



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

Palazzo Franchetti S. Marco 2847 30124 Venezia

Tel. +39.041.2402511 Fax +39.041.2402512

Progetto **STUDIO B.6.72 B/8**

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

Contratto Thetis-CORILA n. 122000551

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

Versione **1.0**

Emissione **1 Luglio 2013**

Redazione

Verifica

Verifica

Approvazione

Ing. Alessandro Casasso  
(POLITECNICO TORINO)

Ing. Rajandrea Sethi  
(POLITECNICO TORINO)

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta Ing. Pierpaolo Campostrini

## Indice

<b>INTRODUZIONE: DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' DI MONITORAGGIO.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
1.1 Monitoraggio falda – Punta Sabbioni .....	4
1.2 Monitoraggio falda – Ca' Roman.....	8
1.3 Valutazione delle variazioni di quota altimetrica del piano campagna .....	10
<b>PARTE PRIMA: MONITORAGGIO CANTIERE DI PUNTA SABBIONI.....</b>	<b>16</b>
<b>2. MONITORAGGIO DI FALDA – PUNTA SABBIONI .....</b>	<b>17</b>
2.1 Rete di monitoraggio.....	17
2.2 Analisi dei dati .....	20
2.2.1 <i>Descrizione delle forzanti naturali</i> .....	20
2.2.2 <i>Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A)</i> .....	28
2.2.3 <i>Piezometri profondi – secondo livello acquifero (Strato C)</i> .....	56
2.3 Studio piezometrico.....	90
2.3.1 <i>Piezometria superficiale</i> .....	90
2.3.2 <i>Piezometria profonda</i> .....	98
2.4 Verifica del rispetto delle soglie di azione .....	105
2.5 Analisi della salinita' dell'acqua di falda .....	107
2.5.1 <i>Profili verticali di densità</i> .....	107
2.5.2 <i>Andamento stagionale della conducibilità elettrica</i> .....	131
2.6 Conclusioni .....	143
<b>PARTE SECONDA: MONITORAGGIO CANTIERE DI CA' ROMAN .....</b>	<b>144</b>
<b>3. MONITORAGGIO FALDA – CA' ROMAN.....</b>	<b>145</b>
3.1 Rete di monitoraggio.....	145
3.2 Analisi dei dati .....	146
3.2.1 <i>Descrizione delle forzanti naturali</i> .....	146
3.2.2 <i>Piezometro superficiale – primo livello acquifero (Strato A)</i> .....	155
3.2.3 <i>Piezometro profondo – secondo livello acquifero (Strato C)</i> .....	159
3.3 Verifica del rispetto delle soglie di azione .....	165
3.4 Analisi della salinita' dell'acqua di falda .....	167
3.4.1 <i>Profili verticali di densità</i> .....	167
3.4.2 <i>Andamento stagionale della conducibilità elettrica</i> .....	170
3.5 Conclusioni .....	172
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>173</b>

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

## 1. INTRODUZIONE

Il presente Rapporto Finale presenta i risultati delle attività di monitoraggio dei livelli di falda svolte nel periodo 01/05/2012 - 30/04/2013 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 m<sup>2</sup> 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 (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

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

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

manutenzione straordinaria dei pozzi collocati nella porzione inferiore della tura.

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

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.

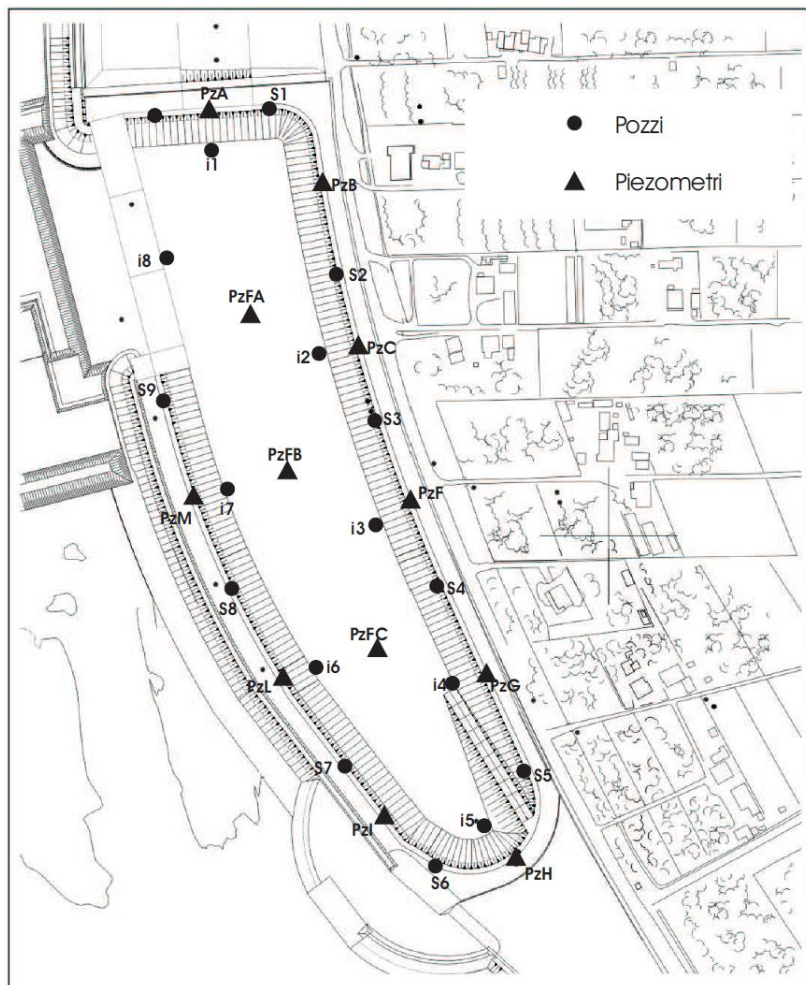


Fig. 1.1 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

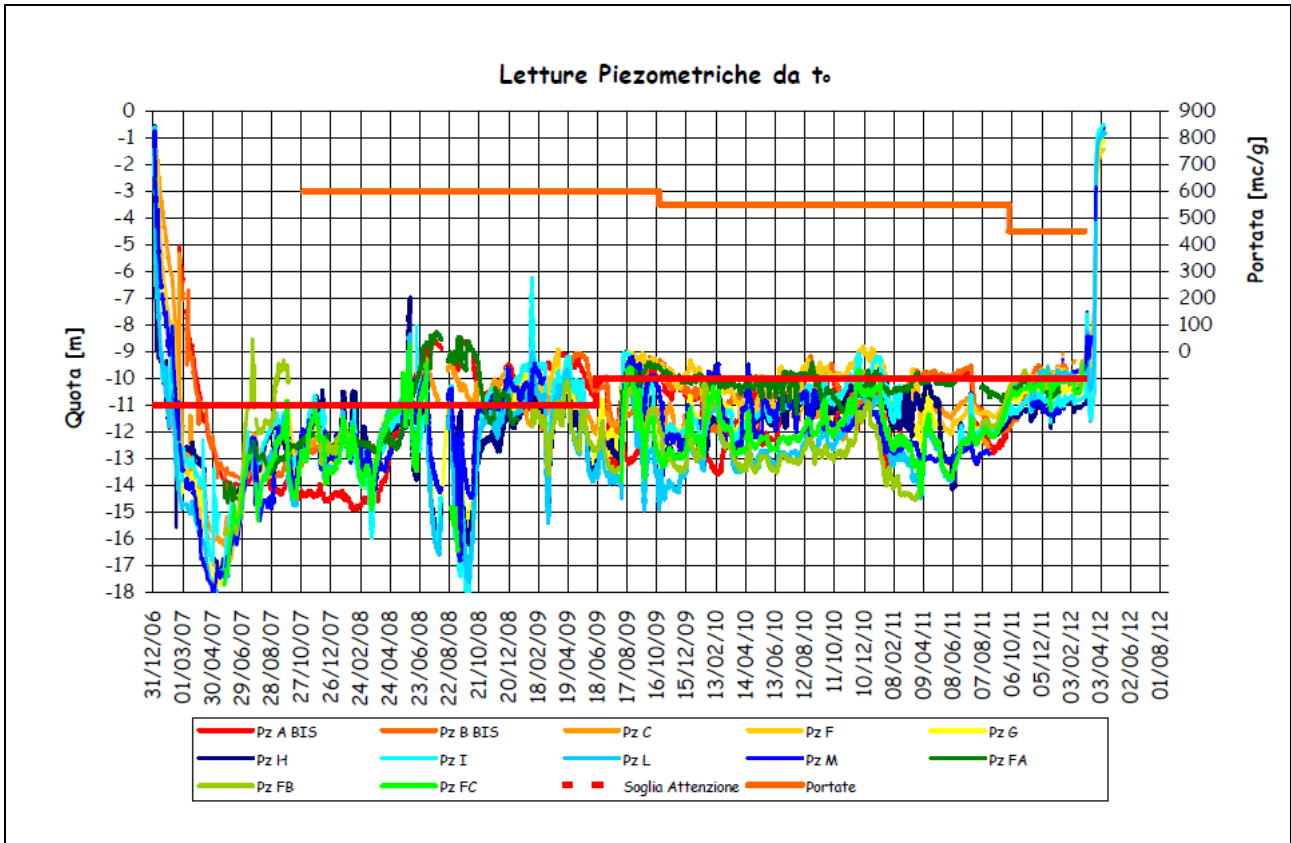


Fig. 1.2 - Andamento temporale dei carichi idraulici misurati all'interno della tura di Punta Sabbioni (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

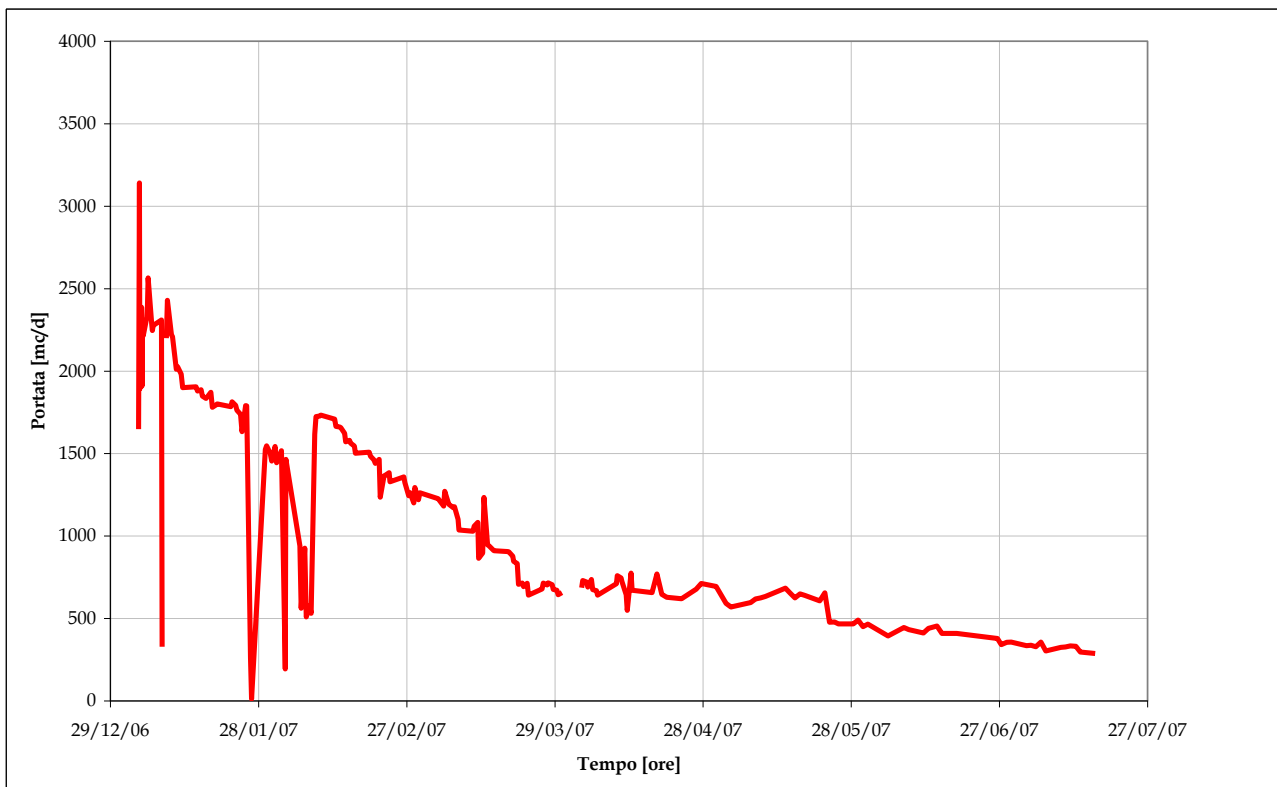


Fig. 1.3 - Portate di emungimento del sistema di dewatering durante l'aggotamento della tura di Punta Sabbioni (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

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

La rete di monitoraggio installata nel mese di luglio 2005 è composta da 11 postazioni doppie di monitoraggio (piezometro superficiale e profondo) per la misura dei livelli di falda nell'acquifero superficiale (denominato strato A) e nel sottostante livello acquifero in pressione (strato C); i due corpi idrici sotterranei sono intervallati da un livello argilloso (strato B). La descrizione dettagliata della rete di monitoraggio è contenuta nel "Rapporto di Pianificazione Operativa" (Studio B.6.72 B/1, Dicembre 2005). Nel mese di novembre 2008 la rete è stata integrata con 3 nuovi piezometri profondi al fine di ricostruire con miglior precisione gli effetti del pompaggio di cantiere (Studio B.6.72 B/4, Il Rapporto di Valutazione, 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, Il 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 94 mensilità. In Tab. 1.1 sono riassunte le attività di monitoraggio di falda attualmente svolte a Punta Sabbioni.

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

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

## 1.2 Monitoraggio falda - Ca' Roman

La realizzazione del porto rifugio di Ca' Roman ha richiesto la realizzazione di un bacino (tura) in un'area precedentemente occupata dal mare, al fine di rendere agibile ai lavori un'area di cantiere posta alla quota di -11 m s.l.m. e attualmente utilizzata per il getto dei cassoni di alloggiamento delle barriere mobili. La realizzazione della tura ha previsto l'esecuzione di reinterri, la realizzazione di una cinturazione (costituita da diaframmi plastici lato terra, completato nel mese di gennaio 2008, e da palancolati lato mare) e l'installazione di un sistema di pozzi e pompe per il *dewatering*.

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

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

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

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

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

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

In Fig. 8.2 sono riportate le serie temporali dei carichi idraulici misurati nei piezometri interni alla tura e le portate di emungimento del sistema di *dewatering* della tura di Ca' Roman.



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

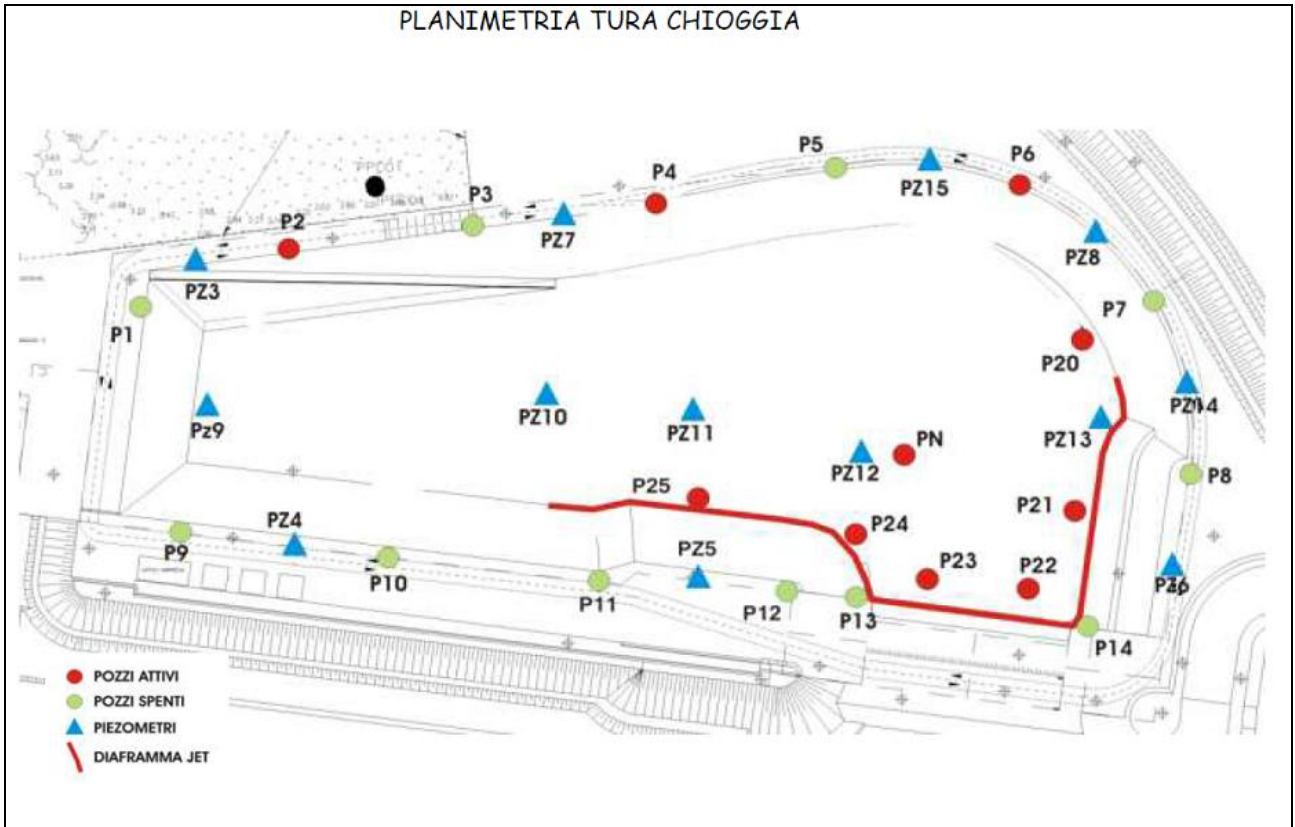


Fig. 1.4 - Planimetria del sistema di dewatering della tura (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

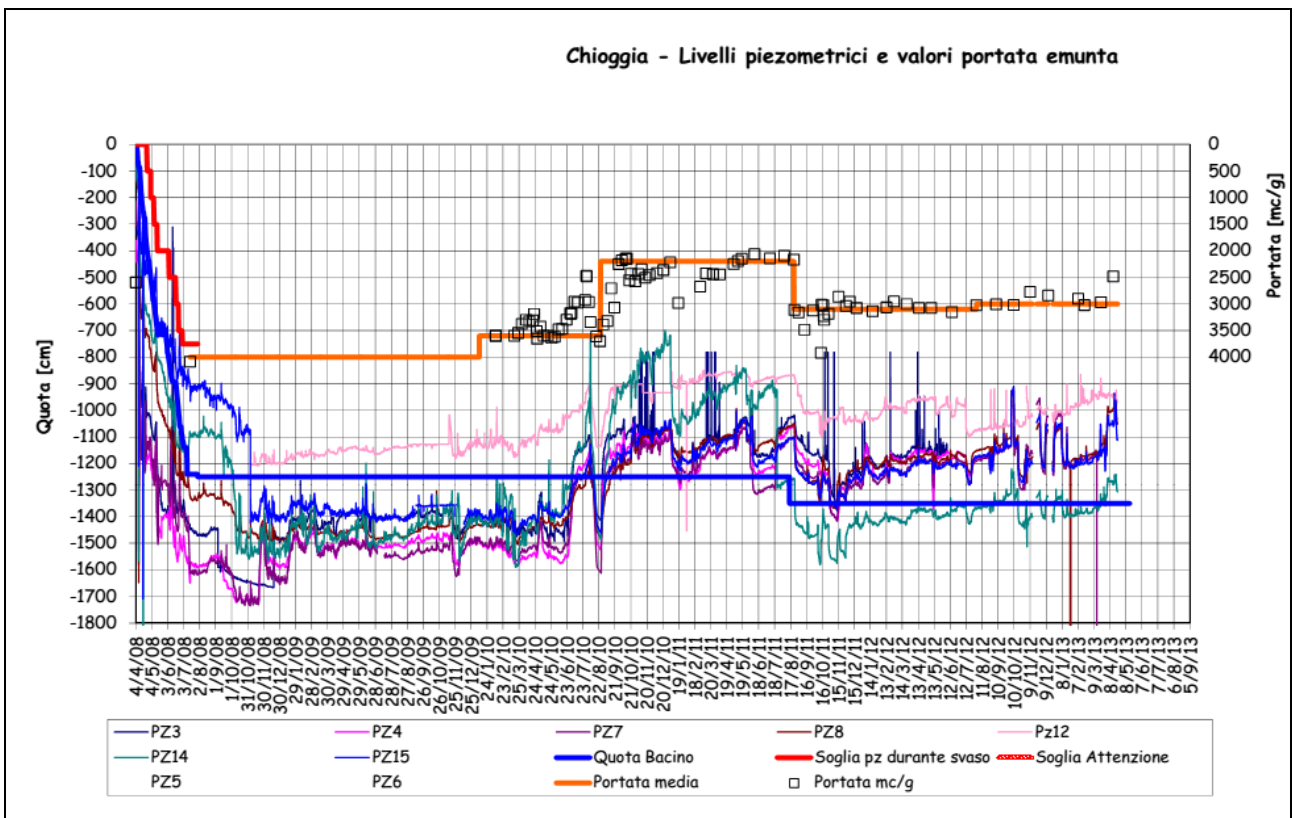


Fig. 1.5 - Portate di emungimento e carichi idraulici misurati all'interno della tura di Ca' Roman (fonte: Consorzio Venezia Nuova).

CORILA  
ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI DALLA  
COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE BOCHE 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 74 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

### 1.3 Valutazione delle variazioni di quota altimetrica del piano campagna

In termini generali, la laguna di Venezia è interessata da subsidenza a causa di di fenomeni concomitanti (Carbognin *et al.*, 2005; Tosi *et al.*, 2009), tra i quali:

- processi tettonici (movimenti relativi tra le placche), con abbassamenti quantificati in meno di 0.5 mm/anno (Kent *et al.*, 2002);
- processi geologici di consolidazione naturale dei sedimenti dell'era quaternaria (Pleistocene e Olocene), che causano un abbassamento di circa 0.5 mm/anno (Gatto e Carbognin, 1981);
- sovrasfruttamento delle falde idriche situate a profondità comprese tra 400 e 1000m, avvenuto nel periodo post-bellico nel complesso petrolchimico di Porto Marghera. Gli abbassamenti del suolo nella laguna di Venezia causati dal pompaggio ad uso industriale sono stati quantificati in 4.5 mm/anno nel periodo 1950-1969, a fronte di un abbassamento nel periodo precedente pari a meno di 1 mm/anno (Gambolati *et al.*, 1974). A partire dagli anni Settanta lo sfruttamento delle falde idriche è stato severamente regolamentato, permettendo il recupero parziale dei livelli precedenti allo sfruttamento, oltre a una lieve risalita delle quote di piano campagna (Carbognin *et al.*, 2005);
- il sovrasfruttamento delle falde idriche poste a profondità di circa 100m, utilizzate a scopo agricolo in particolare nella Penisola del Cavallino (Dazzi *et al.*, 1999);
- fenomeni locali, come il collasso di strati argillosi dovuti all'intrusione del cuneo salino e all'ossidazione di strati torbosi (Tosi *et al.*, 2009) in territori soggetti a bonifica idraulica, in particolare nella parte meridionale della Laguna. È necessario puntualizzare che l'intrusione del cuneo salino nelle aree interessate da questi fenomeni non è attribuibile in alcun modo al

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

pompaggio di dewatering condotto nel cantiere di Ca' Roman, che si trova dalla parte opposta della bocca di porto di Chioggia.

Nei due siti monitorati il pompaggio di dewatering ha causato una riduzione dei carichi idraulici all'interno della falda profonda che ha raggiunto, nelle immediate vicinanze delle aree di cantiere, valori massimi di 5÷6 m. Variazioni del carico idraulico di questa entità possono determinare abbassamenti della quota del piano campagna (subsidenza) dovuti alla compressione imputabili alla riduzione della tensioni interstiziali e quindi all'incremento delle tensioni efficaci (Lancellotta, 2004).

Il monitoraggio della subsidenza nella laguna di Venezia è attivo da decenni, con reti di capisaldi e livellazioni periodiche, che hanno permesso di quantificare la variazione temporale degli abbassamenti del suolo in periodi differenti. Negli ultimi 10 anni, il monitoraggio è passato dalla scala puntuale dei capisaldi (che permette elevate precisioni, ma che richiede grandi sforzi per ottenere una mole ridotta di dati da analizzare) a una scala globale, con il processamento di immagini satellitari. Con la tecnica dell'interferometria SAR (Synthetic Aperture Radar) è possibile, confrontando immagini acquisite in periodi differenti, valutare quali sono stati gli spostamenti di quota su punti, detti Persistent Scatterers, individuabili in tutte le immagini processate perché, ad esempio, posti su infrastrutture stabili (ponti, strade ecc.); per le zone nelle quali scarseggiano questi punti, ad esempio la parte interna della Laguna, sono stati installati nel 2007 alcuni "riflettori" artificiali (Teatini *et al.*, 2005; Strozzi *et al.*, 2009; Tosi *et al.*, 2012).

In Fig. 1.6 è rappresentato l'andamento dei cedimenti del terreno nel periodo compreso tra il 1992 e il 2002: si osserva che la parte centrale della Laguna (Mestre, Venezia) è sostanzialmente stabile, mentre le estremità nord (Penisola del Cavallino, foce del Sile) e sud (Chioggia) sono interessate da un abbassamento di 2÷3 mm/anno (Teatini *et al.*, 2005), che quindi va considerato come un abbassamento "naturale" o comunque non riconducibile ai cantieri.

In Fig. 1.7 sono rappresentati i cedimenti del terreno misurati tra aprile 2003 e novembre 2007 (Strozzi *et al.*, 2009), un periodo che copre quindi l'inizio del pompaggio di dewatering nel cantiere di Punta Sabbioni (avvenuto nel gennaio 2007) ma precedente all'inizio del pompaggio nel cantiere di Ca' Roman (avvenuto nell'aprile 2008). Dall'immagine relativa alla bocca di porto di Lido (Fig. 1.7a) si notano alcuni punti a ridosso della linea di costa nei quali l'abbassamento supera, seppure in modo modesto, l'abbassamento di 2÷3 mm/anno che si può considerare come valore "di base" non riconducibile alle attività dei cantieri. È però necessario precisare che i dati in Fig. 1.7a sono riferiti a un periodo di 4 anni e 7 mesi, durante il quale il pompaggio è stato attivo per appena 11 mesi. All'esterno del cantiere di Ca' Roman (Fig. 1.7c), invece, si osserva un solo punto con un cedimento di circa 10÷20 mm/anno, un dato al quale non si può attribuire un significato areale ma solo specifico di assestamento della struttura riflettente.

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

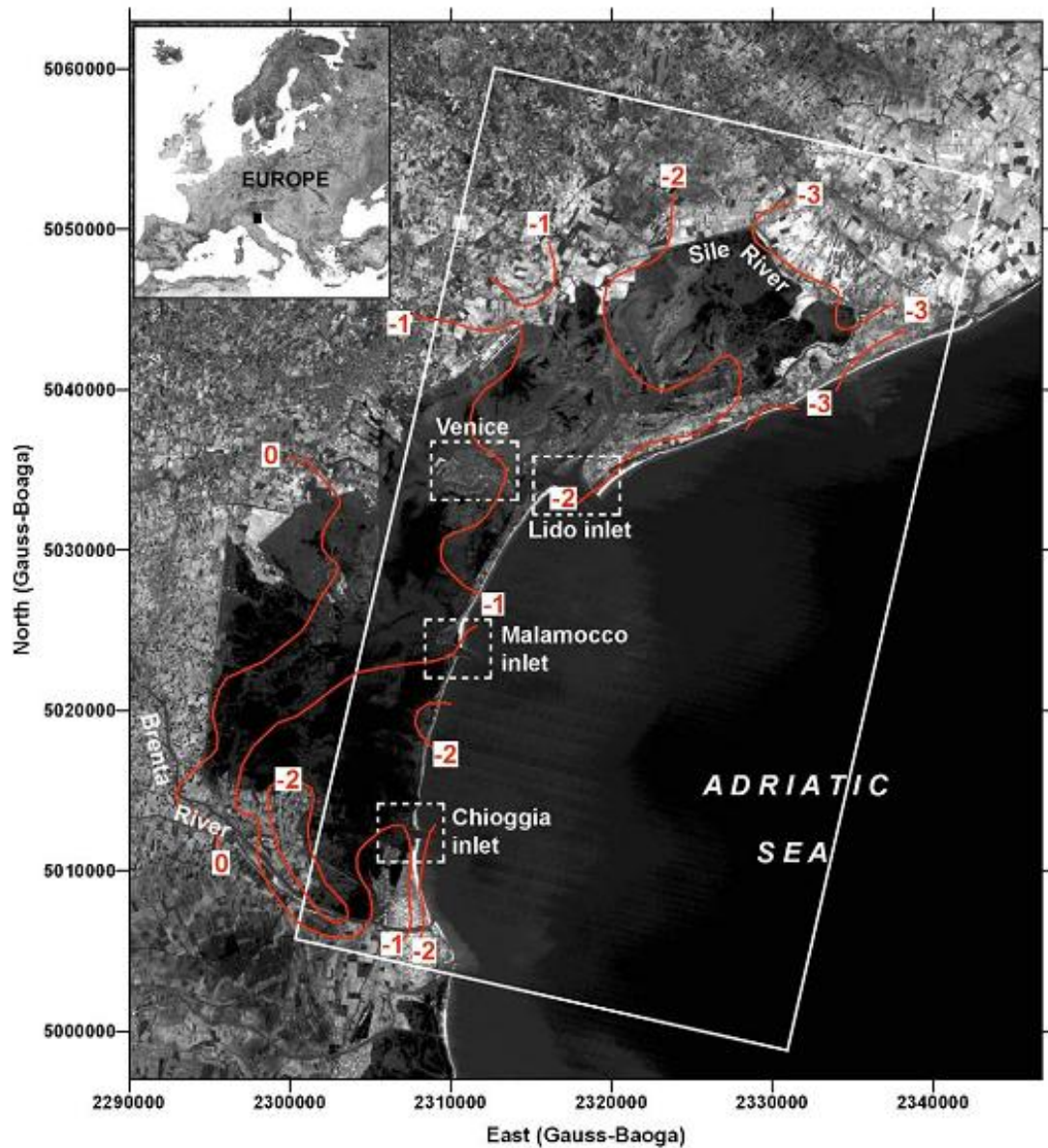


Fig. 1.6 - Velocità di abbassamento della quota del terreno, espressa in mm/anno, stimata con la tecnica dell'interferometria SAR nel periodo 1992÷2002, antecedente all'inizio dei lavori di protezione dalle maree del progetto MOSE (da Teatini *et al.*, 2005).

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

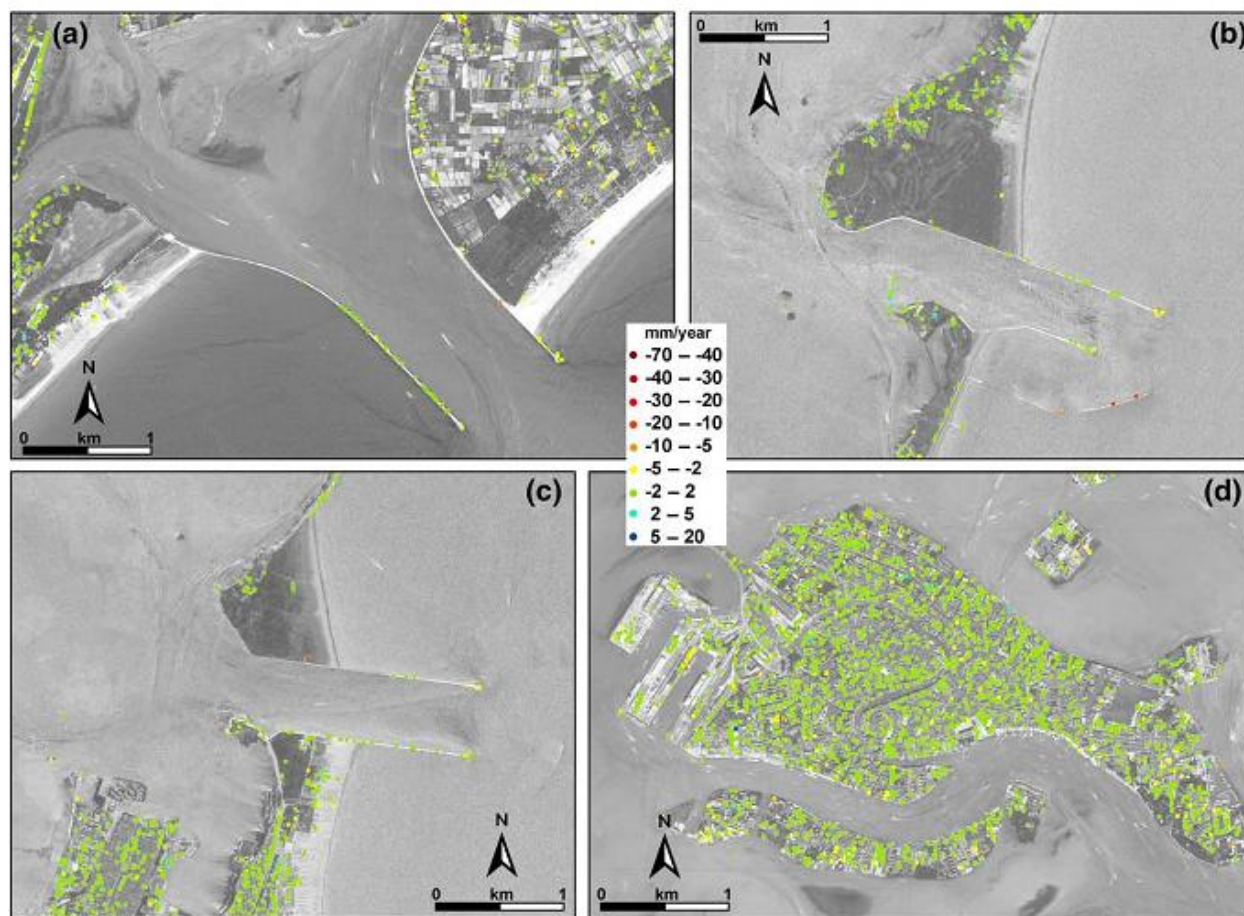


Fig. 1.7 - Velocità di abbassamento della quota del terreno, espressa in mm/anno, stimata con la tecnica dell'interferometria SAR nel periodo aprile 2003÷novembre 2007 (da Strozzi *et al.*, 2009).

È invece possibile trarre alcune conclusioni dalla Fig. 1.8, nella quale sono rappresentati i cedimenti misurati tra marzo 2008 e gennaio 2009 (Strozzi *et al.*, 2009). Durante questo periodo erano infatti attivi i sistemi di pompaggio di dewatering in entrambi i cantieri monitorati.

Nell'immagine relativa alla bocca di porto di Lido (Fig. 1.8a), si osserva una fascia di terreno a ridosso del cantiere di Punta Sabbioni (che, secondo gli autori, ha un'ampiezza di circa 200m), nella quale i cedimenti osservati sono più intensi (5÷10 mm/anno e oltre). Tale variazione è attribuibile alla consolidazione del terreno in seguito al pompaggio di dewatering e probabilmente anche al passaggio dei mezzi pesanti di cantiere, e conferma i risultati del rilievo topografico effettuato nel mese di maggio 2008 sulla rete di monitoraggio piezometrico.

Anche il dettaglio della tura, rappresentato in Fig. 1.9, conferma che sul Lungomare Dante Alighieri sono stati osservati cedimenti superiori rispetto all'area circostante. Le scogliere che delimitano i bacini del porto rifugio sono interessate da cedimenti rilevanti, che però sono dovuti all'assestamento delle opere, al passaggio dei mezzi pesanti di cantiere e solo in minima parte al pompaggio di dewatering (Fig. 1.8a).

L'immagine relativa alla bocca di porto di Chioggia (Fig. 1.8c), nella parte a ridosso del cantiere di Ca' Roman, presenta una densità molto inferiore di punti di riferimento (Persistent Scatterers)

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

rispetto al sito di Punta Sabbioni, a causa della ridotta antropizzazione dell'area. È possibile osservare un leggero incremento della velocità di abbassamento in un'area posta a circa 500m a nord del cantiere, con velocità comunque inferiori a 10 mm/anno, una conclusione confermata dal confronto di differenti set di immagini relativi a periodi in cui il pompaggio di cantiere era attivo (Fig. 1.10). La scarsa densità di questi dati non permette comunque di attribuire con sicurezza al pompaggio di dewatering gli abbassamenti del terreno registrati.

Sono presenti, come già descritto per il cantiere di Punta Sabbioni, cedimenti molto più marcati in corrispondenza delle scogliere, dovuti all'assestamento delle opere di recente costruzione (mentre le scogliere storiche dei Murazzi di Pellestrina hanno esaurito da tempo questi cedimenti).

La sostanziale stabilità della quota topografica (variazioni inferiori ai 2 mm/anno) nell'insediamento posto nella parte nord-ovest della spiaggia di Ca' Roman, evidenziata in Fig. 1.8c e Fig. 1.10, permette di escludere che tale area, posta a circa 1km dalla tura di prefabbricazione dei cassoni di alloggiamento delle barriere mobili, sia stata interessata - almeno fino al luglio 2011 - da subsidenza indotta dal pompaggio di dewatering. Per trarre conclusioni più affidabili sulla subsidenza attribuibile alle attività di cantiere, sarebbe necessario procedere ad una livellazione geometrica di precisione sulle postazioni di monitoraggio PSC01 e PPC01, per un raffronto con le quote rilevate al momento dell'installazione dei piezometri (inizio 2007). Per quanto noto alla Matrice Suolo, i due piezometri sono gli unici punti posti ad una distanza tale da permettere valutazioni in tal senso.

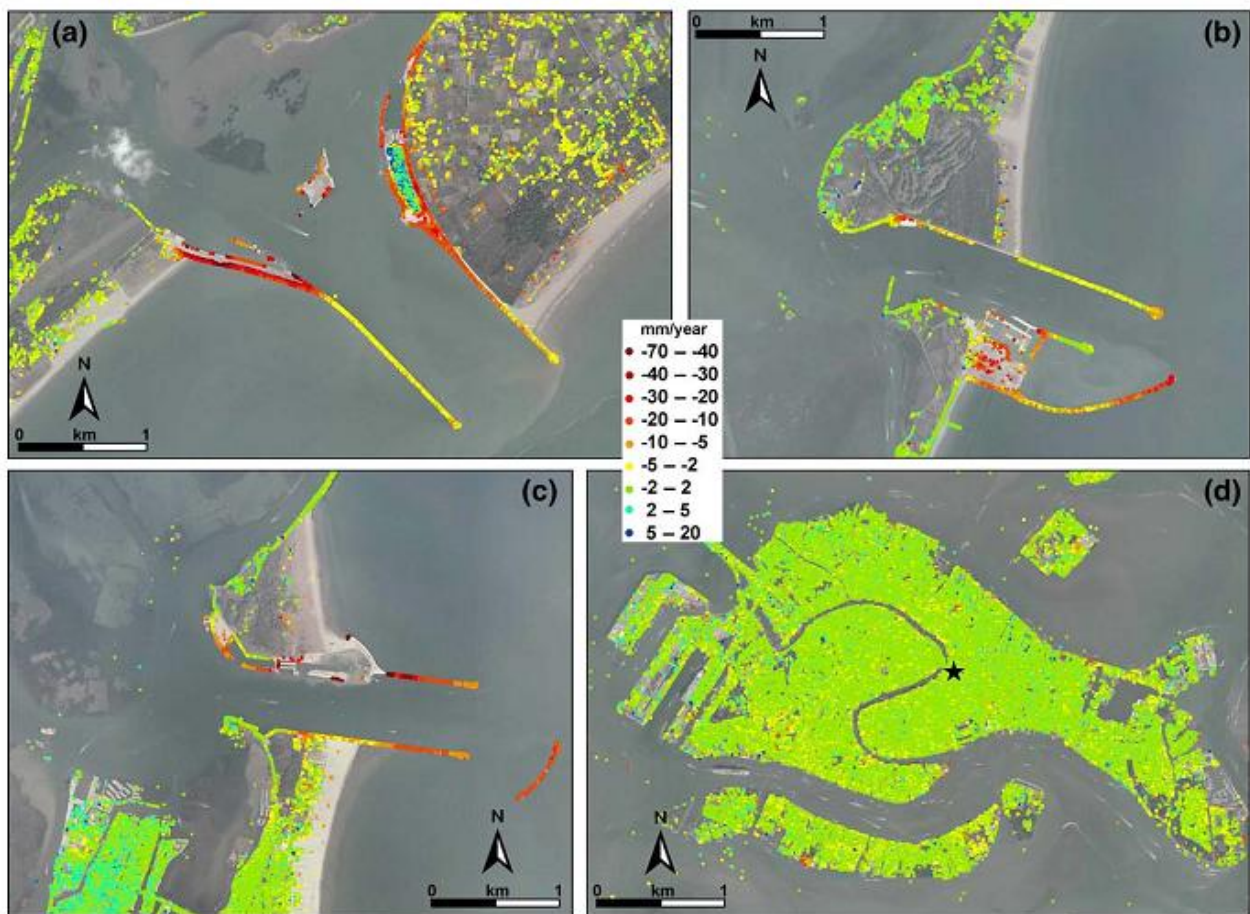


Fig. 1.8 - Velocità di abbassamento della quota del terreno, espressa in mm/anno, stimata con la tecnica dell'interferometria SAR nel periodo marzo 2008÷gennaio 2009 (da Strozzi *et al.*, 2009).

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

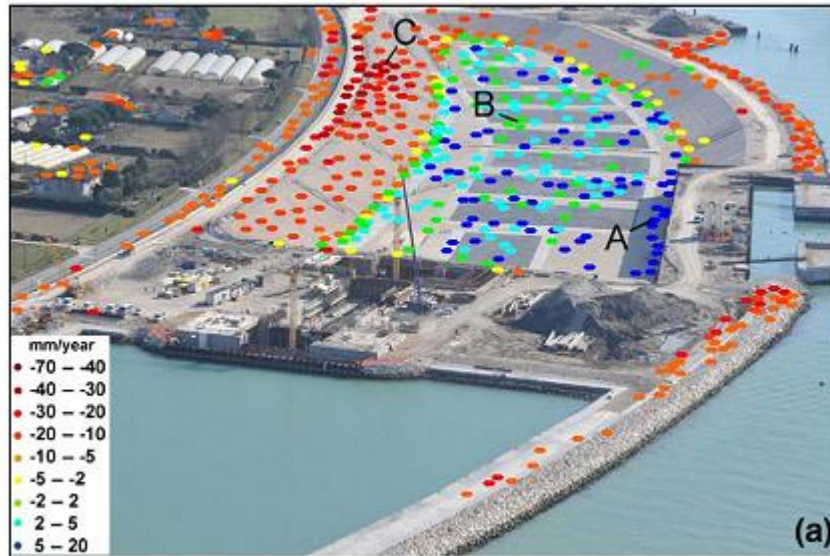


Fig. 1.9 - Dettaglio della Fig. 1.8 relativo al cantiere di Punta Sabbioni (da Strozzi *et al.*, 2009).

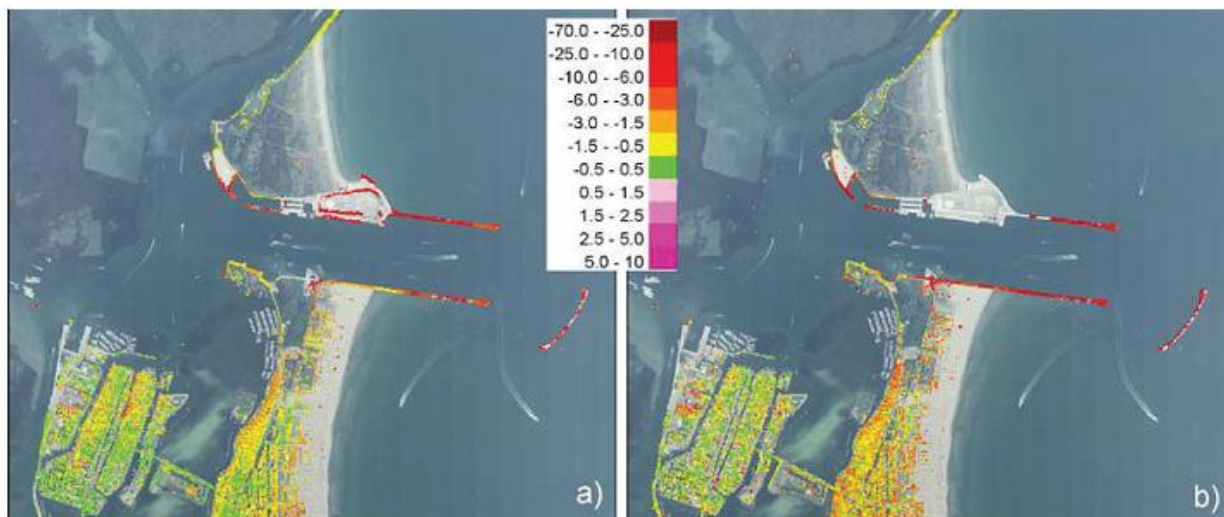


Fig. 1.10 - Confronto tra le velocità medie di abbassamento della quota del terreno, espresse in mm/anno, stimate con la tecnica dell'interferometria SAR applicata alle immagini acquisite nel periodo settembre 2008÷luglio 2011 dalla missione COSMO - SkyMed (a) e alle immagini della missione TerraSAR-X acquisite tra marzo 2008 e gennaio 2009 (da Tosi *et al.*, 2012).

**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 2012 e il 30 aprile 2013.

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, per ciascun piezometro, a partire dai valori di conduttanza elettrica specifica, insieme a rappresentazioni grafiche della variabilità stagionale di quest'ultimo parametro (Cap. 2.5); nel Cap. 2.6 sono riportate le conclusioni.

