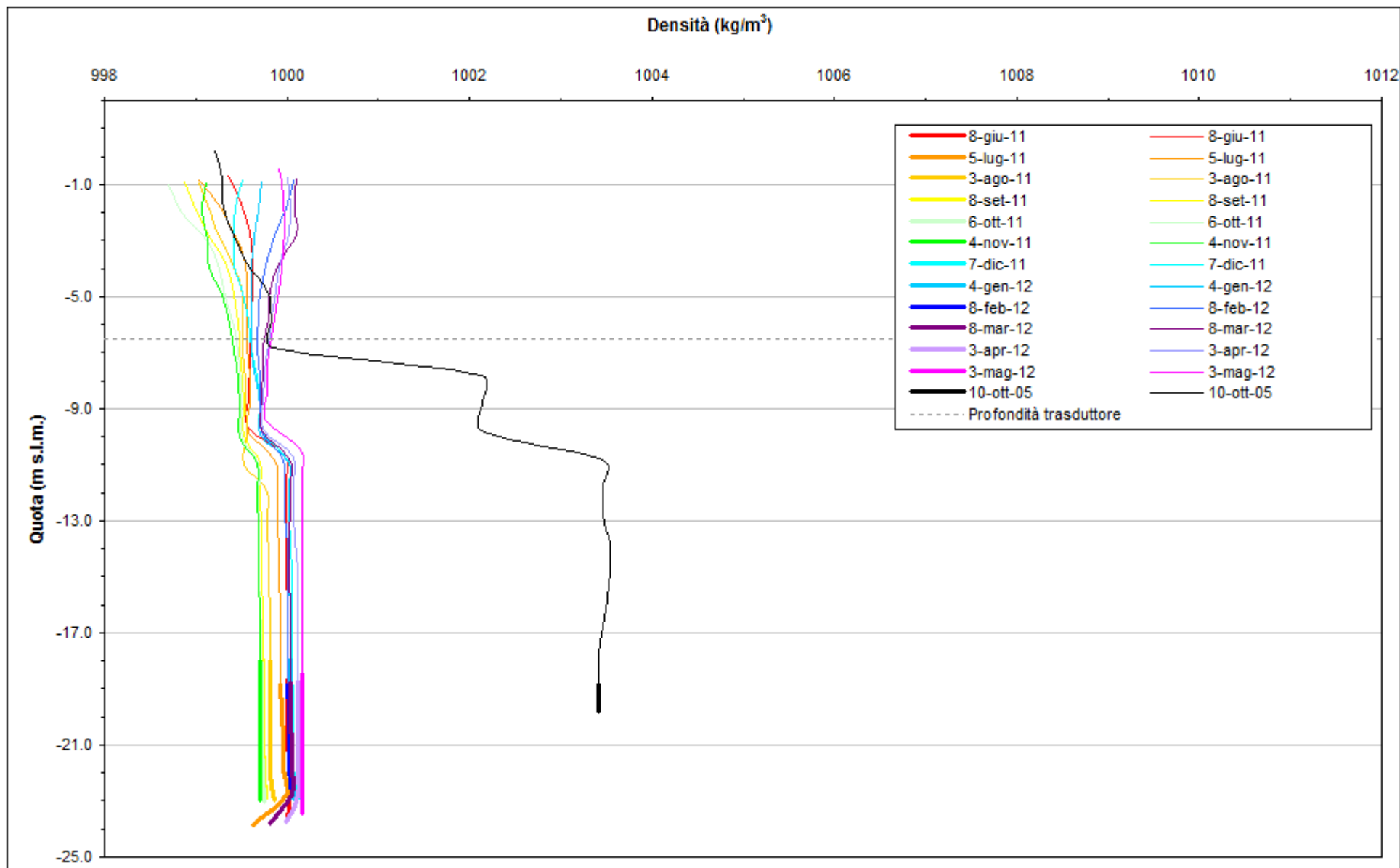


Fig. 2.102 - Profili verticali di densità PP11.

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), l'effetto delle oscillazioni mareali scompare e si osservano repentini innalzamenti di livello legati a singoli eventi meteorici, e una lenta discesa di livello dovuta all'evapotraspirazione.

A causa della prolungata siccità, durante il periodo estivo (luglio - settembre 2011) i livelli di falda superficiale nei piezometri interni (PS03÷11) si sono mantenuti al di sotto del livello medio del mare. Il flusso di falda è pertanto diretto, in questo periodo, dal mare alla terraferma (Cap.2.5).

Tra l'inizio e la fine dell'anno di monitoraggio (01/05/11 - 30/04/12), si osservano le seguenti variazioni:

- un lieve incremento di livello nella porzione di acquifero superficiale a ridosso del diaframma della tura (5 cm circa in PS03 e 15 cm in PS04);
- una riduzione del carico idraulico nei piezometri PS05÷PS11 (in particolare, circa 20 cm in PS05 e PS09 e 10 cm in PS06 e PS11), attribuibile alle scarse precipitazioni piovose nel periodo monitorato (448.4 mm nel periodo 01/05/11 - 30/04/12, a fronte di un totale di 1028.2 mm nel periodo 01/05/10 - 30/04/11).

Per quanto concerne il secondo livello acquifero, nel periodo compreso tra maggio 2011 e febbraio 2012 si osservano ancora gli effetti del pompaggio di dewatering. Dopo una iniziale discesa del carico idraulico nei piezometri PP04 e PP12, segue una risalita di circa 100 cm tra giugno e ottobre 2011, dovuta ad un affinamento del sistema di dewatering, la cui portata è stata ridotta progressivamente da 550 a 450 mc/d circa con lo spegnimento dei pozzi S5 ed S1, ed alla manutenzione straordinaria dei pozzi collocati nella porzione inferiore della tura (fonte: comunicazione CVN del 28/06/2012).

Nel mese di marzo 2012, essendo terminata la fase di prefabbricazione dei cassoni delle barriere mobili, il pompaggio di dewatering è stato interrotto. Di conseguenza, a partire dalla fine del pompaggio, si è osservato l'innalzamento dei carichi idraulici nell'acquifero profondo, con le seguenti variazioni:

- o circa 450 cm in PP04 e 330 cm in PP12, le due postazioni più vicine alla tura;
- o circa 170 cm in PP03, 120 cm in PP13 e 80 cm in PP14, poste a una distanza di circa 200m da PP04;
- o 30÷50 cm circa in PP01, PP02, PP05, PP06, PP08, PP11, poste tra 400 e 900 m di distanza da PP04;

Nella postazione PP09 si osserva invece un aumento del carico idraulico di circa 220 cm, dovuto a un'anomalia strumentale. Il trasduttore sarà sostituito nel sopralluogo di giugno 2012.

Dall'analisi delle distribuzioni spaziali dei carichi idraulici nella falda profonda, si osserva che nel mese di aprile 2012 i livelli si sono riportati a valori leggermente inferiori (circa 30÷100 cm) rispetto a quelli della configurazione *ante operam*.

Dalla verifica delle soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio nei piezometri profondi, si osserva che, in seguito all'interruzione del pompaggio di dewatering, anche nei piezometri più vicini alla tura (PP03, PP04, PP12, PP14, PP14) vengono rispettate tali soglie.

Dall'analisi dei profili di densità dell'acqua di falda, si registra una tendenza generale di aumento

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

dei valori misurati, che è attribuibile, per quanto riguarda i piezometri superficiali, alla prolungata siccità verificatasi nell'anno monitorato (01/05/11 - 30/04/12).

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

Per quanto riguarda i piezometri profondi PP03, PP04, PP12, PP13 e PP14, nel periodo compreso tra maggio 2011 e febbraio 2012 si osserva un abbassamento dei carichi idraulici rispetto alla fase *ante operam* (compreso tra 450 e 550 cm nel piezometro PP04) dovuto al pompaggio di dewatering della tura. Nel mese di marzo, in seguito all'interruzione del pompaggio, i livelli in corrispondenza di tali piezometri sono risaliti, fino a raggiungere, al termine del periodo di monitoraggio, valori leggermente inferiori a quelli della situazione *ante operam* (circa 50 cm in PP04 e 100 cm in PP03).

**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 2011 e il 30 aprile 2012.

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.

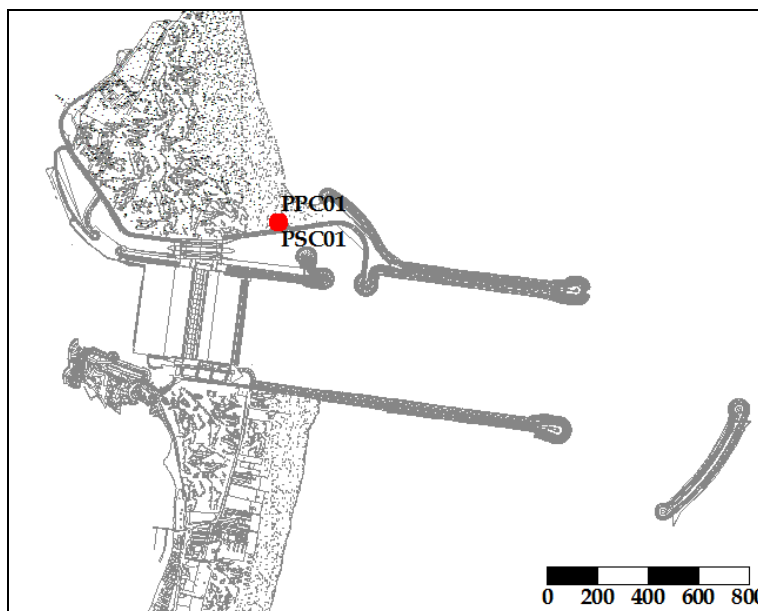


Fig. 3.1- Ubicazione dei piezometri

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 dalle stazioni meteorologiche:
 - “Cepe”, situata alla bocca Nord di Malamocco, circa 11 km a nord del cantiere (maggio, giugno 2011);
 - “San Leonardo”, circa 20 km a nord del cantiere (agosto 2011);
 - “Chioggia, loc. S. Anna”, gestita da ARPA Veneto e posta circa 12 km a sud del cantiere (luglio 2011, settembre 2011 - aprile 2012);
- 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 “Cepe” (maggio, giugno 2011), “San Leonardo” (agosto 2011), “ARPAV Chioggia loc. S. Anna” (luglio 2011, settembre 2011 - aprile 2012), rappresentate in Fig. 3.2. Nelle Figg.3.3-3.4 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.



Fig. 3.2- Ubicazione delle stazioni pluviometriche.

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

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

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
04/05/11	6	8.6
15/05/11	12	18.7
06/06/11	5	17.8
07/06/11	15	5.5
08-10/06/11	36	8.7
05/07/11	24	5.6
19-20/07/11	48	17
24/07/11	24	7.8
30-31/07/11	48	10.2
07/08/11	1	10.9
04-06/09/11	72	18.6
18-20/09/11	72	34.8
07/10/11	24	7.4
20/10/11	24	32.0
25-26/10/11	48	20.8
05-07/11/11	72	36.6
29/12/11	24	7.4
01-03/01/12	72	5.4
19-20/02/12	48	22.2
07-08/04/12	48	14.4
10-11/04/12	48	10.6
19-20/04/12	48	10.0
23-24/04/12	48	6.8

3.2.1.2 Livello del mare

Nelle Fig.3.5-3.6 è tracciato l'andamento del livello del mare durante l'anno di monitoraggio, registrato dal mareografo "Diga Sud Chioggia". I dati riportati sono riferiti alla Rete Altimetrica dello Stato "Genova 1942" e sono caratterizzati da una frequenza di acquisizione oraria nell'intero periodo monitorato.

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.3.7-3.8 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.

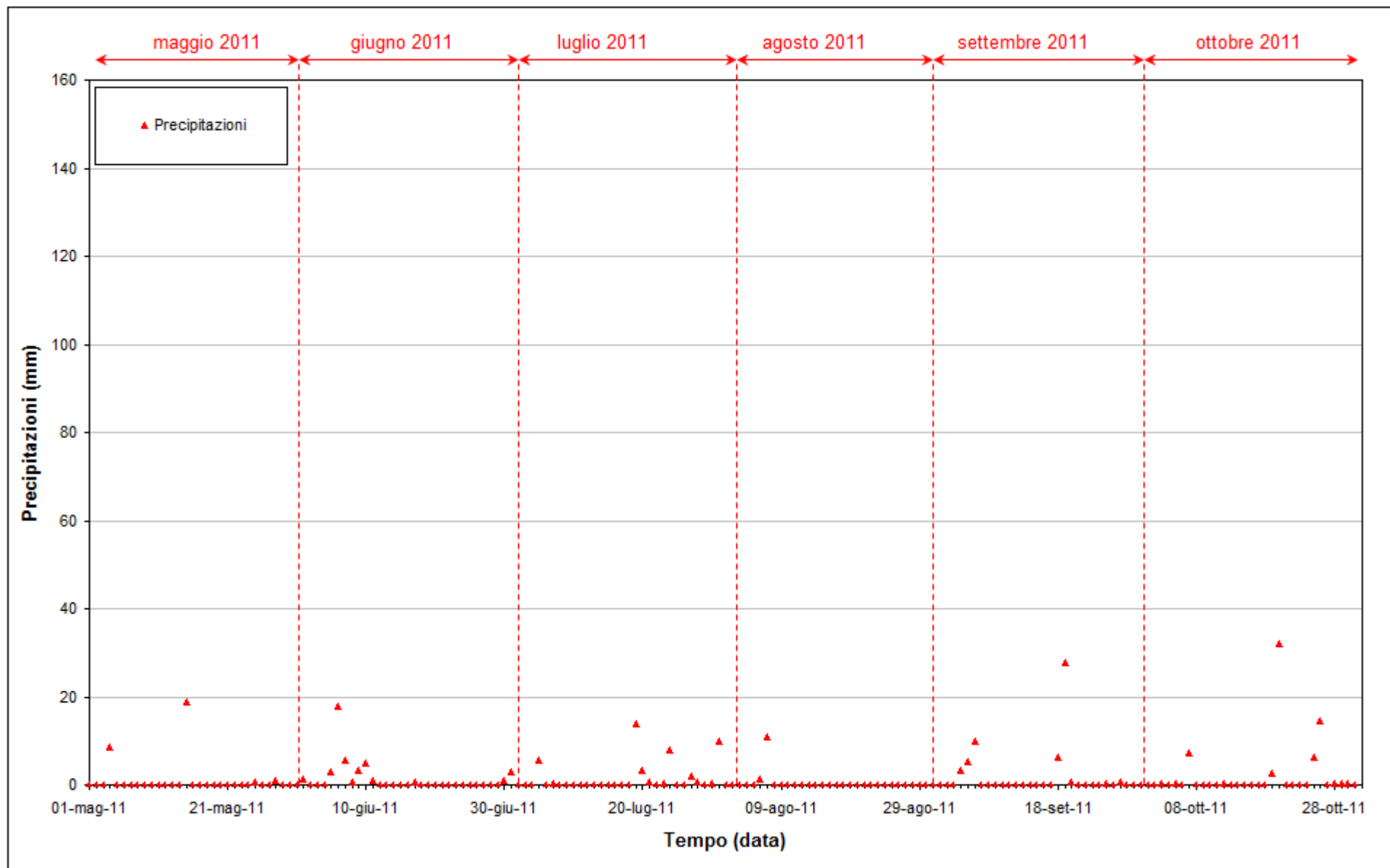


Fig. 3.3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

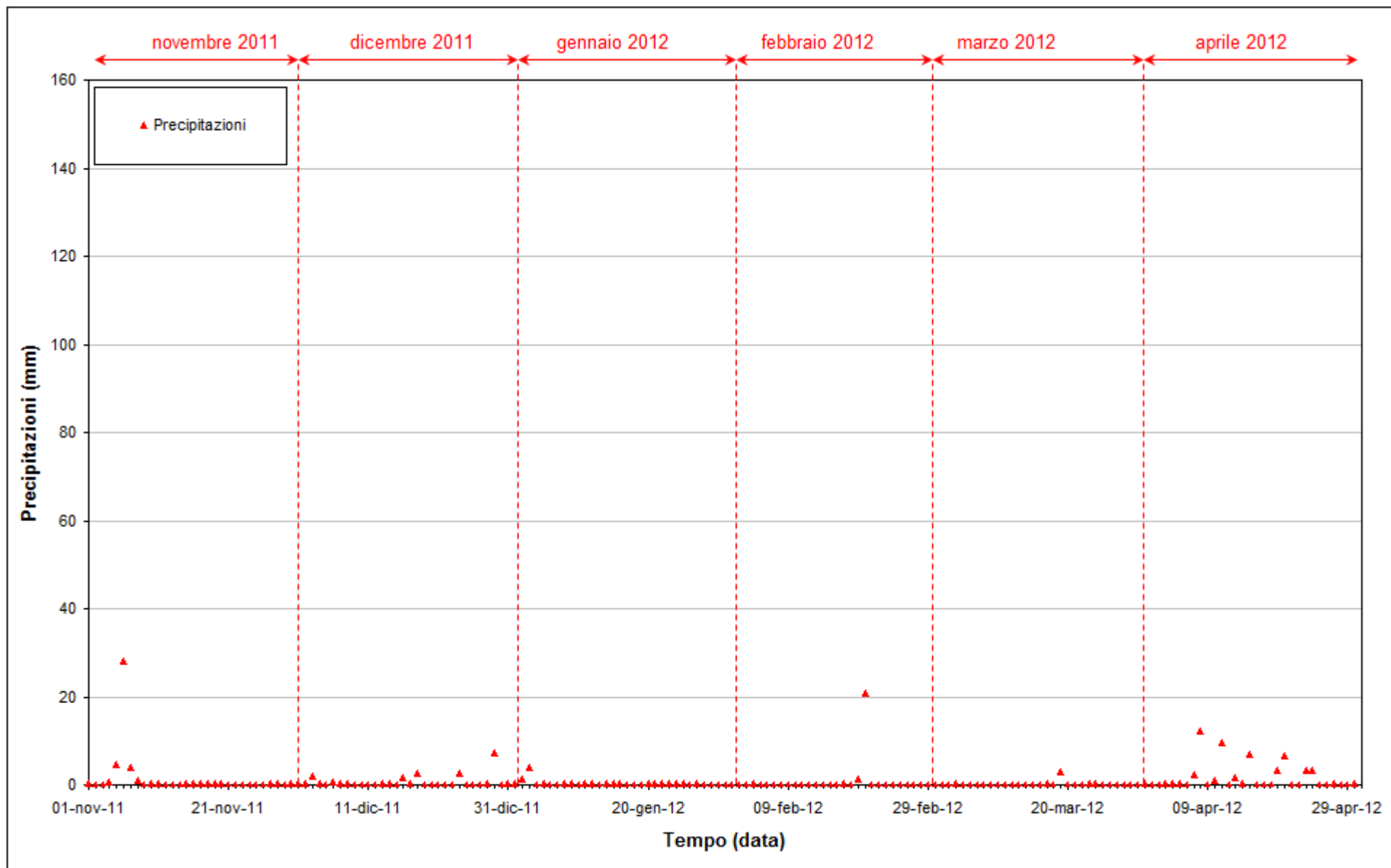


Fig. 3.4 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

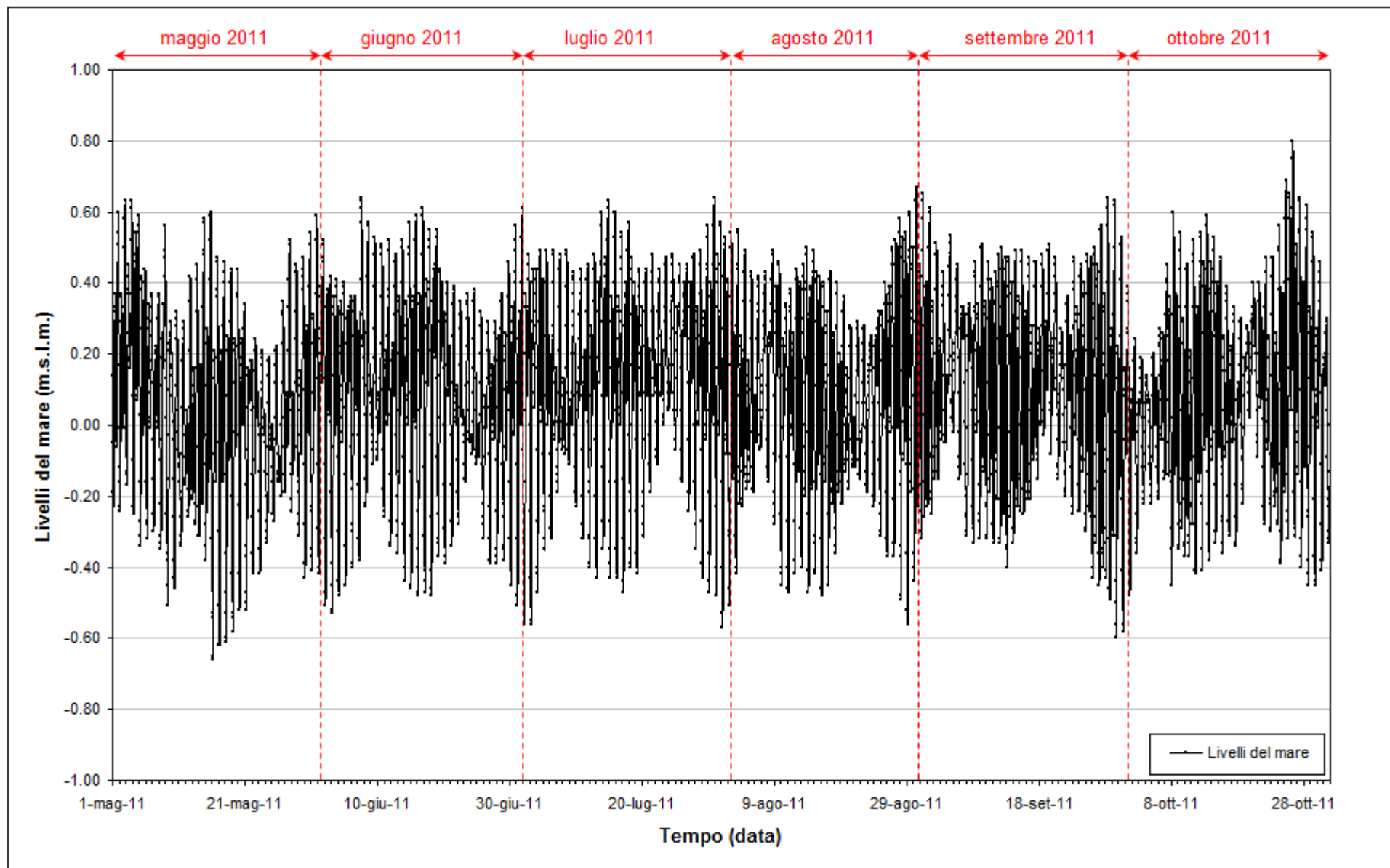


Fig. 3.5 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

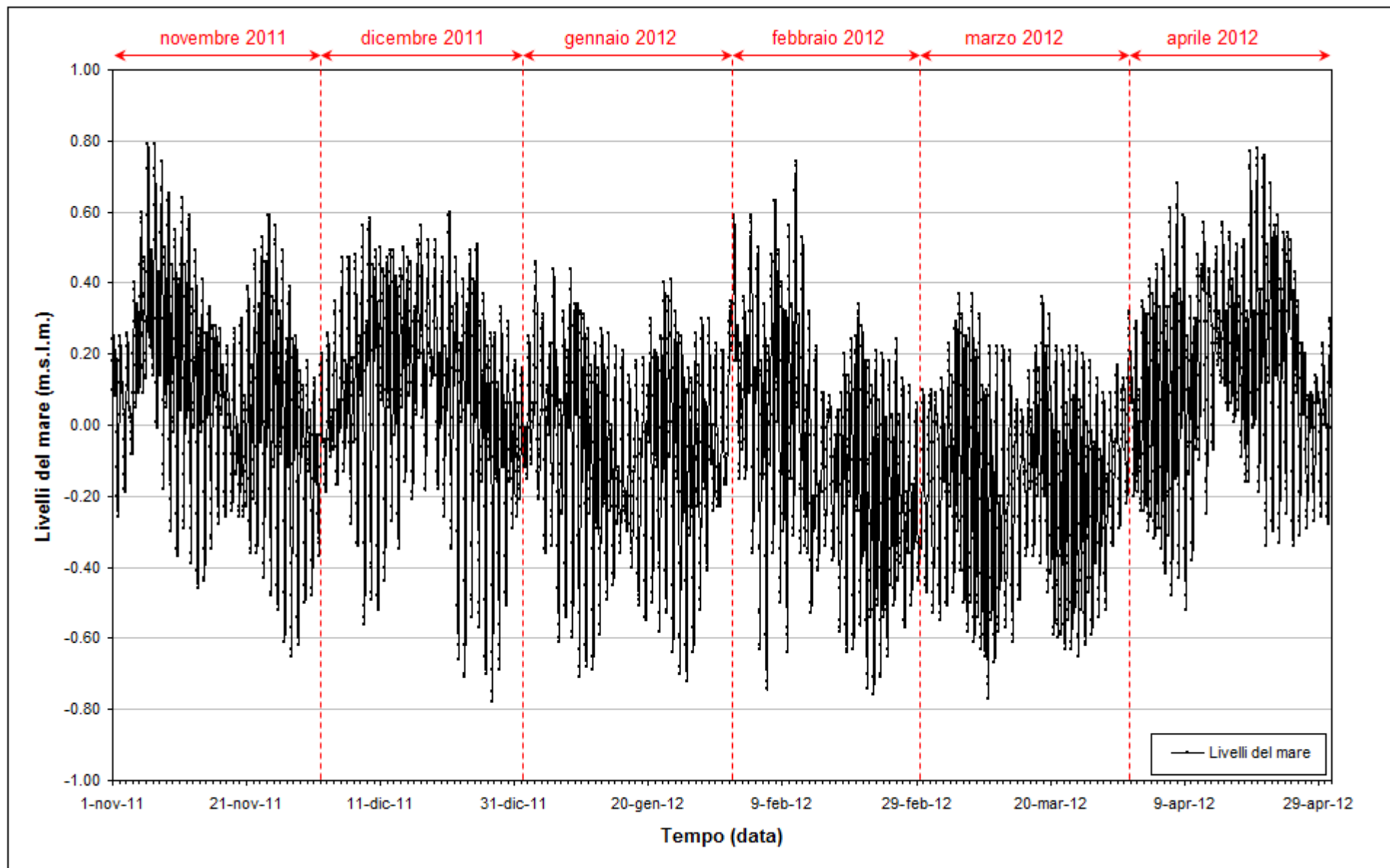


Fig. 3.6 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

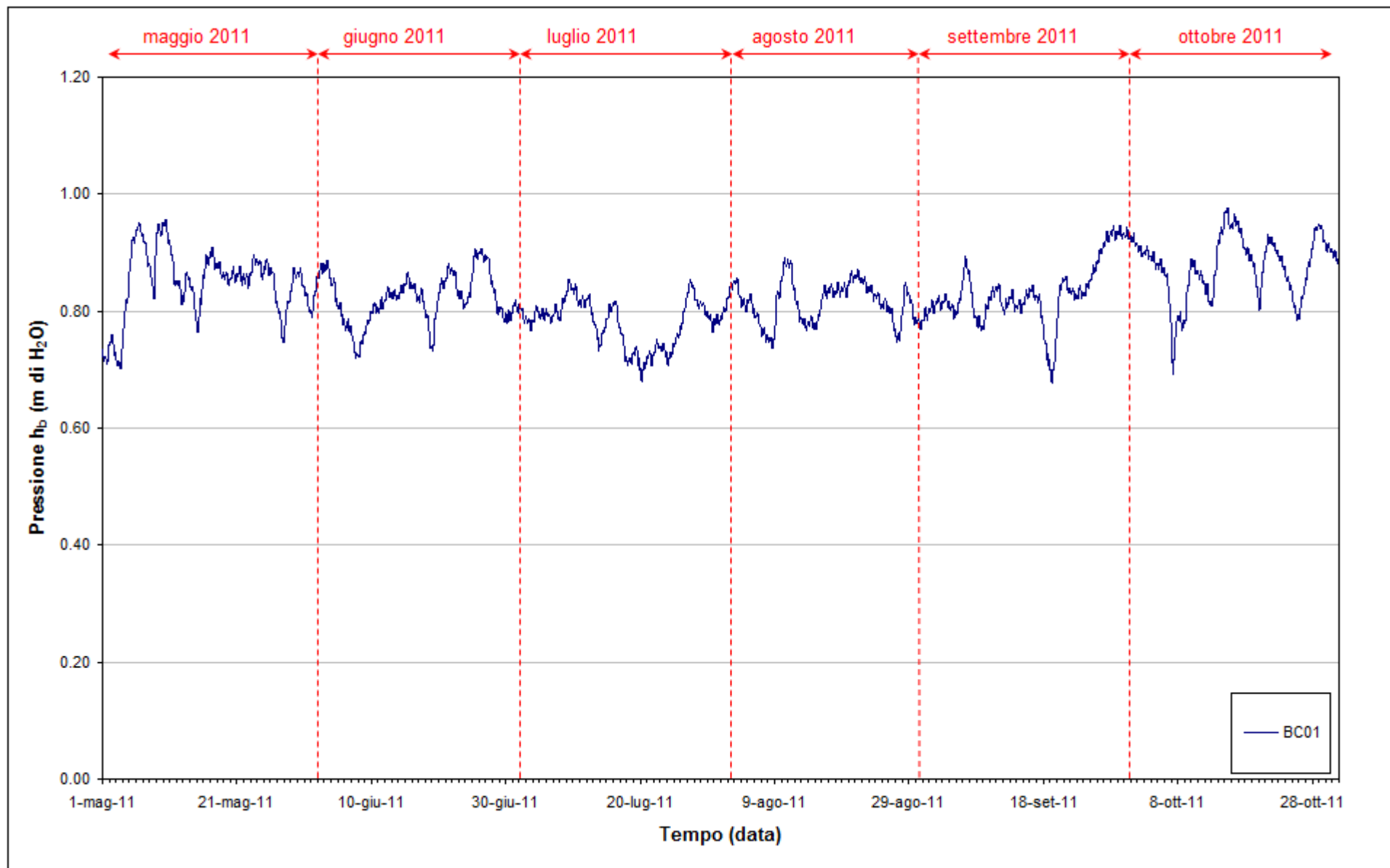


Fig. 3.7 - Tracciato di misura del Barologger BC01 (h_b) nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

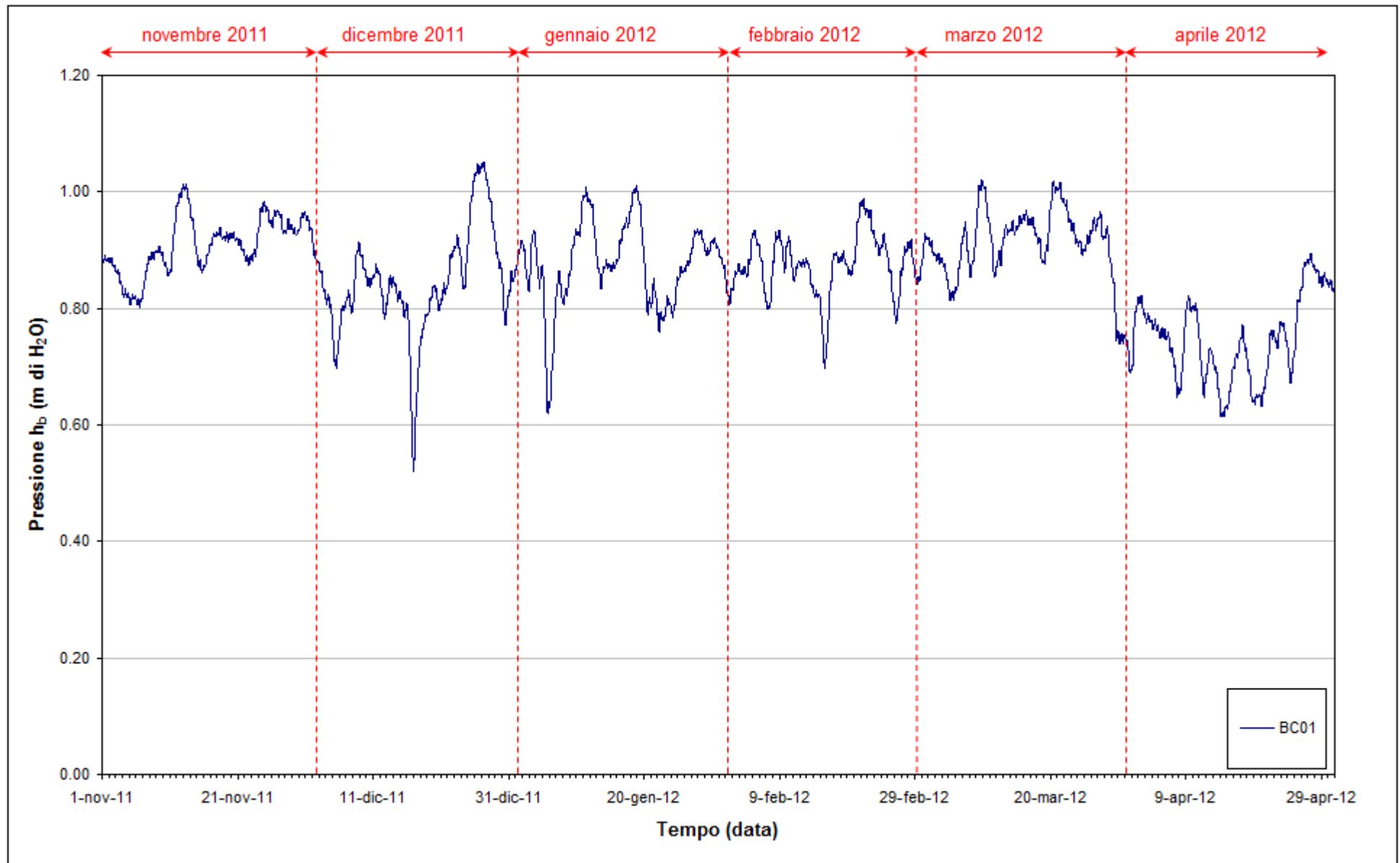