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

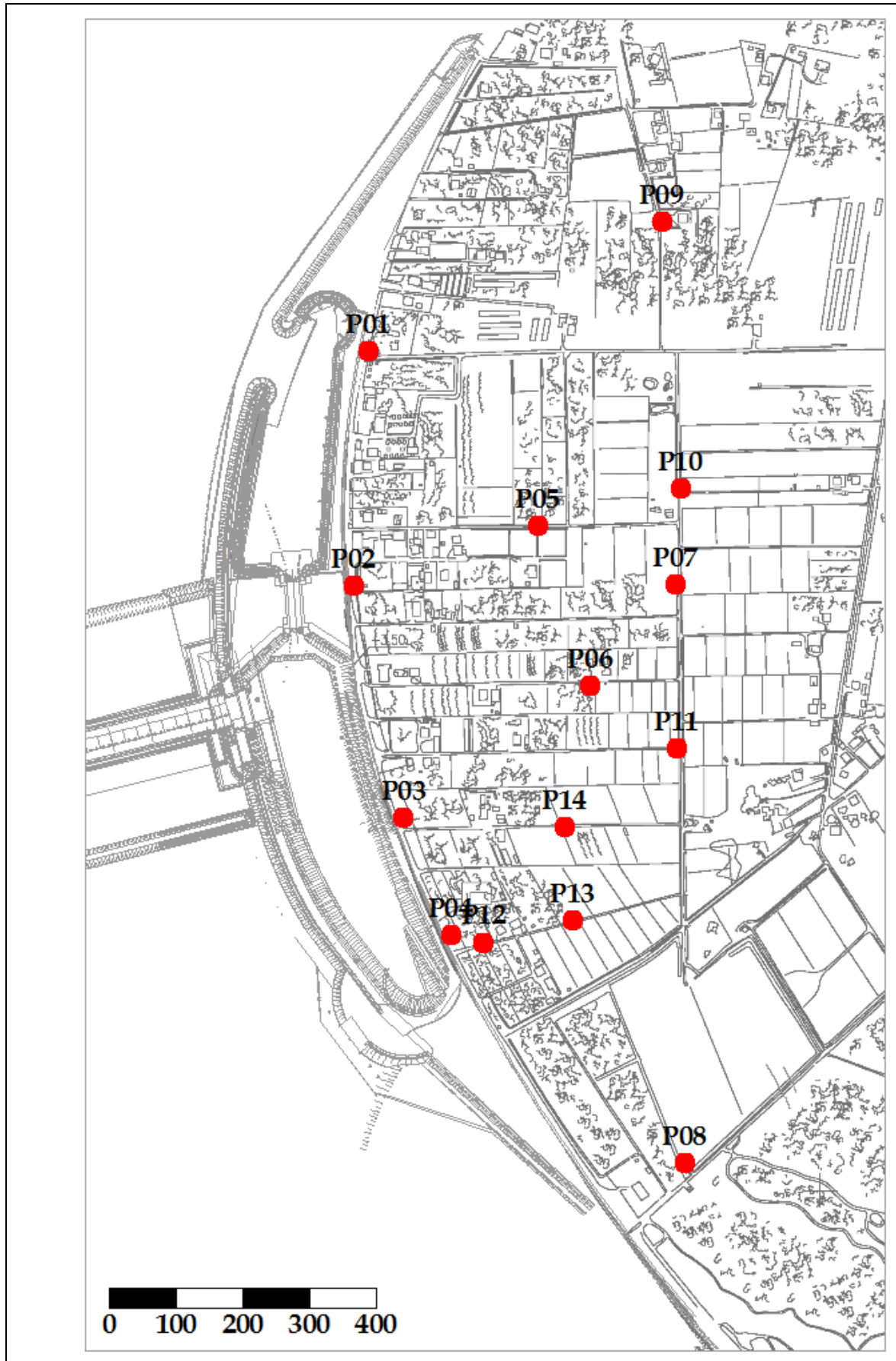


Fig. 2.1- Ubicazione delle postazioni di monitoraggio, dei Levellogger e dei Barologger.

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

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

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

## 2.2 ANALISI DEI DATI

### 2.2.1 *Descrizione delle forzanti naturali*

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

- precipitazioni, registrate dalla stazione meteorologica “ARPAV - Cavallino Treporti”;
- oscillazioni mareali, registrate dal mareografo “Burano” (maggio e giugno 2012: tale stazione è stata utilizzata poiché non erano disponibili i dati della stazione “Diga Sud Lido”) e, per gli altri mesi, dal mareografo “Diga Sud Lido” (stazione di monitoraggio meteo-marino 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 stazione meteorologica “ARPAV - Cavallino Treporti”, ubicata a circa 5.5 km a nord-est rispetto al cantiere (vedi Fig.2.2).

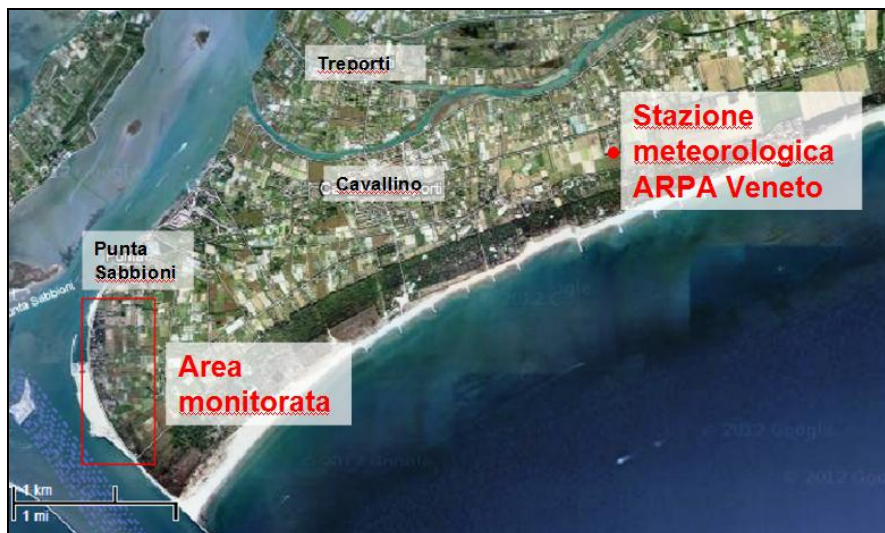


Fig. 2.2 - Posizione della centralina meteo “ARPAV - Cavallino Treporti” rispetto all’area monitorata.

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)
13/05/12	24	8.4
16/05/12	24	27.8
20-21/05/12	48	17.4
29/05/12	24	19.2
04/06/12	24	13.4
12-13/06/12	48	7.2
23/06/12	24	5.6
26/08/12	24	22.0
12-13/09/12	48	15.6

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

DATA	DURATA (h)	ENTITÀ (mm)
19/09/12	24	25.6
24/09/12	24	13.0
30/09/12	24	35.2
13/10/12	24	12.8
15-16/10/12	48	23.4
27-29/10/12	72	68.2
31/10/12-01/11/12	48	62.0
04/11/12	24	8.4
11-12/11/12	48	7.6
27-30/11/12	96	47.8
01-02/12/12	48	7.0
06-08/12/12	72	8.6
14-15/12/12	48	18.4
21/12/12	24	5.8
02/01/13	24	9.4
13-17/01/13	120	61.2
19-21/01/13	72	21.6
23/01/13	24	6.8
28/01/13	24	8.2
02/02/13	24	56.0
11-12/02/13	48	58.4
20-21/02/13	48	14.4
23/02/13	24	5.0
06-15/03/13	240	80.2
17-18/03/13	48	72.2
20-21/03/13	48	7.8
23-25/03/13	72	52.4
28-31/03/13	96	96.0
04-06/04/13	72	26.8
08-09/04/13	48	11.0
20-22/04/13	72	16.0

### 2.2.1.2 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 (per i mesi di maggio e giugno 2012 sono stati utilizzati i dati del mareografo "Burano", non essendo disponibili quelli del mareografo "Diga Sud Lido").

I mareografi sono gestiti dall'Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree (ICPSM) di Venezia. I dati riportati sono riferiti alla Rete Altimetrica dello Stato "Genova 1942" e sono caratterizzati da una frequenza di acquisizione oraria nell'intero periodo monitorato.

### 2.2.1.3 Pressione atmosferica - $h_p$

Nell'area oggetto del monitoraggio sono presenti due Barologger B01 e B02, posizionati all'altezza del piano campagna all'interno rispettivamente dei due piezometri profondi PP03 e PP10. In Fig.2.7 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.

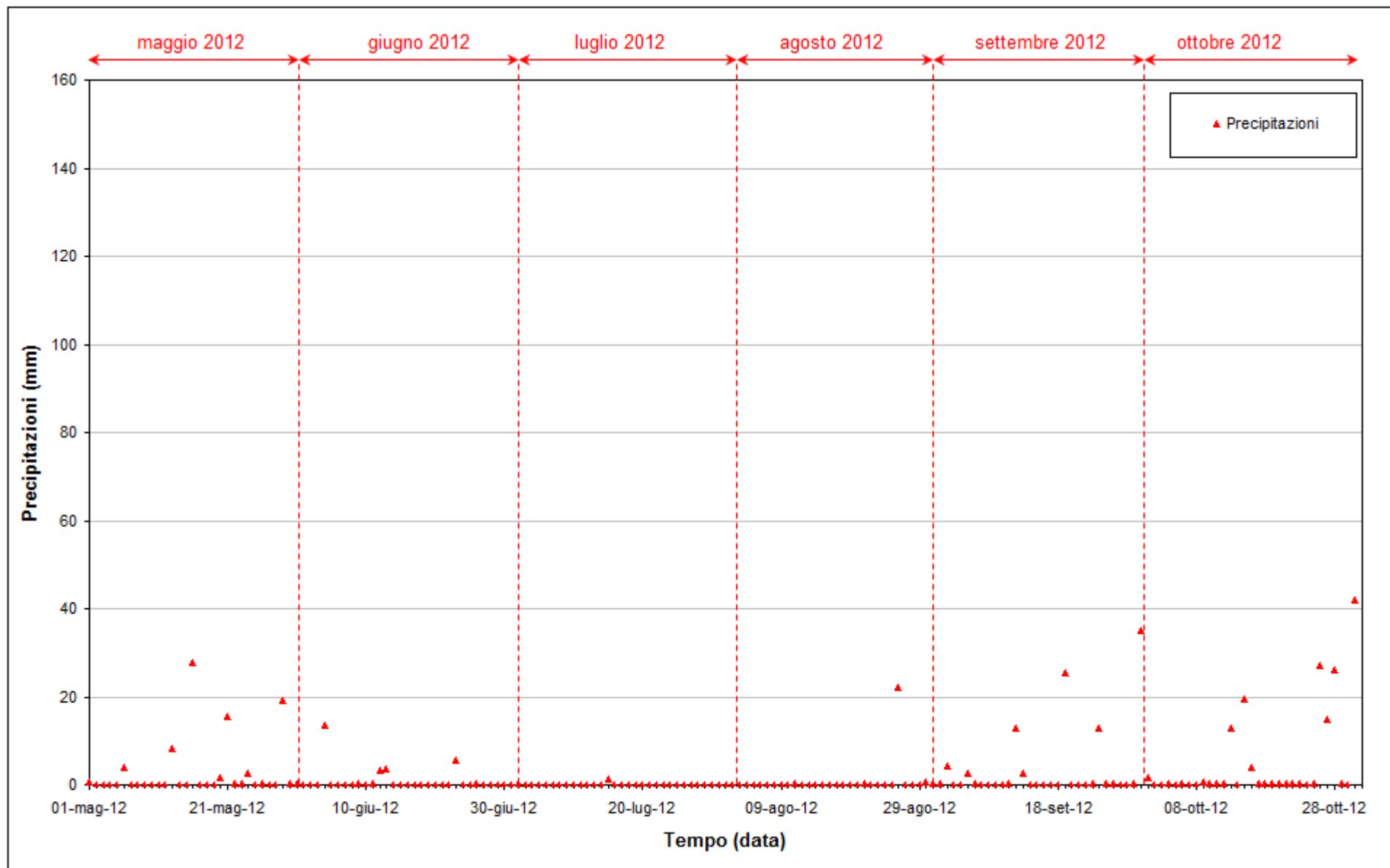


Fig. 2.3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

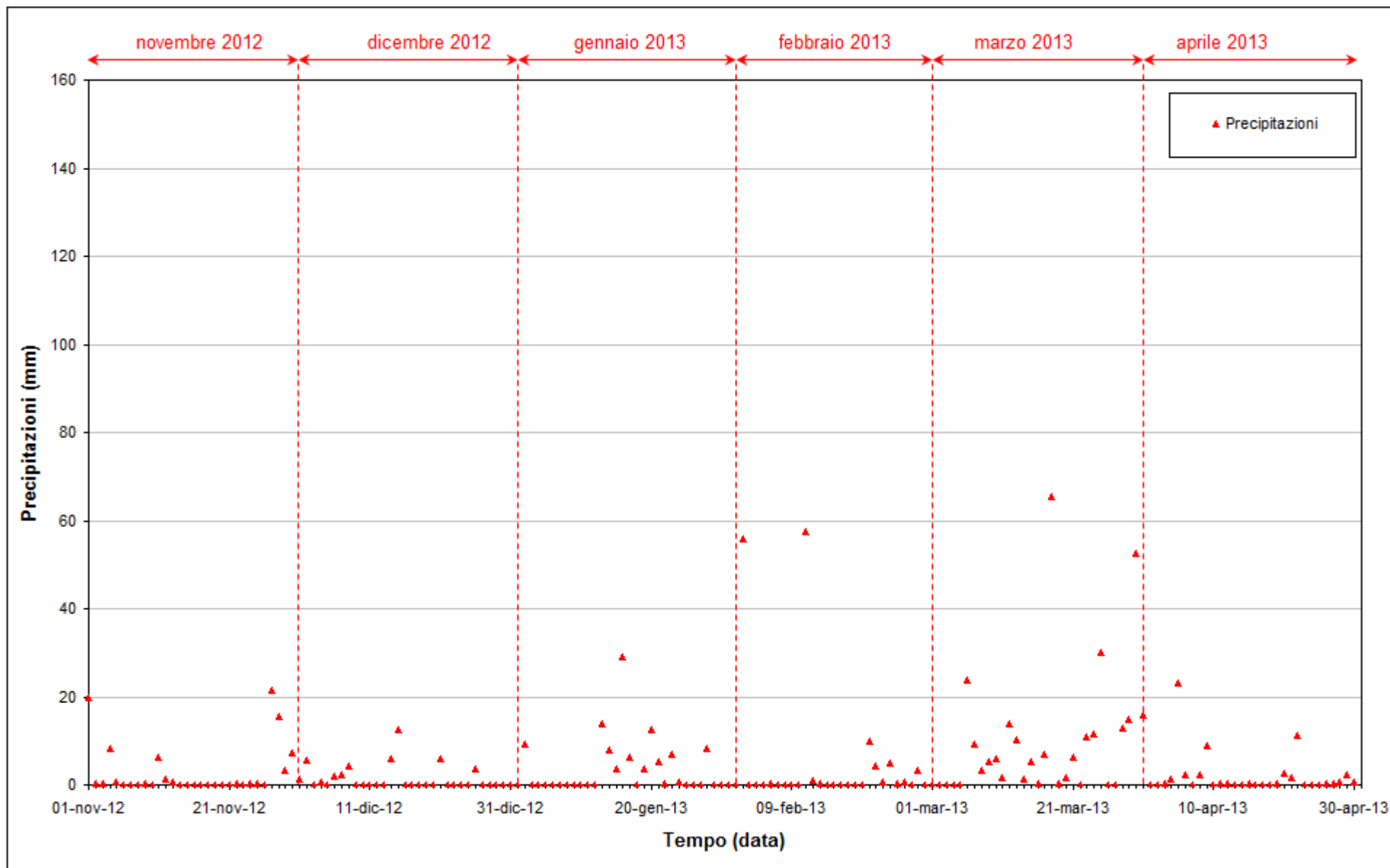


Fig. 2.4 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

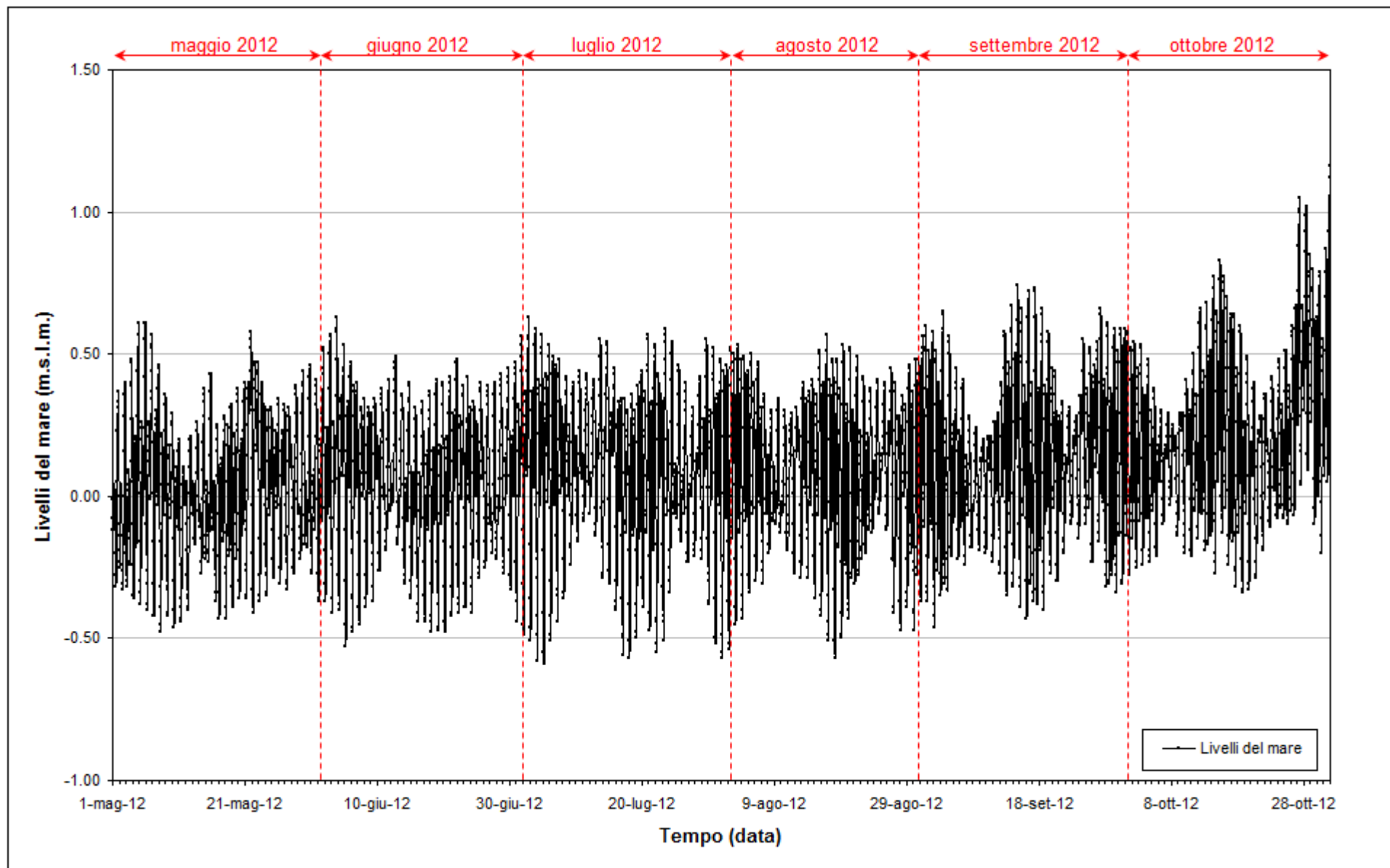


Fig. 2.5 - Livello del mare misurato in corrispondenza dei mareografi "Burano" (01/05/12-30/06/12) e "Diga Sud Lido" (01/07/12-30/04/13).



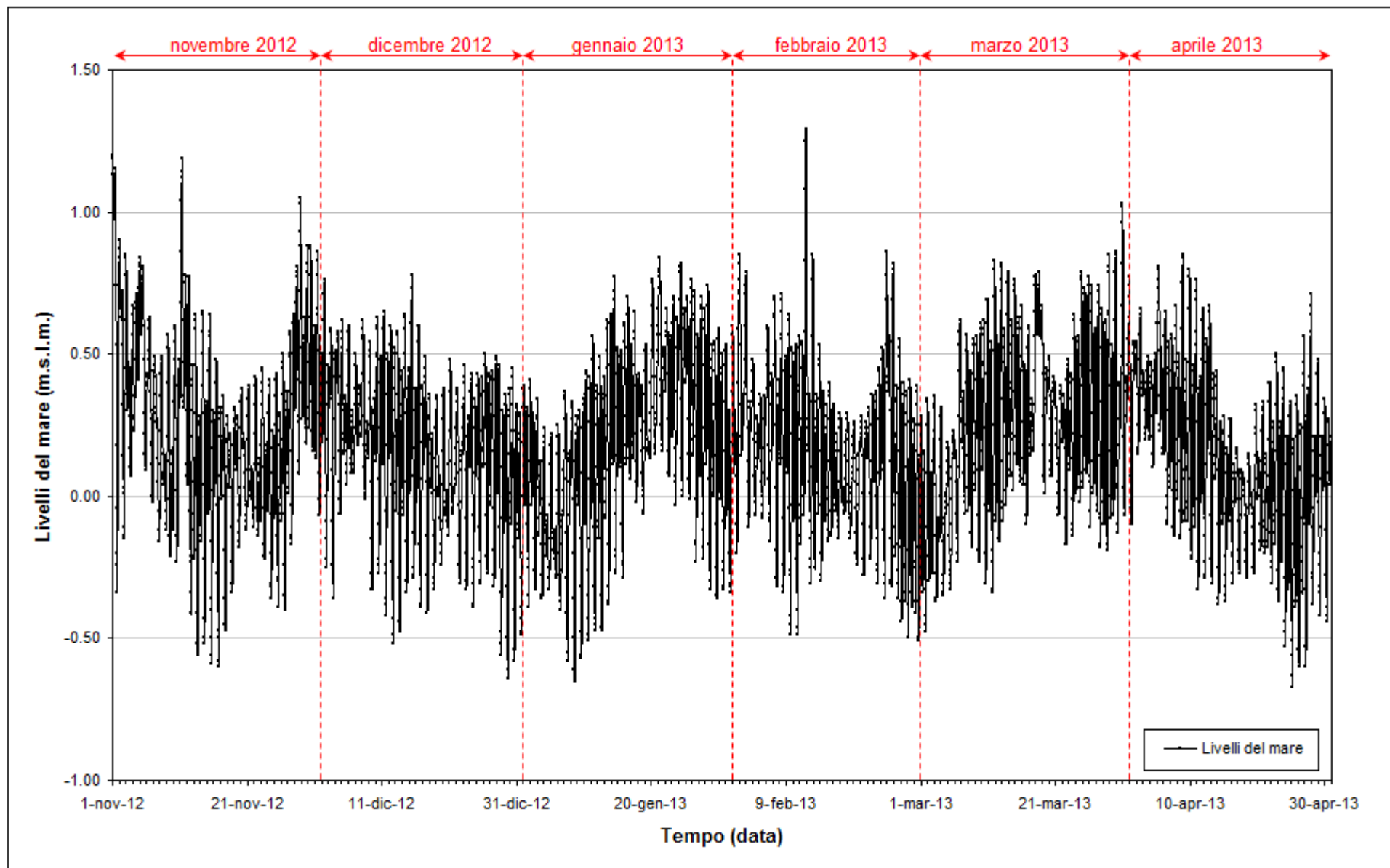


Fig. 2.6 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo "Diga Sud Lido" nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

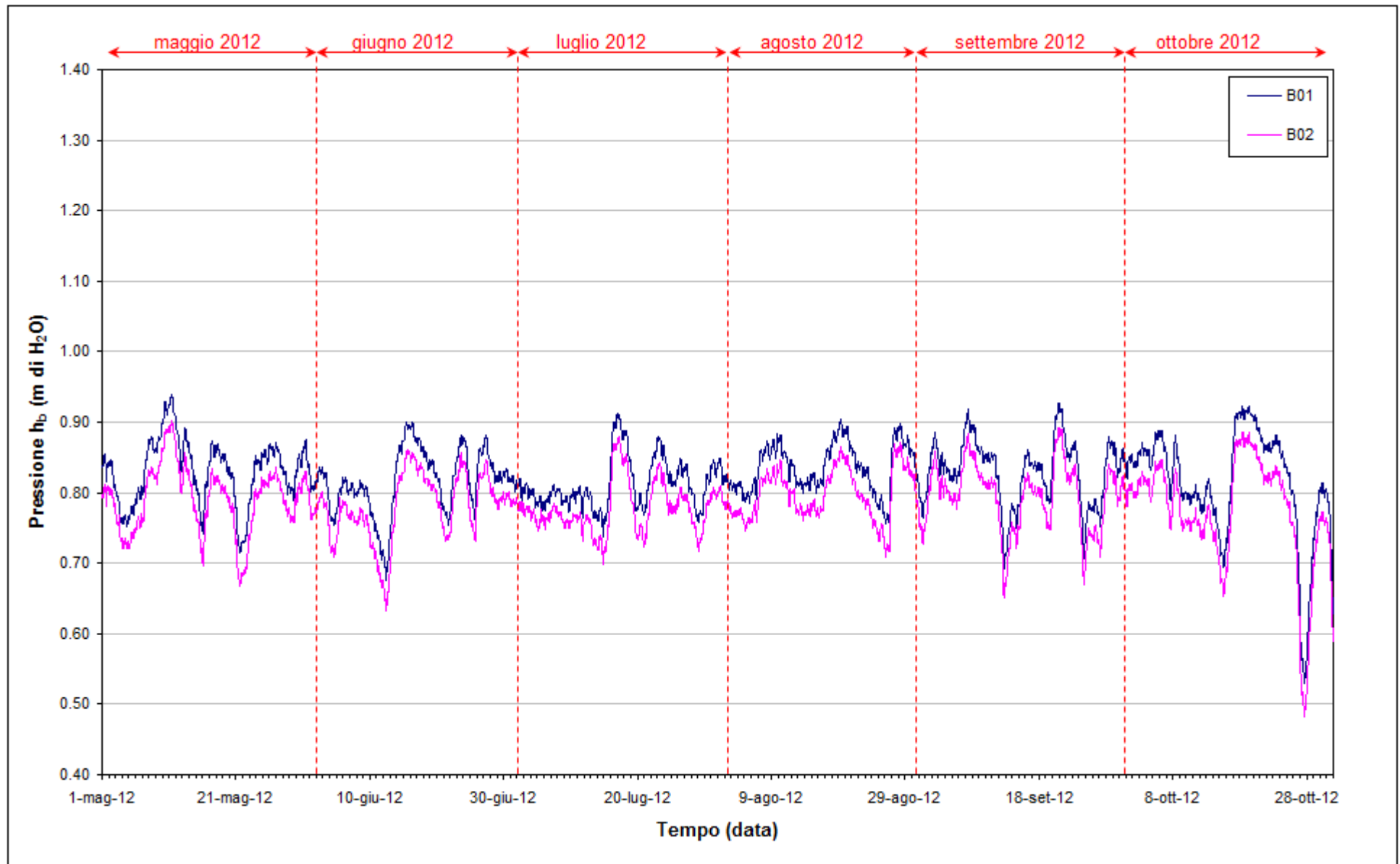


Fig. 2.7 - Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 ( $h_b$ ) nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

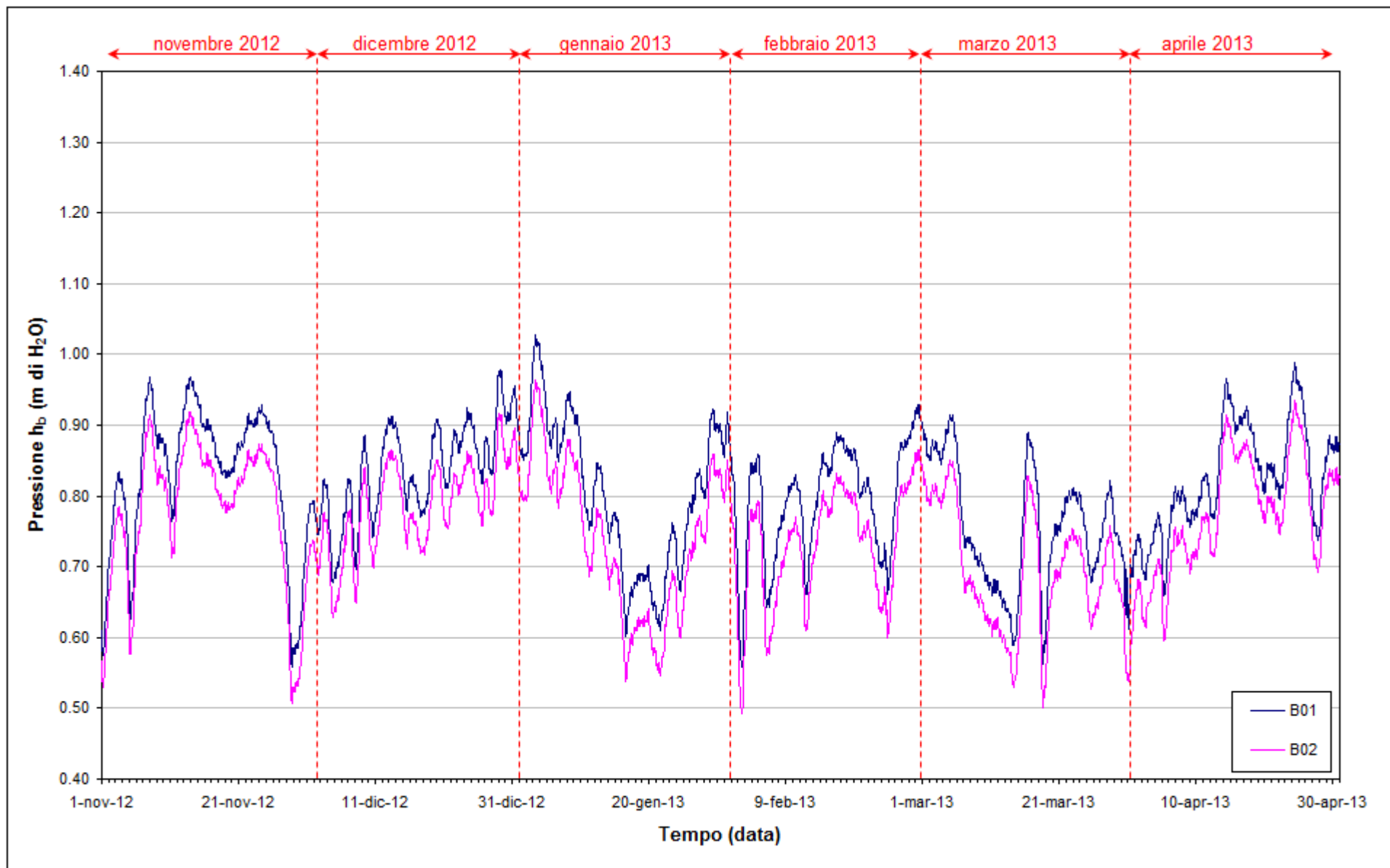


Fig. 2.8 - Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 ( $h_b$ ) nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

### **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).

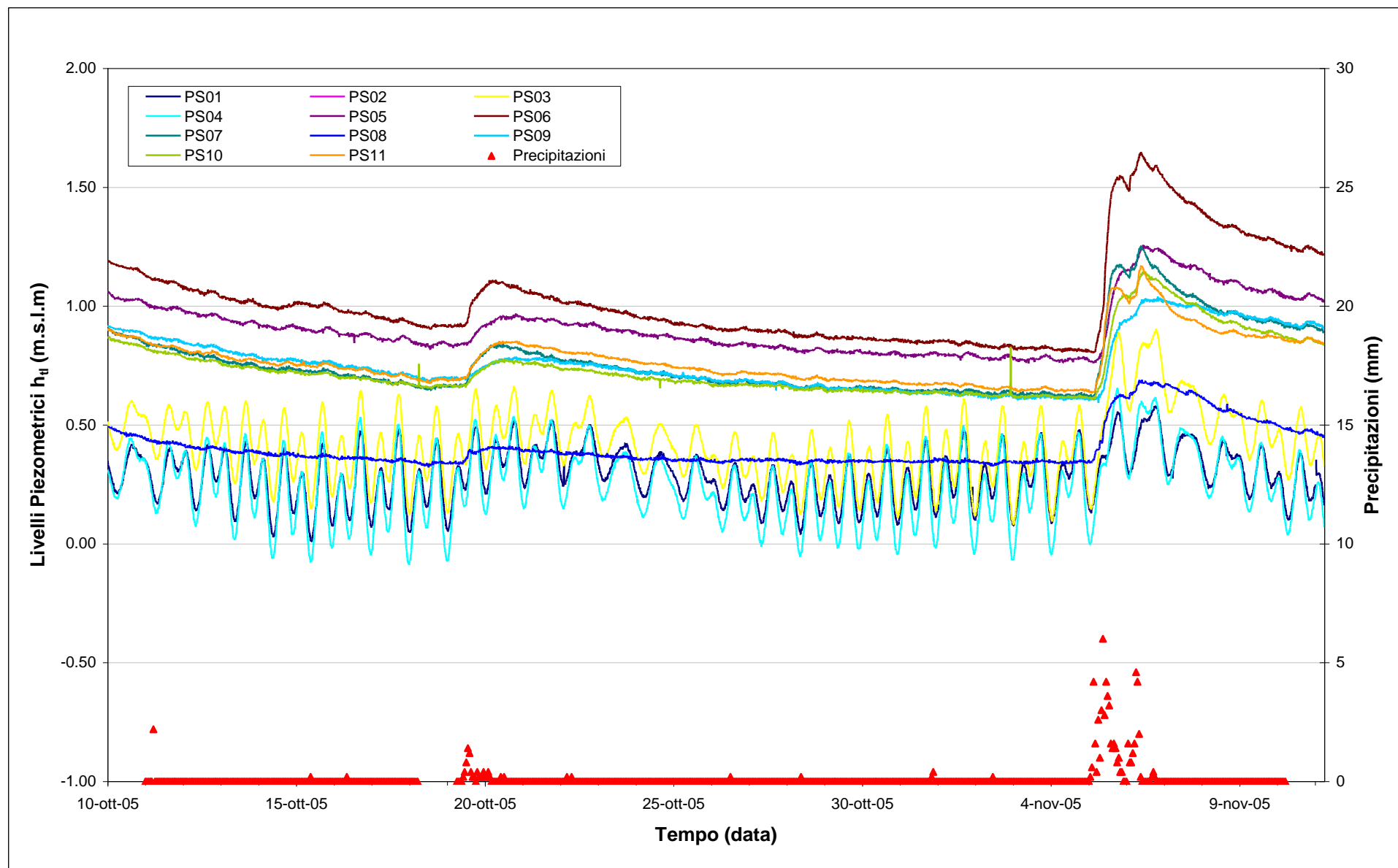
Nelle Figg.2.10-2.11 è rappresentato l'andamento complessivo degli undici piezometri superficiali e delle precipitazioni durante il periodo di monitoraggio, mentre nelle Figg.2.12÷2.33 sono rappresentati singolarmente i livelli assoluti di ciascun piezometro, associati alle relative soglie di Alto e 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 osserva un forte incremento dei livelli di falda superficiale nei piezometri interni (PS05÷11) e in quelli posti a ridosso della barriera impermeabile della tura (PS03 e PS04). In particolare, l'aumento di livello è compreso tra 30÷40 cm (PS03, PS04) e 50÷55 cm (PS05, PS06, PS09, PS10) ed è attribuibile alle intense precipitazioni registrate durante la seconda parte dell'anno monitorato (novembre 2012 - aprile 2013: 747.2 mm, a fronte di una media per questo periodo pari a 366.2 mm nel periodo 1992÷2012. fonte: stazione meteorologica "ARPAV - Cavallino Treporti").

I dati del piezometro PS01 relativi al periodo 07/04/13-30/04/13 non sono disponibili a causa di un guasto al trasduttore di misura del livello.

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

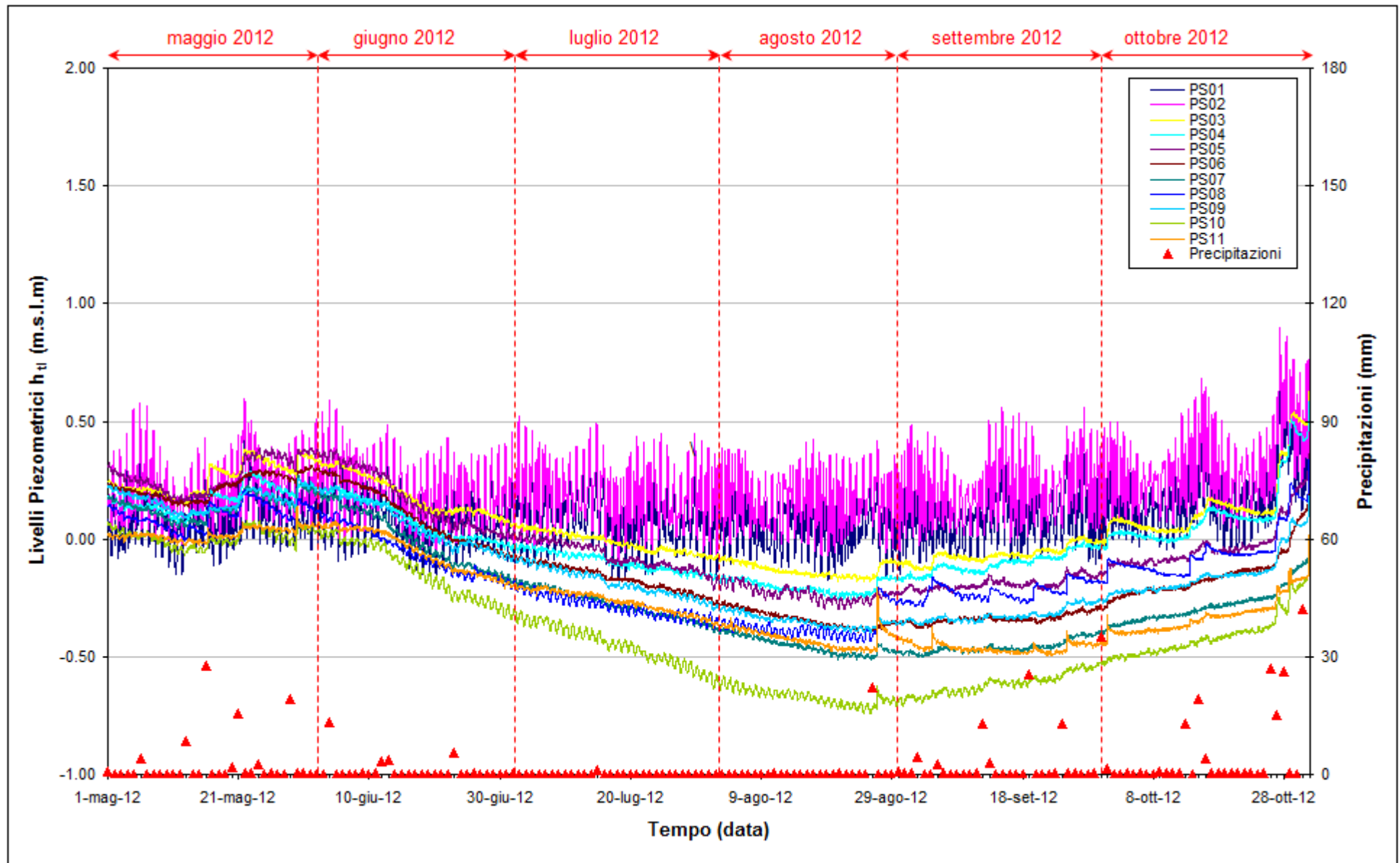


Fig. 2.10 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi ai piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

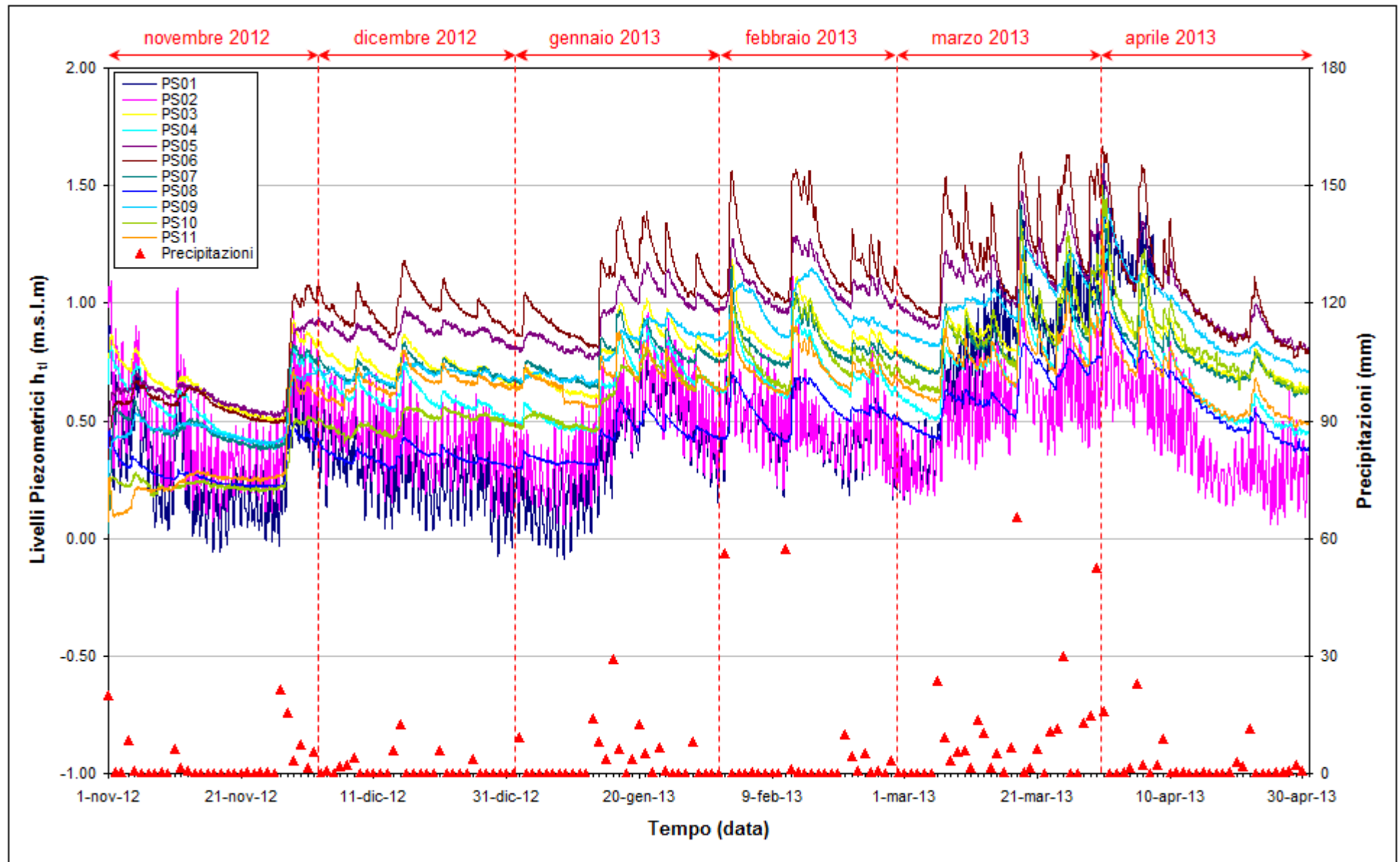


Fig. 2.11 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi ai piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

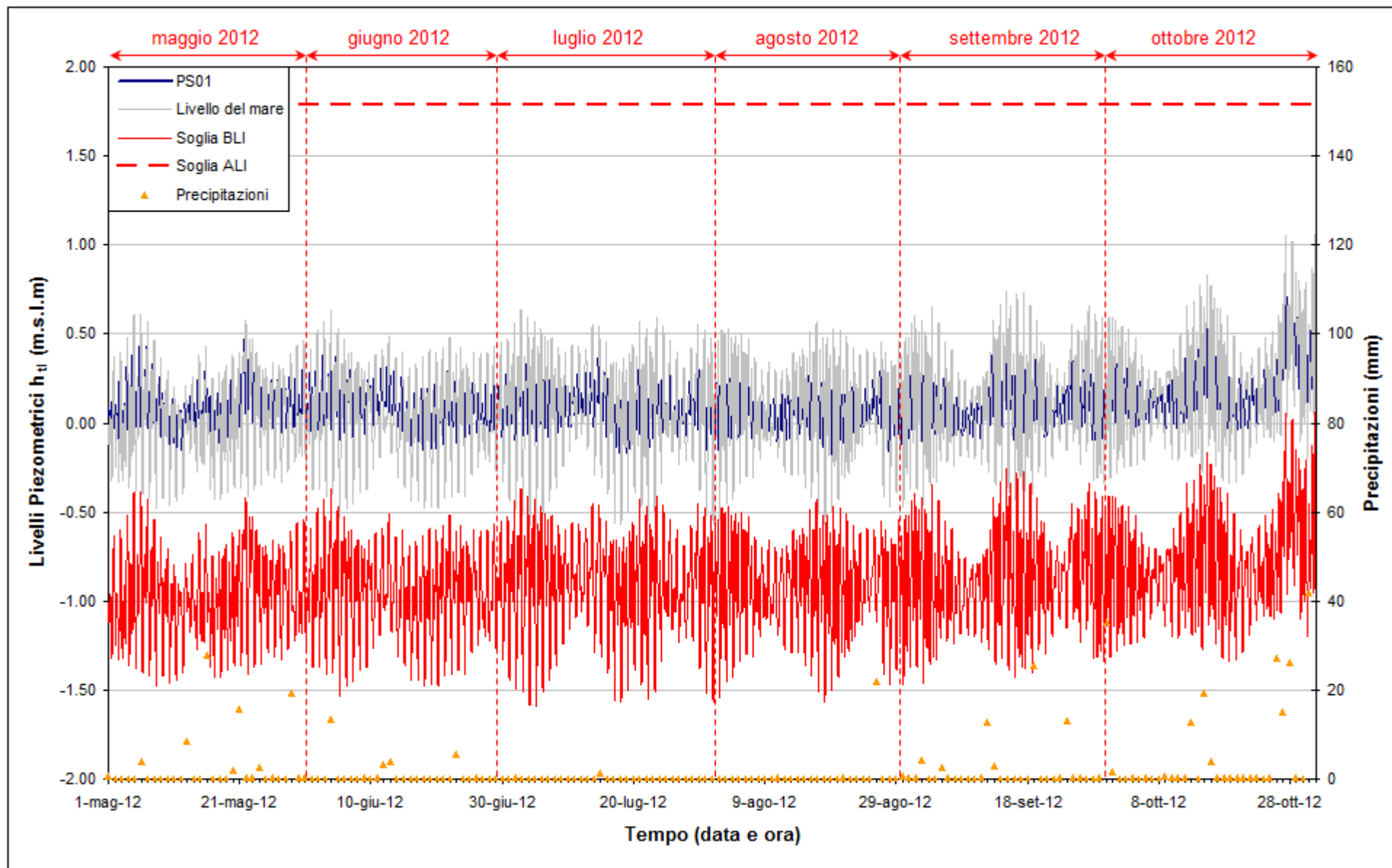


Fig. 2.12 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.