Fig. 3.8 - Tracciato di misura del Barologger BC01 (h_b) nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

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

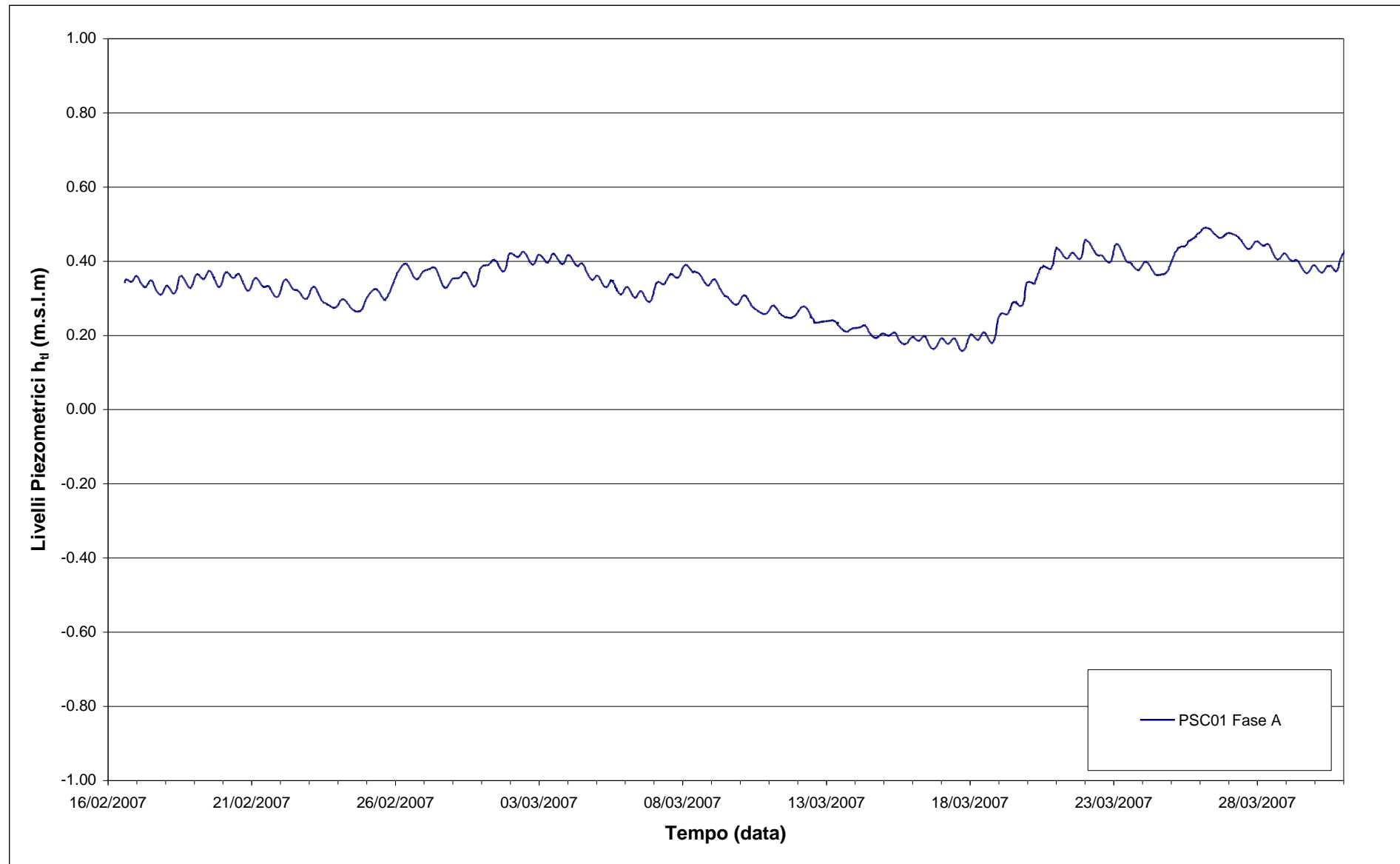
In questo capitolo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti relativi al piezometro superficiale PSC01, finestrato in corrispondenza del primo livello acquifero (Strato A).

In Fig. 3.9 è riportato l'andamento dei livelli piezometrici nel piezometro superficiale PSC01 durante la fase A (febbraio - marzo 2007).

Nelle Fig.3.10-3.11 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 (01/05/11 - 30/04/12) si osserva una lieve diminuzione (circa 10 cm) del livello di falda nel piezometro superficiale PSC01.

Fig. 3.9 - Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro superficiale durante la Fase A.