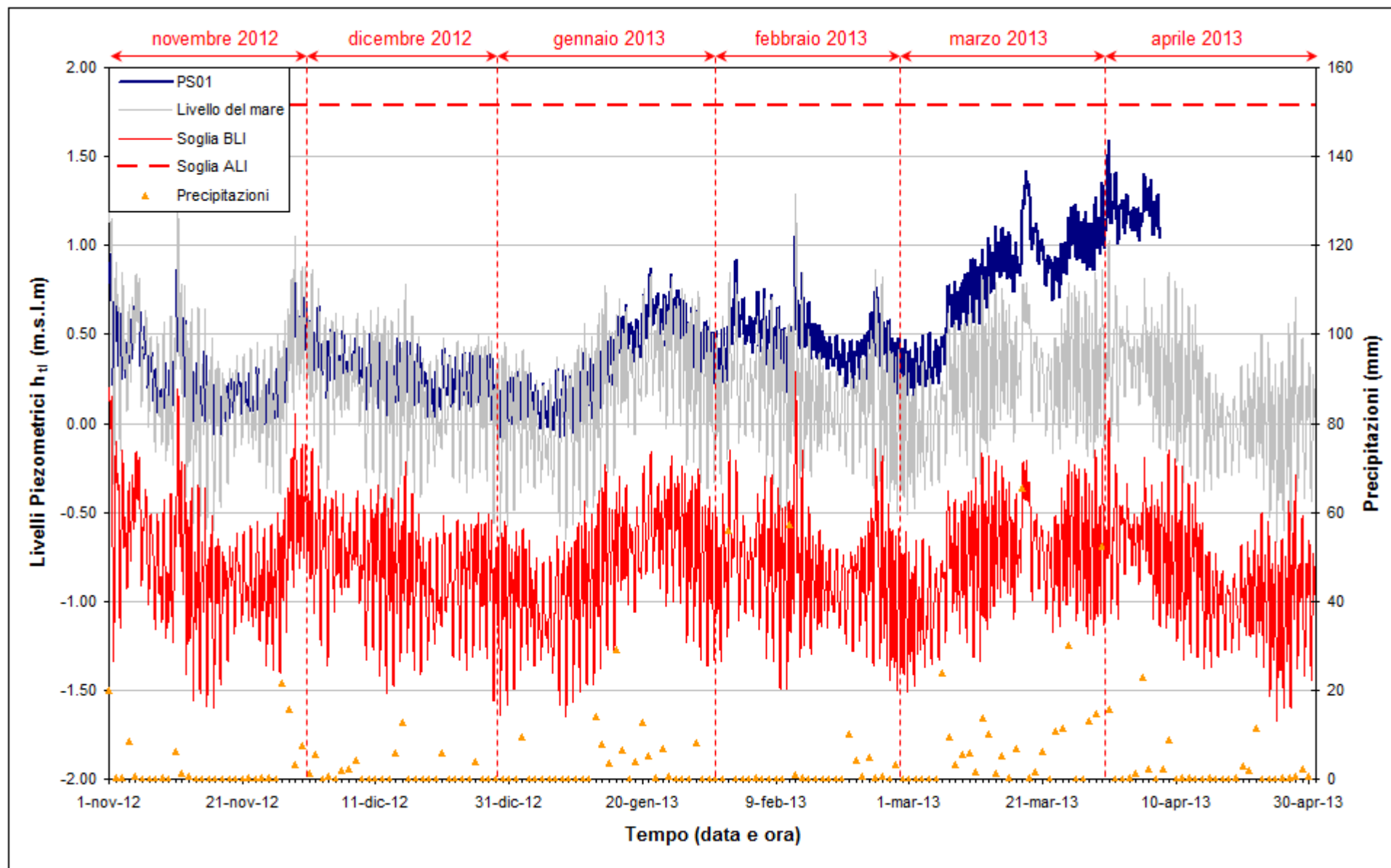


Fig. 2.13 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

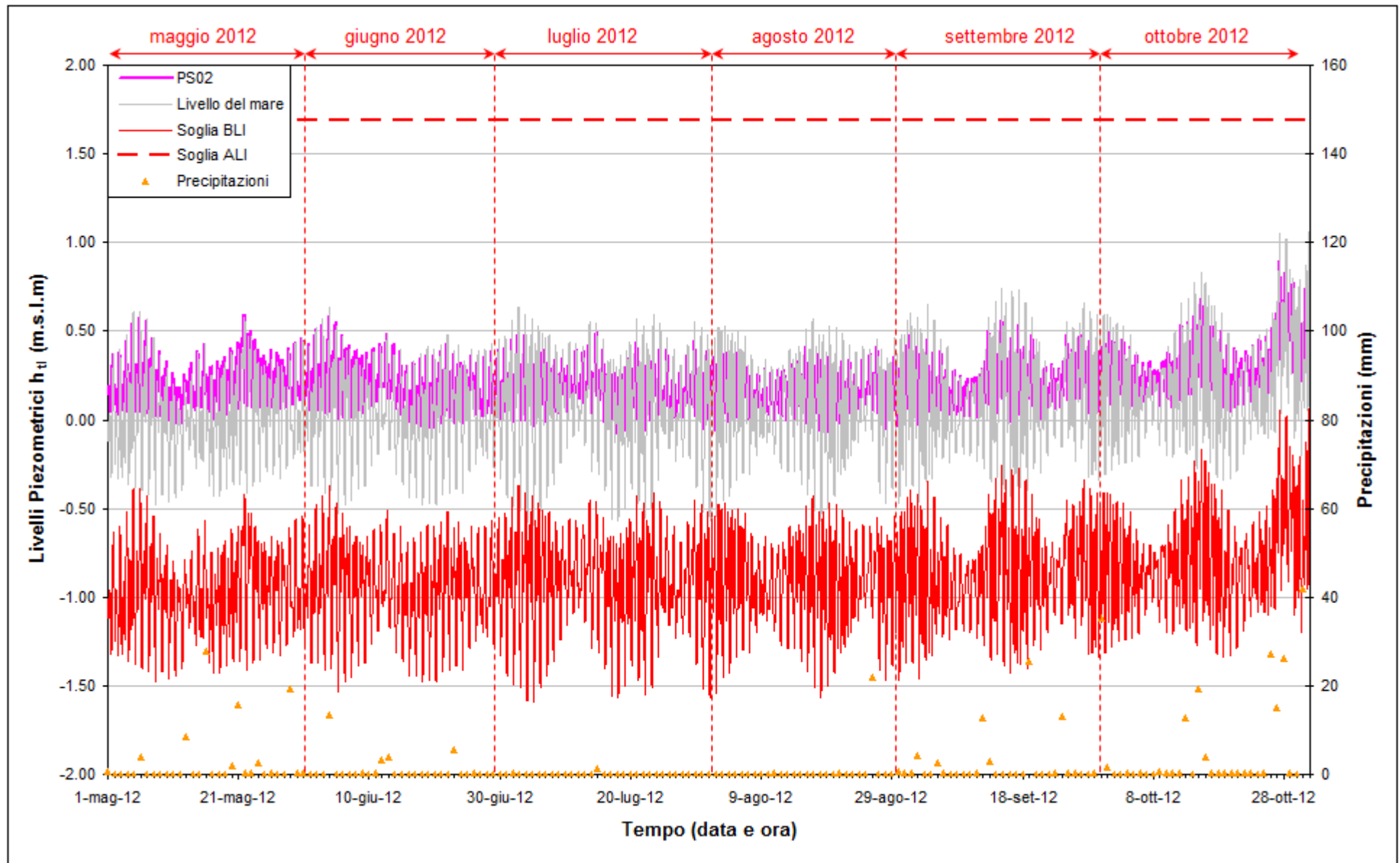


Fig. 2.14 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS02 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

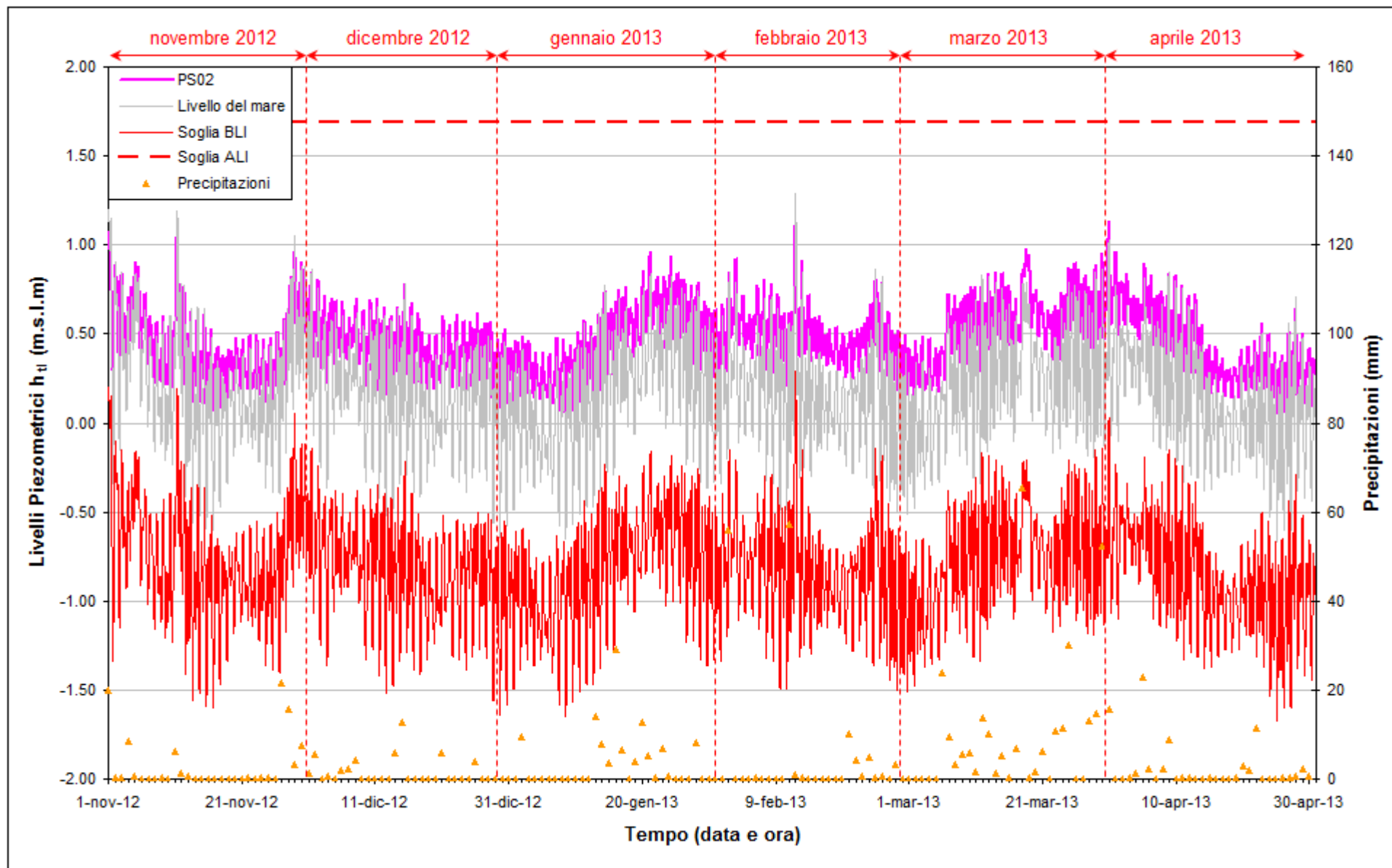


Fig. 2.15 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS02 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 – 30/04/2013.

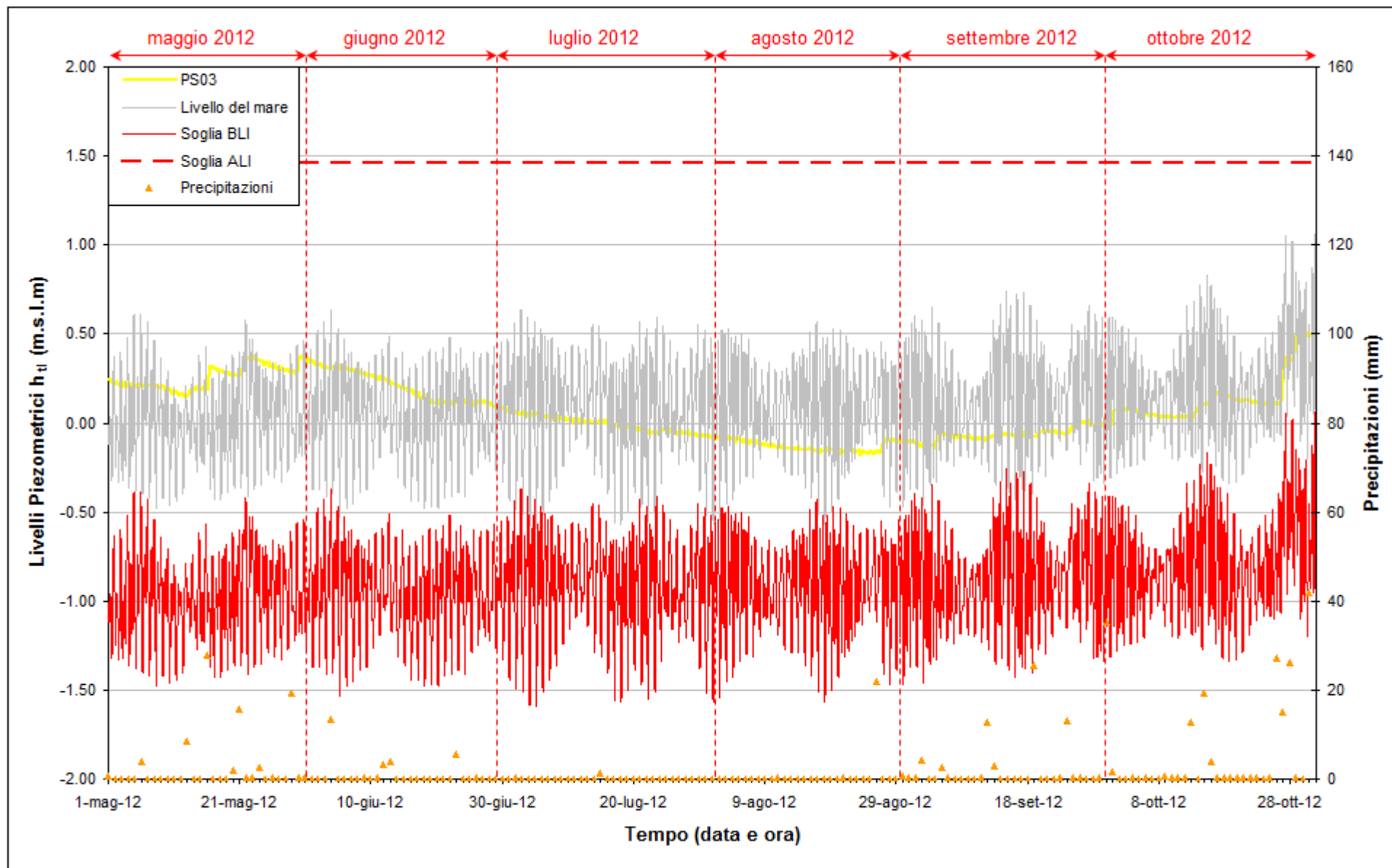


Fig. 2.16 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS03 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 – 31/10/2012.

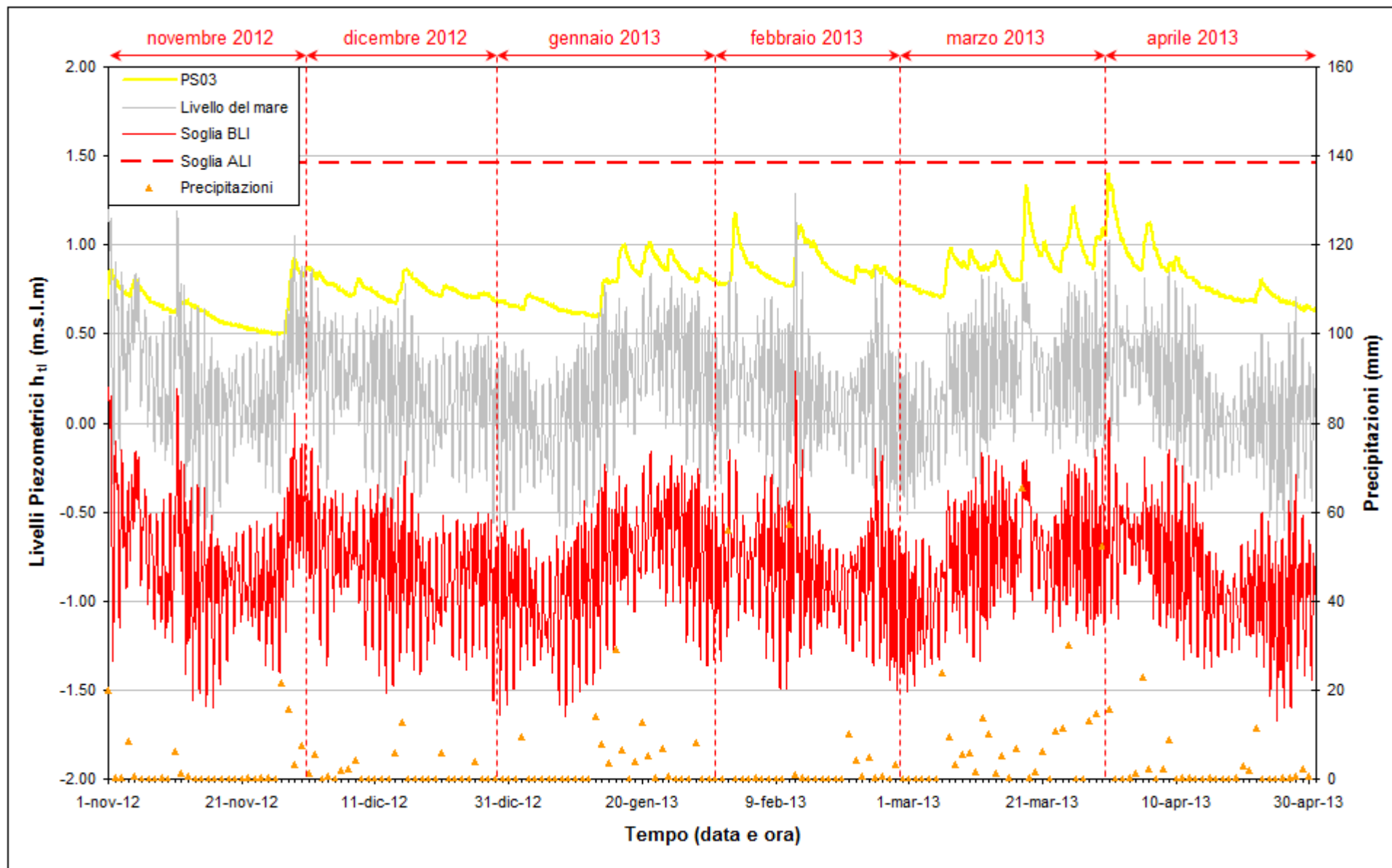


Fig. 2.17 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS03 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

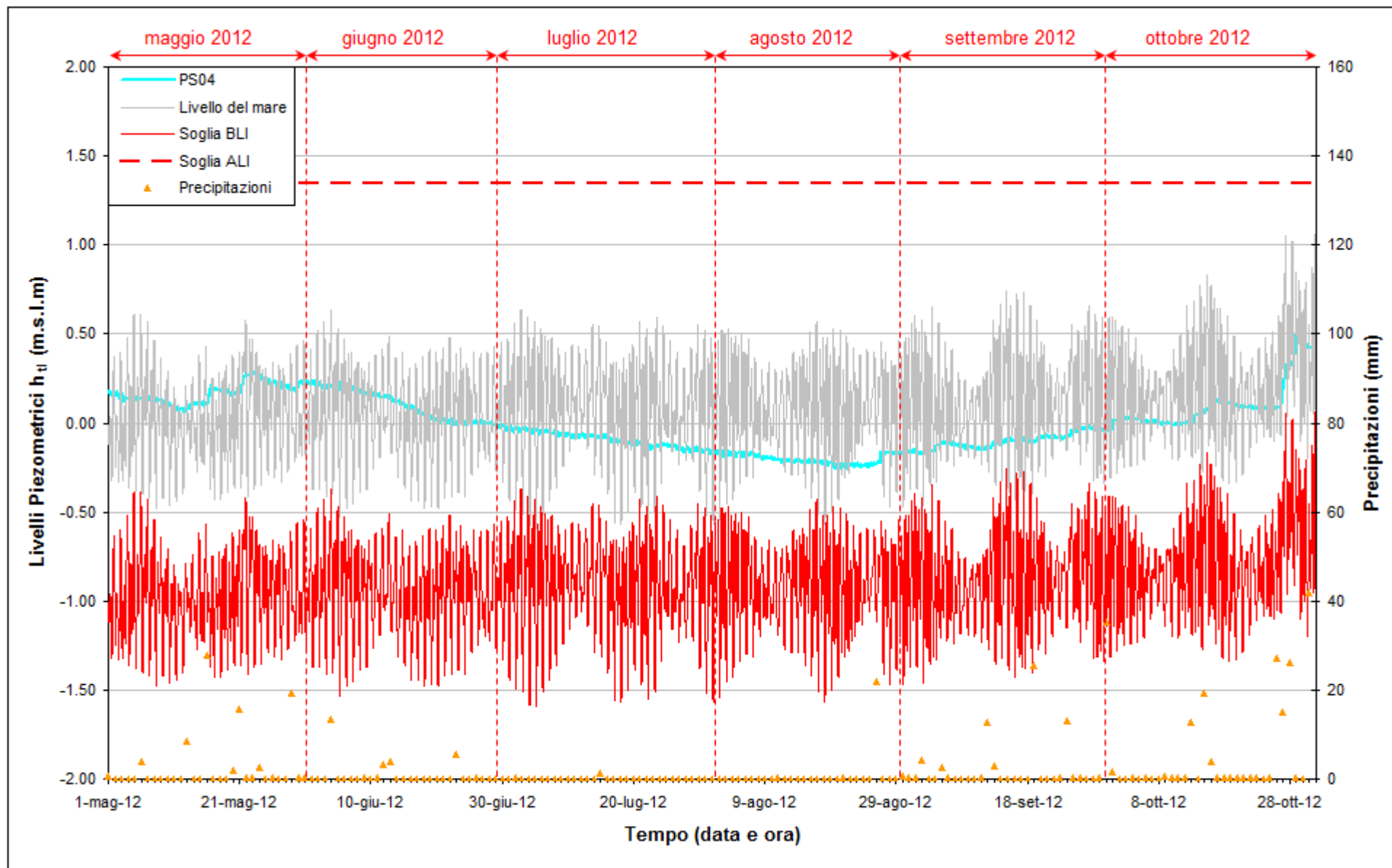


Fig. 2.18 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS04 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

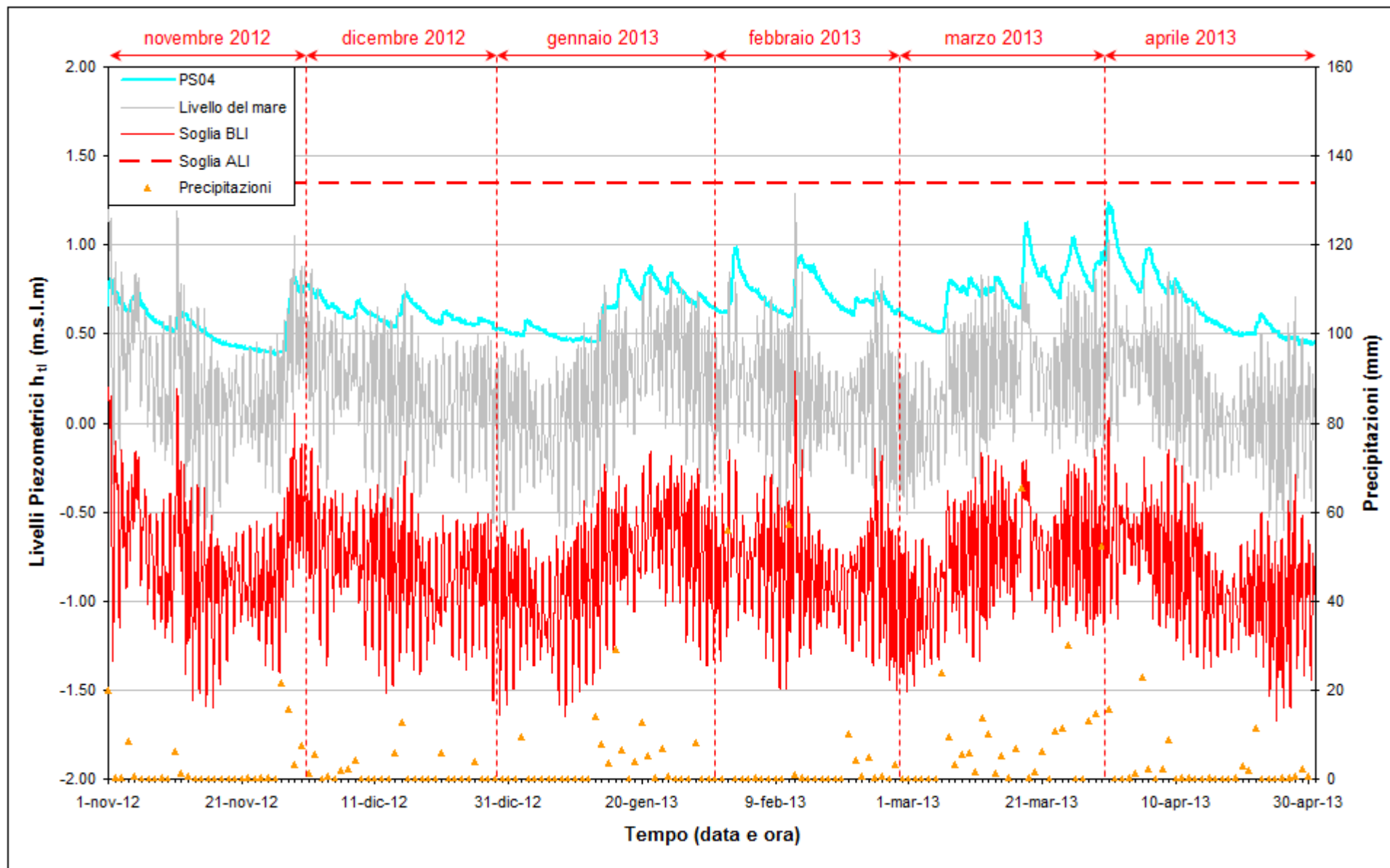


Fig. 2.19 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro superficiale PS04 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012- 30/04/2013.

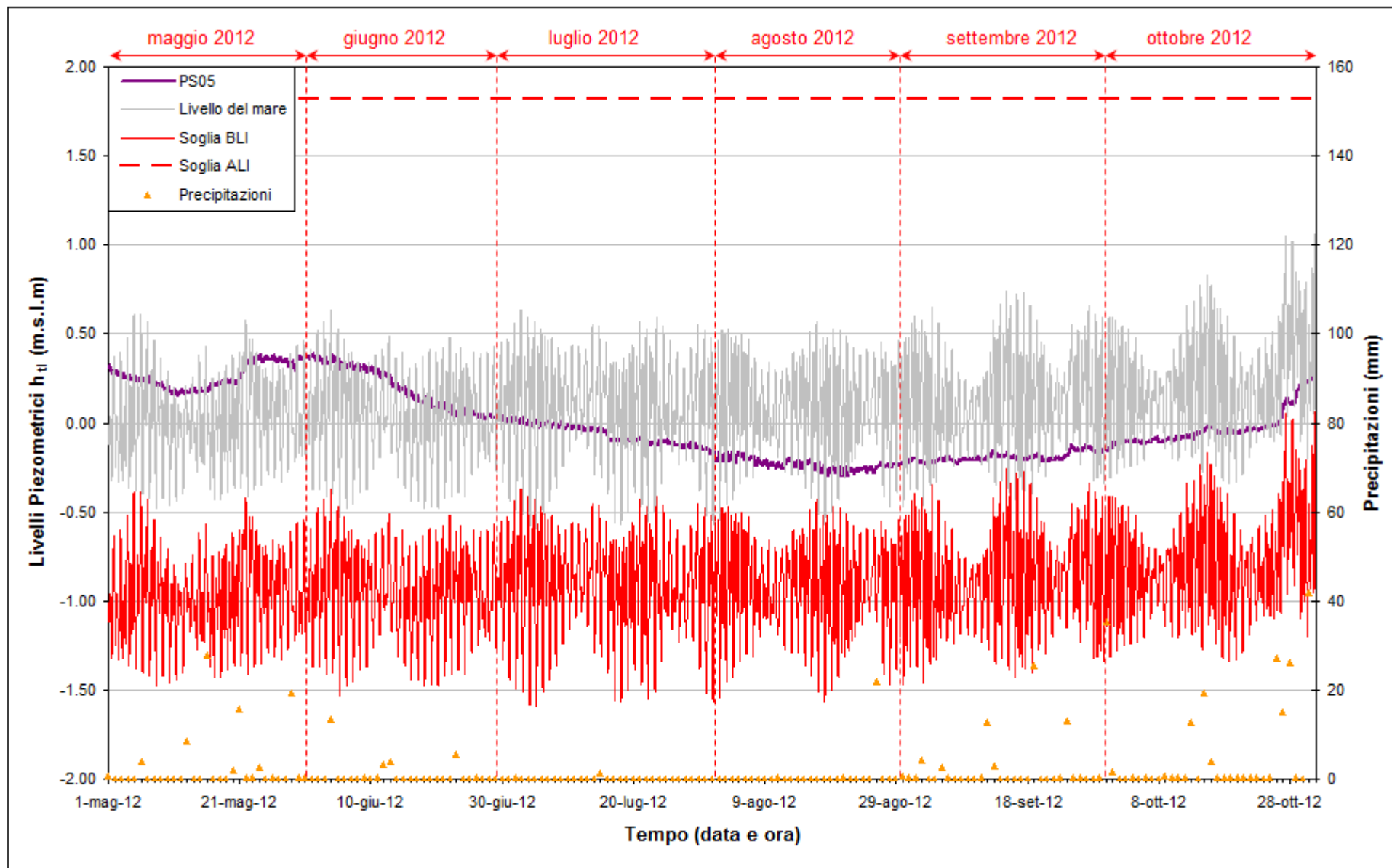


Fig. 2.20 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS05 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 – 31/10/2012.



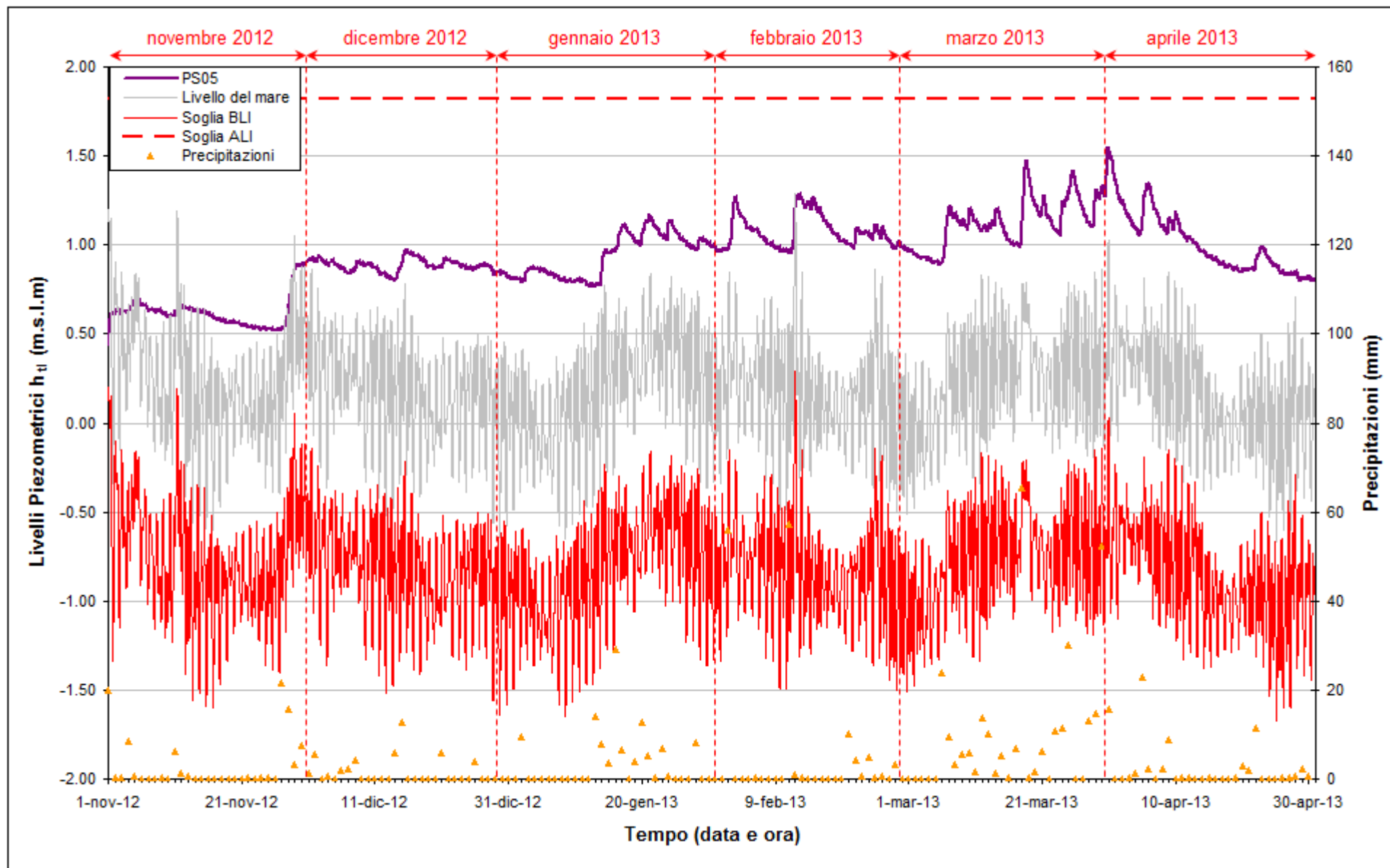


Fig. 2.21 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS05 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 – 30/04/2013.

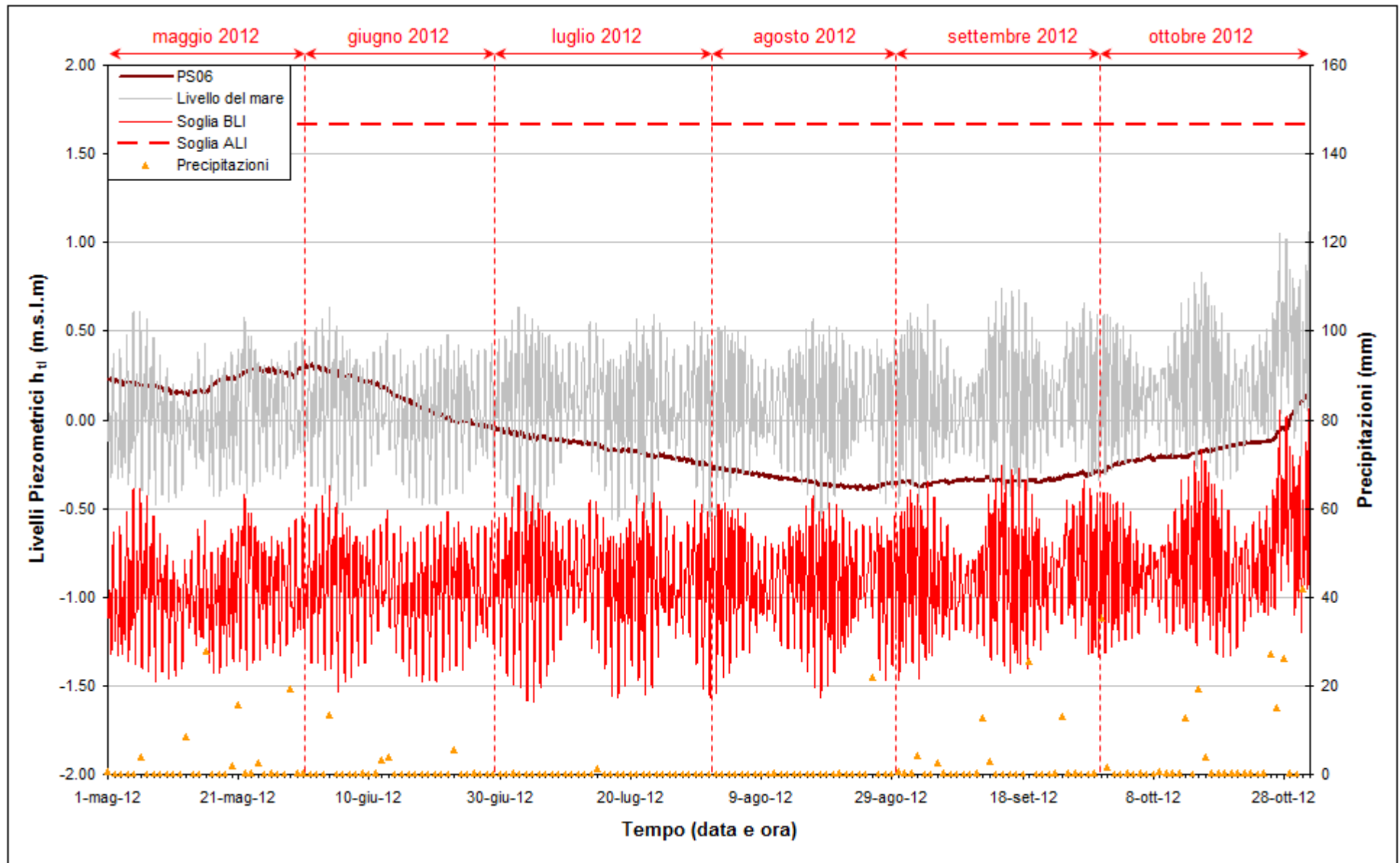


Fig. 2.22 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS06 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

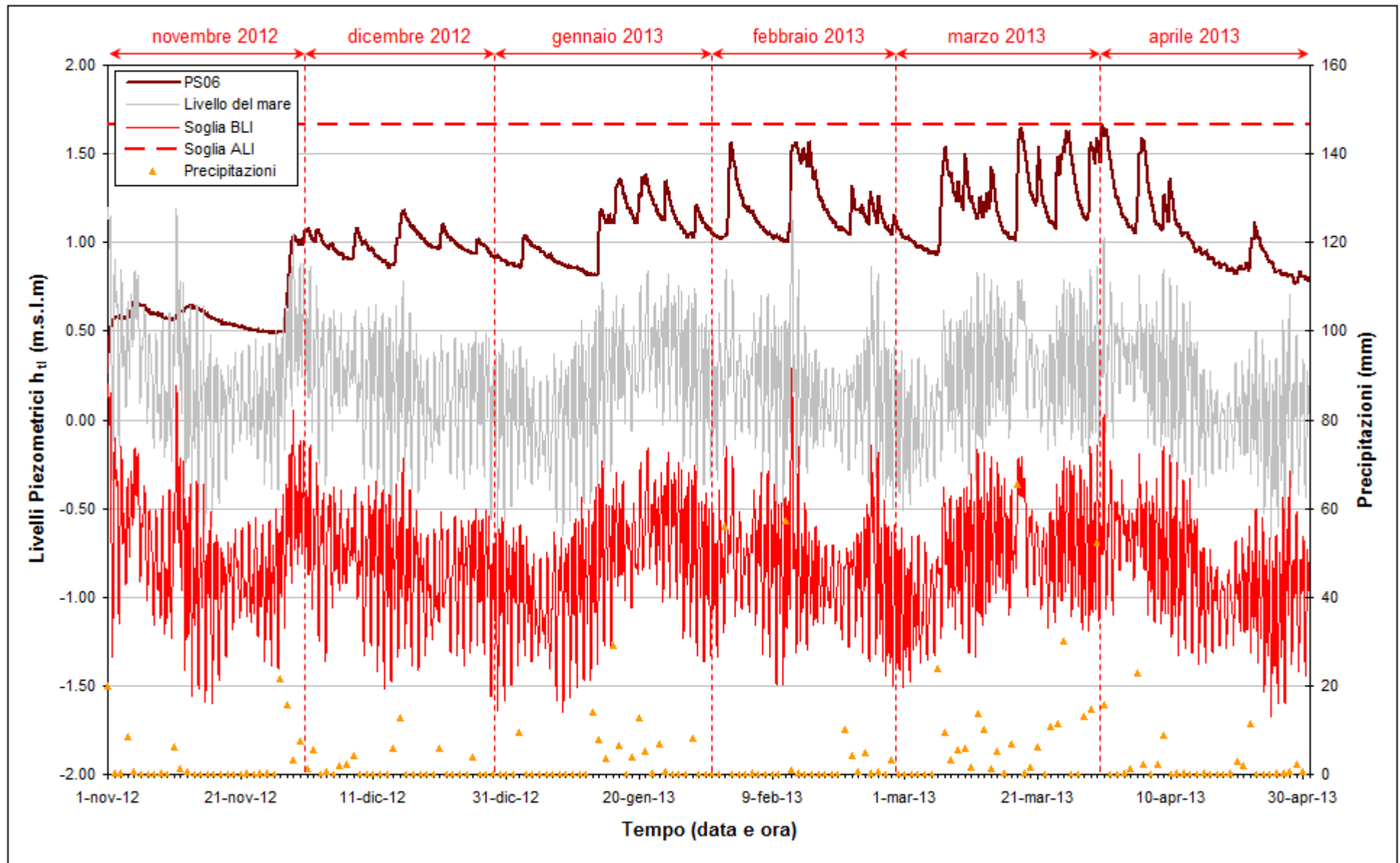


Fig. 2.23 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro superficiale PS06 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012- 30/04/2013.

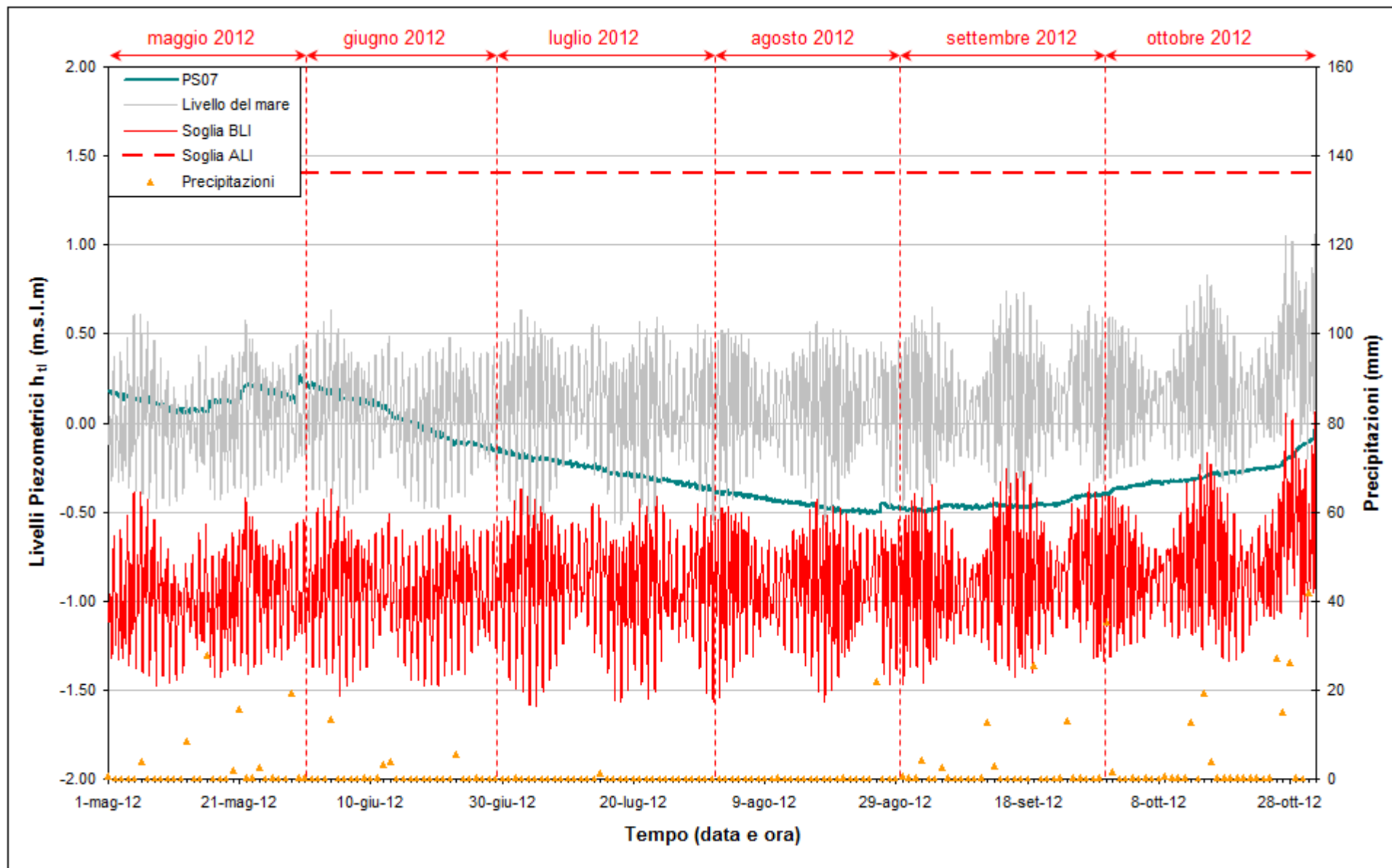


Fig. 2.24 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS07 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

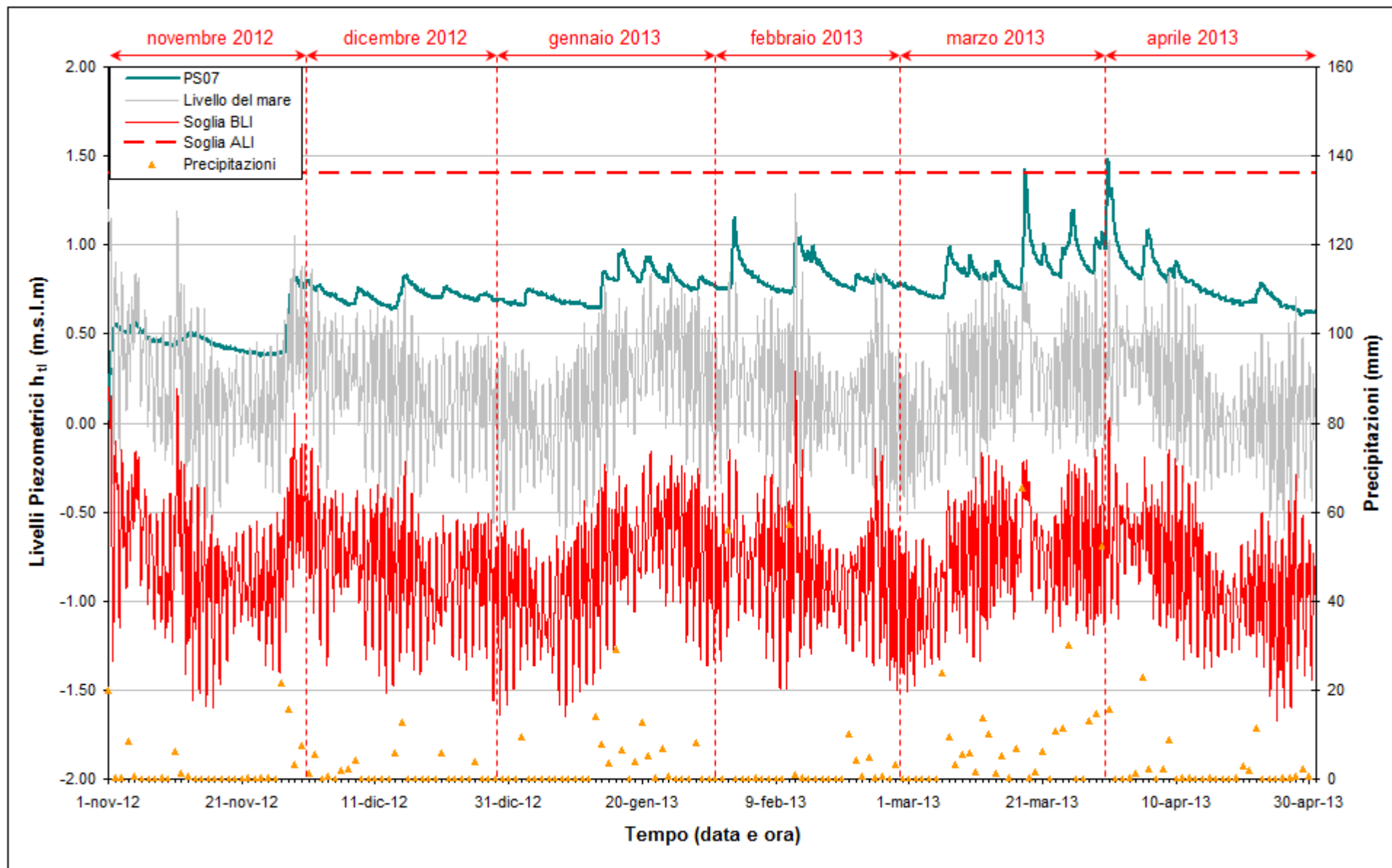


Fig. 2.25 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS07 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 – 30/04/2013.

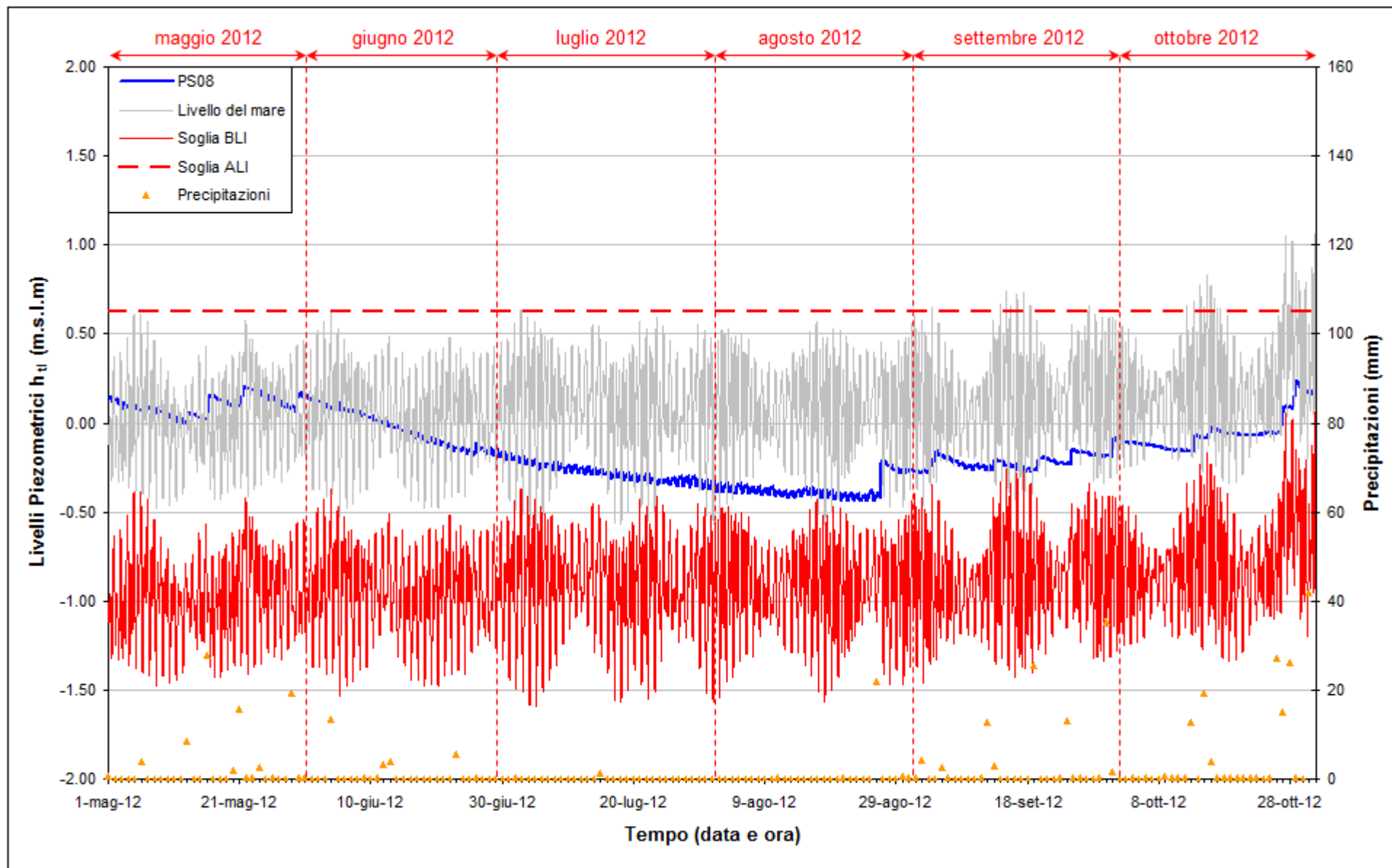


Fig. 2.26 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS08 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

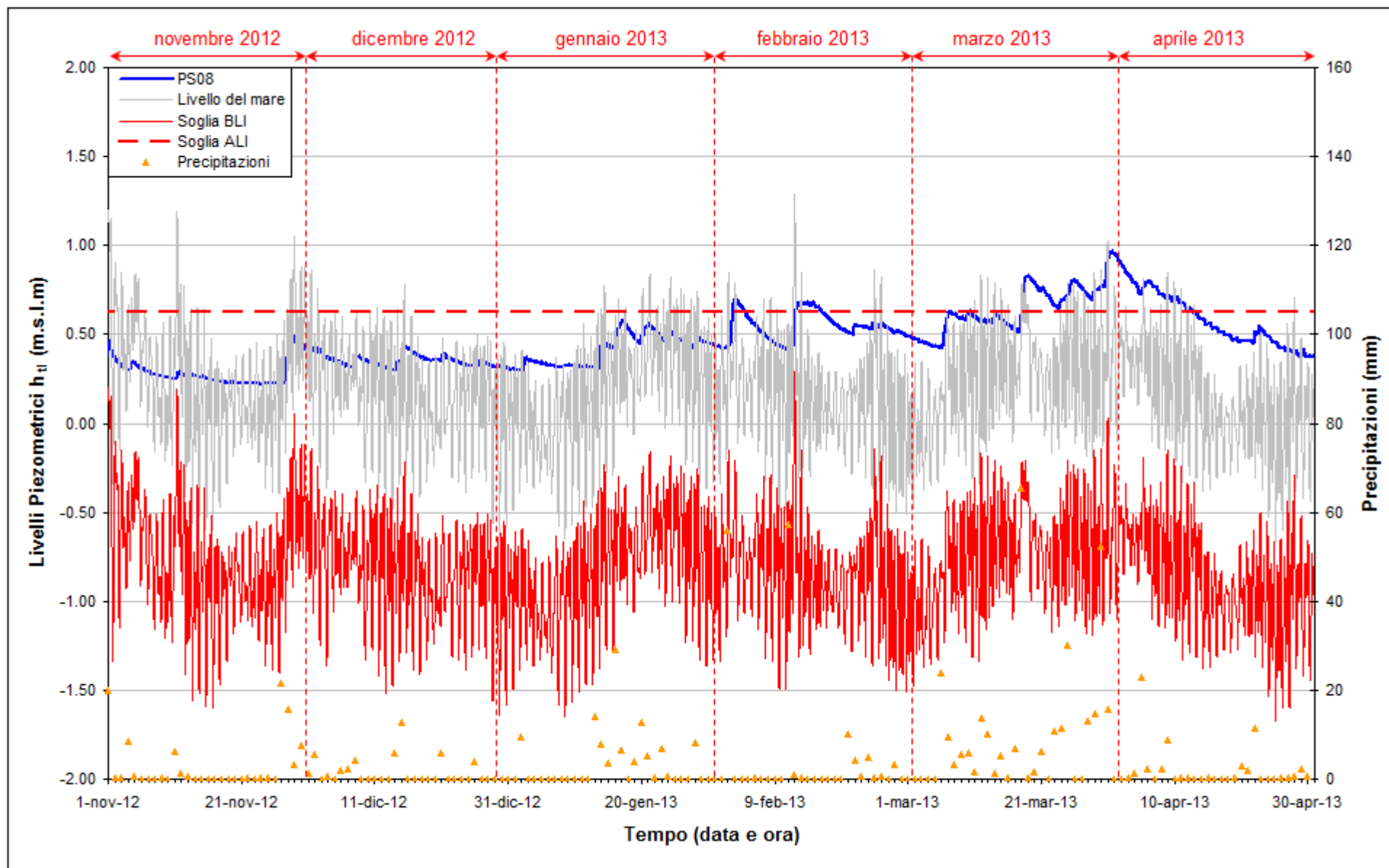


Fig. 2.27 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS08 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

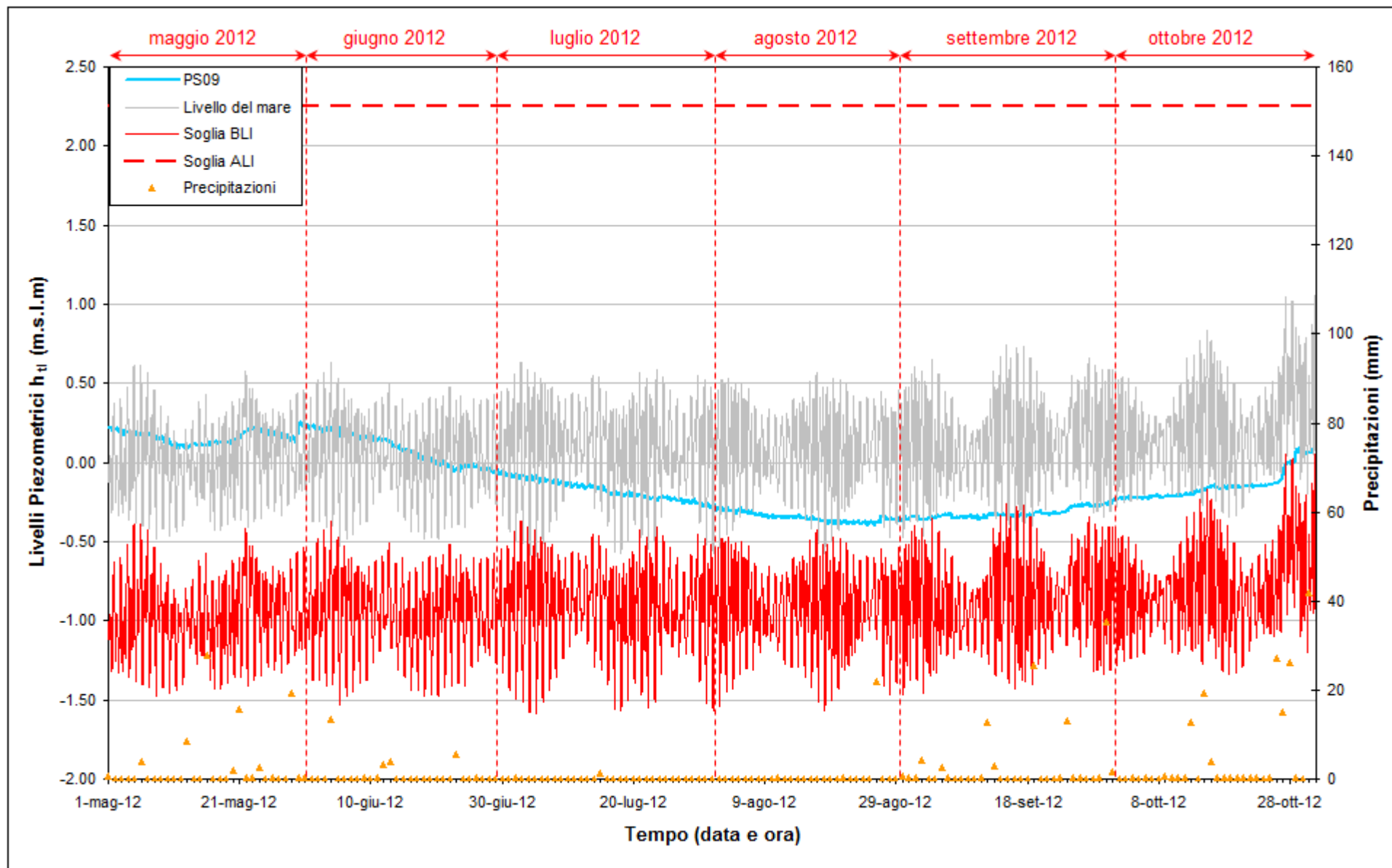


Fig. 2.28 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS09 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.



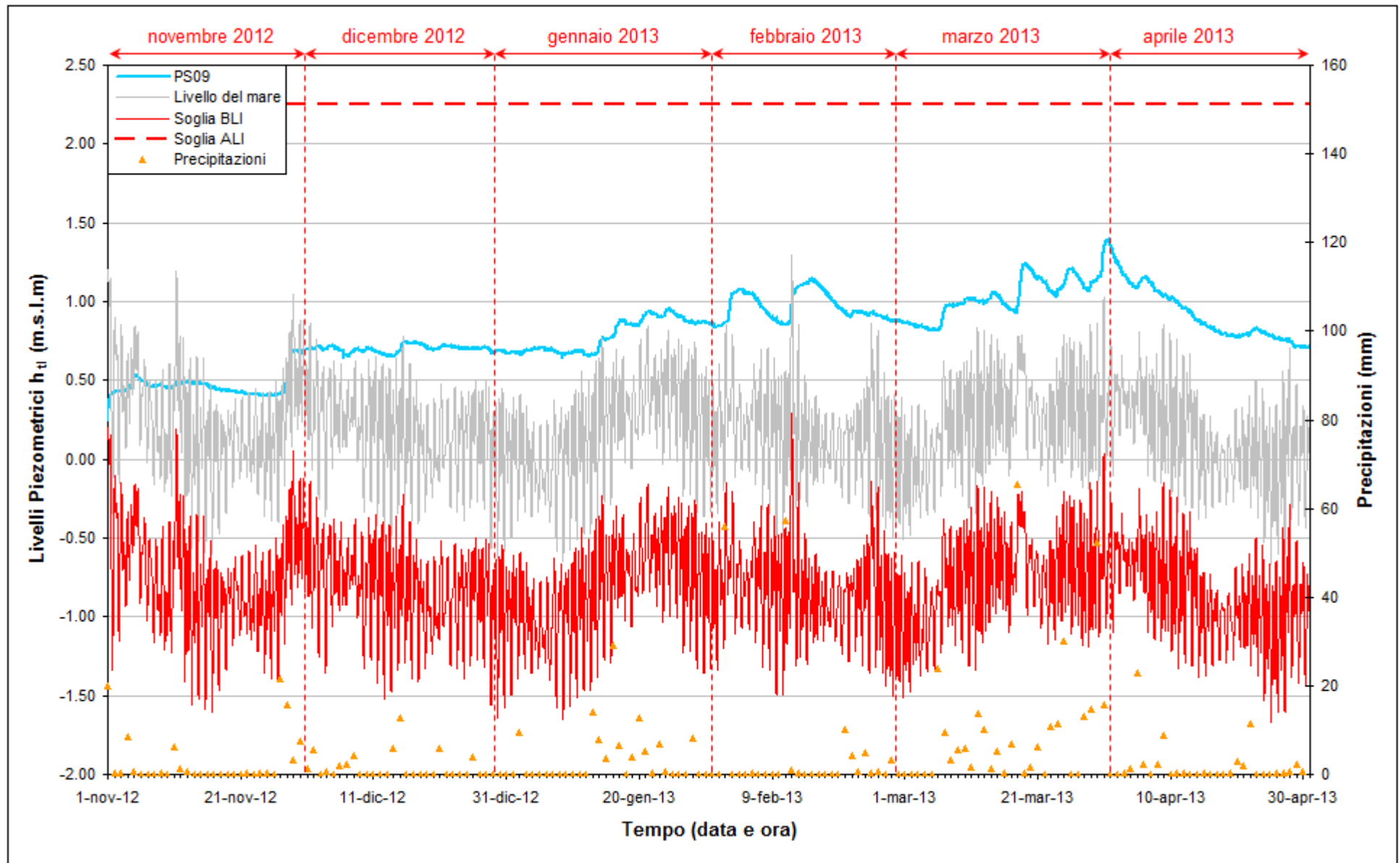


Fig. 2.29 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS09 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 – 30/04/2013.

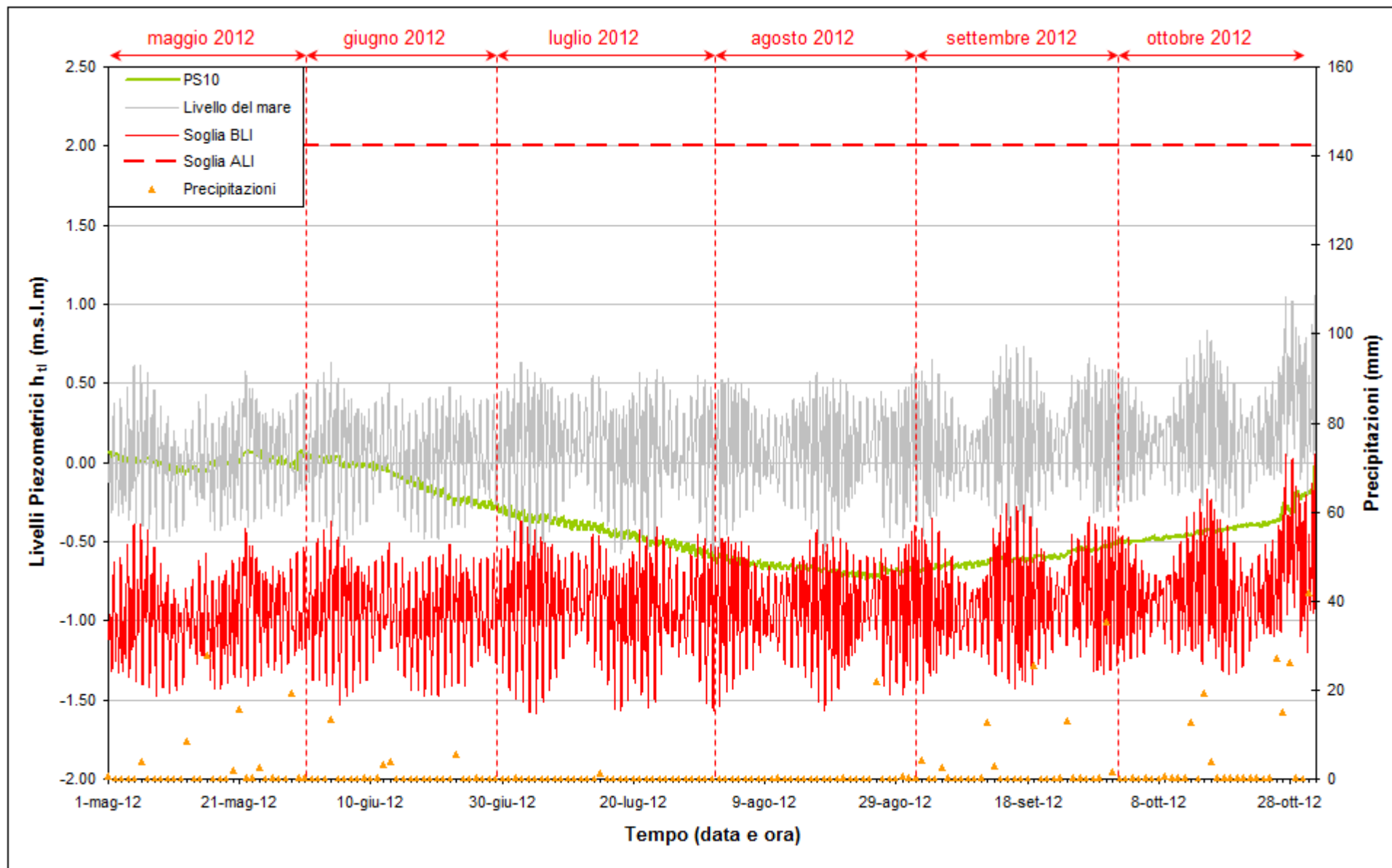


Fig. 2.30 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS10 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 – 31/10/2012.

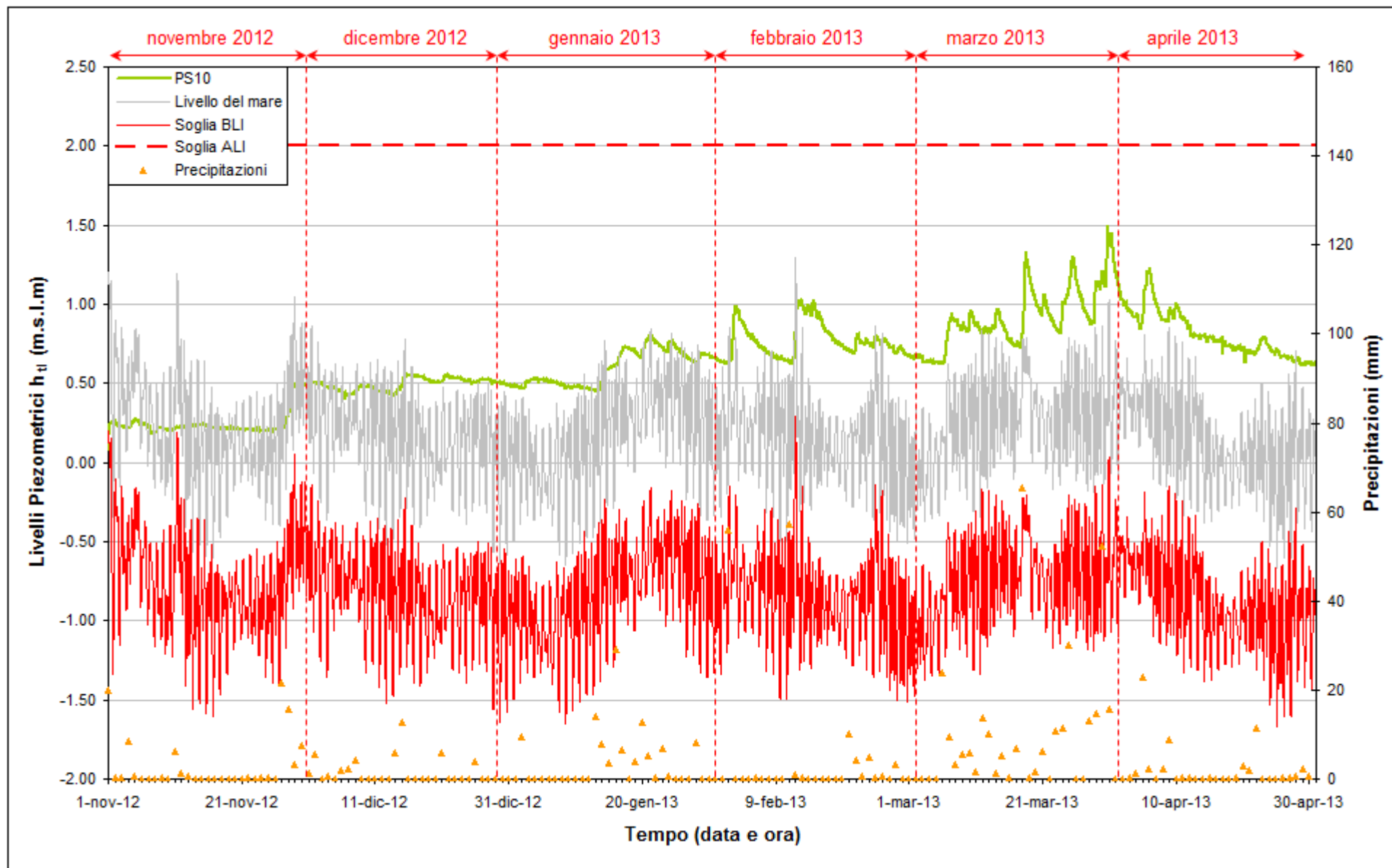


Fig. 2.31 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS10 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 – 30/04/2013.

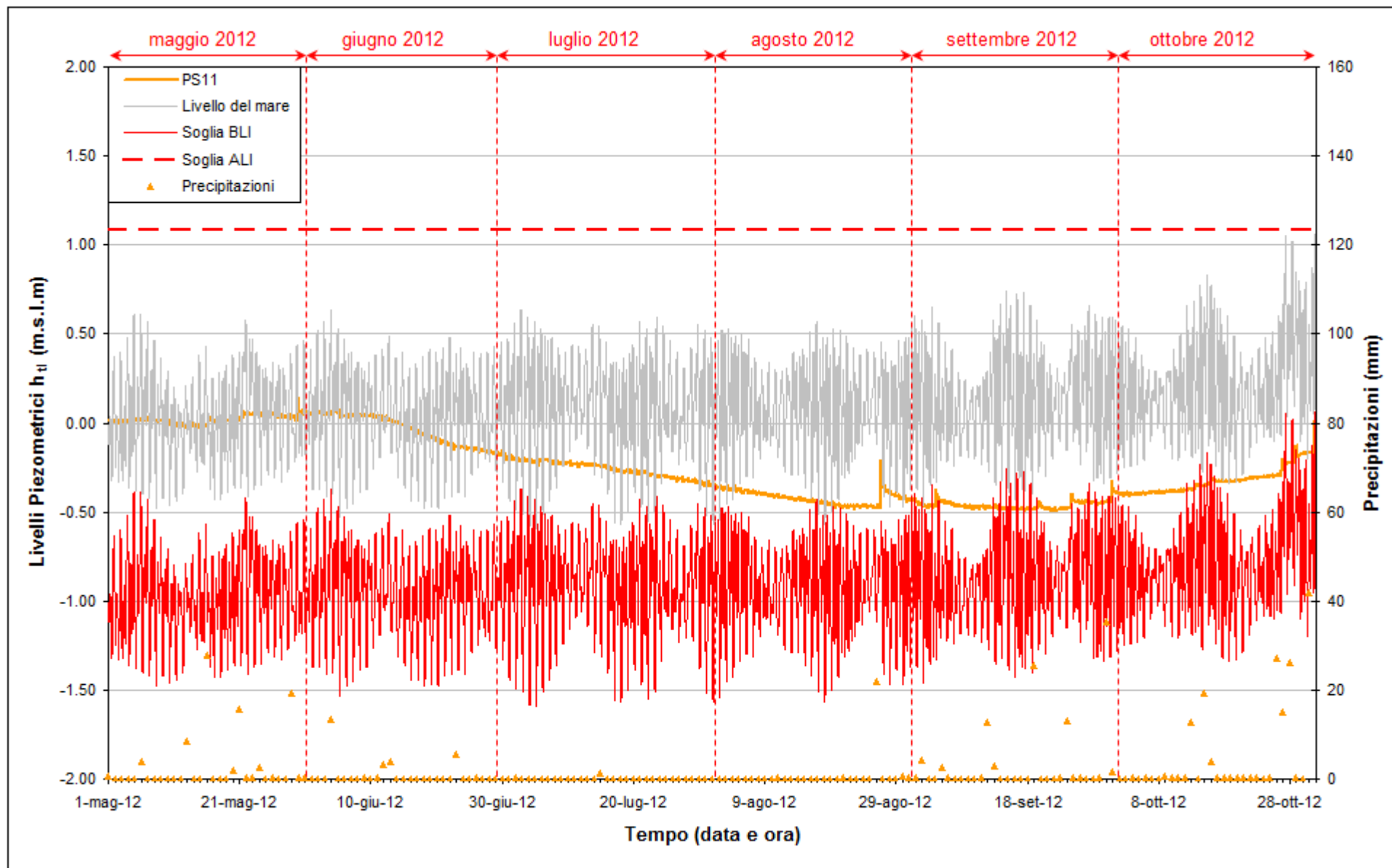


Fig. 2.32 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS11 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 – 31/10/2012.

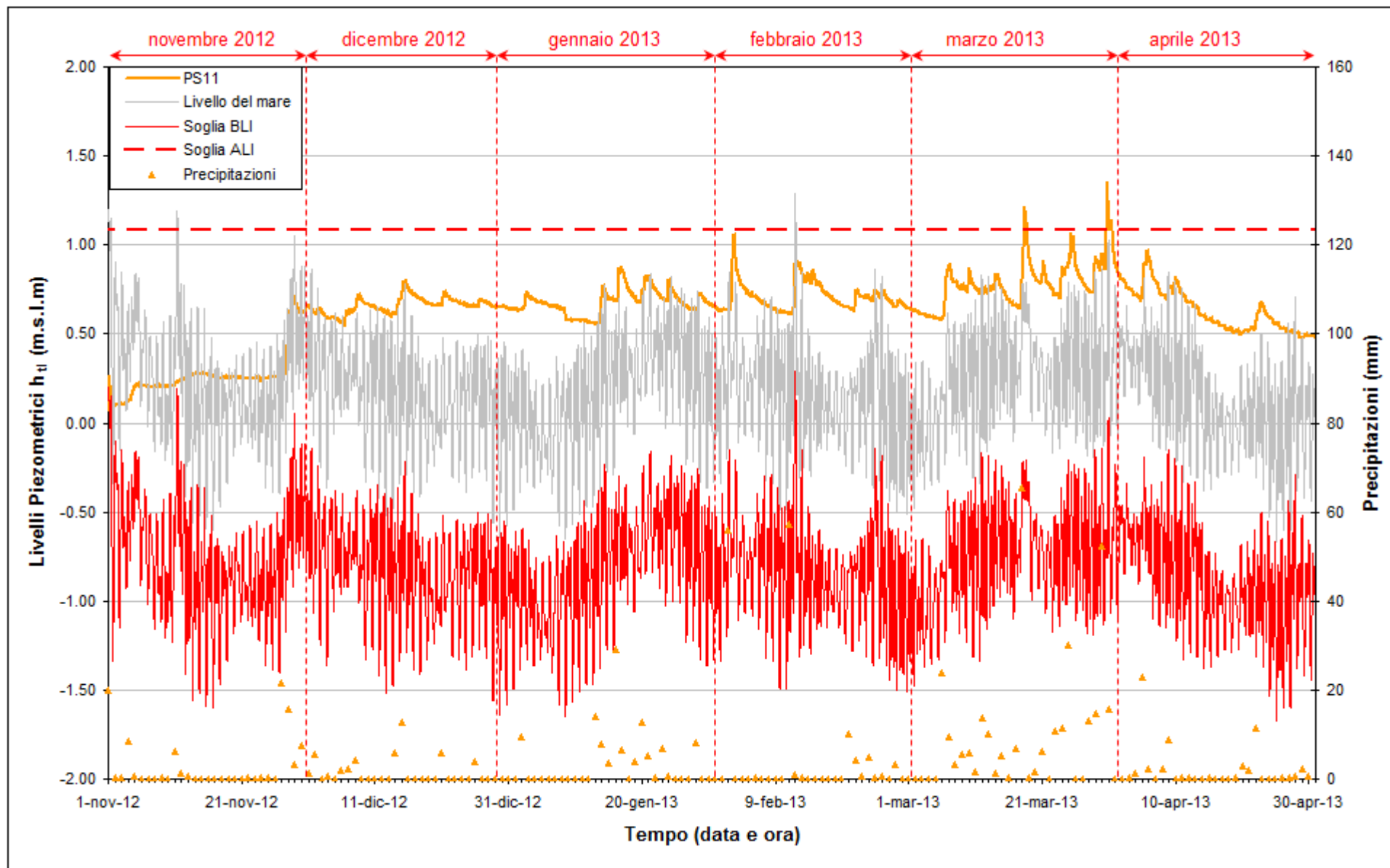


Fig. 2.33 – Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro superficiale PS11 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 – 30/04/2013.

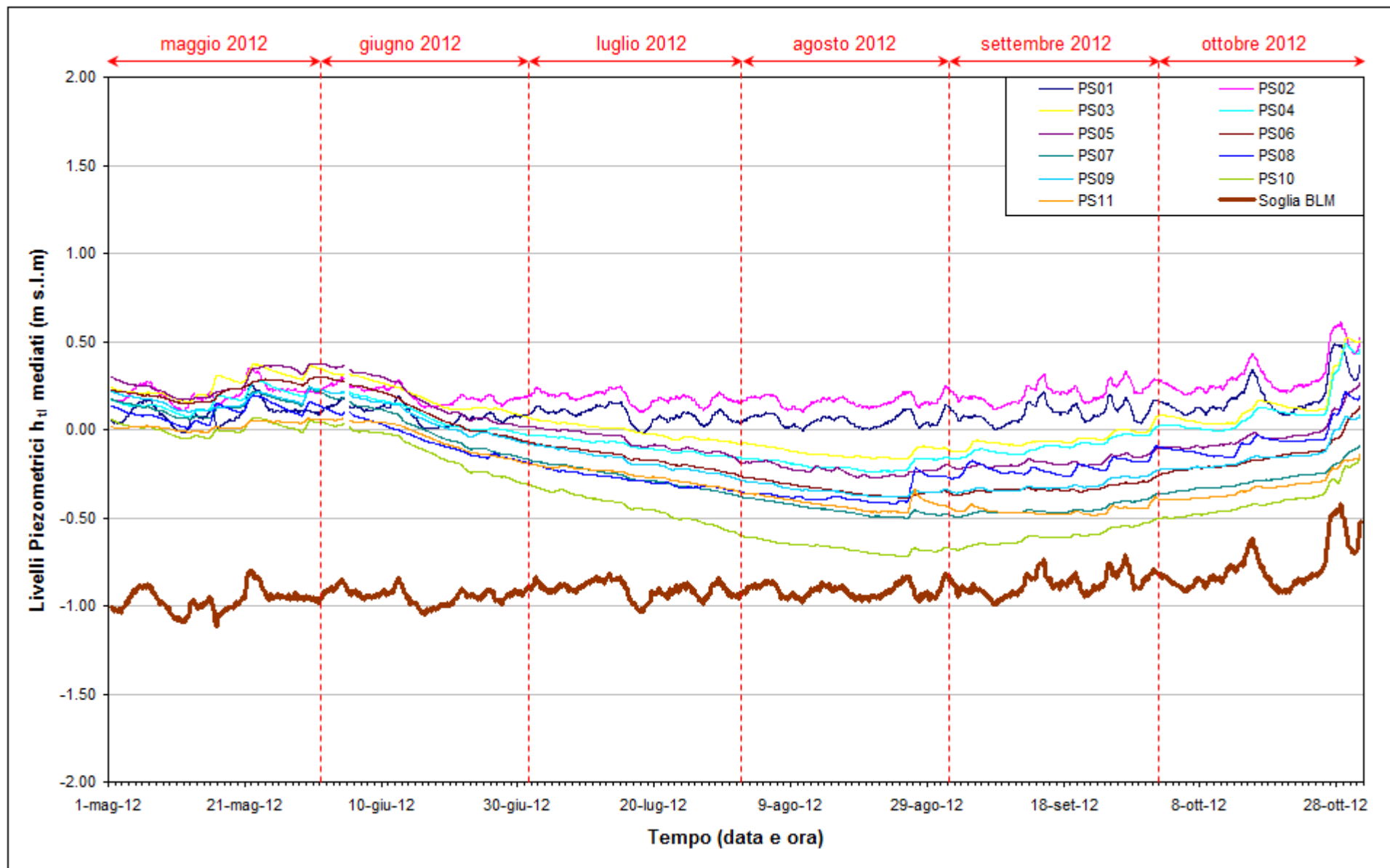


Fig. 2.34 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

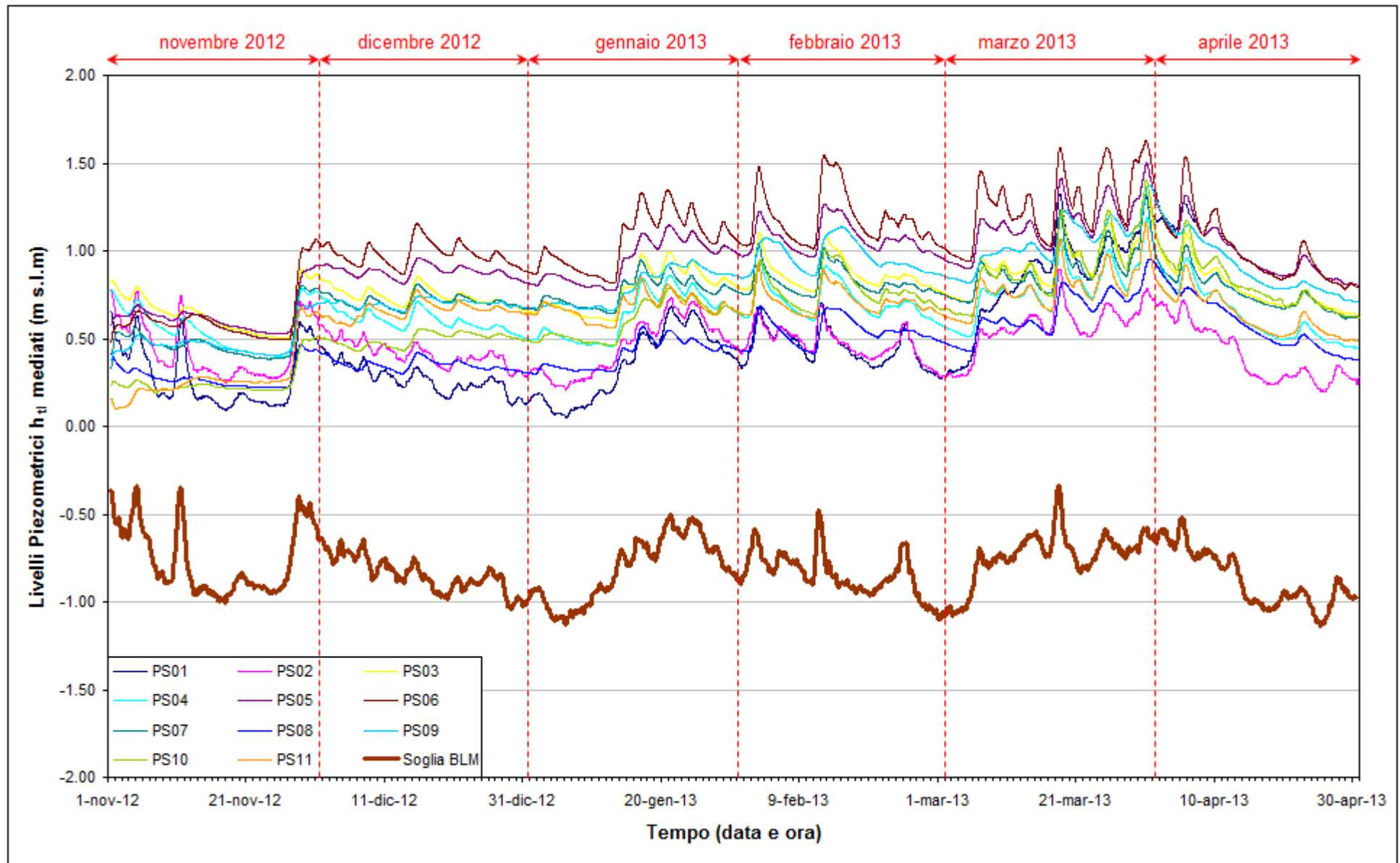


Fig. 2.35 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri superficiali nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

### 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.

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.

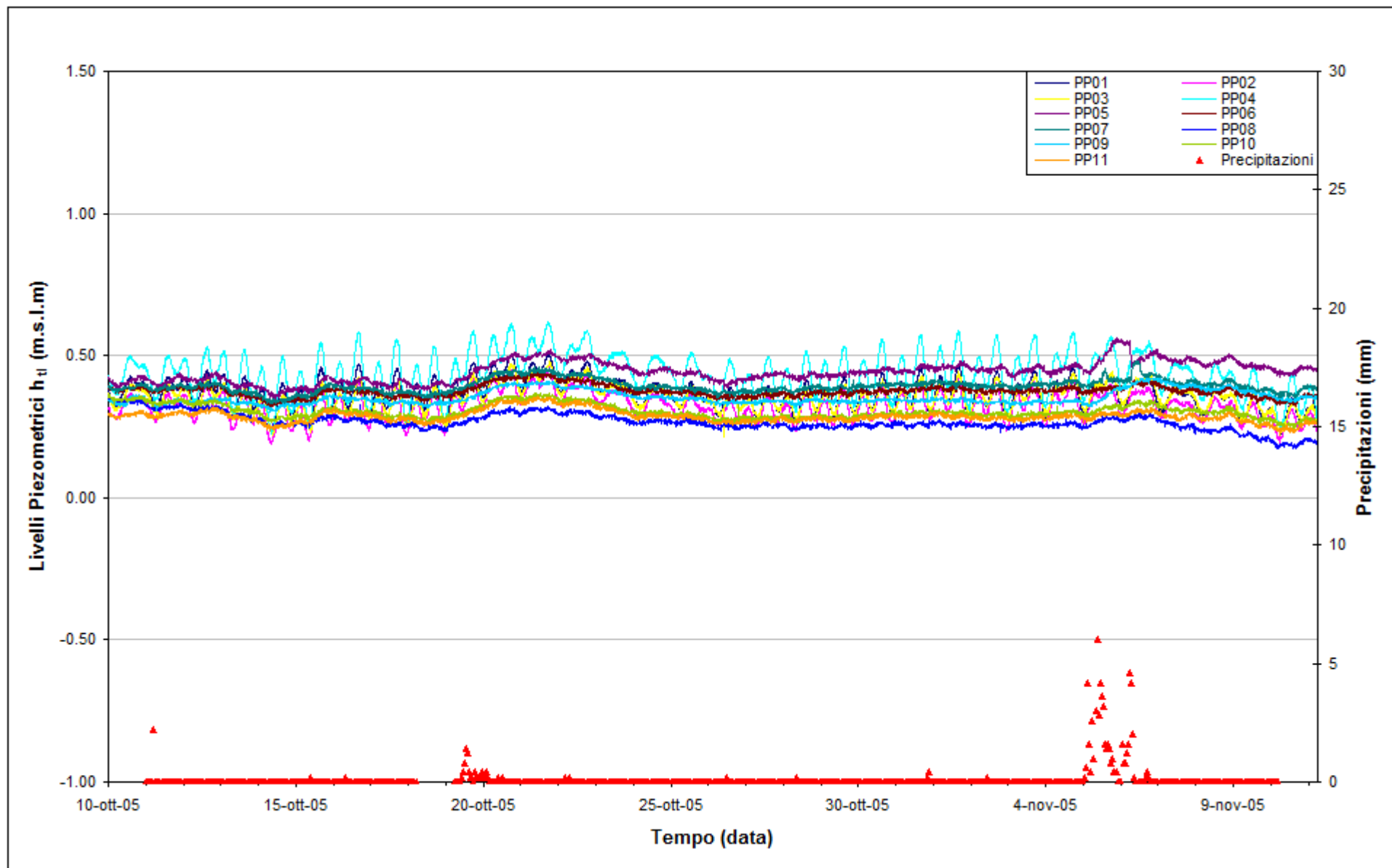
Nel periodo 19/04/12 - 30/04/12 (precedente al periodo di monitoraggio oggetto del presente rapporto) è stato osservato un innalzamento dei carichi idraulici nell'acquifero profondo, in particolare di circa 450 cm in PP04 e 330 cm in PP12, le due postazioni più vicine alla tura, e di circa 170 cm in PP03, 120 cm in PP13 e 80 cm in PP14, poste a una distanza di circa 200m da PP04. Nel precedente anno di monitoraggio (01/05/11 - 30/04/12) è quindi avvenuta gran parte del recupero dei livelli piezometrici nell'acquifero profondo rispetto alla situazione *ante operam*. Tra maggio e luglio 2012 il recupero dei livelli è stato completato, con un ulteriore incremento dei carichi idraulici pari a circa 30 cm in PP04 e PP12, 50 cm in PP13 e 55 cm in PP14.