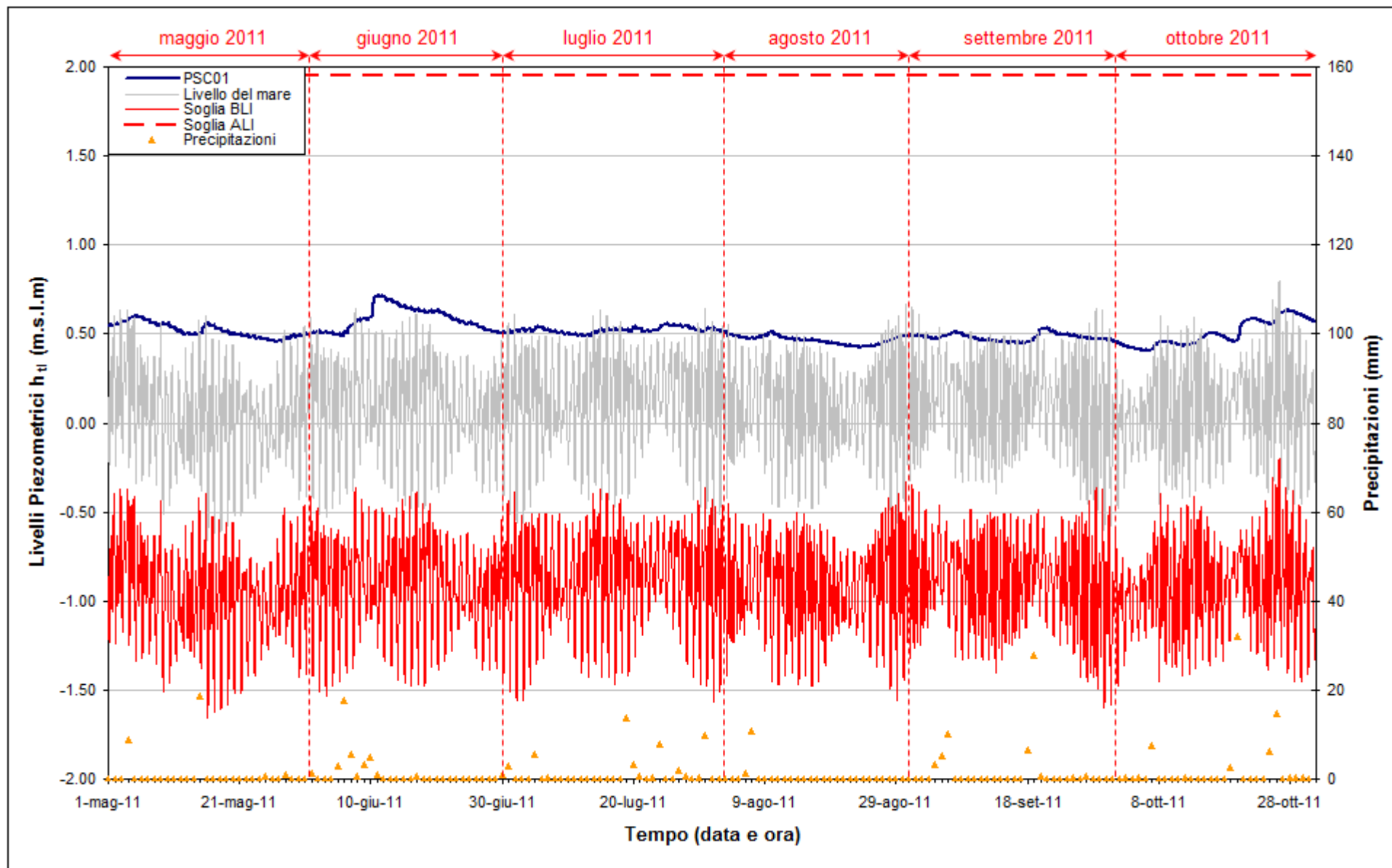


Fig. 3.10 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro superficiale PSC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

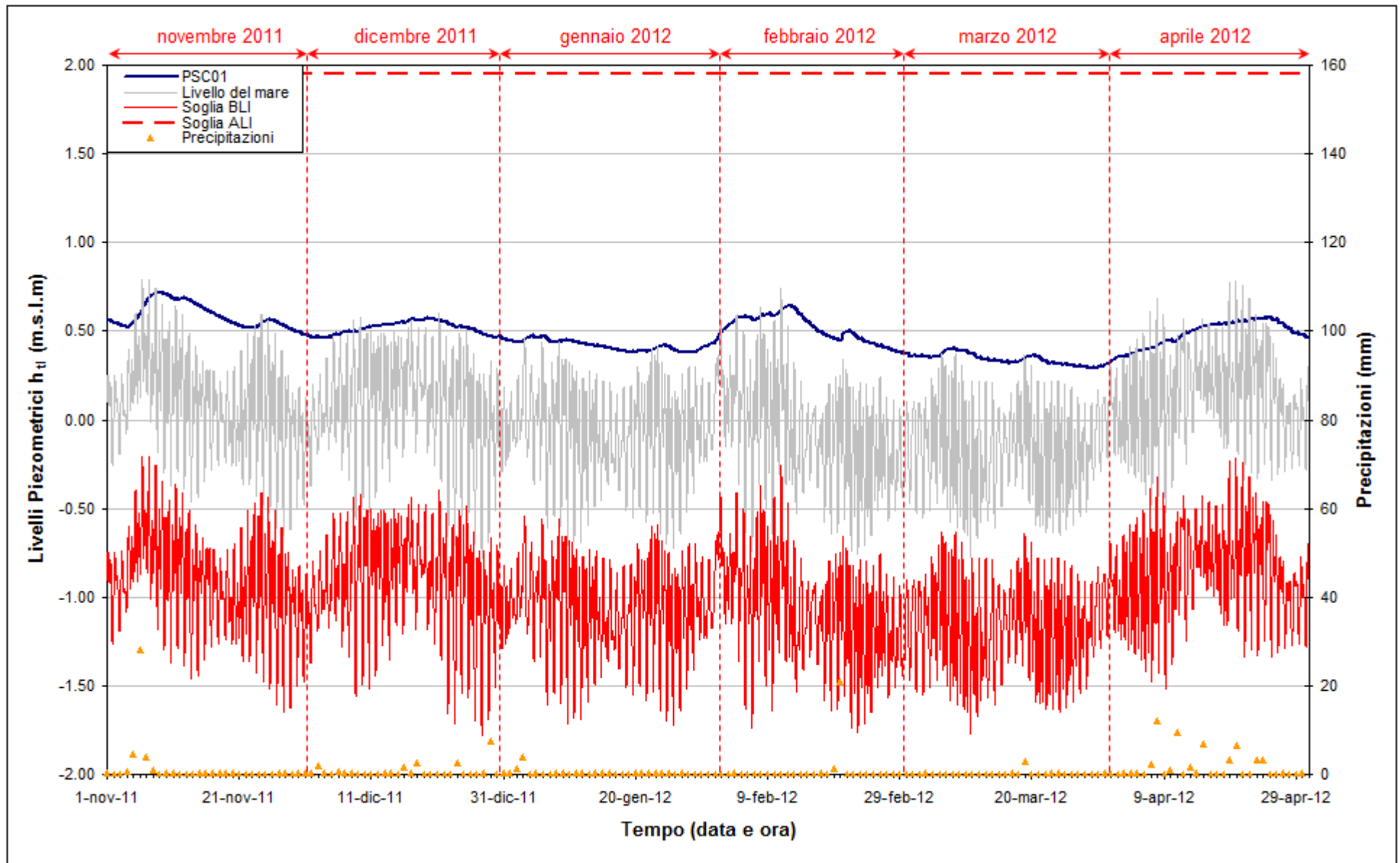


Fig. 3.11 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro superficiale PSC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

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).

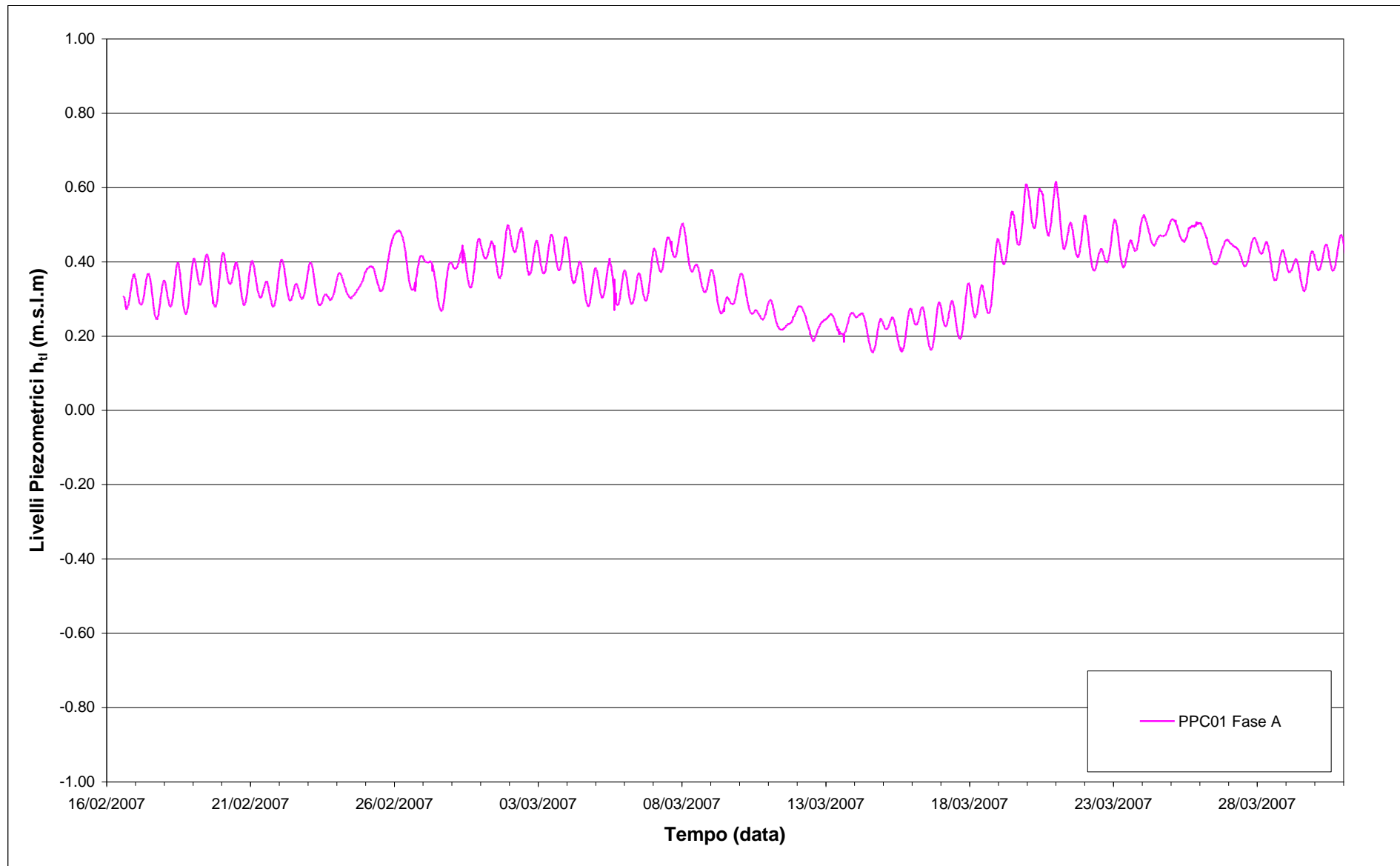
In Fig.3.12 è riportato l'andamento dei livelli piezometrici nel piezometro profondo PPC01 durante la fase A (febbraio – marzo 2007).