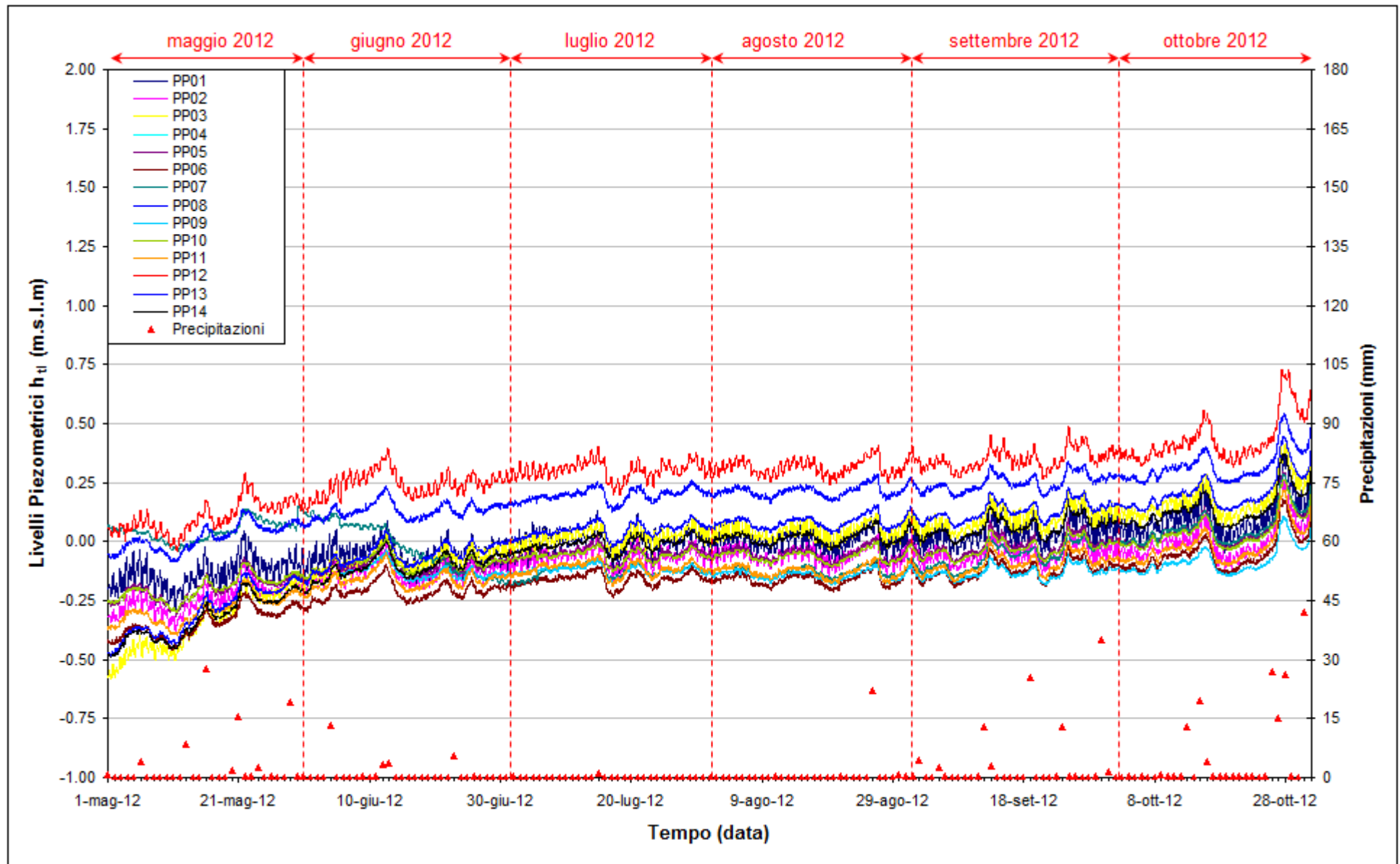
A partire dal mese di agosto 2012, il carico idraulico nei piezometri profondi è influenzato in modo preponderante dalla pressione atmosferica e del livello medio del mare (Fig. 2.67-2.68). È possibile osservare alcuni picchi di livello, in particolare nei piezometri PP07, PP08, PP12, PP13 dovuti all'infiltrazione di acqua piovana nel pozzetto durante eventi meteorici particolarmente intensi, che hanno determinato superamenti della soglia di Alto Livello Istantaneo.

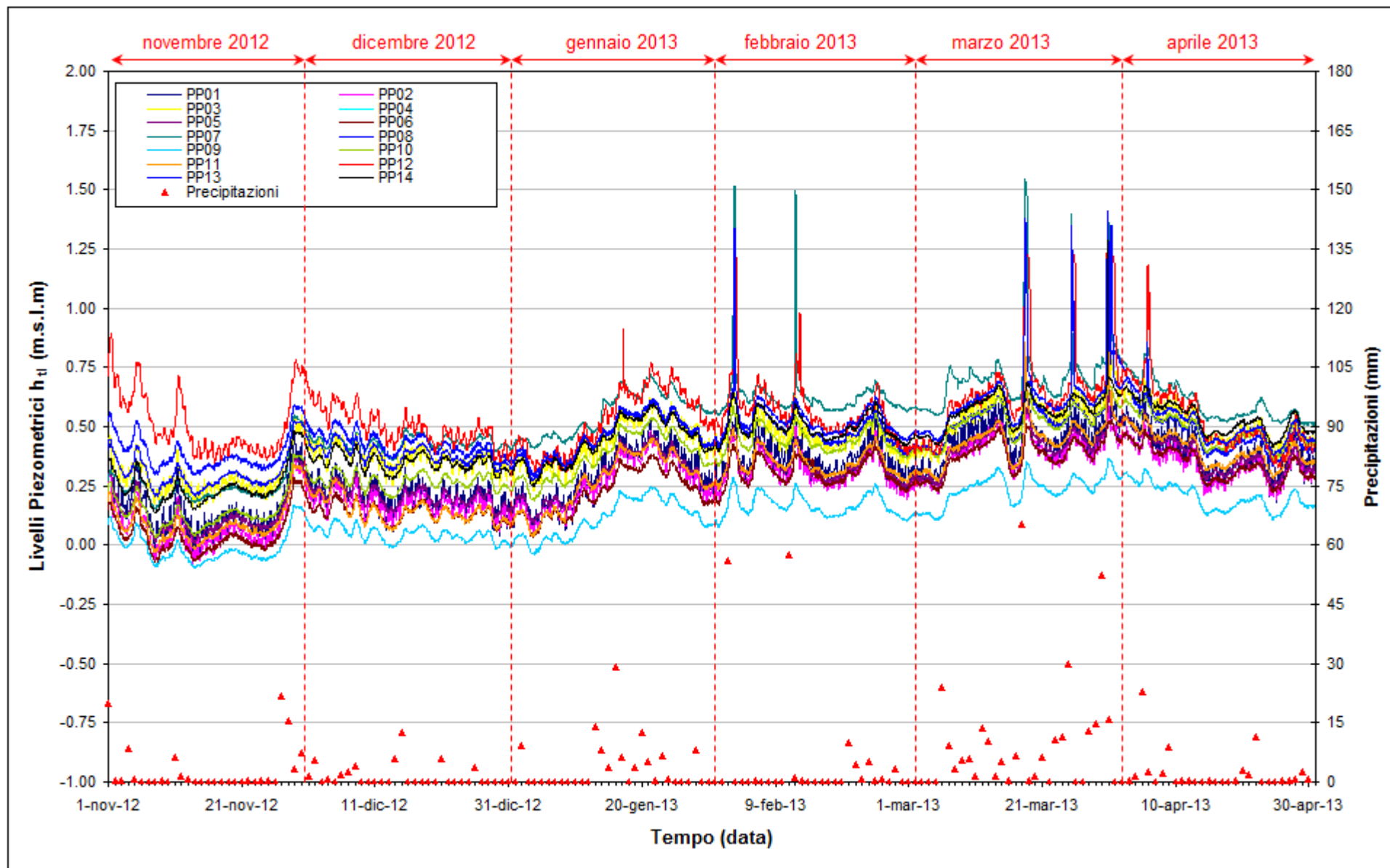
La soglia di Basso Livello Medio è stata rispettata per tutto il periodo monitorato, mentre per la soglia di Basso Livello Istantaneo si osservano alcuni sporadici superamenti nei piezometri PP01, PP02, PP05, PP06, PP09, PP10, PP11 in occasione di alcuni picchi di marea, e nel piezometro PP03 nel mese di maggio 2012, durante il quale il recupero dei livelli alla condizione *ante operam* dell'acquifero profondo stava per essere portato a termine.

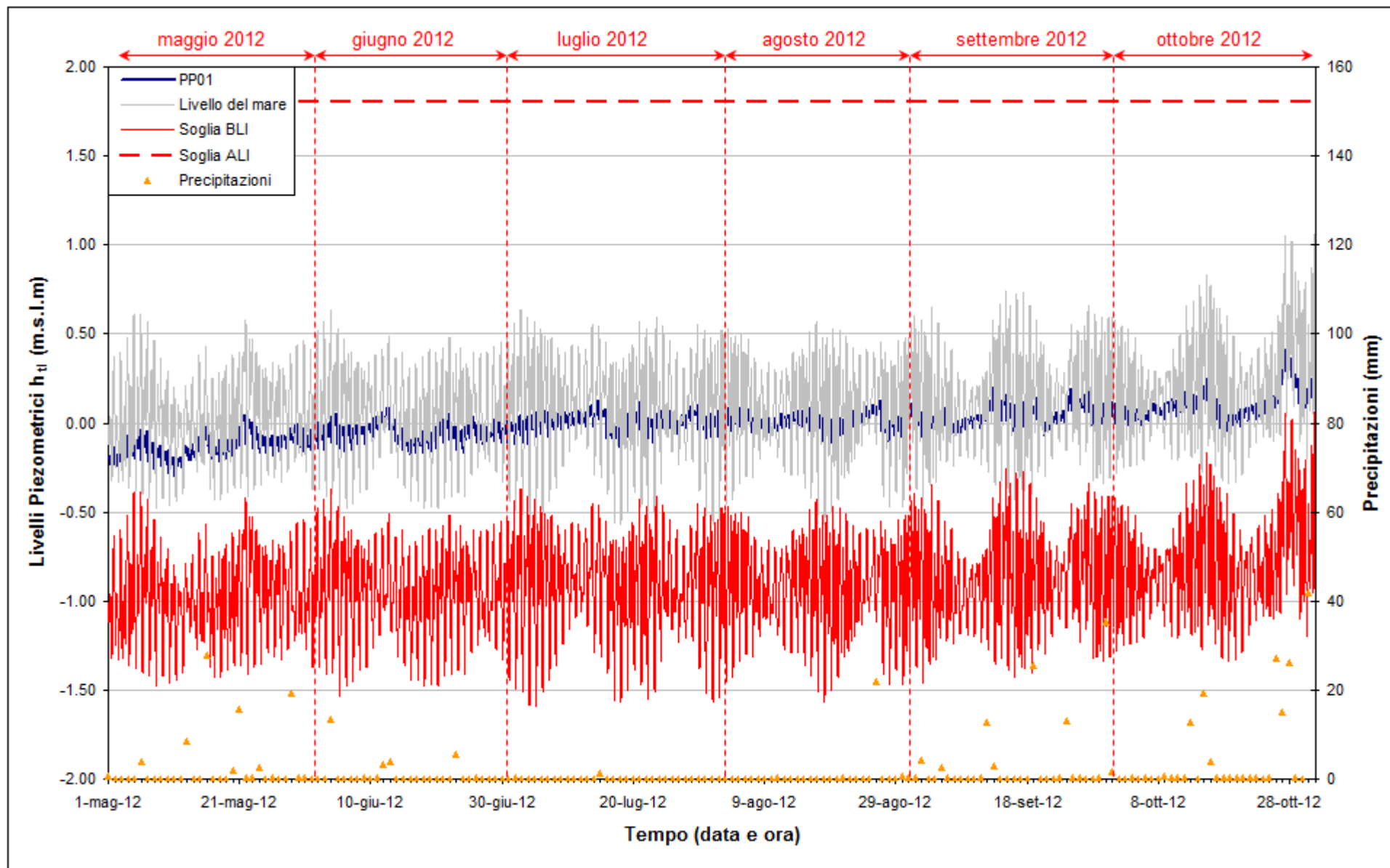
I dati relativi al piezometro PP09 nel periodo 01/05/12 - 05/06/12 non sono disponibili a causa di un guasto del trasduttore di pressione, che è stato sostituito.



Fig. 2.36 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) 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 01/05/2012 - 31/10/2012.

Fig. 2.38 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi ai piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

Fig. 2.39 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

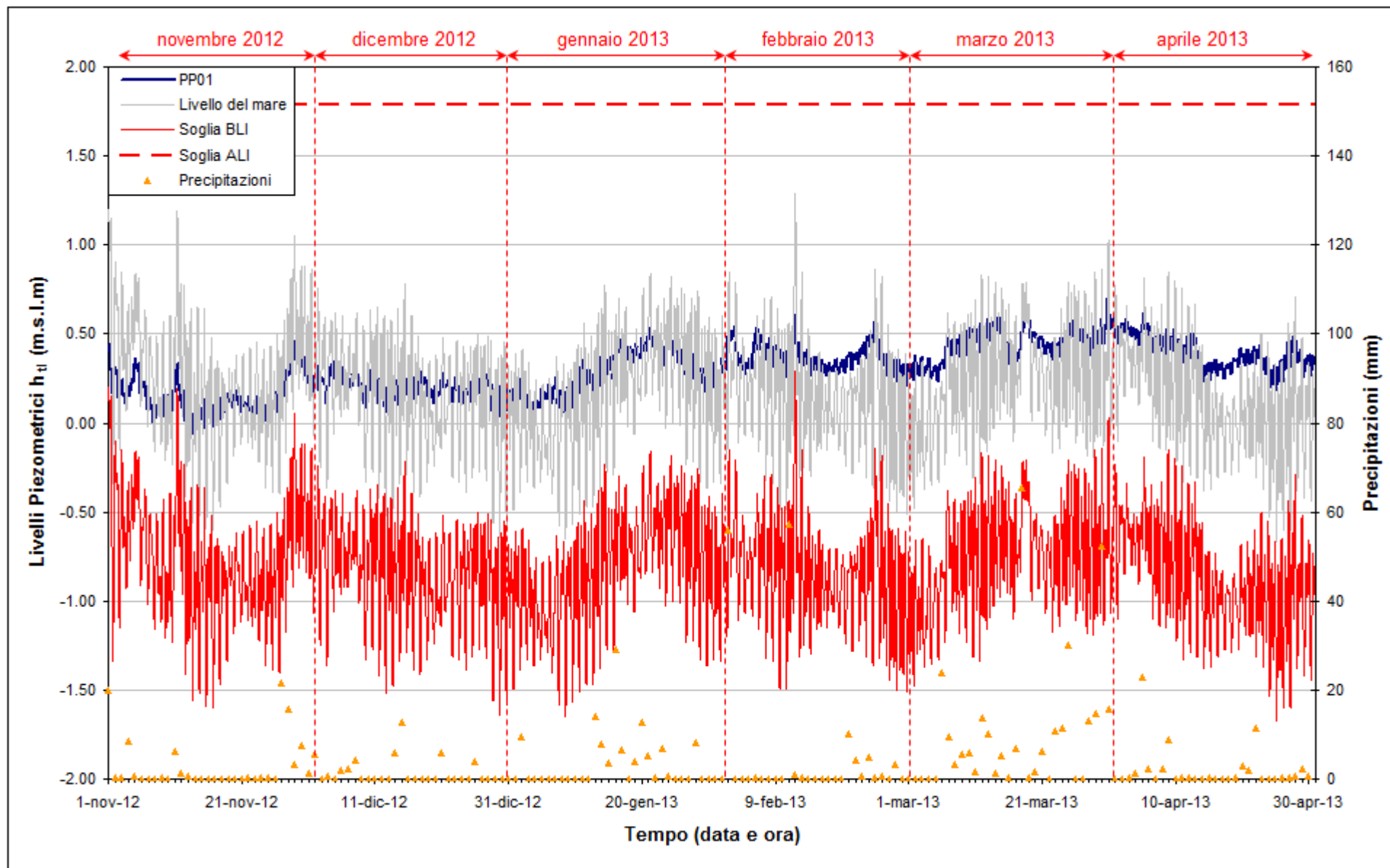


Fig. 2.40 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

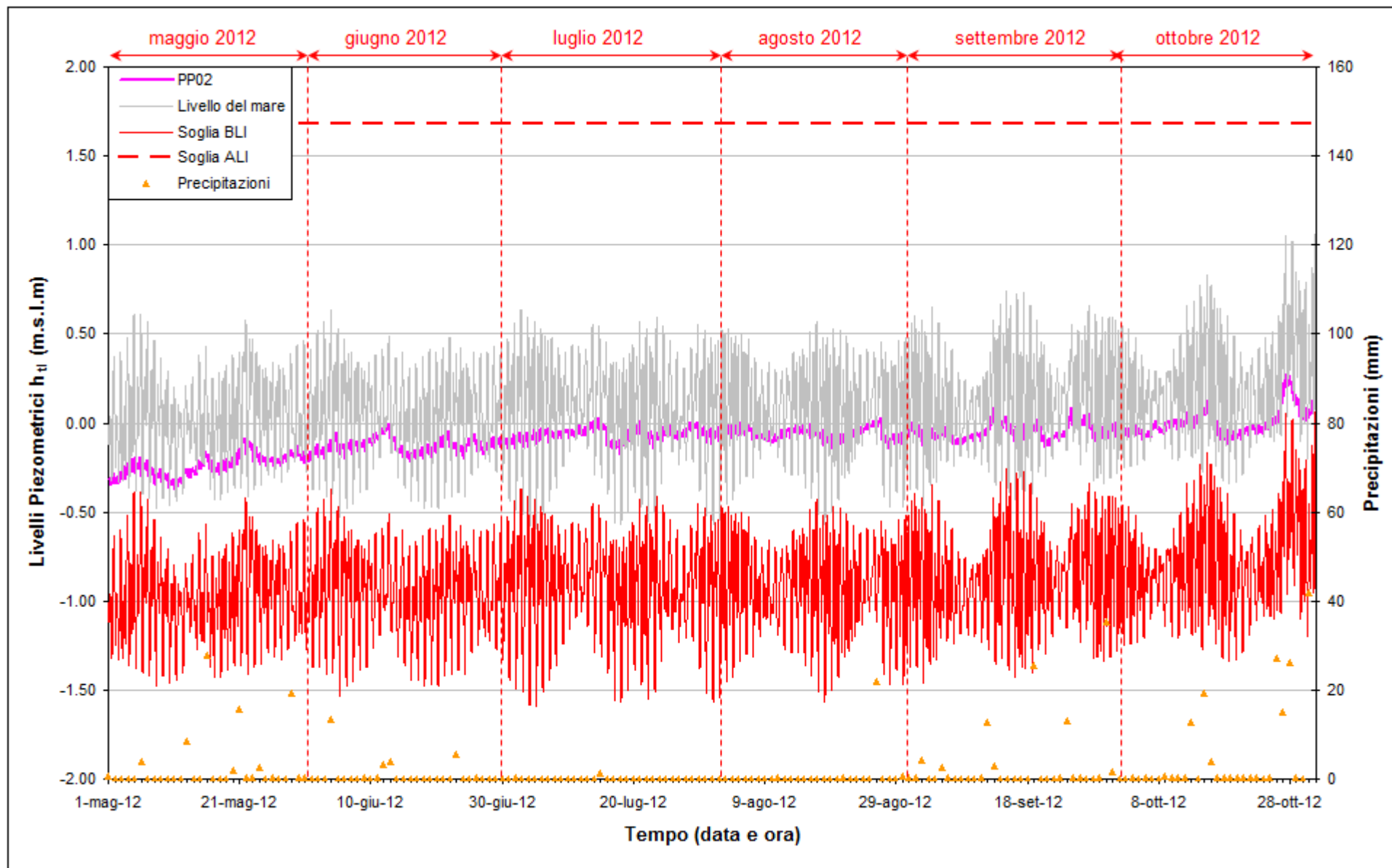


Fig. 2.41 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP02 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

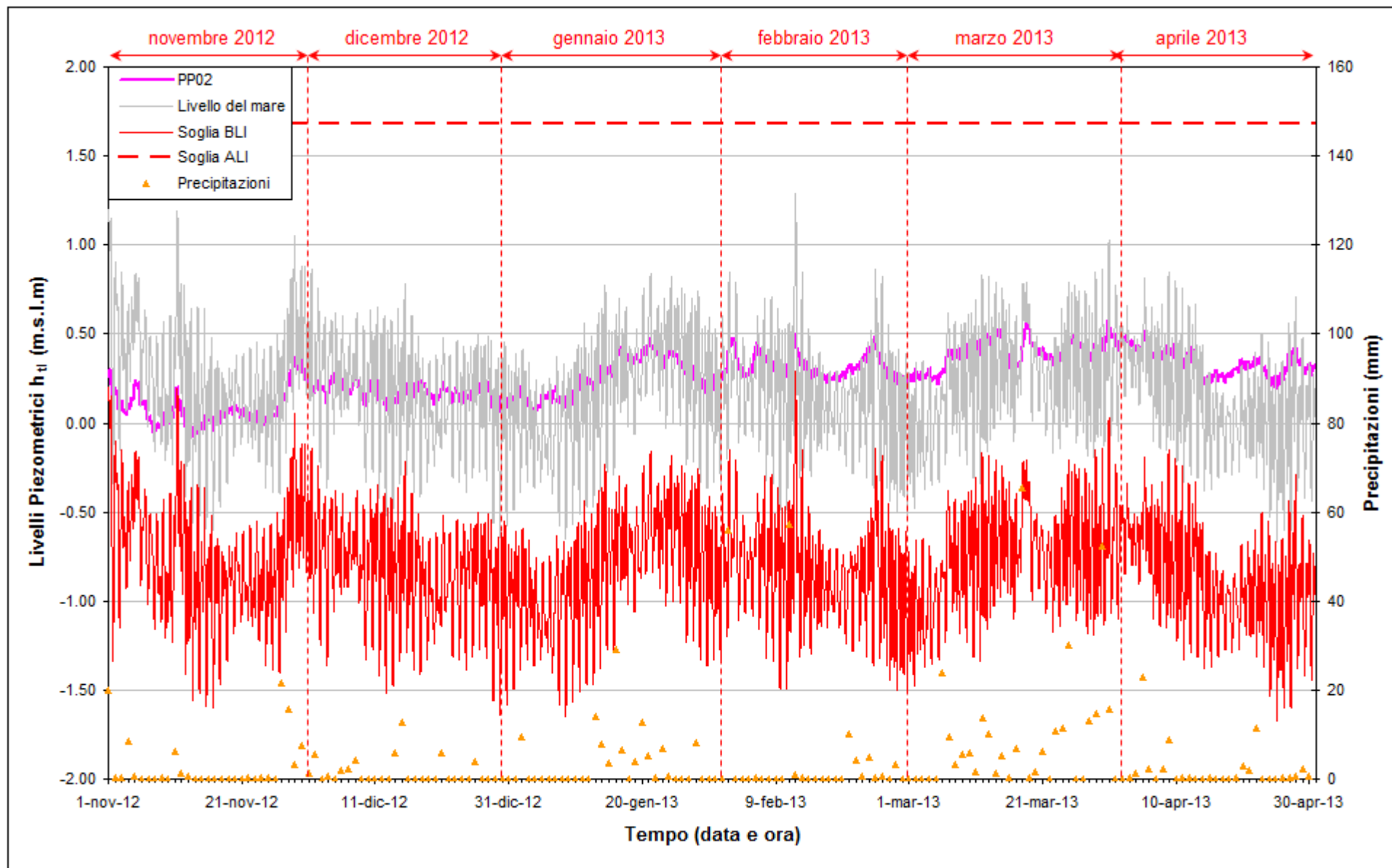


Fig. 2.42 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP02 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

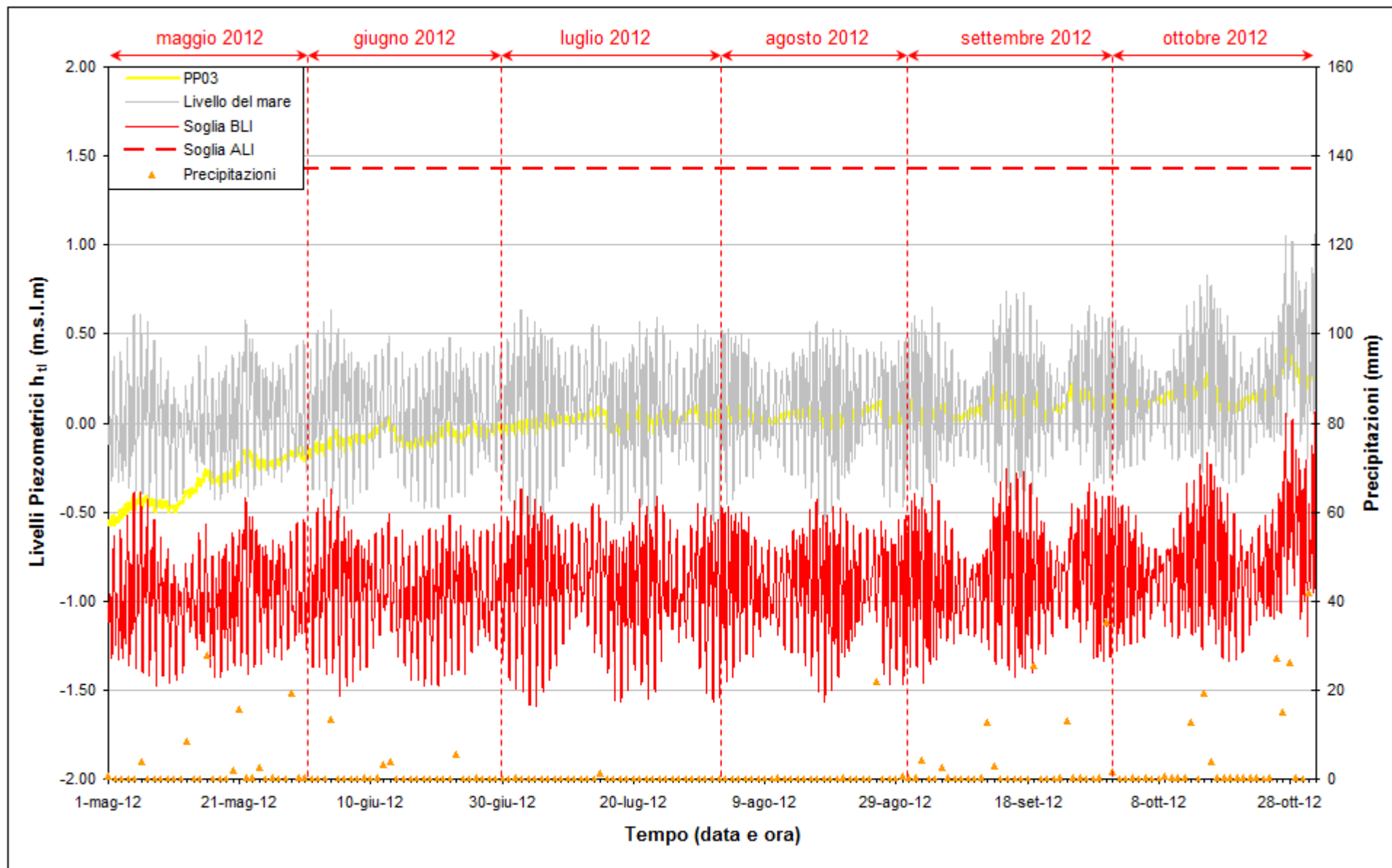
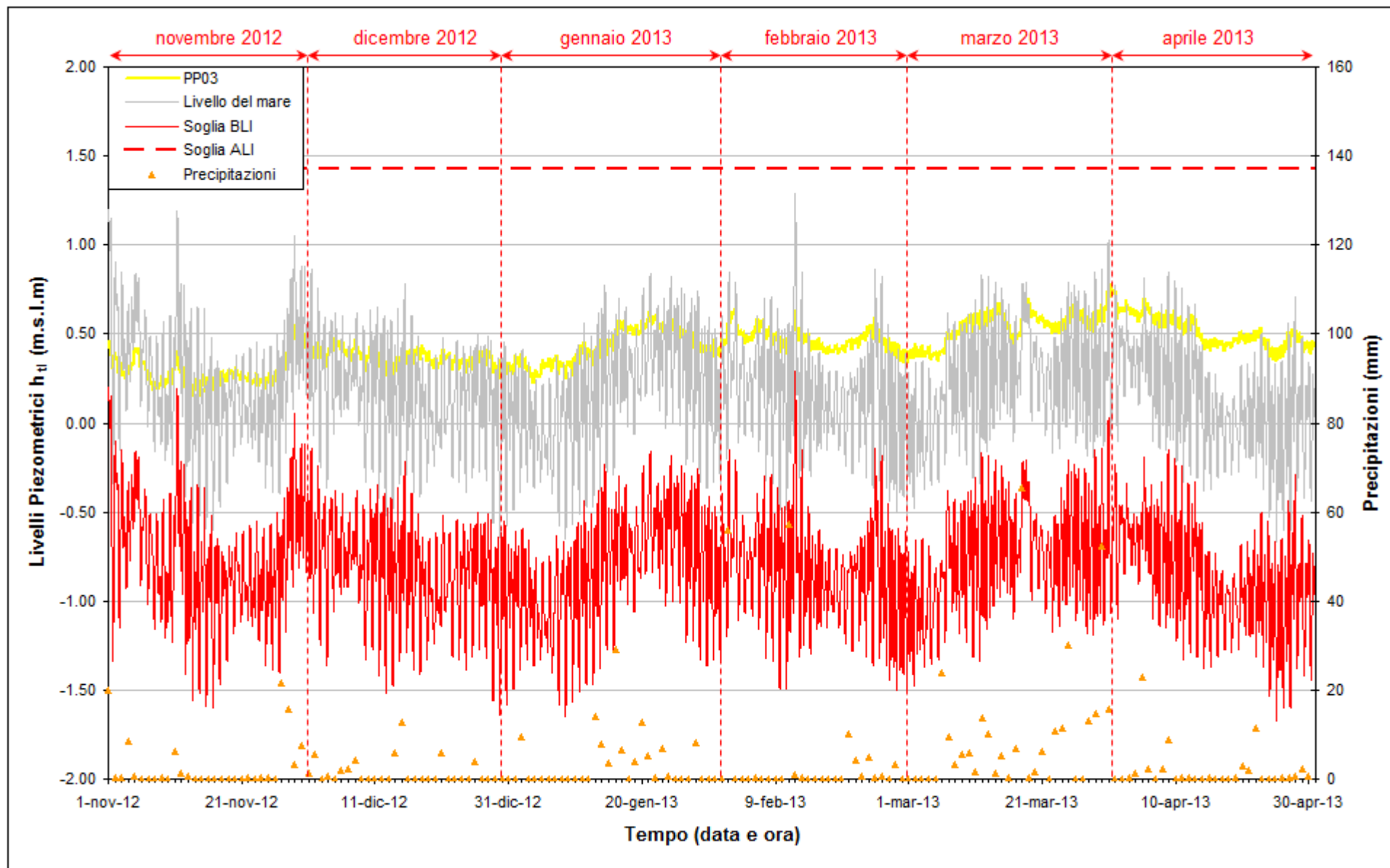


Fig. 2.43 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP03 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.



Fig. 2.44 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP03 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

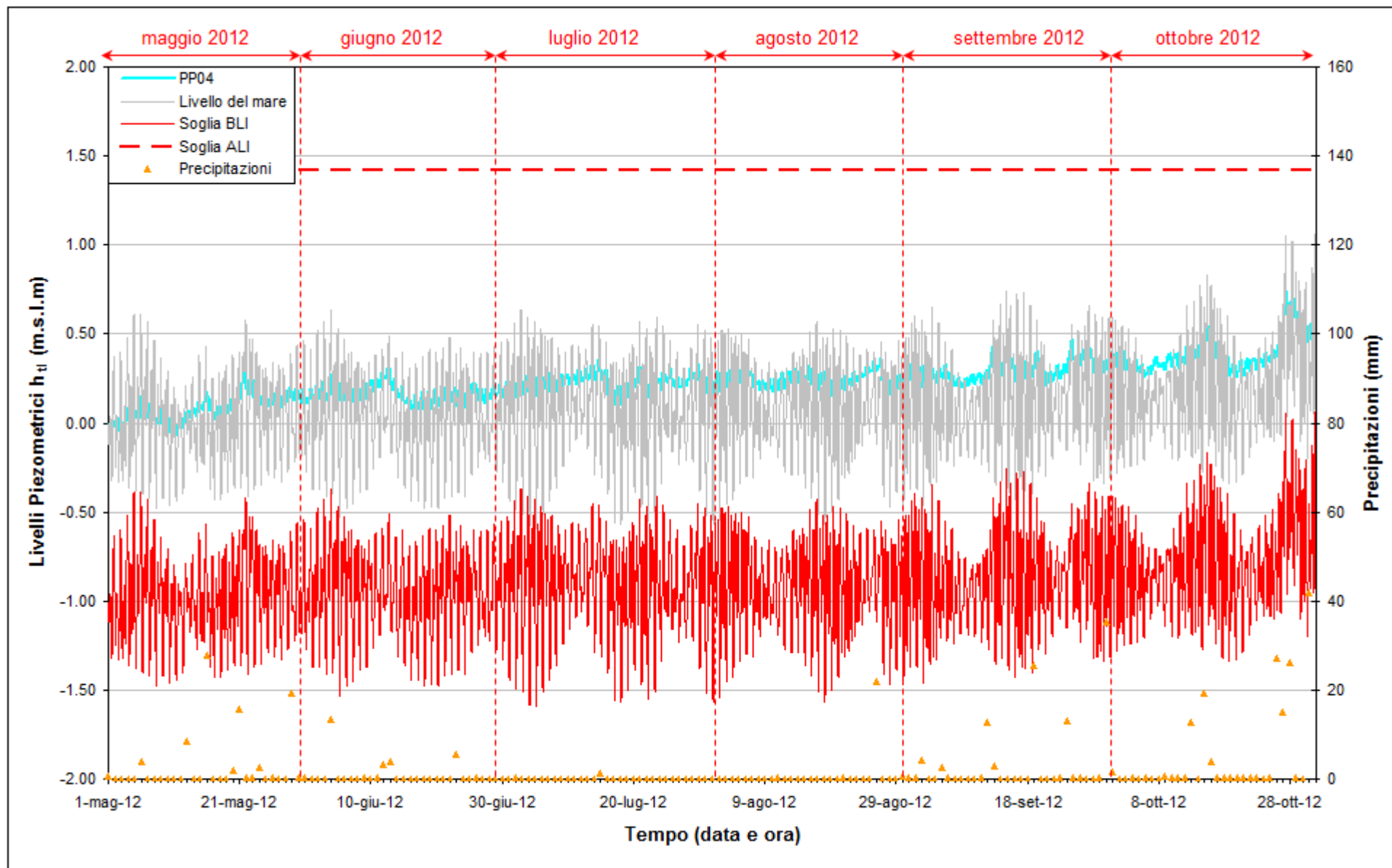


Fig. 2.45 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP04 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

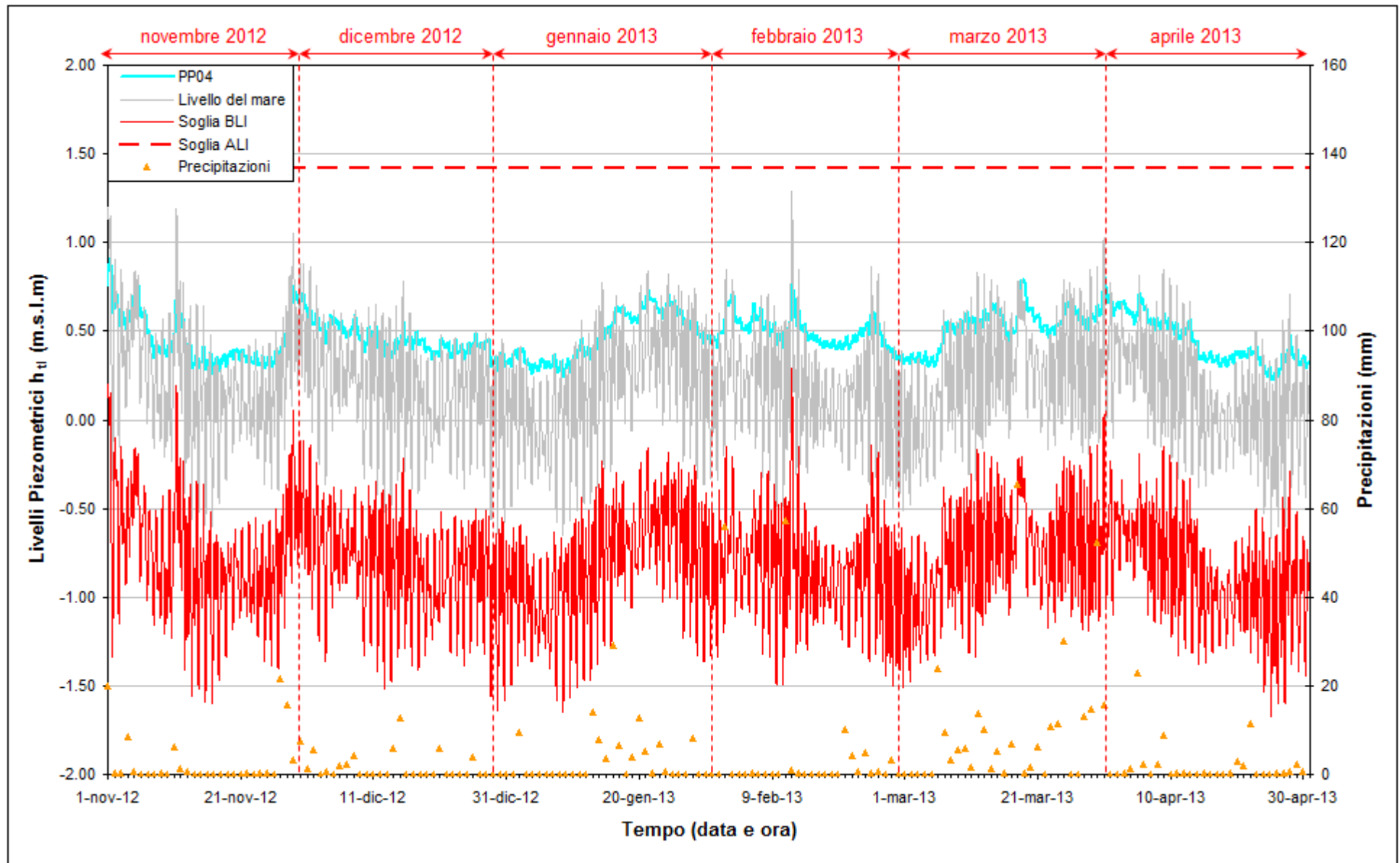


Fig. 2.46 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP04 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

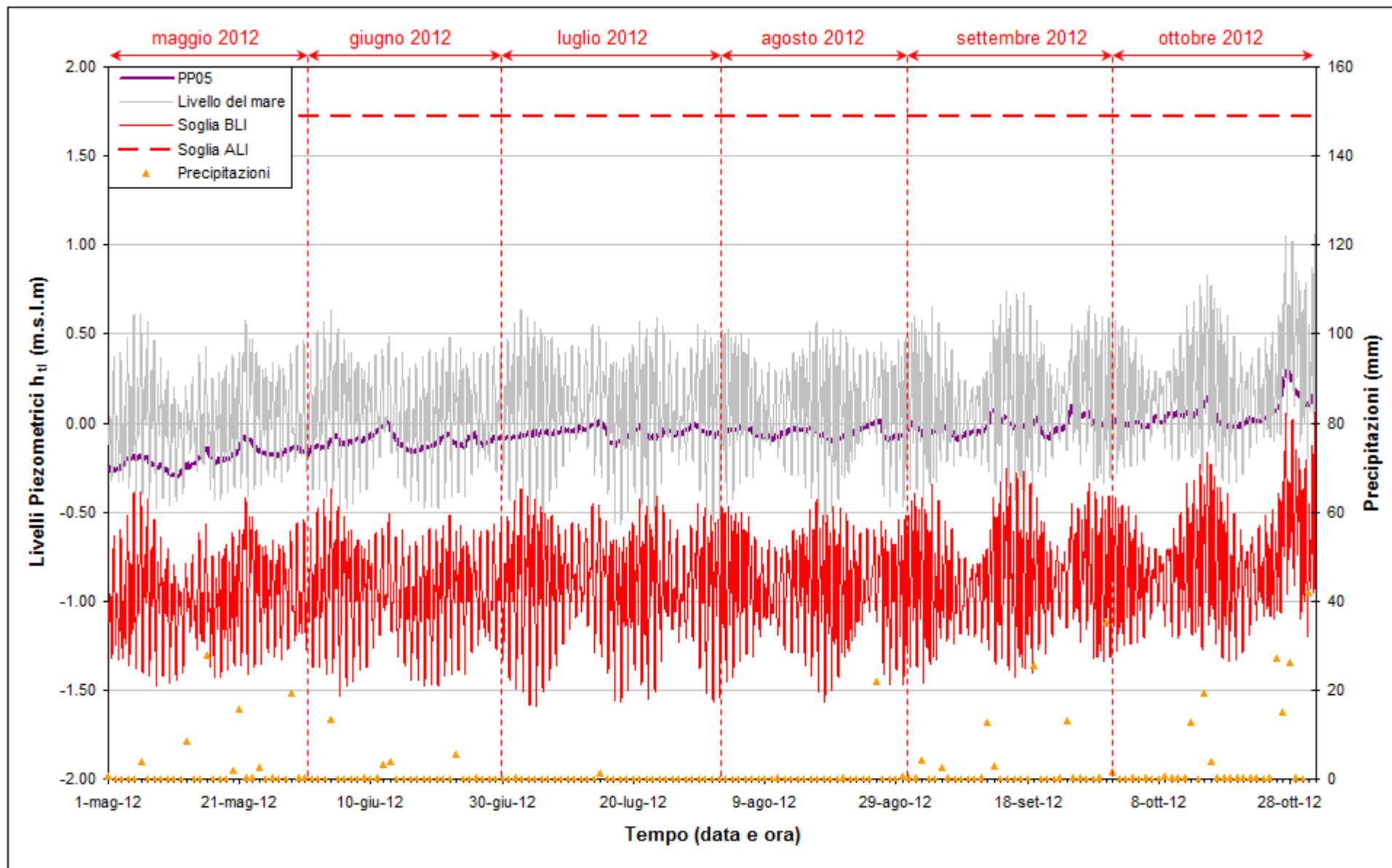
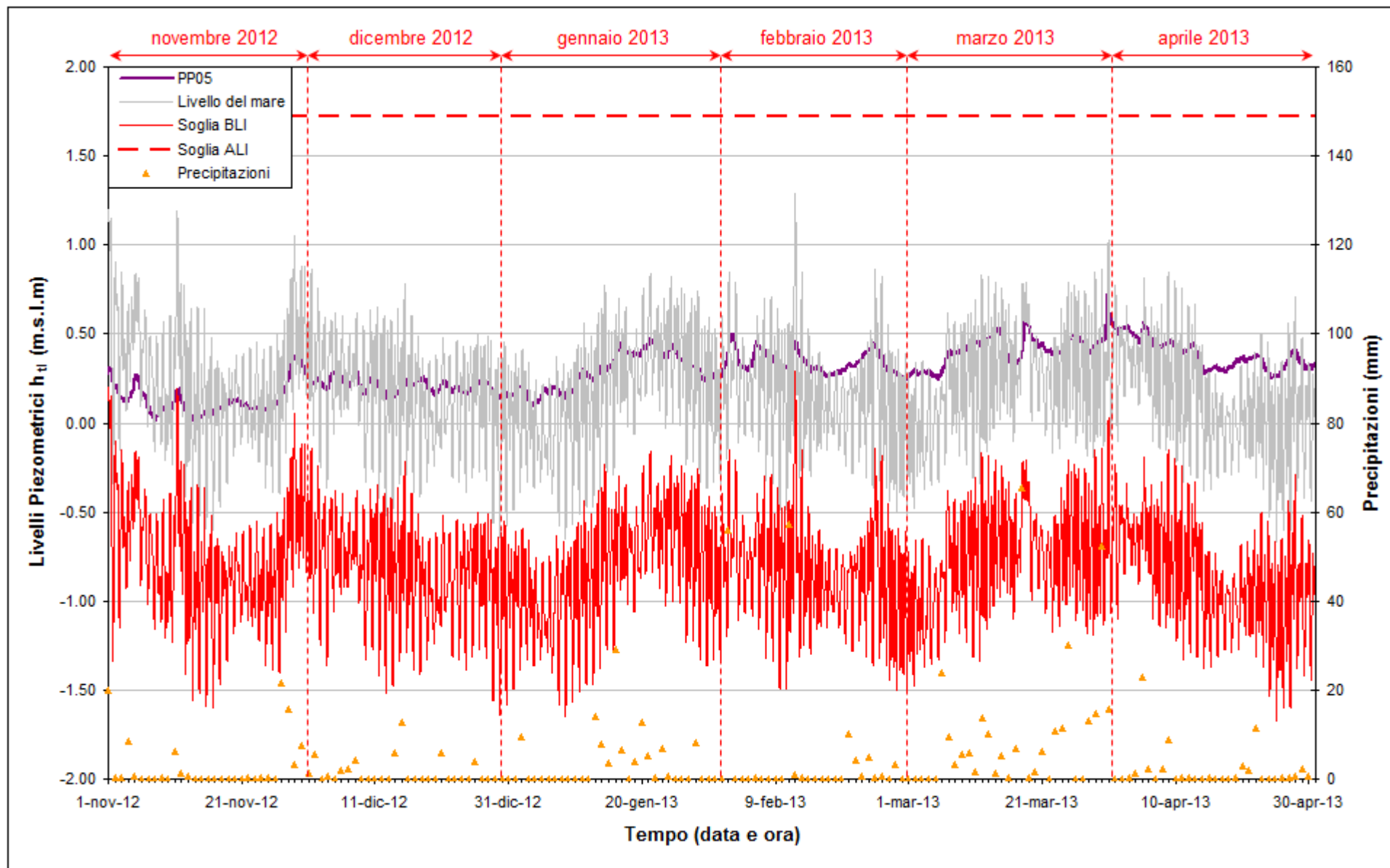


Fig. 2.47 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP05 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

Fig. 2.48 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP05 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

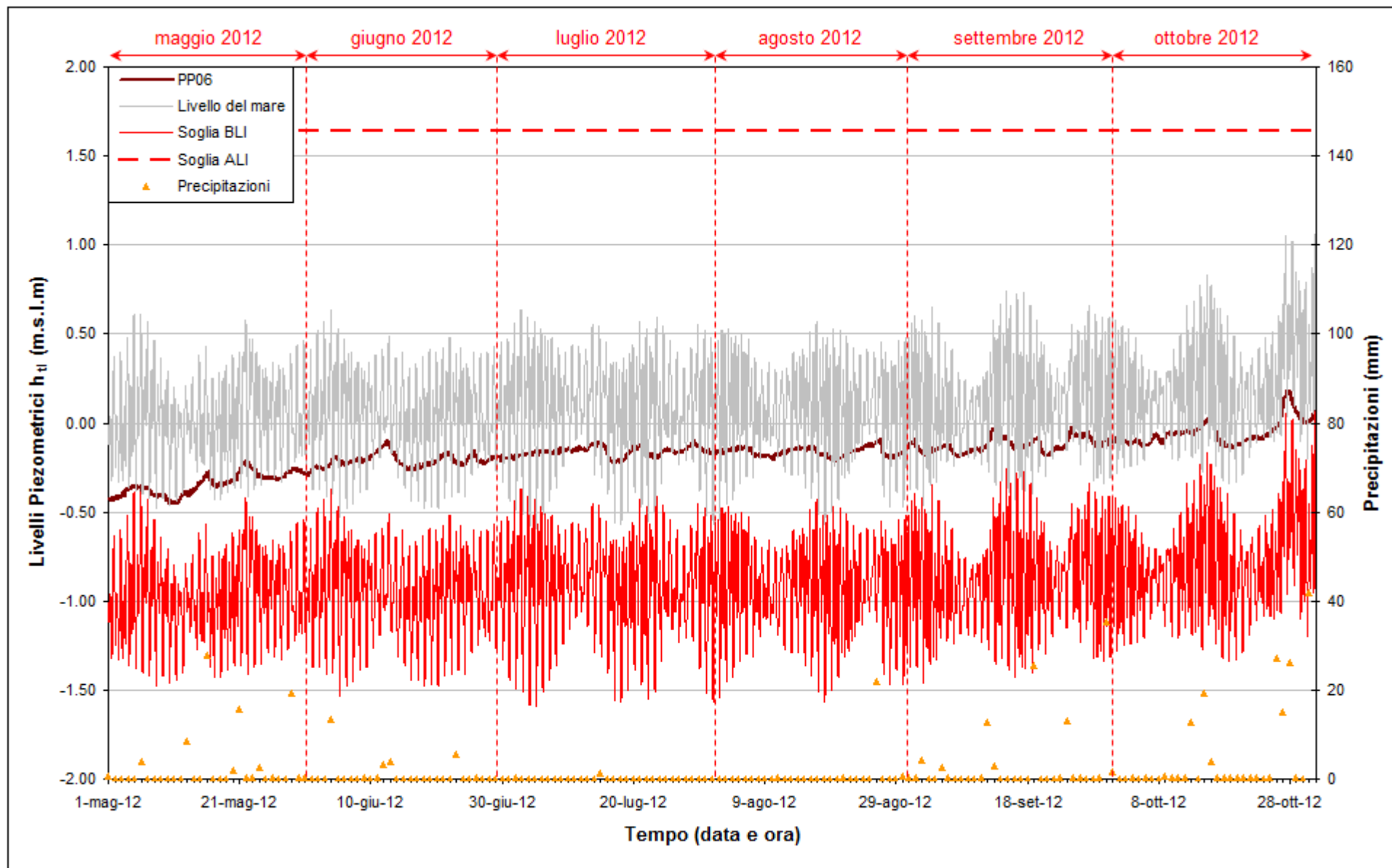
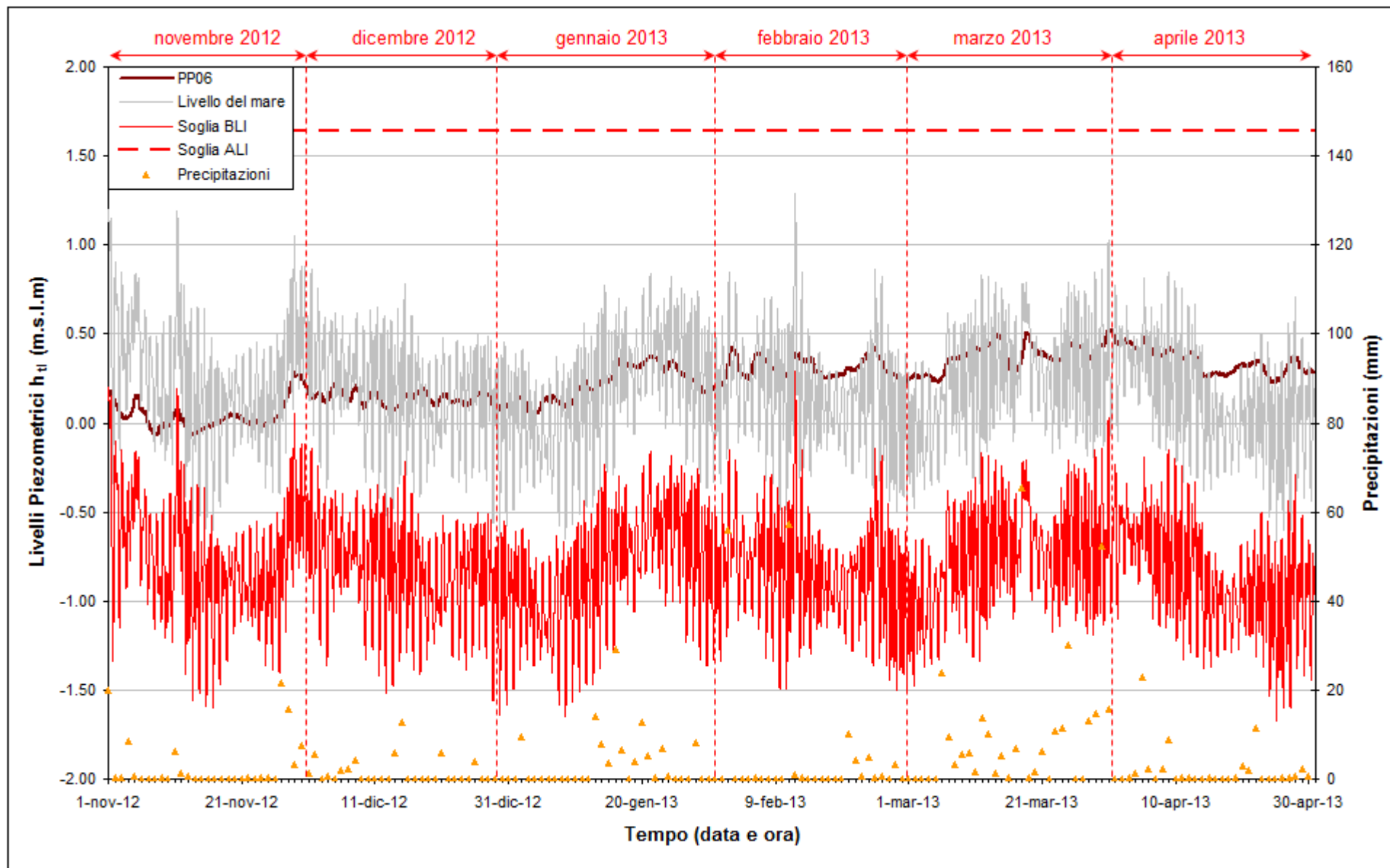
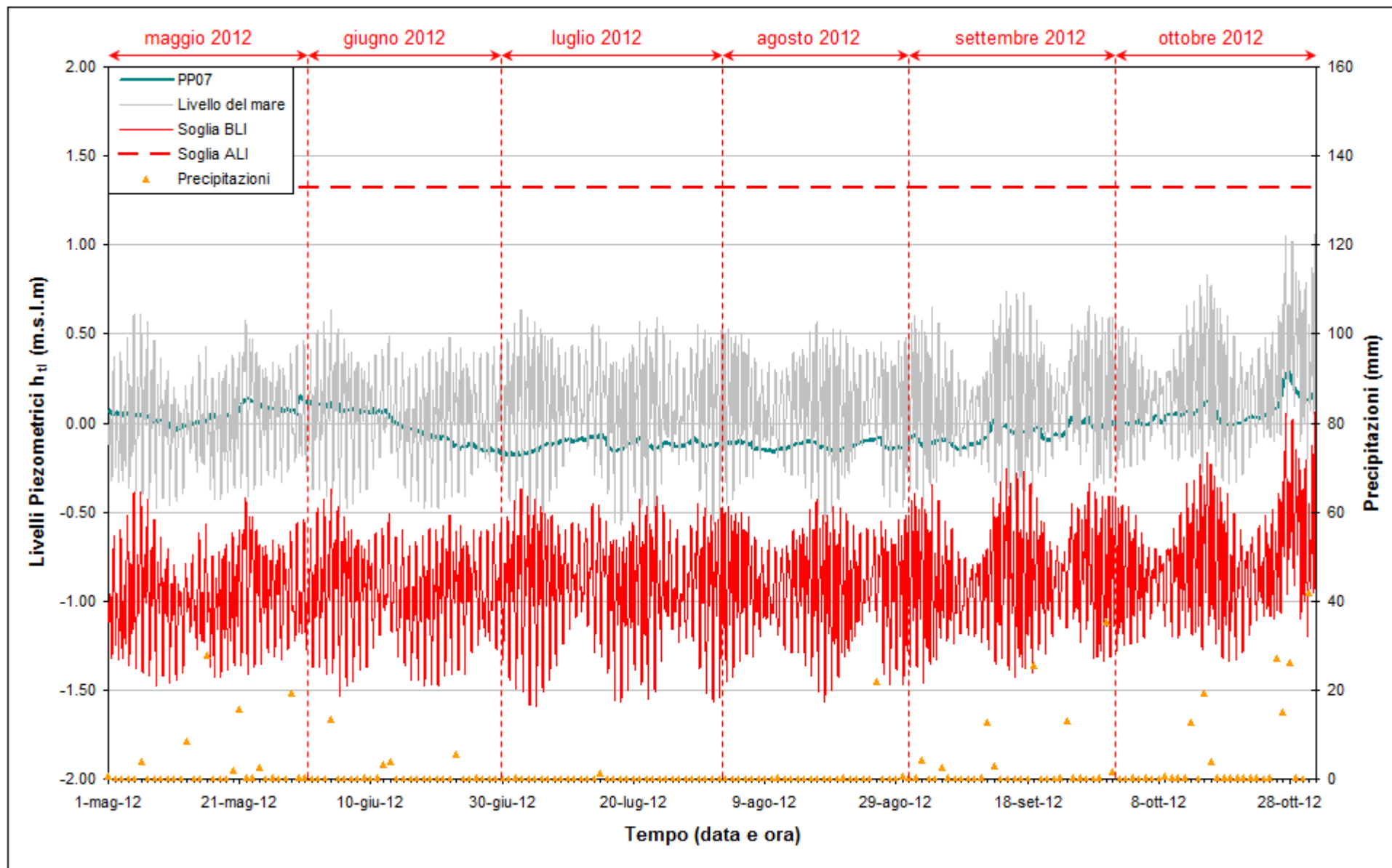


Fig. 2.49 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP06 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

Fig. 2.50 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP06 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

Fig. 2.51 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP07 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.



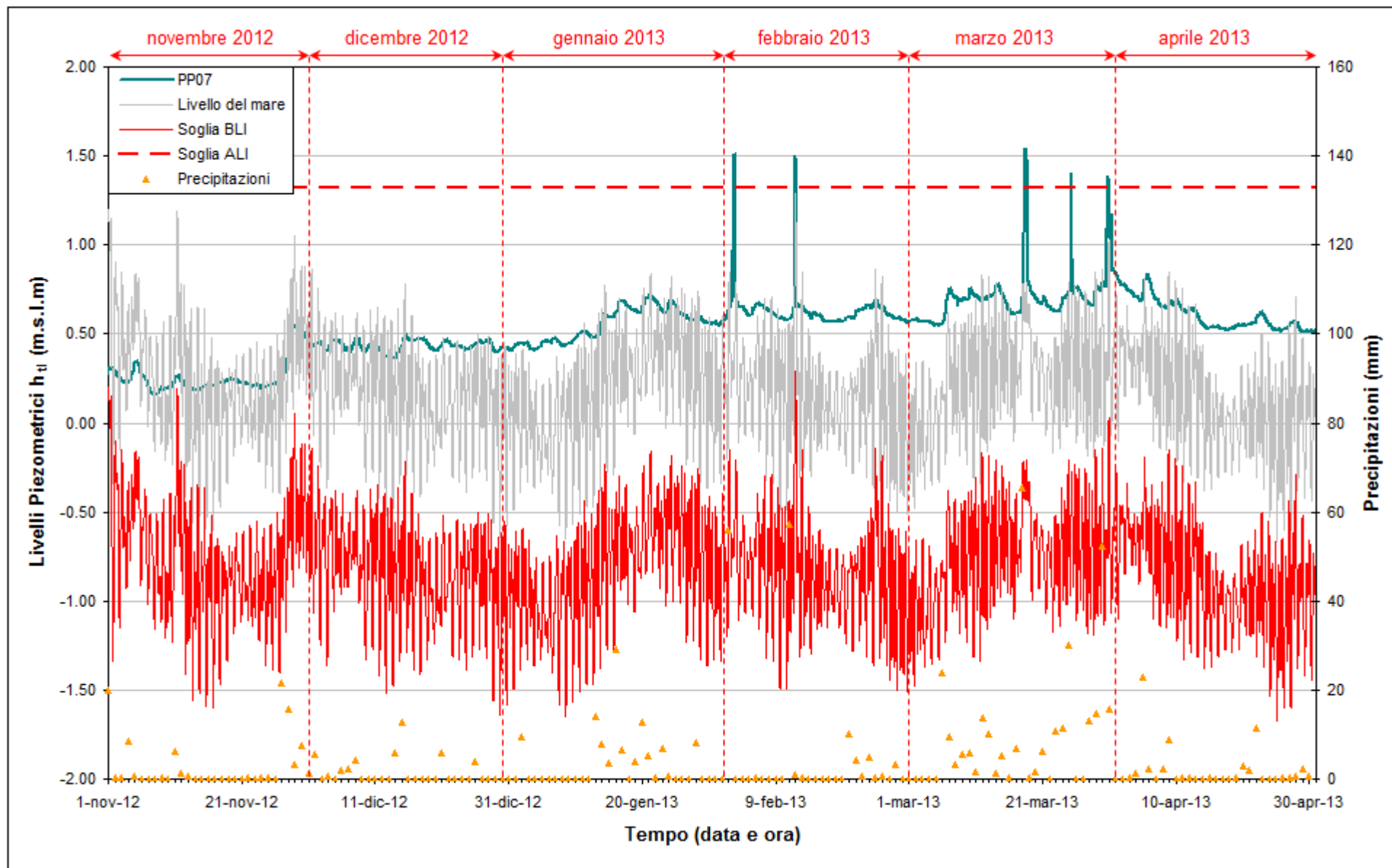


Fig. 2.52 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP07 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

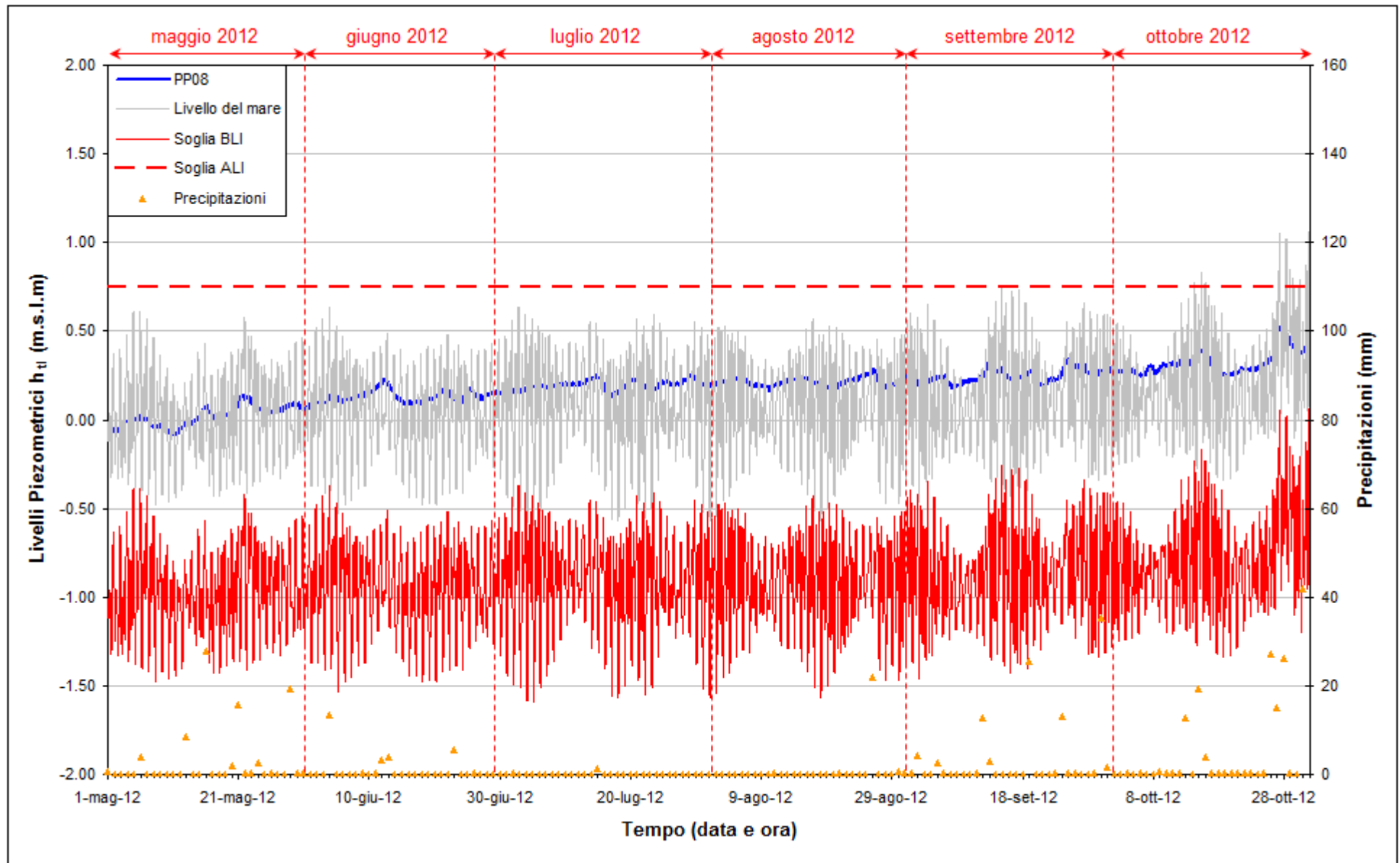


Fig. 2.53 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP08 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

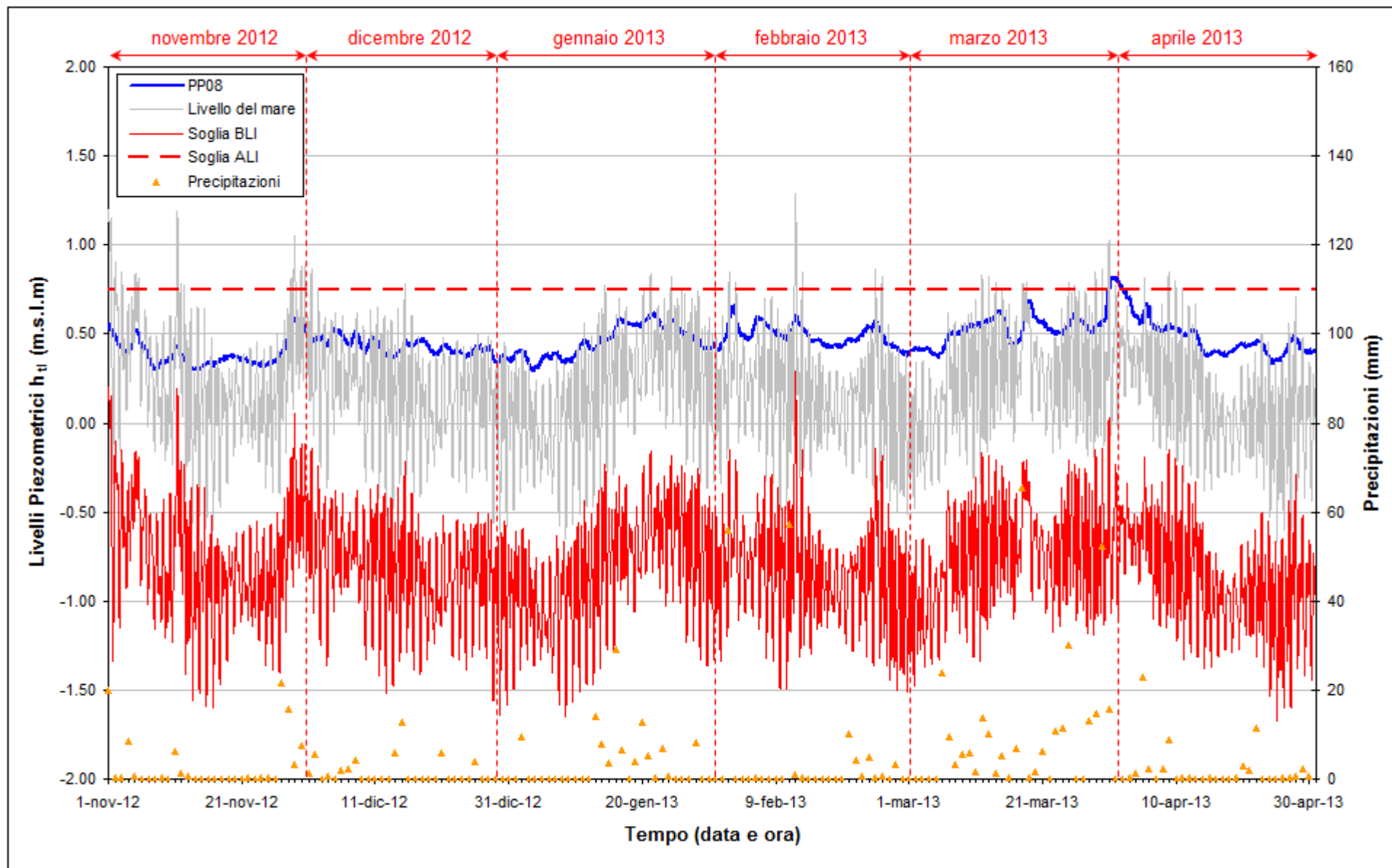


Fig. 2.54 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP08 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

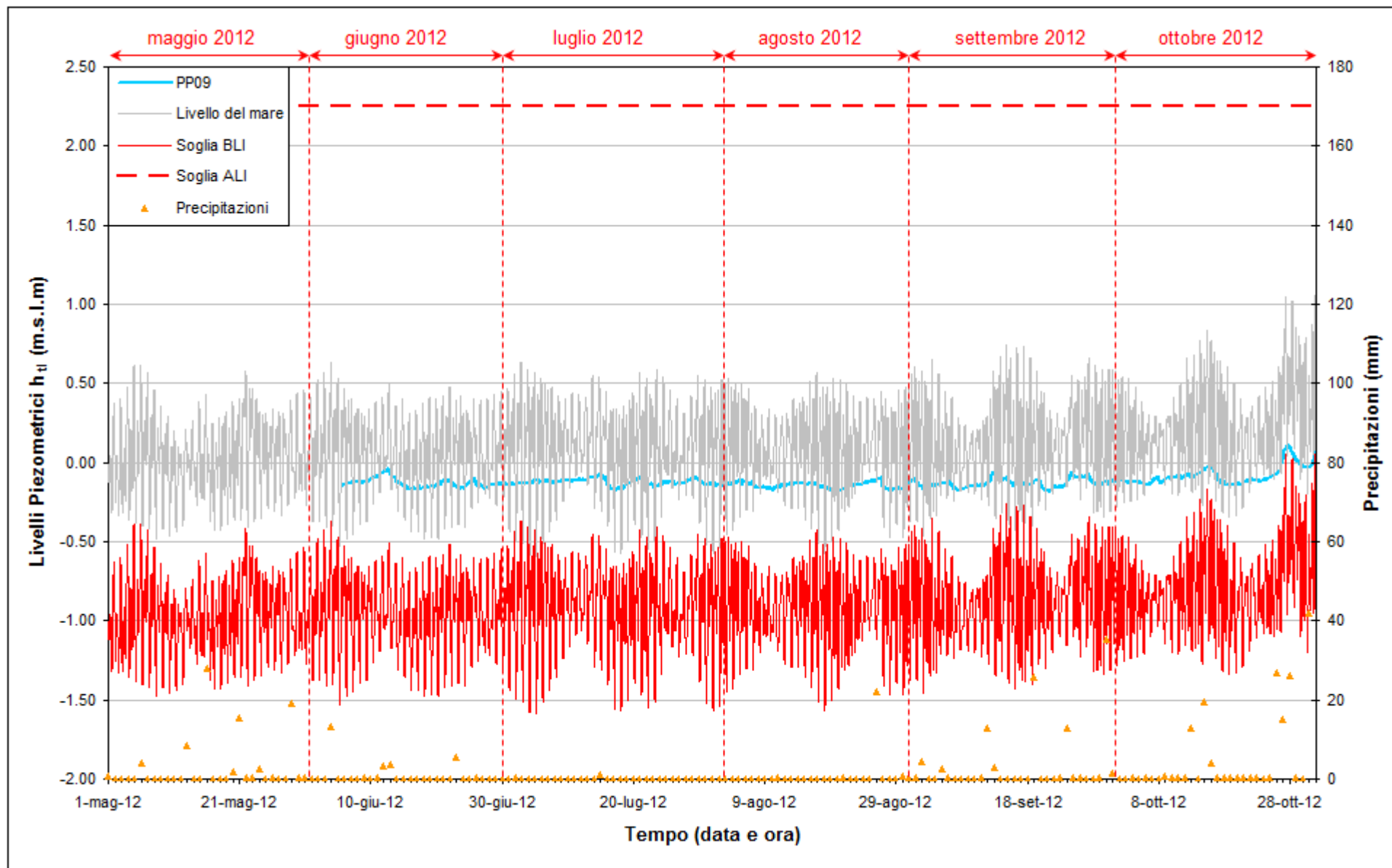


Fig. 2.55 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP09 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

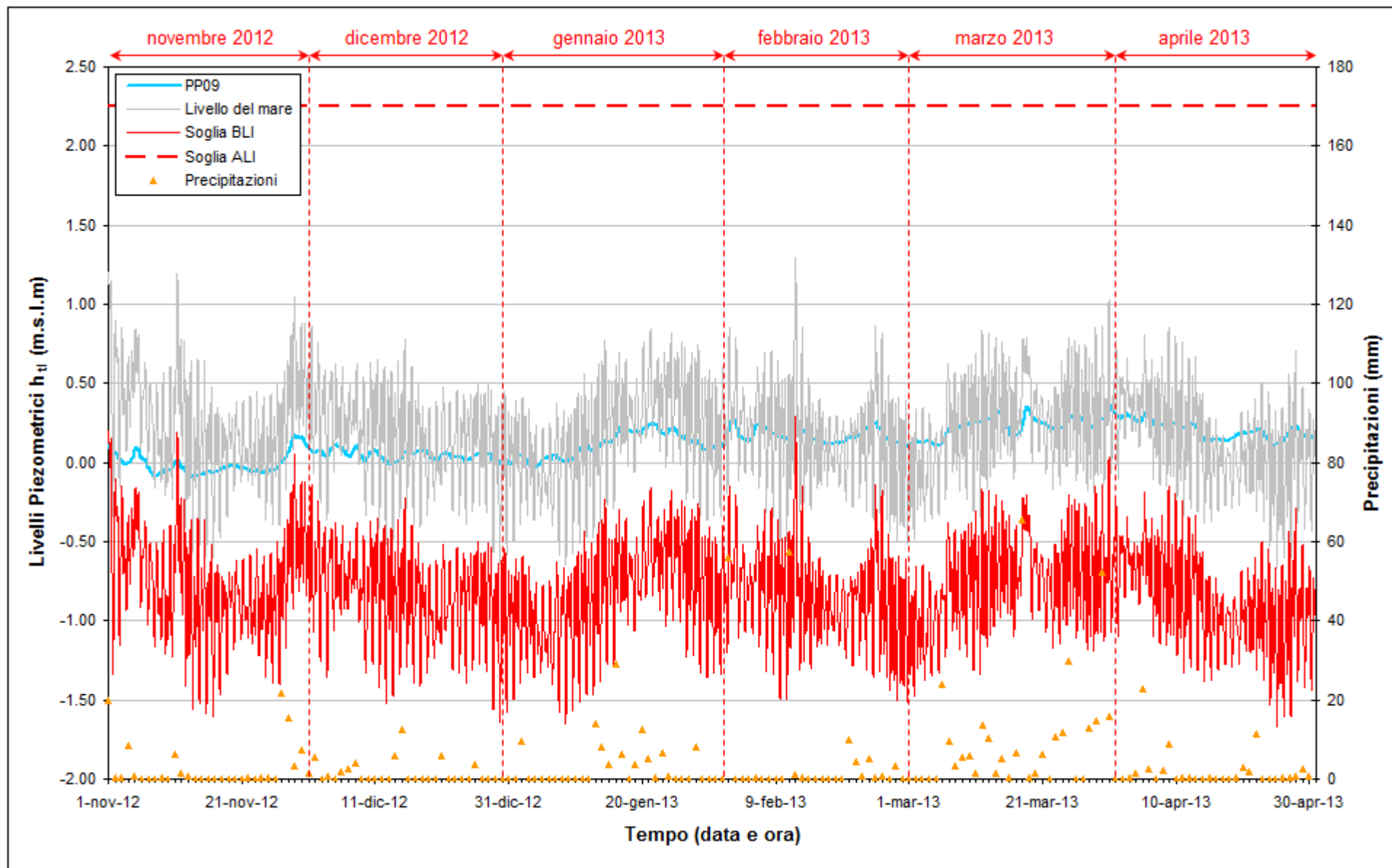


Fig. 2.56 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP09 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

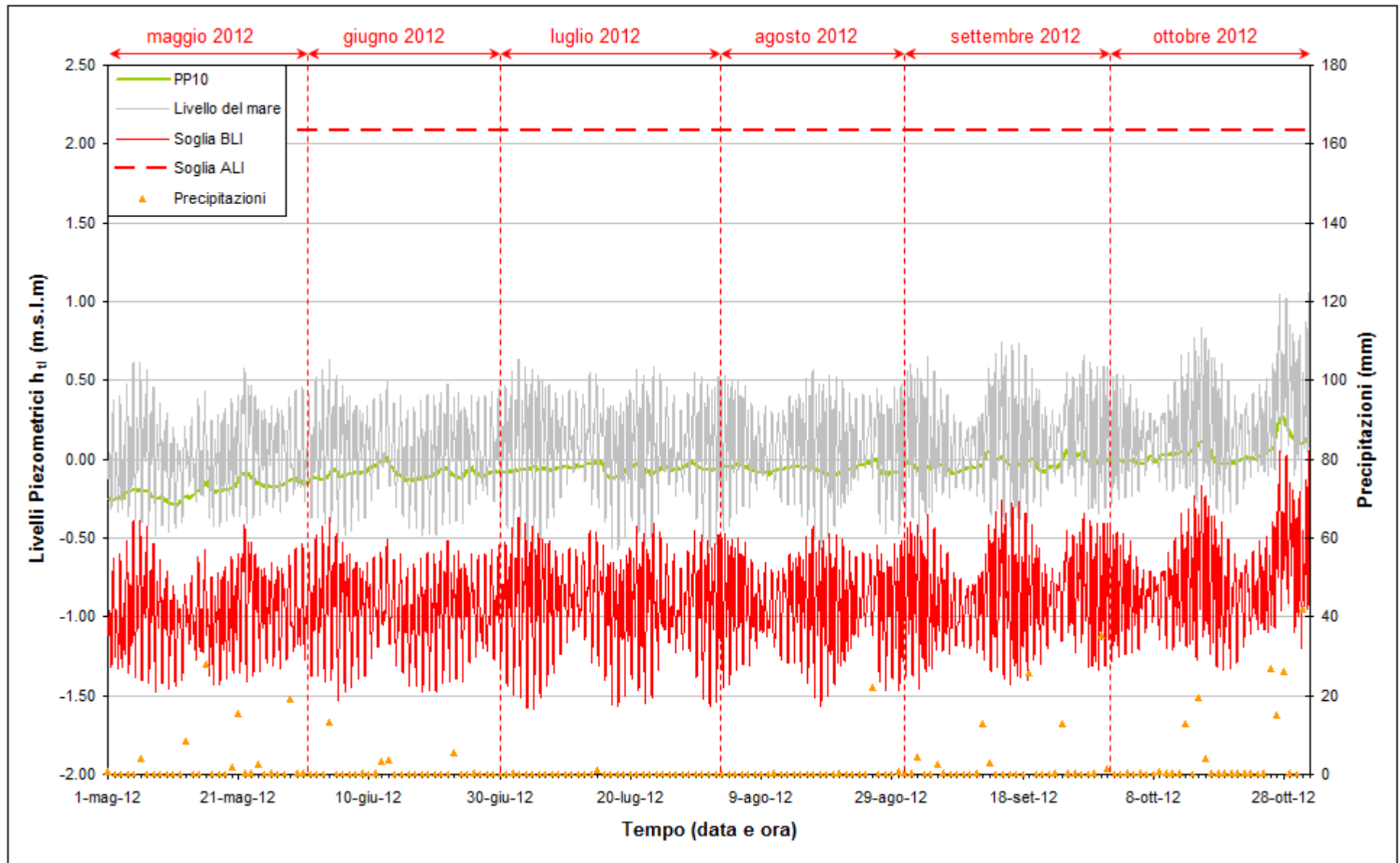


Fig. 2.57 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP10 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

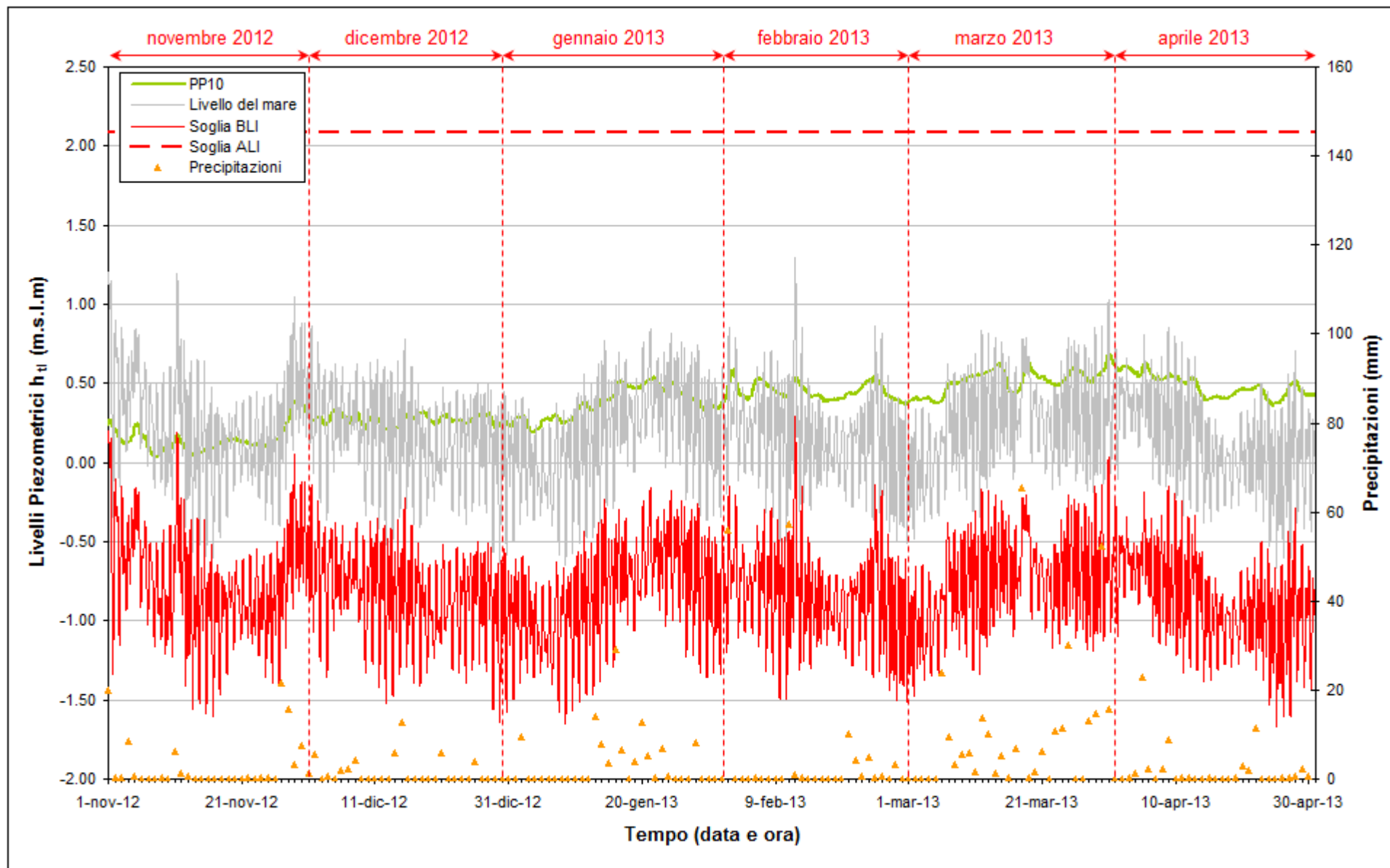


Fig. 2.58 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP10 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

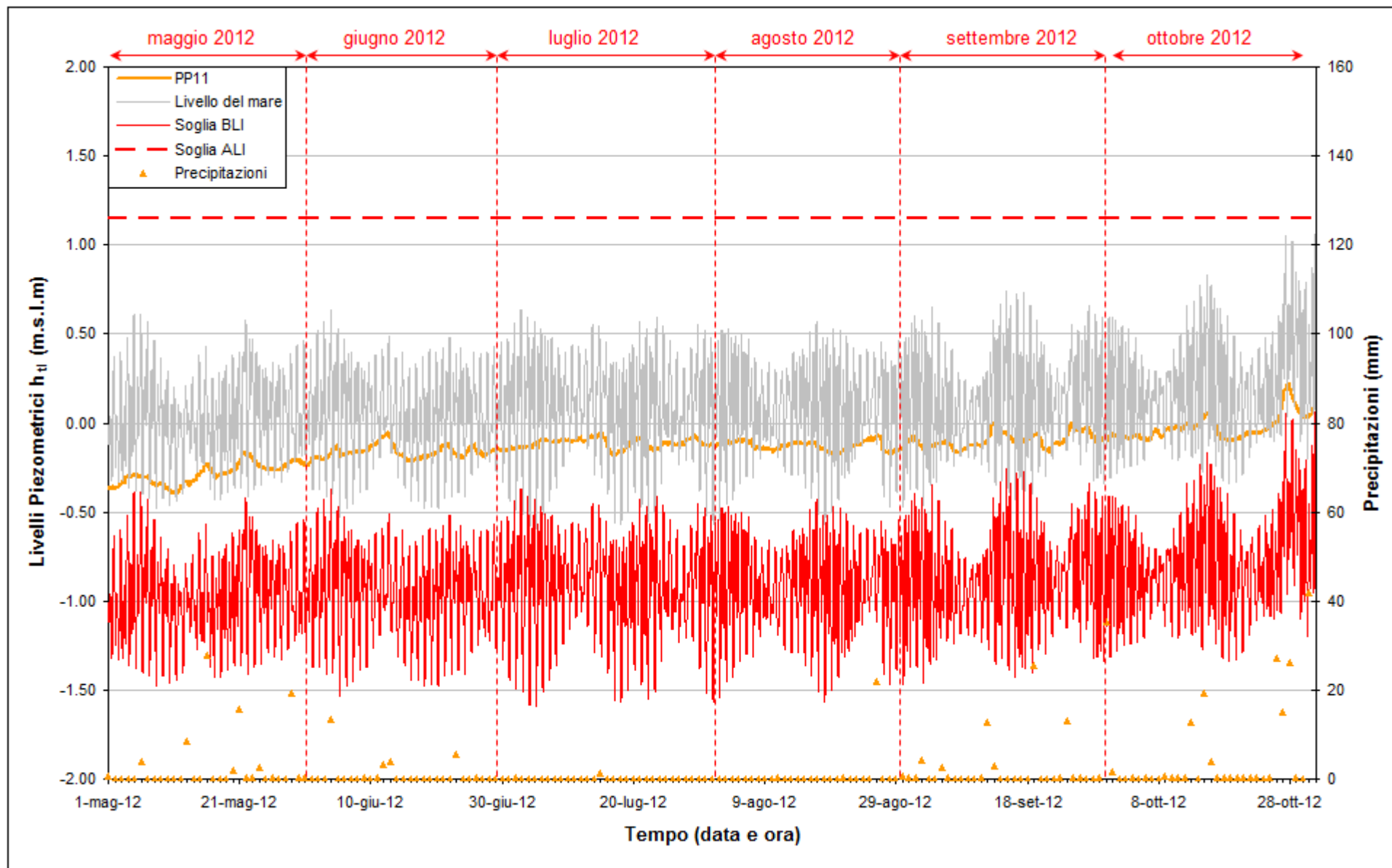


Fig. 2.59 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP11 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.