Nelle Figg.3.13-3.14 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.3.15-3.16 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 350÷500 cm.

Tra l'inizio e la fine dell'anno di monitoraggio (01/05/11 – 30/04/12) si è verificata una lieve diminuzione del carico idraulico (circa 15 cm) nel piezometro profondo PPC01, attribuibile ad un aumento delle portate di emungimento dei pozzi di dewatering della tura che sono state portate a regime a 3000 mc/d dopo un aumento da 2100 a 3600 mc/d, dovuto alla necessità di approfondire il piano del complesso fondazionale della tura da -12 a -13 metri di quota (fonte: comunicazione CVN del 28/06/12).

Fig. 3.12- Livelli piezometrici (h_t) relativi al piezometro profondo durante la Fase A.

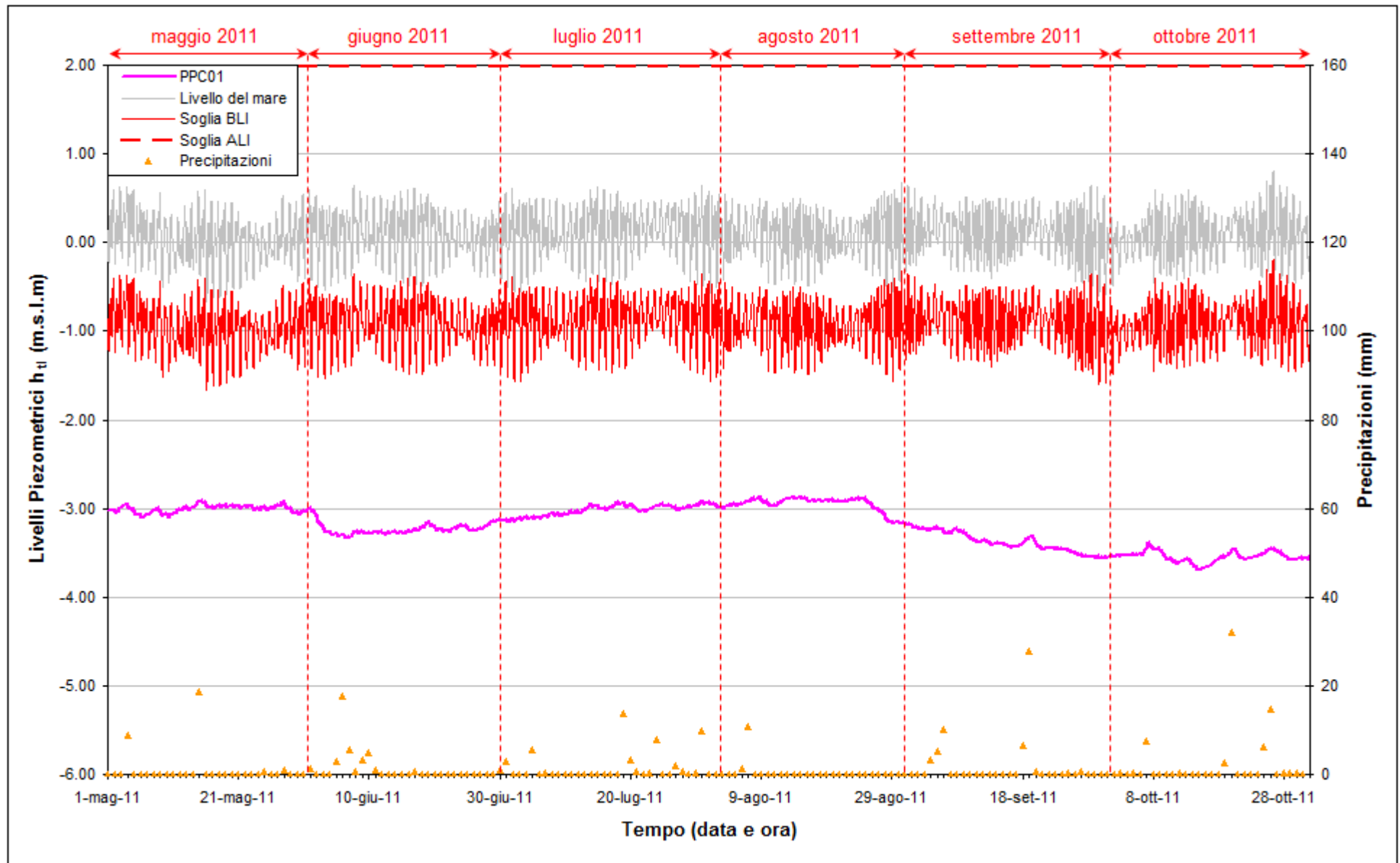


Fig. 3.13 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

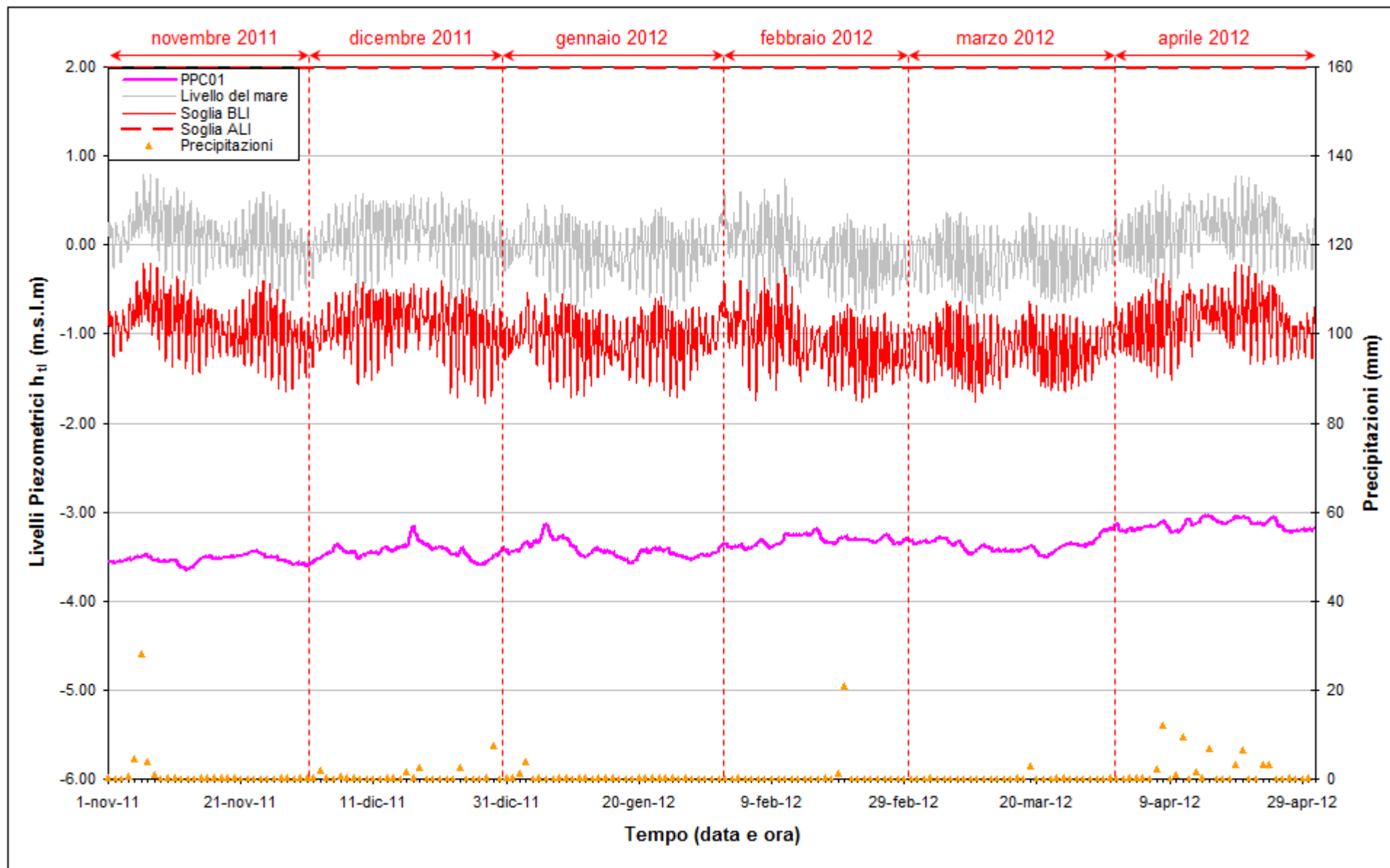


Fig. 3.14 - Livelli piezometrici (h_u) relativi al piezometro profondo PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