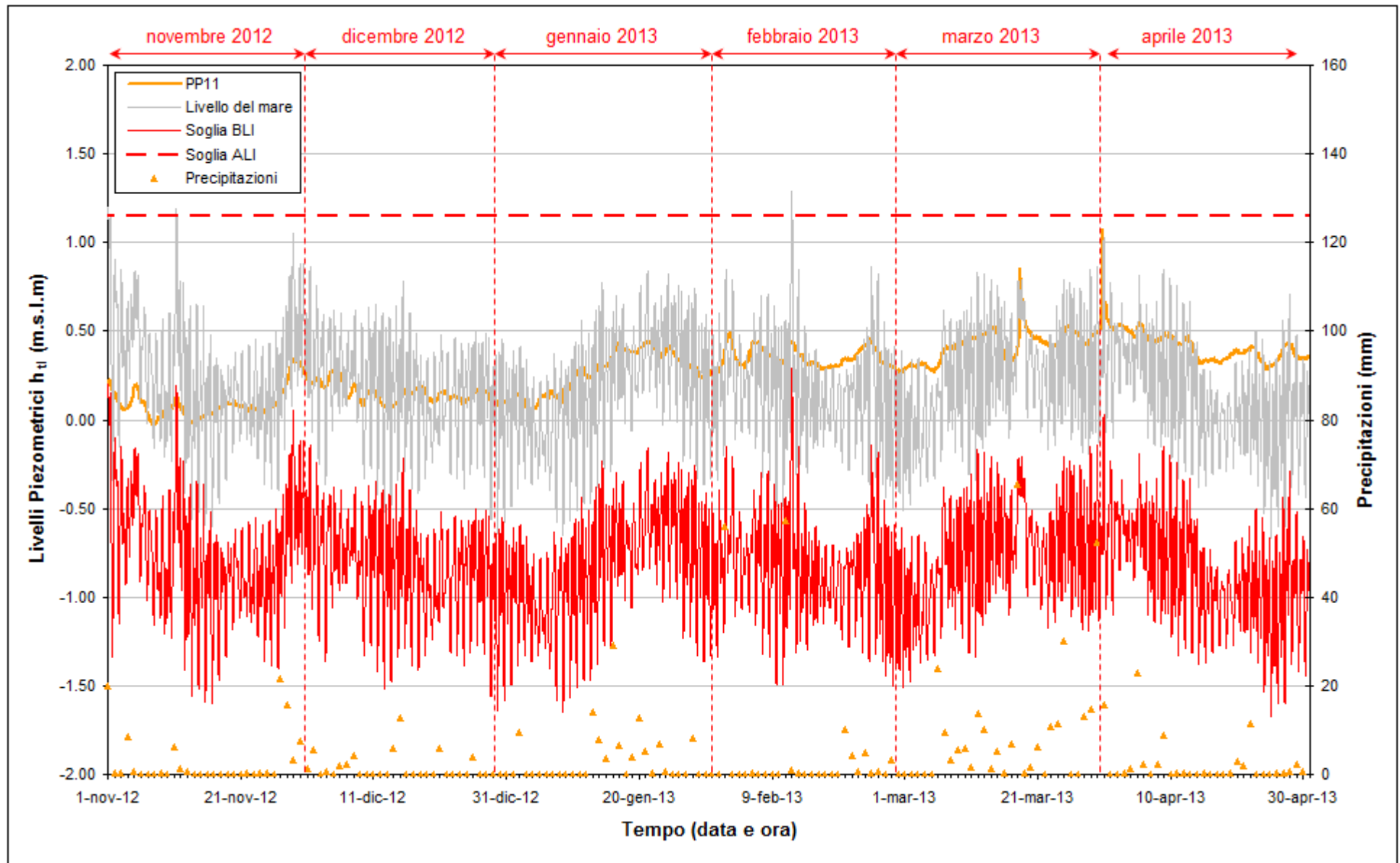


Fig. 2.60 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP11 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

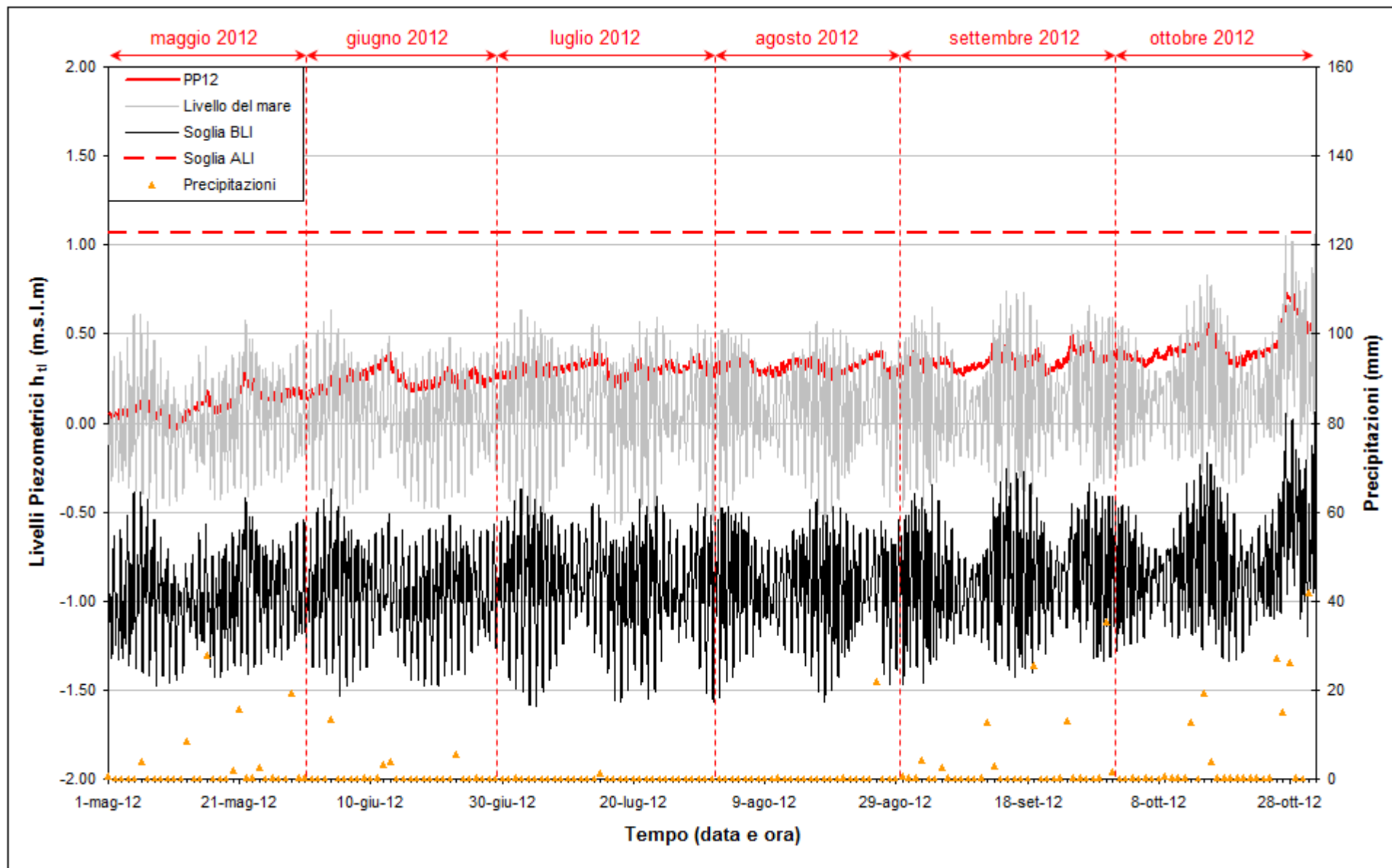


Fig. 2.61 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP12 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

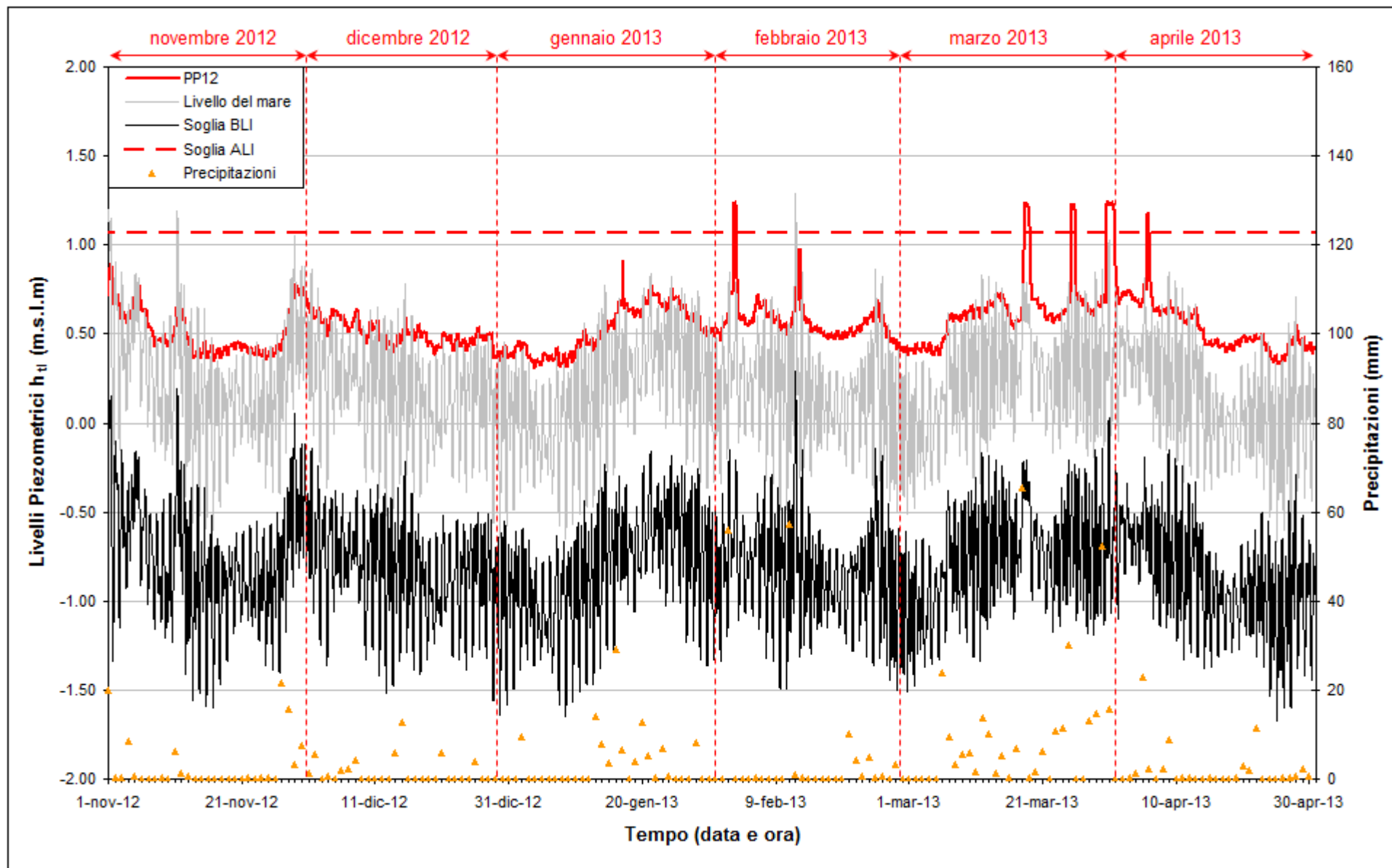
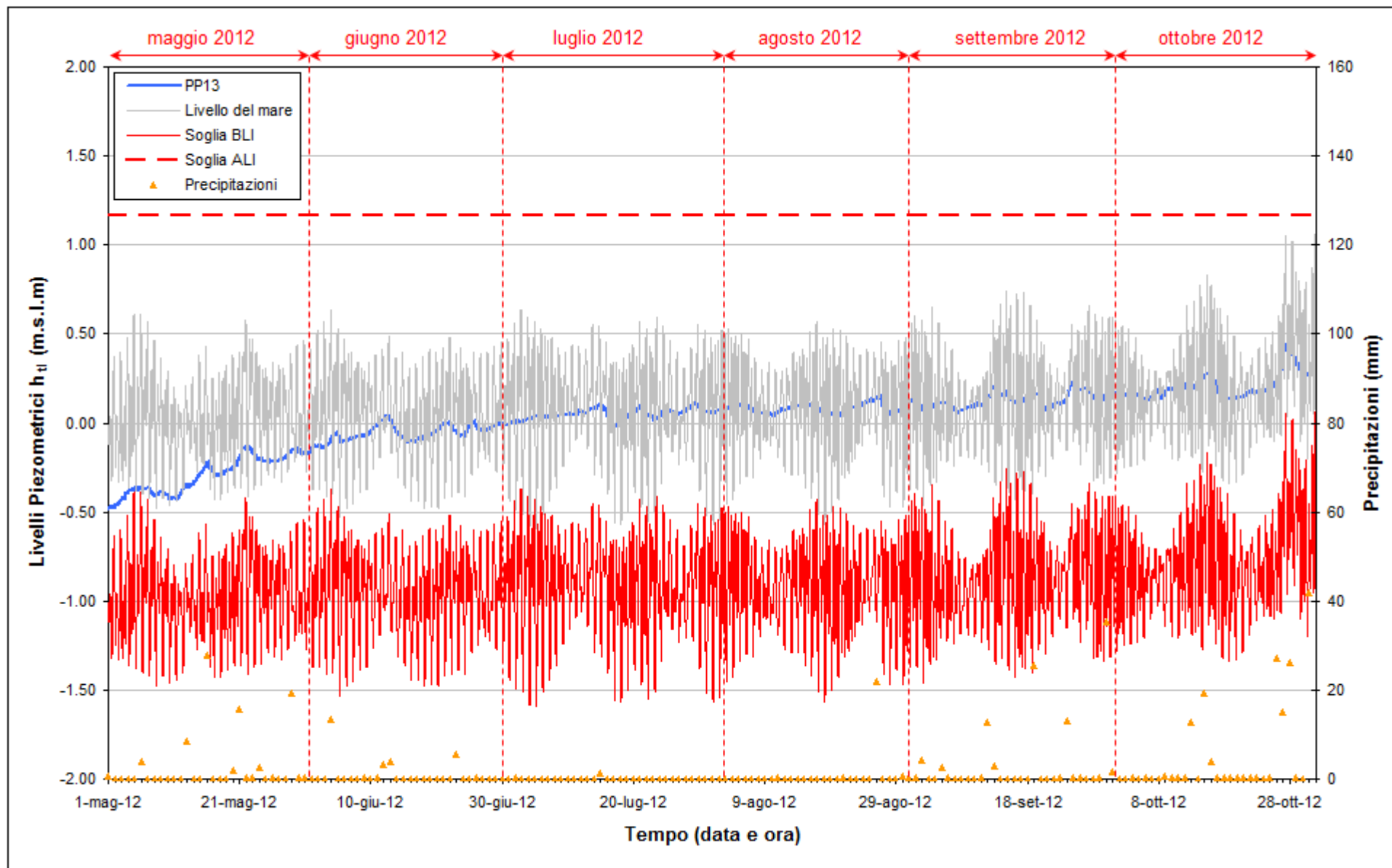


Fig. 2.62 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP12 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

Fig. 2.63 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP13 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

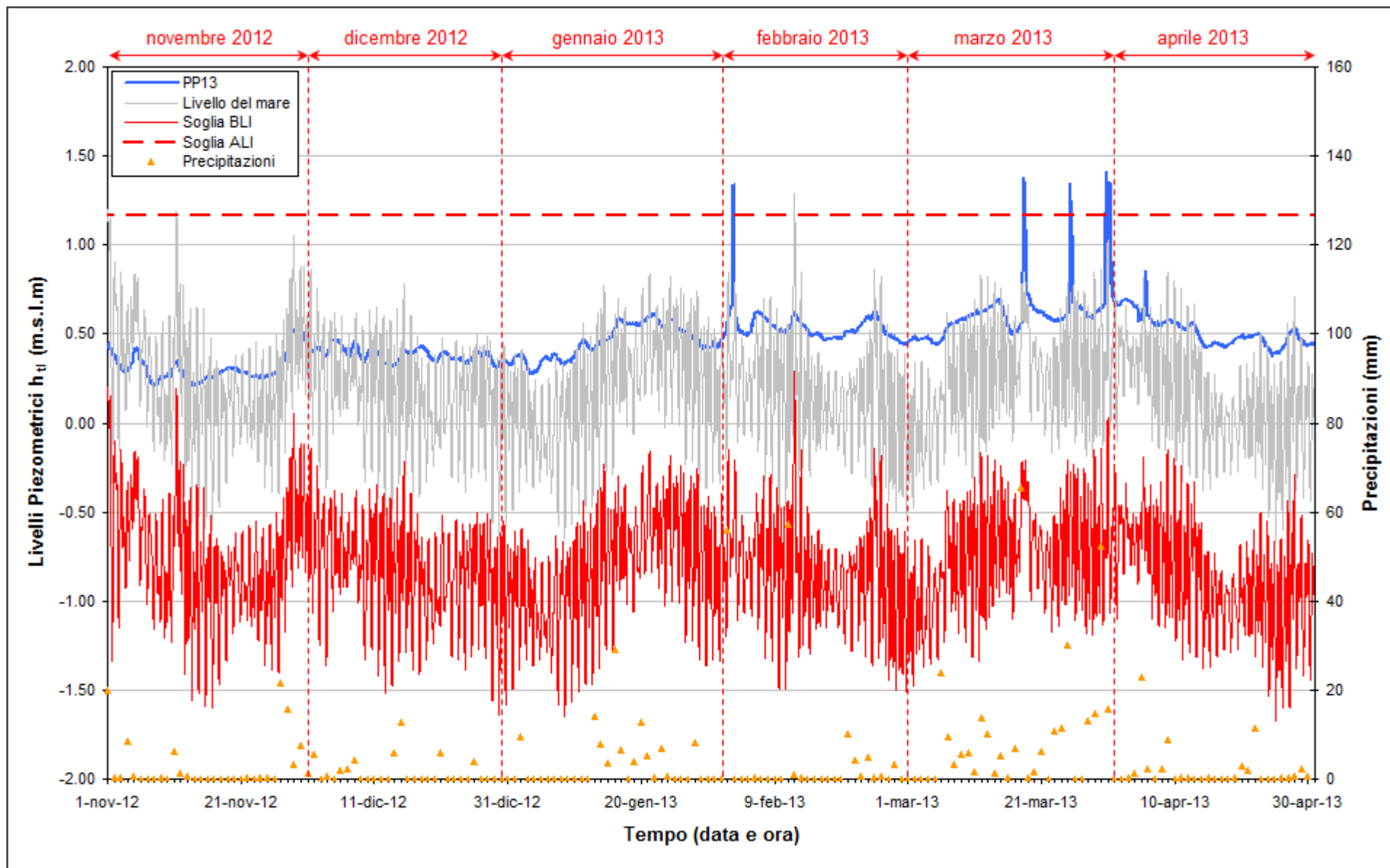
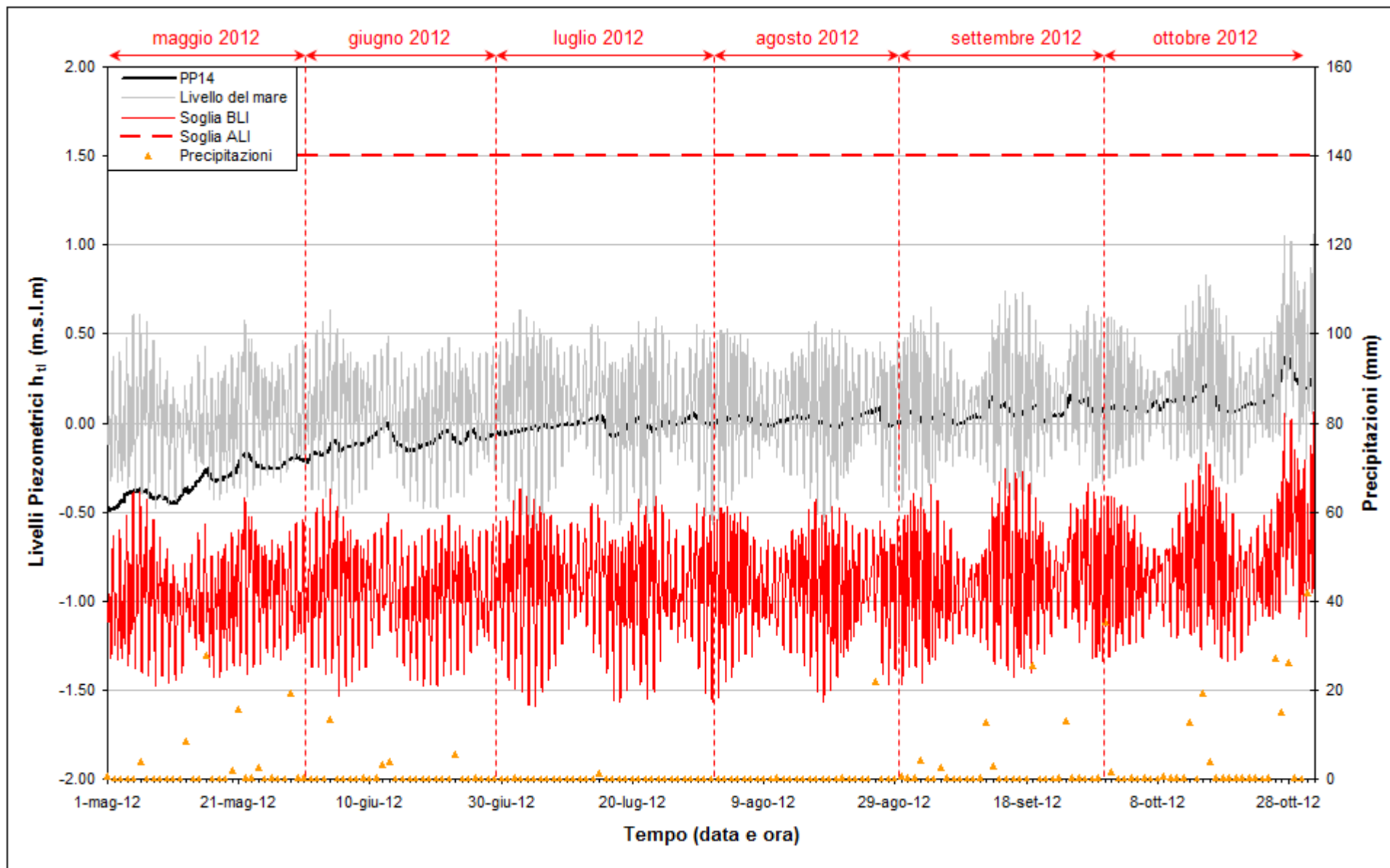


Fig. 2.64 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi al piezometro profondo PP13 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

Fig. 2.65 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP14 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

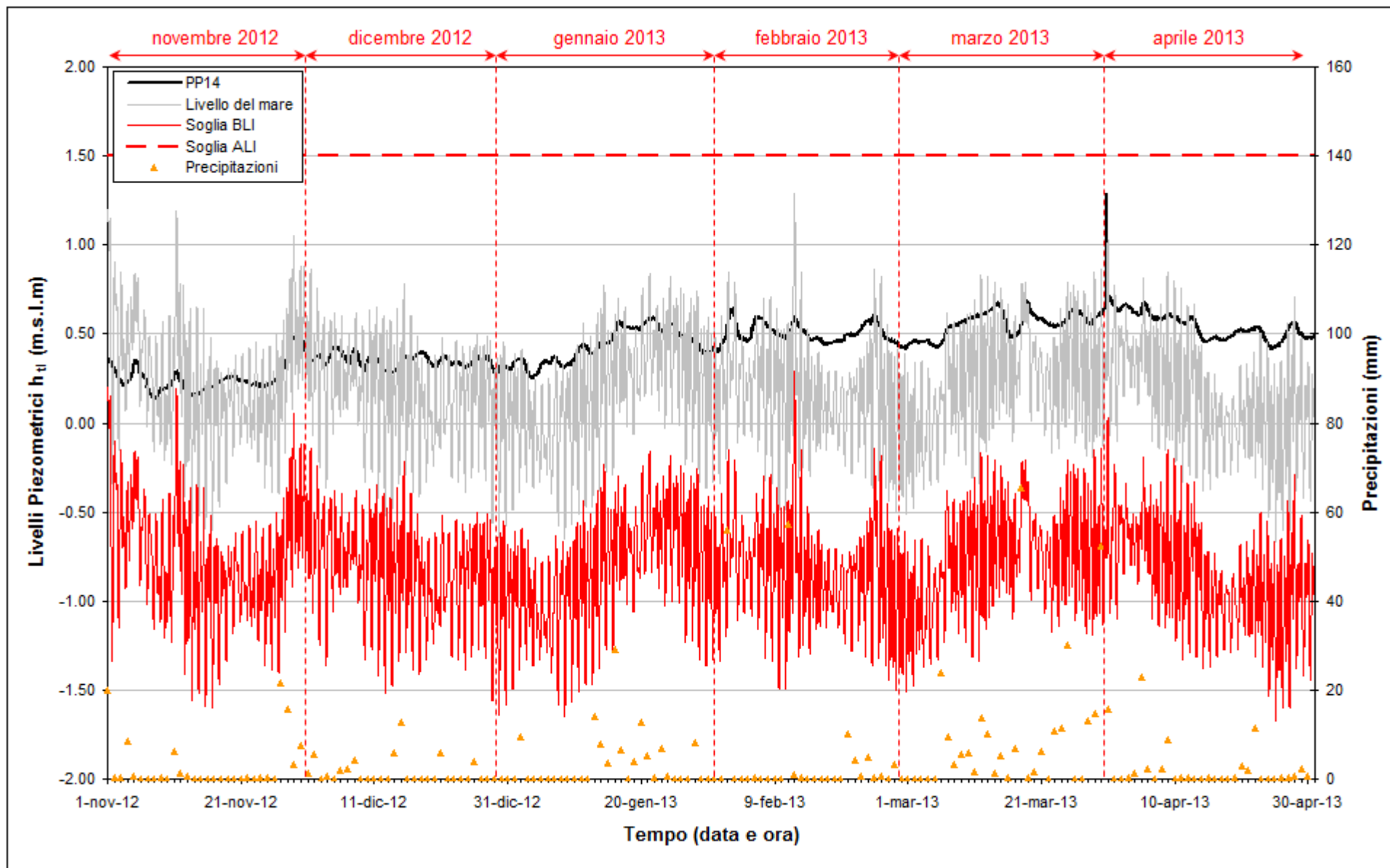


Fig. 2.66 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PP14 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

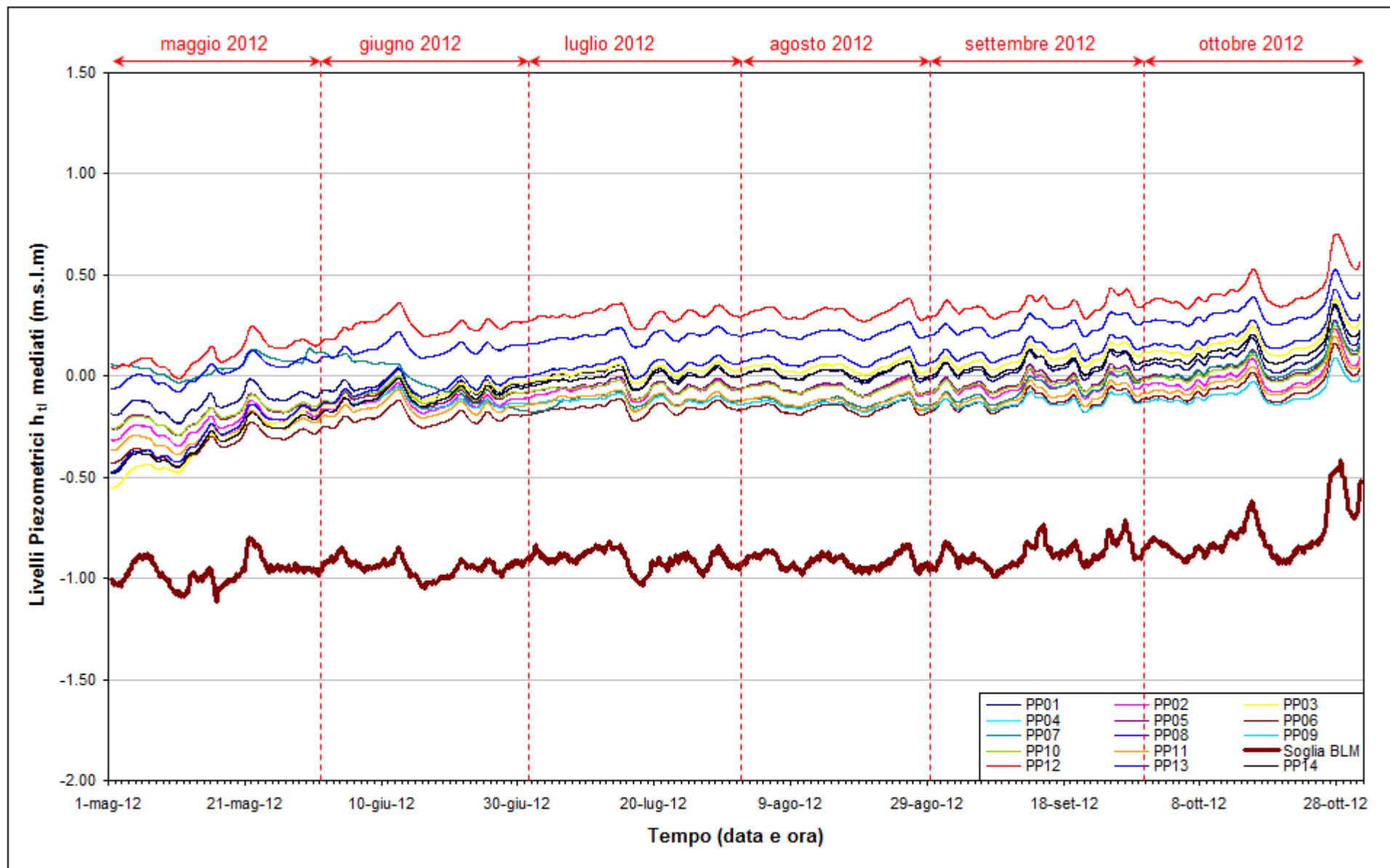


Fig. 2.67 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.



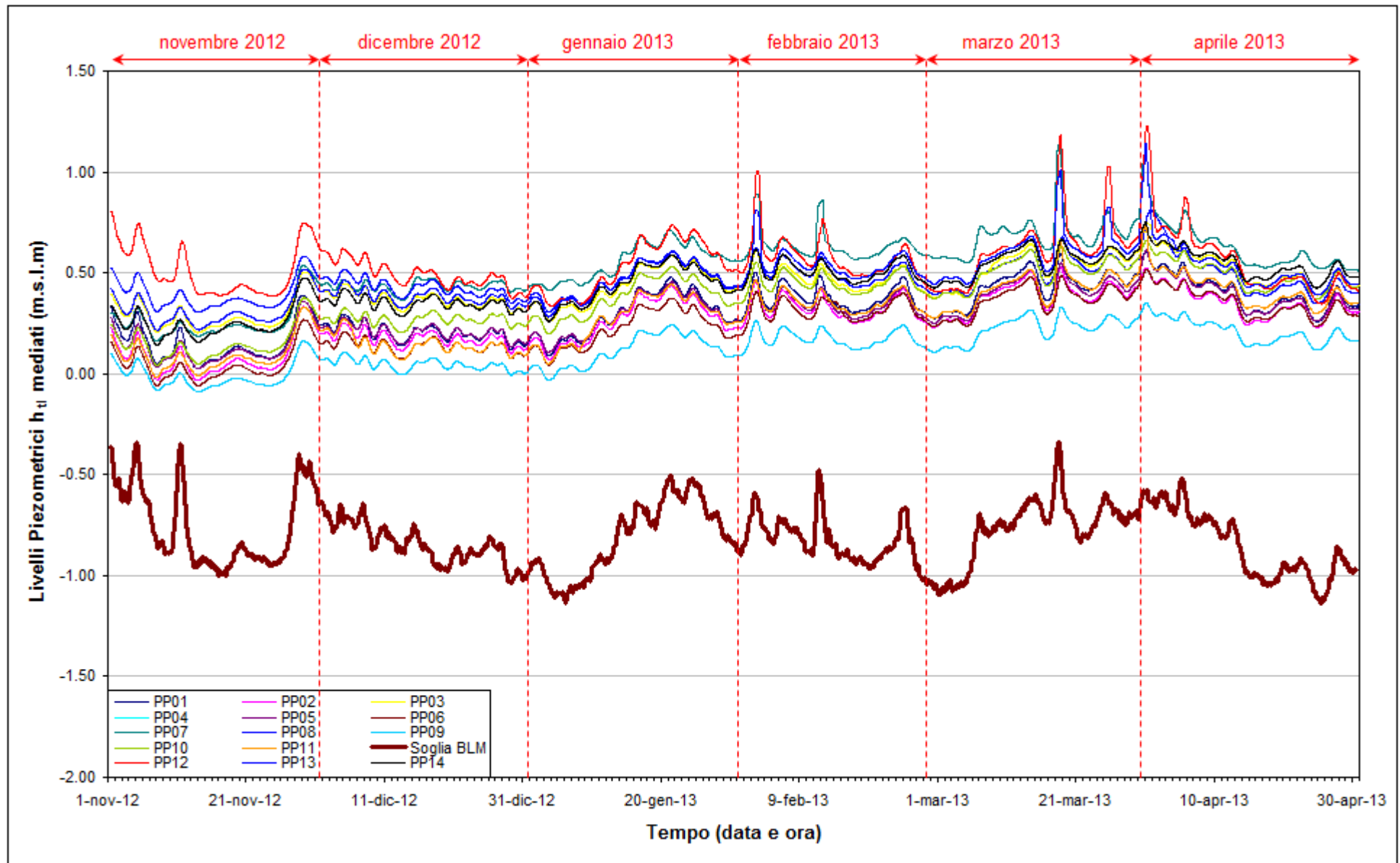


Fig. 2.68 – Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri profondi nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 – 30/04/2013.

## 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  $\rho_0$  ed alla quota media  $z_m = -6.036$  m s.l.m. (quota media di installazione dei trasduttori).

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

Mese	Data e ora
Fase A	12 novembre 2005 - h. 14:00
Maggio 2012	23 maggio 2012 - h. 11:00
Agosto 2012	22 agosto 2012 - h. 12:00
Dicembre 2012	6 dicembre 2012 - h. 11:00
Marzo 2013	19 marzo 2013 - h. 6:00
Aprile 2013	17 aprile 2013 - h. 7:00

### 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  $h_{Hl}$  relativi al primo livello acquifero: Fase A e cinque date di riferimento.

Piez.	X	Y	$z_t$ (m s.l.m.)	Fase A	Maggio	Agosto	Dicembre	Marzo	Aprile
				$h_{Hl}$ (m s.l.m.)	$h_{Hl}$ (m s.l.m.)	$h_{Hl}$ (m s.l.m.)	$h_{Hl}$ (m s.l.m.)	$h_{Hl}$ (m s.l.m.)	$h_{Hl}$ (m s.l.m.)
PS01	2318325.88	5035253.68	1.790	0.271	0.176	0.092	0.277	n.d.	n.d.
PS02	2318303.30	5034900.48	1.687	nd	0.349	0.264	0.393	0.734	0.182
PS03	2318377.62	5034552.61	1.459	0.331	0.372	-0.148	0.733	1.147	0.709
PS04	2318449.34	5034373.27	1.344	0.147	0.272	-0.227	0.611	1.023	0.543
PS05	2318582.01	5034989.80	1.816	0.799	0.334	-0.277	0.861	1.350	0.895
PS06	2318658.27	5034750.84	1.664	0.843	0.281	-0.373	0.924	1.475	0.882
PS07	2318785.95	5034898.62	1.403	0.654	0.208	-0.493	0.689	1.051	0.706
PS08	2318799.69	5034032.43	0.623	0.345	0.187	-0.417	0.335	0.821	0.513
PS09	2318764.67	5035448.00	2.248	0.638	0.212	-0.379	0.686	1.232	0.814
PS10	2318792.99	5035043.94	2.003	0.634	0.072	-0.712	0.449	1.138	0.742
PS11	2318787.28	5034652.23	1.086	0.673	0.054	-0.461	0.571	0.899	0.547

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

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

- nel mese di maggio 2012 (Fig.2.70) i livelli sono inferiori di circa 15÷60 cm rispetto alla configurazione *ante operam* (Novembre 2005);
- nel periodo estivo (giugno – settembre 2012) si è verificato abbassamento di ulteriori 50÷80 cm dei livelli di falda, come si può osservare nella piezometria di agosto 2012 (Figg.2.71). Questa variazione è dovuta all'evapotraspirazione e alle scarse precipitazioni piovose (totale giugno-settembre 2012: 52 mm, a fronte di una media di 185.3 mm registrata nello stesso periodo negli anni 1992÷2012. Fonte: stazione meteorologica "ARPAV - Cavallino Treporti"). In questo periodo, 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 e, come si può osservare nelle piezometrie di dicembre 2012 e marzo 2013 (Fig.2.72-2.73), il flusso di falda è diretto dalla terraferma al mare. I livelli nel mese di dicembre 2012 sono simili a quelli della configurazione *ante operam* (novembre 2005), ad eccezione dei piezometri PS03 e PS04, dove sono superiori di 40÷45 cm a causa dell'effetto-diga del diaframma impermeabile della tura che interrompe localmente il deflusso sotterraneo verso il mare. Nel mese di marzo 2013 i livelli di falda sono nettamente superiori (20÷90 cm) rispetto alla configurazione *ante operam*;
- Nel mese di aprile 2013 si osserva una consistente riduzione dei livelli di falda (circa 30÷50 cm) dovuta al deflusso verso il mare delle precipitazioni infiltratesi nei mesi precedenti.

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

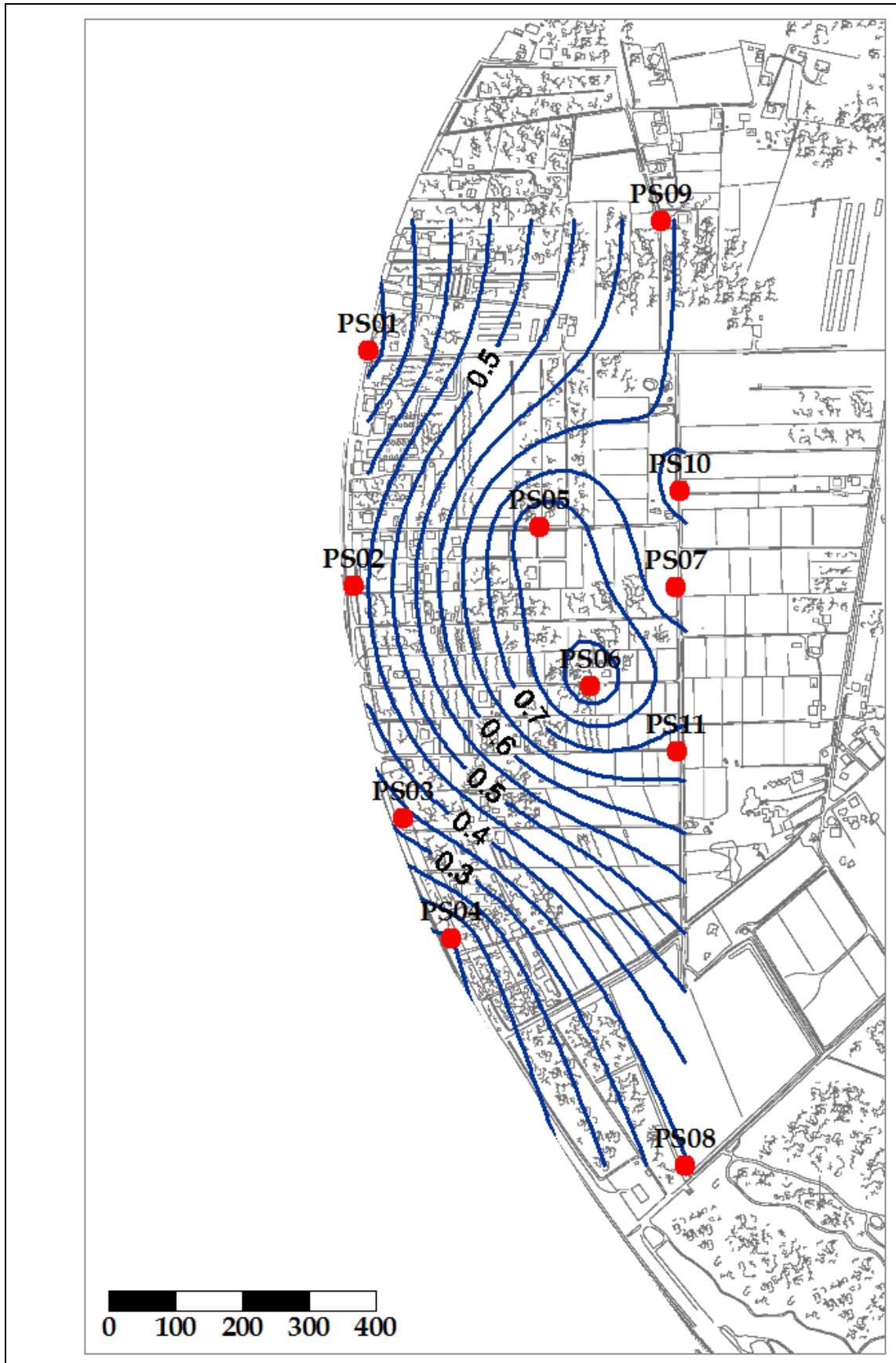


Fig. 2.69 - Piezometri superficiale Fase A - novembre 2005 ( $h_{tl}$  - m s.l.m.).

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

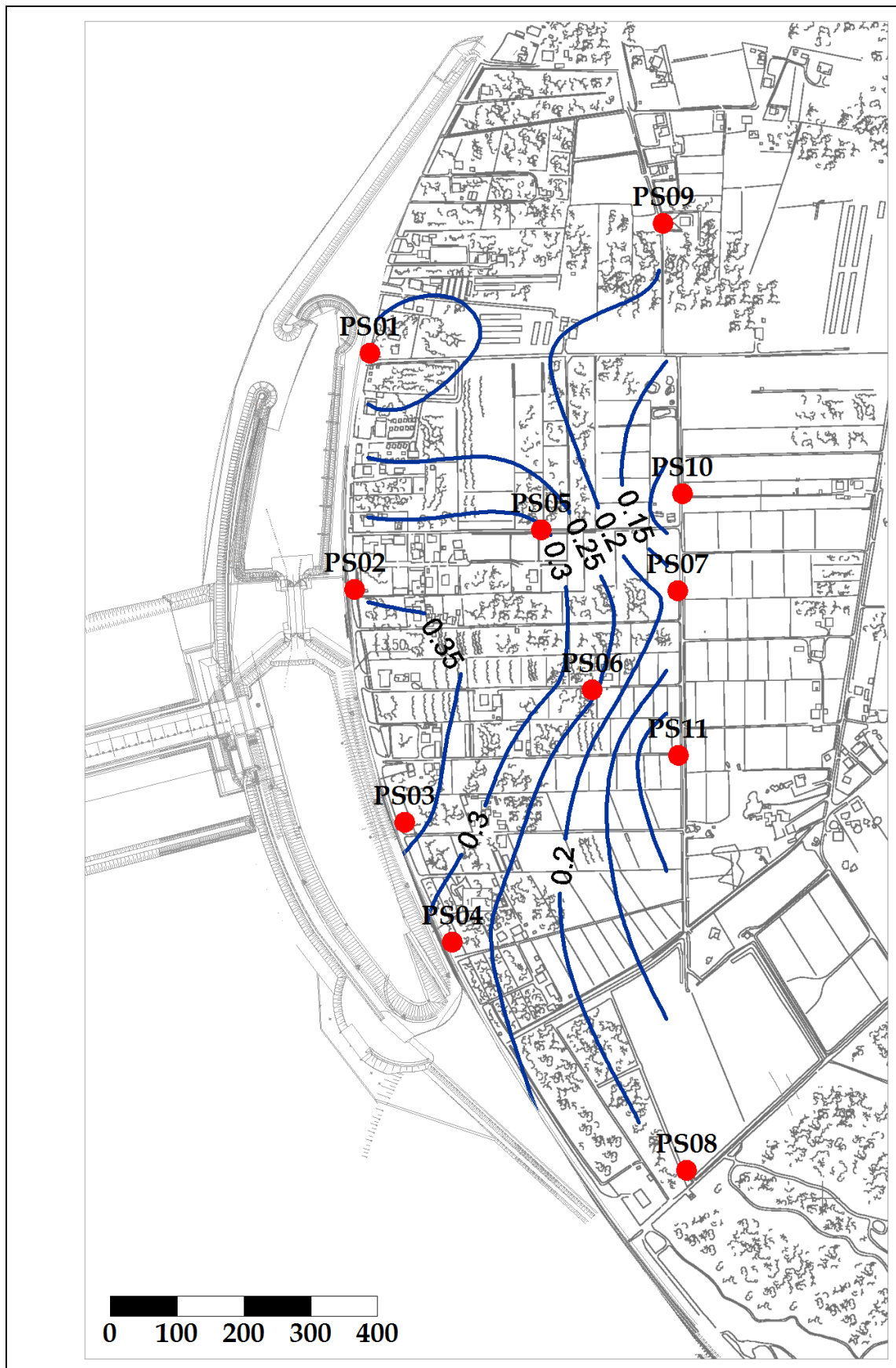


Fig. 2.70- Piezometria superficiale - maggio 2012 ( $h_d$  - m s.l.m.).

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

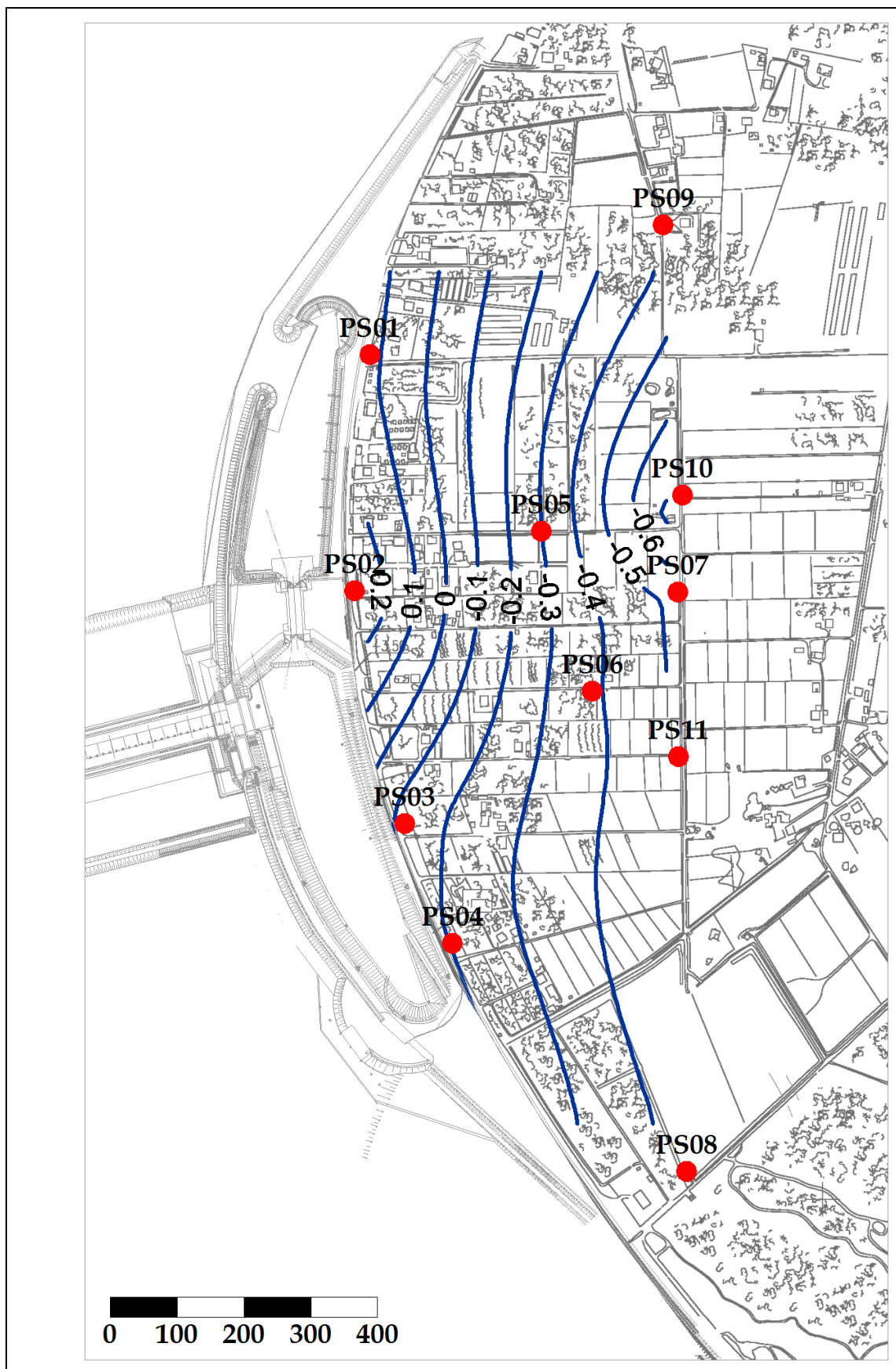


Fig. 2.71 - Piezometria superficiale – agosto 2012 ( $h_u$  - m s.l.m.).