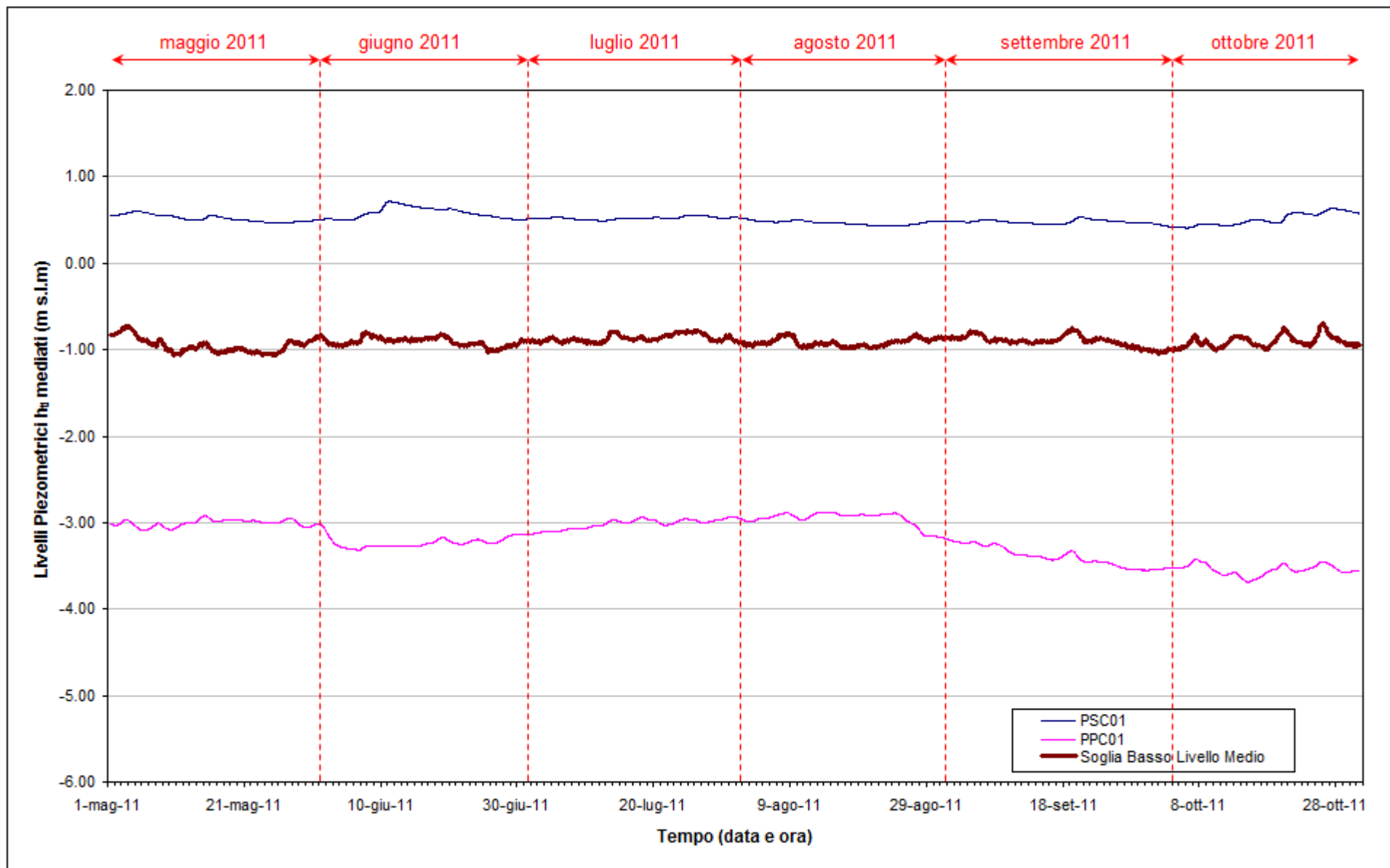


Fig. 3.15 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri PSC01 e PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2011 - 31/10/2011.

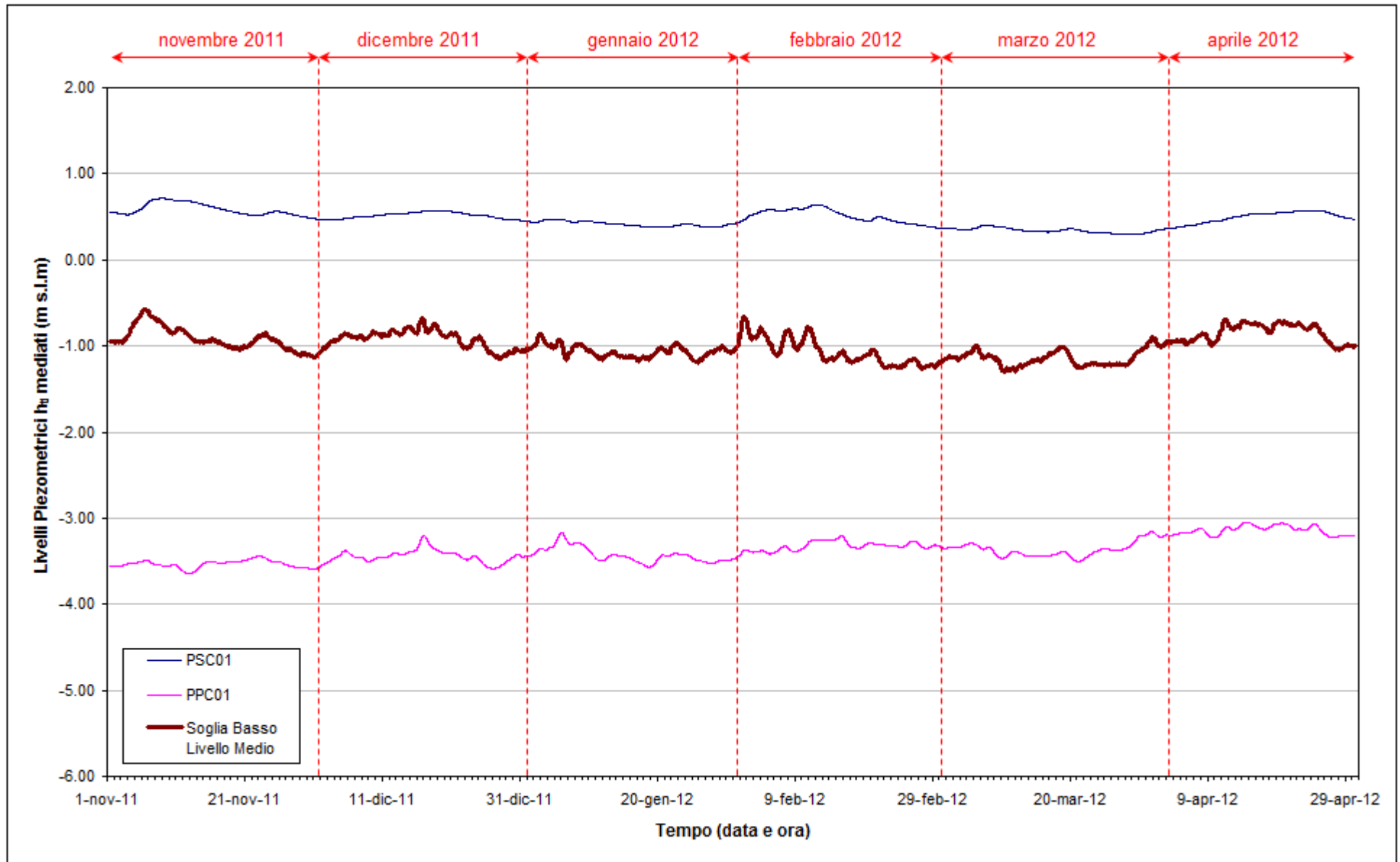


Fig. 3.16 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri PSC01 e PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2011 - 30/04/2012.

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: $h_{ul} < h_M - 1$ (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. 3.3 - 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.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 (01/05/11 - 30/04/12).

3.4 ANALISI DELLA DENSITA' 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.3.17 sono rappresentati i profili di densità del piezometro superficiale; in Fig.3.18 quelli relativi al piezometro profondo.

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

In ciascuna figura è inoltre riportato il confronto con il profilo di conducibilità elettrica misurato in fase A (aprile 2007), rispetto al quale si osserva una diminuzione di questo parametro sia nel piezometro superficiale PSC01 che nel piezometro profondo PPC01. Tale diminuzione può essere in parte motivata dalla presenza della barriera impermeabile della tura, che ha causato l'isolamento di una porzione dei due acquiferi dal mare.

Nel periodo monitorato (maggio 2011 - aprile 2012) si osserva un aumento della densità dell'acqua di falda sia nel piezometro superficiale PSC01 che nel piezometro profondo PPC01. Nel piezometro superficiale, tale aumento è attribuibile alla prolungata siccità. I valori di densità dell'acqua di falda sono però inferiori rispetto alla situazione *ante operam*.

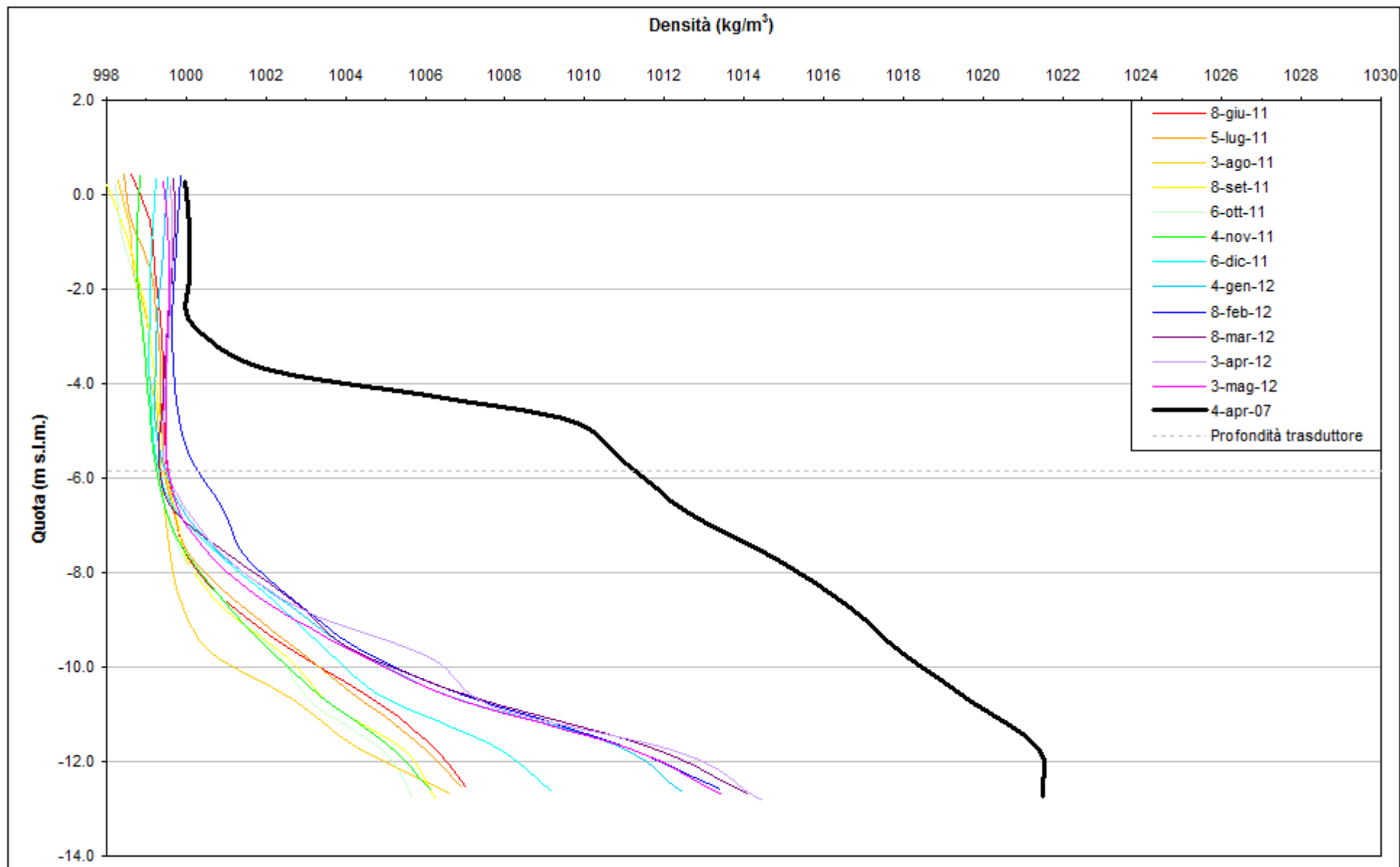


Fig. 3.17 - Profili verticali di densità PSC01.

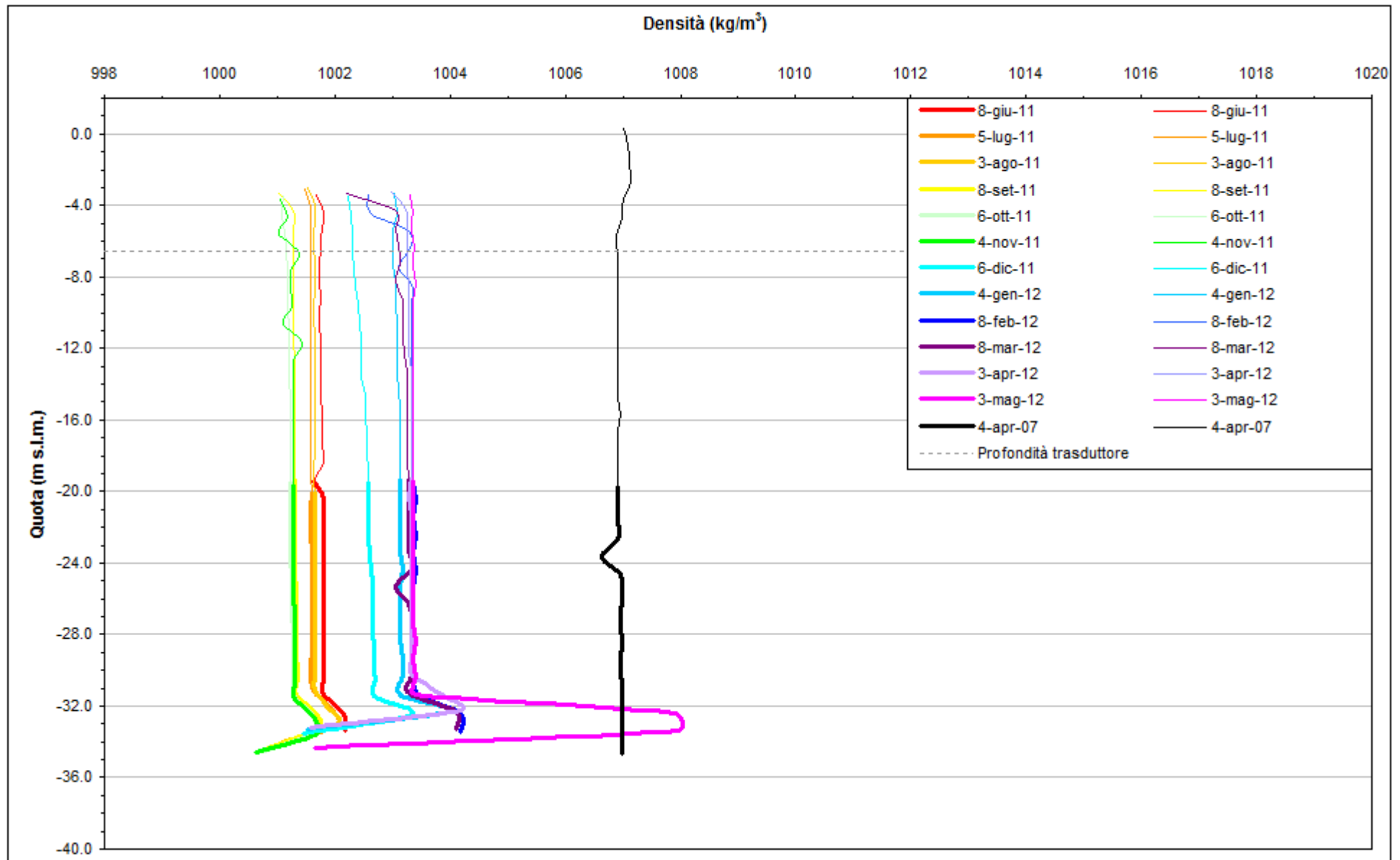


Fig. 3.18 - Profili verticali di densità PPC01.

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

L'attivazione del sistema di dewatering della tura, avvenuta nel mese di aprile 2008, ha provocato un abbassamento del carico idraulico dell'acquifero profondo, con variazioni comprese tra 350 e 500 cm nel piezometro PPC01. L'abbassamento in falda è stato progressivamente ridotto, introducendo affinamenti al sistema di dewatering che hanno permesso di ridurre la portata emunta da 4000 mc/d (aprile 2008) a 3000 mc/d (ottobre 2011) (fonte: comunicazione CVN in data 28/06/12).

Nel periodo monitorato (01/05/11 - 30/04/12) si osserva una lieve diminuzione del carico idraulico di circa 10 cm nel piezometro superficiale PSC01 (attribuibile alla prolunga siccità) e di circa 15 cm nel piezometro profondo PPC01 (dovuto a lievi modifiche nella portata di emungimento del sistema di dewatering). Dal confronto con i livelli misurati nella fase A, l'abbassamento di livello nel piezometro PPC01 si mantiene circa 360 cm (aprile 2012).

Da maggio 2011 ad aprile 2012 si osserva un aumento della densità dell'acqua di falda sia nel piezometro superficiale PSC01 che nel piezometro profondo PPC01. Nel piezometro superficiale, tale aumento è attribuibile alla prolungata siccità. I valori di densità dell'acqua di falda sono però inferiori rispetto alla situazione *ante operam*.

BIBLIOGRAFIA

- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari - Macroattività: livelli di falda", Rapporto di Pianificazione Operativa, Dicembre 2005. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA ;
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/1 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari - Macroattività: livelli di falda", Rapporto di Variabilità Attesa, Dicembre 2005. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA ;
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/2 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari - Macroattività: livelli di falda", II Rapporto di Valutazione, Febbraio 2007. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA;
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/4 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari - Macroattività: livelli di falda", II Rapporto di Valutazione, Dicembre 2008. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA;
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/7 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari - Macroattività: livelli di falda", Rapporti mensili da Maggio 2011 ad Aprile 2012. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA ;
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/7 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari - Macroattività: livelli di falda", I Rapporto di Valutazione, Settembre 2011. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA;
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/7 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari - Macroattività: livelli di falda", II Rapporto di Valutazione, Gennaio 2012. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA;
- Magistrato alle Acque di Venezia. "Studio B.6.72 B/7 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari - Macroattività: livelli di falda", III Rapporto di Valutazione, Maggio 2012. Consorzio Venezia Nuova - Esecutore CORILA;