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

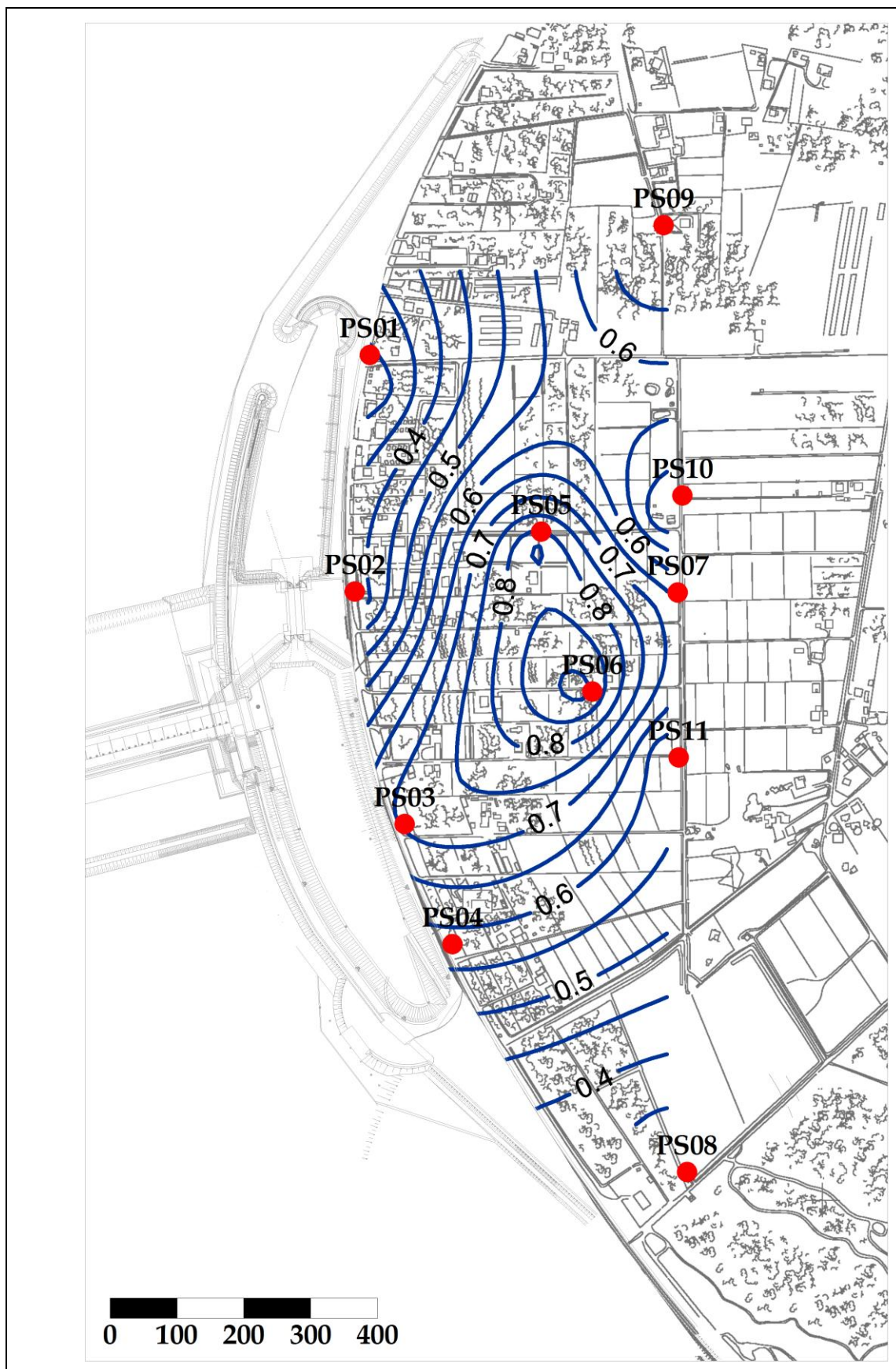


Fig. 2.72 - Piezometria superficiale - dicembre 2012 ( $h_u$  - m s.l.m.).

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

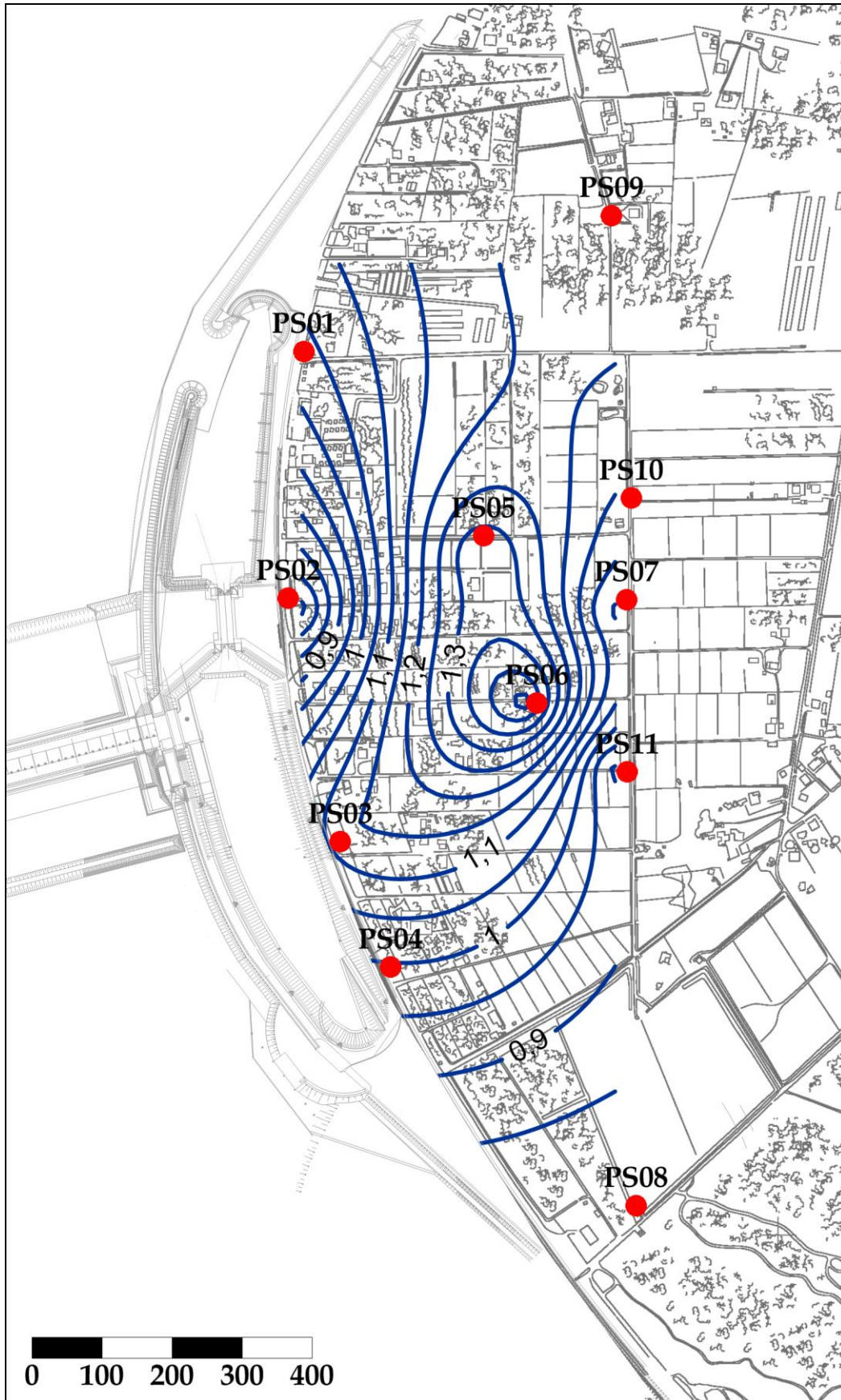


Fig. 2.73 - Piezometria superficiale - marzo 2013 (htl - m s.l.m.).



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

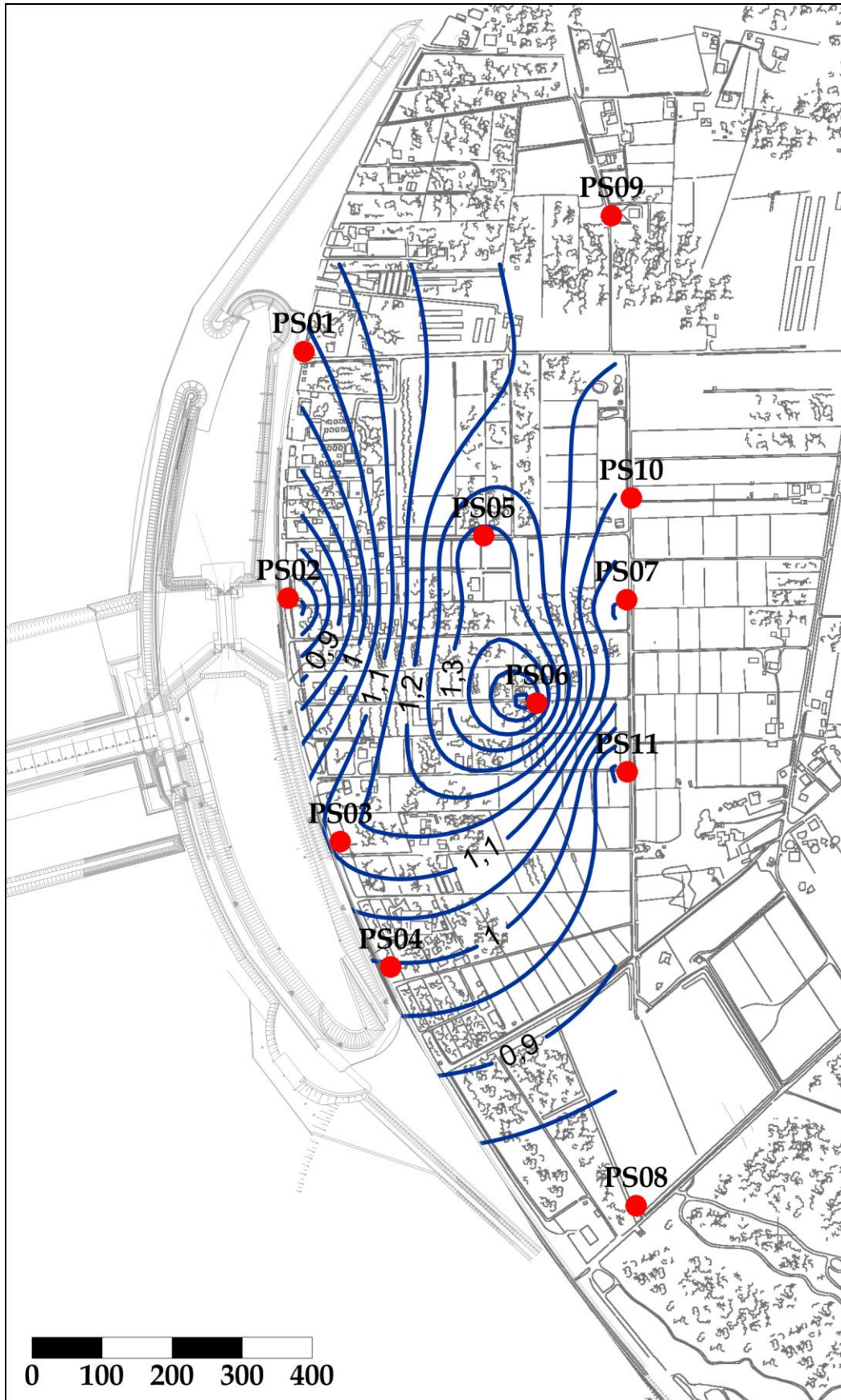


Fig. 2.74 - Piezometria superficiale - aprile 2013 ( $h_{fl}$  - m s.l.m.).

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  $h_{Ht}$  relativi al secondo livello acquifero: Fase A e cinque date di riferimento.

Piez.	X	Y	$z_t$ (m s.l.m.)	Fase A	Giugno	Agosto	Dicembre	Marzo	Aprile
				$h_{Ht}$ (m s.l.m.)	$h_{Ht}$ (m s.l.m.)	$h_{Ht}$ (m s.l.m.)	$h_{Ht}$ (m s.l.m.)	$h_{Ht}$ (m s.l.m.)	$h_{Ht}$ (m s.l.m.)
PP01	2318325.44	5035252.10	1.801	0.337	-0.049	0.059	0.220	0.525	0.260
PP02	2318303.40	5034898.36	1.681	0.298	-0.165	-0.034	0.186	0.490	0.229
PP03	2318378.37	5034550.49	1.431	0.353	-0.180	0.068	0.401	0.653	0.417
PP04	2318448.54	5034374.67	1.416	0.394	0.098	0.173	0.523	0.750	0.337
PP05	2318579.81	5034989.68	1.718	0.469	-0.138	-0.051	0.223	0.523	0.298
PP06	2318658.29	5034748.80	1.636	0.375	-0.271	-0.161	0.150	0.479	0.267
PP07	2318786.12	5034900.50	1.318	0.401	0.115	-0.126	0.423	0.746	0.527
PP08	2318800.26	5034031.14	0.747	0.260	0.086	0.232	0.471	0.678	0.388
PP09	2318765.07	5035445.93	2.255	0.339	n.d.	-0.144	0.066	0.313	0.137
PP10	2318793.08	5035045.83	2.086	0.302	-0.131	-0.061	0.281	0.618	0.402
PP11	2318787.40	5034654.31	1.149	0.288	-0.221	-0.126	0.215	0.539	0.324
PP12	2318498.26	5034363.43	1.071	nd	0.172	0.306	0.573	0.868	0.435
PP13	2318631.11	5034397.36	1.169	nd	-0.180	0.087	0.415	0.705	0.431
PP14	2318619.38	5034536.86	1.502	nd	-0.221	0.022	0.372	0.651	0.463

Nell'anno di monitoraggio (maggio 2012 - aprile 2013) si è completato il recupero della configurazione *ante operam* nell'acquifero profondo. I carichi idraulici misurati dai piezometri profondi sono ora influenzati prevalentemente dalle oscillazioni della pressione atmosferica e del livello medio del mare. Anche nell'acquifero profondo è possibile osservare, rispetto alla configurazione *ante operam*, un effetto-diga del diaframma impermeabile della tura nell'area intorno ai piezometri PP03, PP04, PP12, PP13, PP14.

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

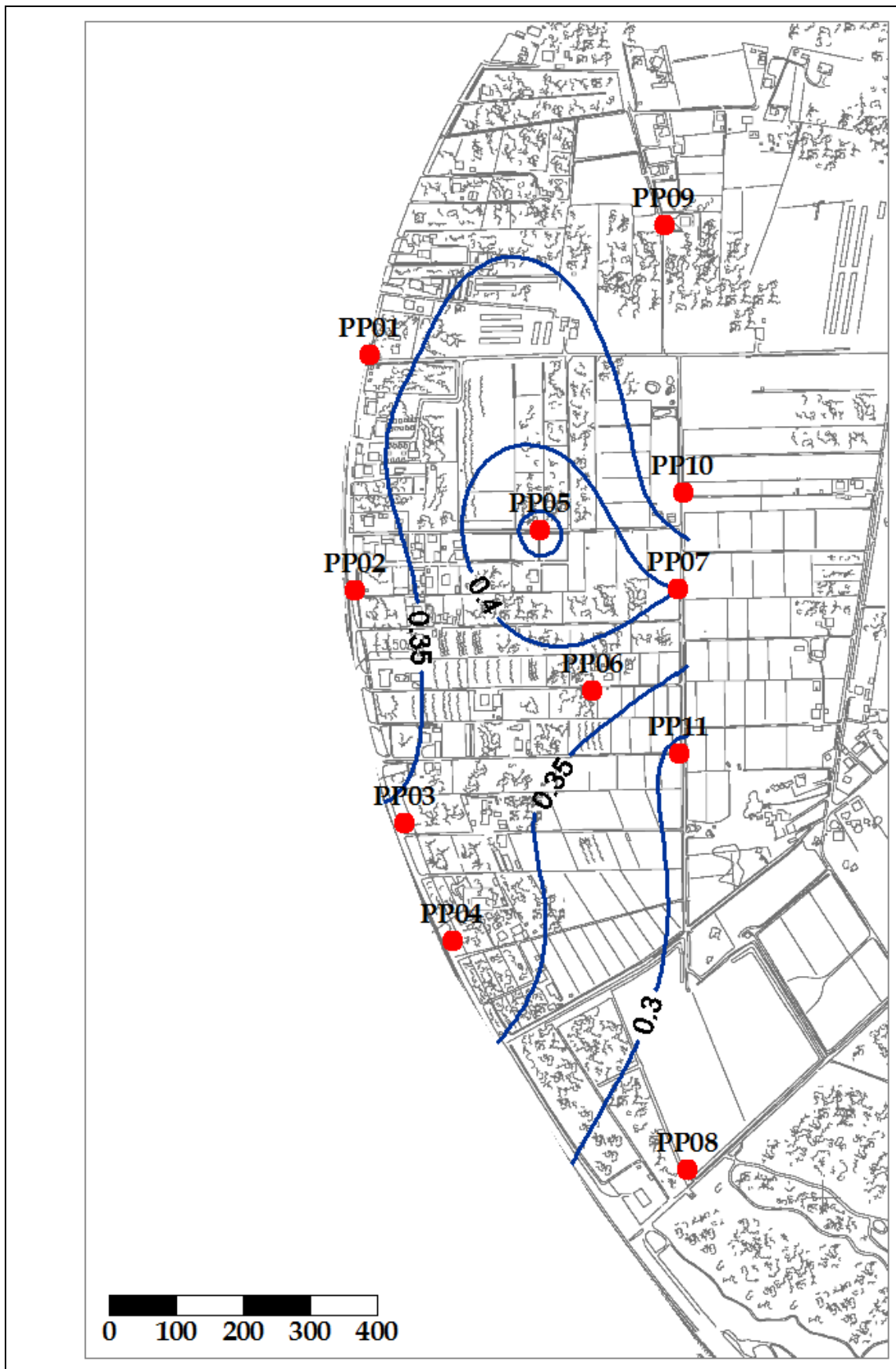


Fig. 2.75- Piezometria profonda Fase A - novembre 2005 ( $h_{d1}$  - m s.l.m.).

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

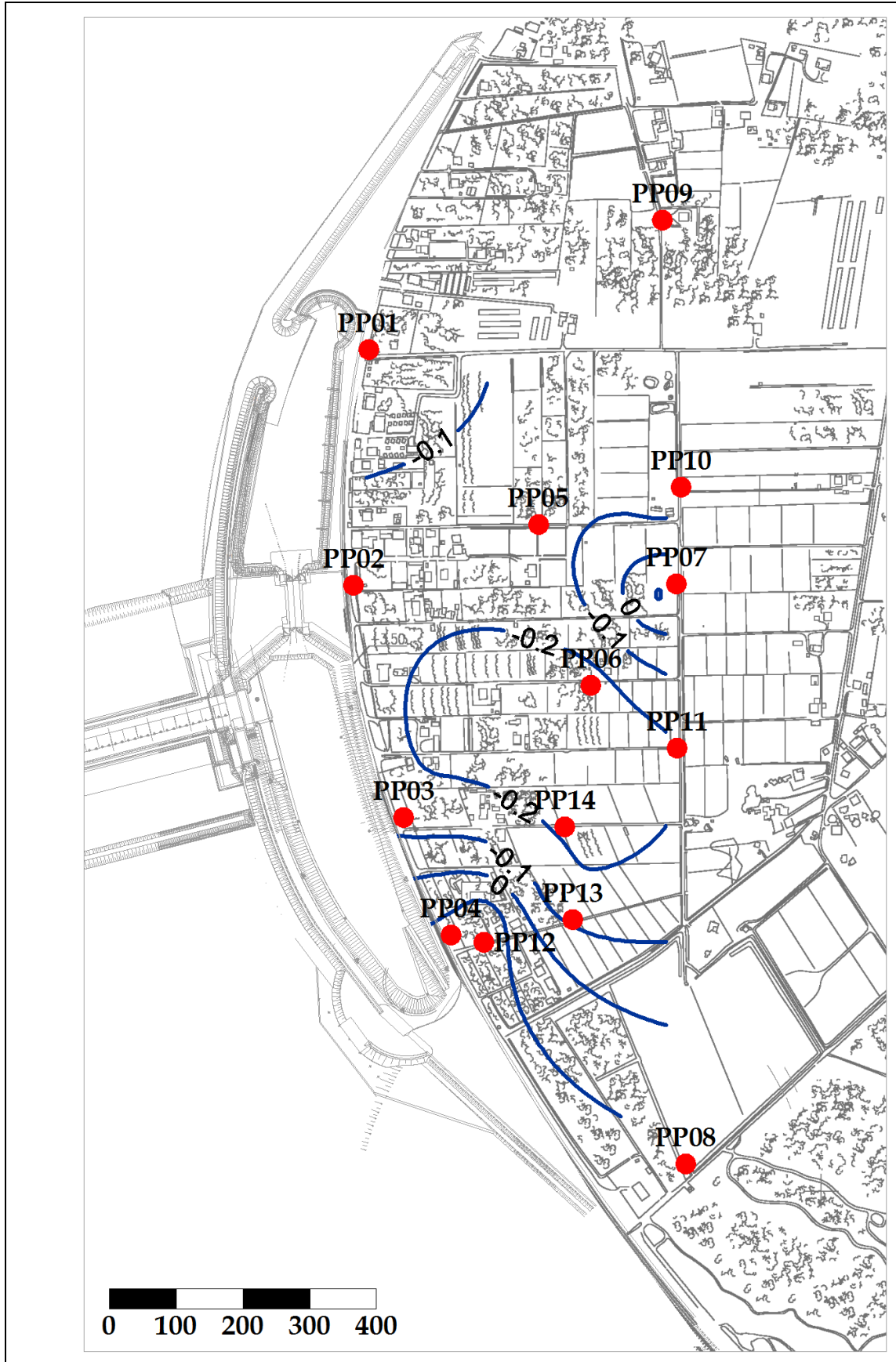
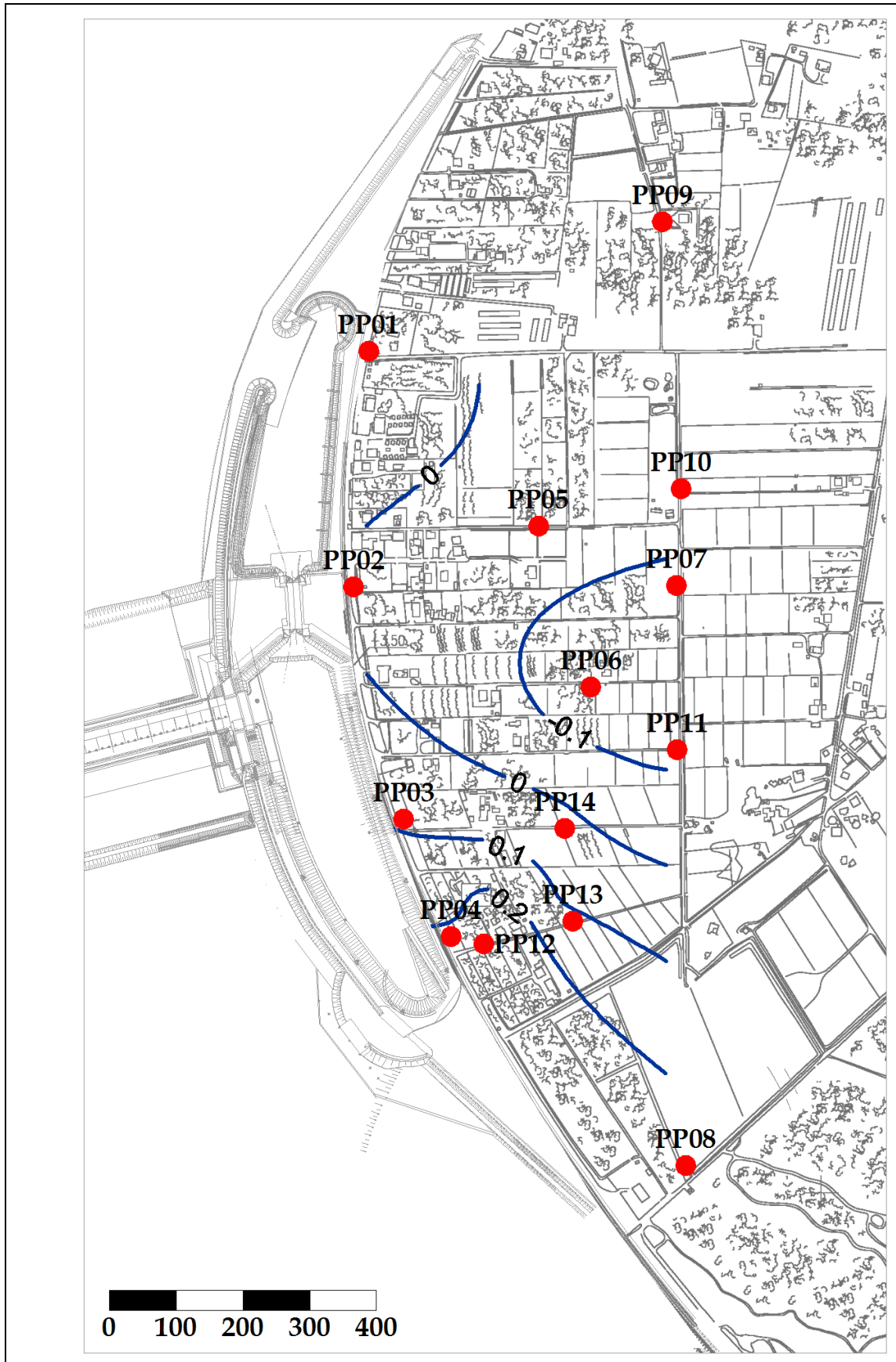


Fig. 2.76 - Piezometria profonda - maggio 2012 ( $h_{PI}$  - m s.l.m.)

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



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

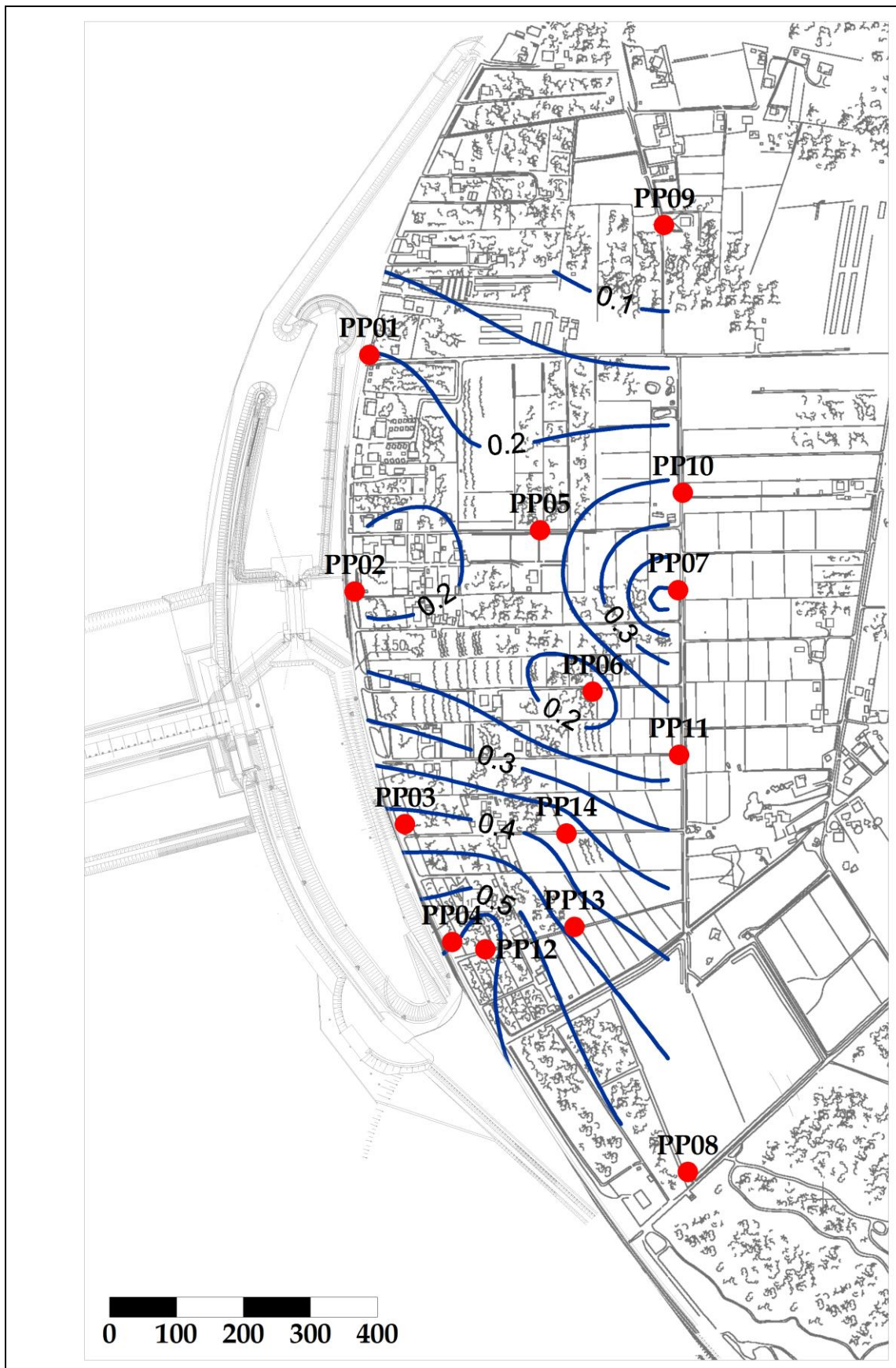


Fig. 2.78 - Piezometria profonda - dicembre 2012 ( $h_{II}$  - m s.l.m.).

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

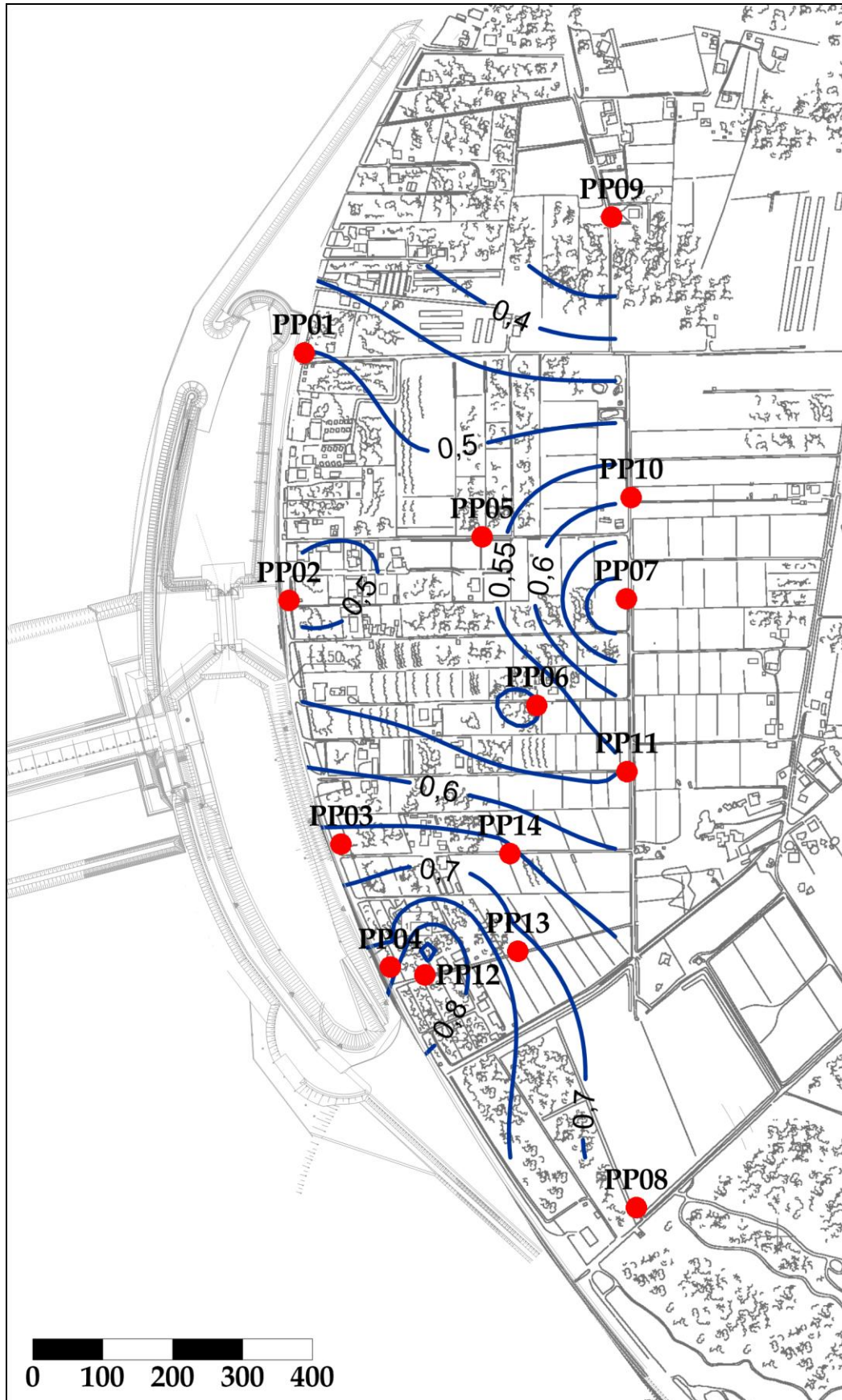


Fig. 2.79 - Piezometria profonda - marzo 2013 ( $h_h$  - m s.l.m.).

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

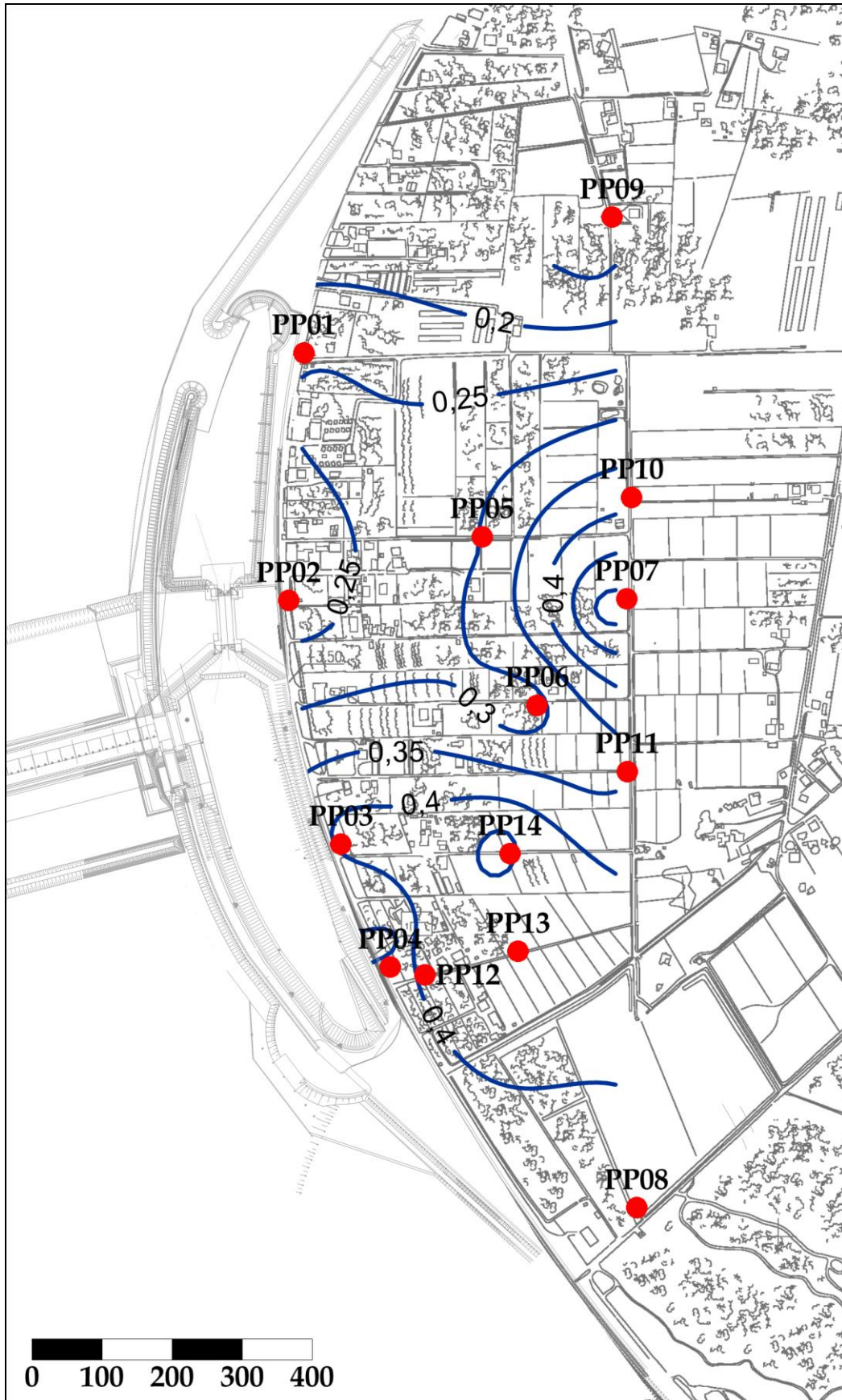


Fig. 2.80 - Piezometria profonda - aprile 2013 ( $h_u$  - m s.l.m.).



## 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 BOCHE LAGUNARI

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

Nei piezometri superficiali, le soglie di Alto Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate per tutto il periodo monitorato (01/05/12 - 30/04/13) ad eccezione di alcuni sporadici superamenti avvenuti in PS07, PS08, PS11 in seguito a eventi meteorici intensi. La soglia di Basso Livello Istantaneo è stata superata in occasione di alcuni massimi mareali nei mesi di agosto, settembre e ottobre 2012, nei piezometri PS06, PS07, PS09, PS10, PS11. Tali superamenti sono attribuibili alla diminuzione dei livelli di falda causata dalla prolungata siccità estiva (totale precipitazioni giugno-settembre 2012 pari a 52 mm, a fronte di una media di 185.3 mm registrata nello stesso periodo negli anni 1992÷2012. Fonte: stazione meteorologica "ARPAV - Cavallino Treporti"). La soglia di Basso Livello Medio è invece stata rispettata per tutto il periodo monitorato.

Nei piezometri profondi, la soglia di Basso Livello Medio è stata rispettata per tutto il periodo monitorato, mentre per la soglia di Basso Livello Istantaneo si osservano alcuni sporadici superamenti nei piezometri PP01, PP02, PP05, PP06, PP09, PP10, PP11 in occasione di alcuni picchi di marea, e nel piezometro PP03 nel mese di maggio 2012, durante il quale si stava completando il recupero dei livelli piezometrici alla configurazione *ante operam* dell'acquifero profondo.

## 2.5 ANALISI DELLA SALINITÀ DELL'ACQUA DI FALDA

Nei paragrafi che seguono vengono analizzati i risultati del monitoraggio dell'evoluzione della salinità dell'acqua di falda, che viene effettuato con rilievi mensili della conducibilità elettrica nei piezometri profondi PP01÷PP11 e PS01÷PS11, utilizzando una sonda multiparametrica Solinst TLC 107. In ciascuna postazione, dopo aver misurato la soggiacenza, si è proceduto alla lettura dei dati di temperatura e conduttanza specifica. Il primo valore è stato determinato posizionando lo strumento a 10 cm di profondità rispetto al pelo libero dell'acqua, mentre i successivi sono stati misurati a profondità crescenti, ad intervalli costanti di 1 metro, fino al raggiungimento del fondo foro.

Nel capitolo 2.5.1 si riportano i profili di densità dell'acqua di falda, calcolati utilizzando una correlazione empirica che lega questa grandezza alla conducibilità elettrica e alla temperatura. I profili vengono confrontati con la situazione *ante operam*.

Nel capitolo 2.5.2 si riporta un confronto grafico dei valori di conducibilità elettrica rilevati nei 12 mesi di monitoraggio, che permette di comprendere le dinamiche stagionali di questo parametro.

### 2.5.1 Profili verticali di densità

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

Nelle Figg. 2.81÷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 PS02, situati a nord, e nel piezometro PS11 si osserva una crescita della conducibilità elettrica (e, conseguentemente, della densità dell'acqua di falda) nei mesi autunnali invernali, seguita da una riduzione nei mesi successivi. Attualmente in entrambi i piezometri si osservano valori di densità inferiori a quelli della fase *ante operam*;
- nei piezometri PS03, PS04, PS05, PS06, PS07, PS09, PS10 si osserva nell'anno una riduzione progressiva della densità dell'acqua di falda, attribuibile al progressivo recupero dei livelli piezometrici che ha comportato una maggiore diluizione dei sali disciolti. I valori di densità si mantengono simili o inferiori a quelli registrati durante la Fase A;
- nel piezometro PS08 si osservano i valori medi più elevati, che però si mantengono inferiori rispetto alla fase *ante operam*.

In generale, nell'acquifero superficiale si osserva una riduzione della salinità dell'acqua (e quindi della conducibilità elettrica e della densità), attribuibile al recupero del livello di falda in seguito alle precipitazioni piovose avvenute in particolare nella seconda metà dell'anno di monitoraggio (novembre 2012 - aprile 2013: 747.2 mm, a fronte di una media per questo periodo pari a 366.2 mm nel periodo 1992÷2012. fonte: stazione meteorologica "ARPAV - Cavallino Treporti").

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

Nei piezometri profondi, si osservano i seguenti comportamenti:

- nei piezometri PP01, PP02, PP06, PP07, PP09, PP10 si osserva una diminuzione dei valori di densità dell'acqua di falda tra l'inizio e la fine dell'anno di monitoraggio. I valori attuali sono simili o inferiori rispetto alla situazione *ante operam*;
- nel piezometro PP08 si è verificata una lieve crescita durante l'anno di monitoraggio, tuttavia i valori di densità si mantengono molto inferiori rispetto alla fase *ante operam*;
- nei piezometri PP03, PP04, PP05, PP11 non si osservano trend di variazione della densità dell'acqua di falda, che si mantiene su valori simili o inferiori rispetto alla Fase A.

In entrambi gli acquiferi monitorati i valori attuali di densità sono nella maggior parte dei casi inferiori rispetto alla situazione *ante operam*. Non si sono quindi verificati incrementi dell'intrusione salina attribuibili all'influenza del cantiere.

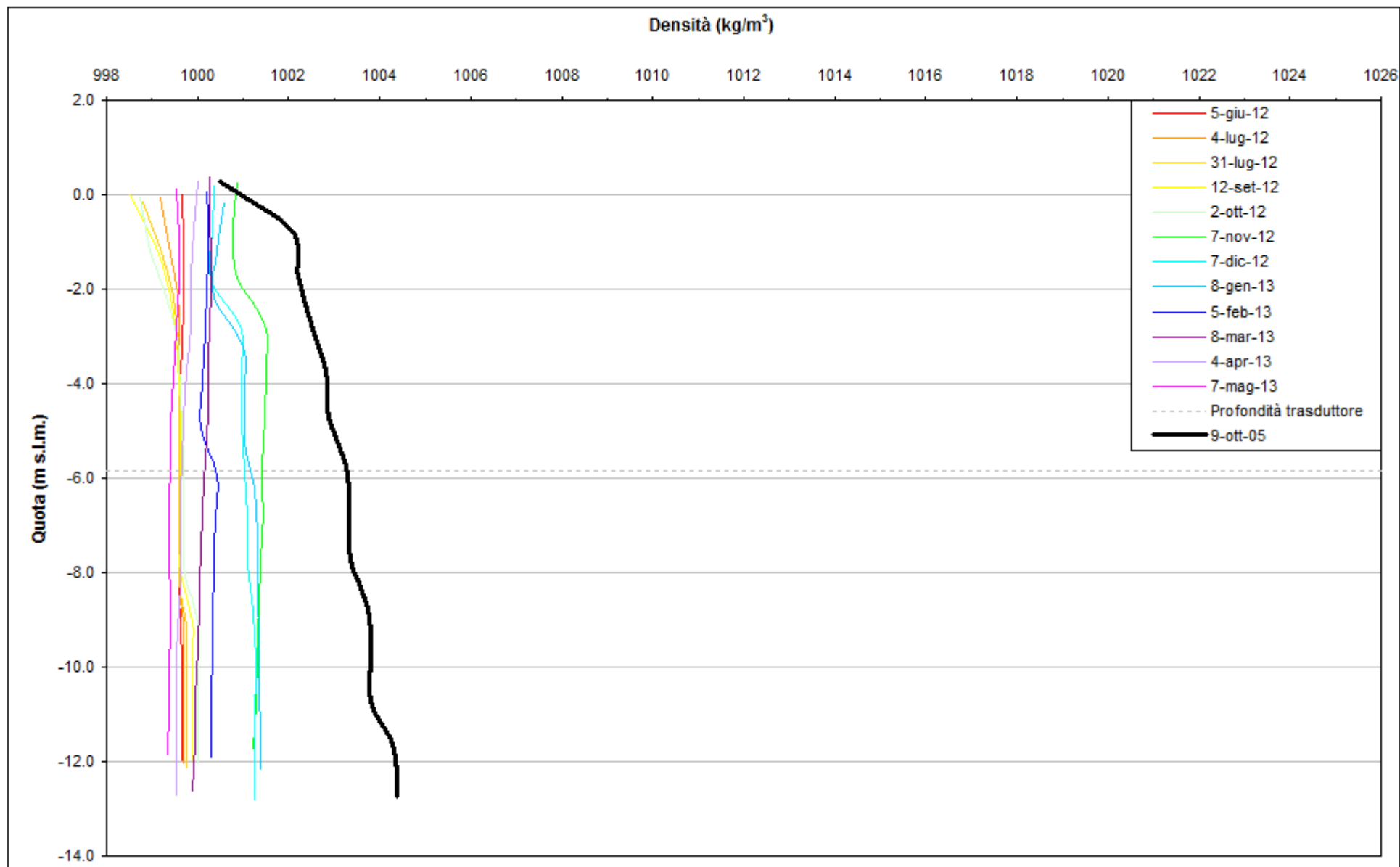


Fig. 2.81 - Profili verticali di densità PS01.

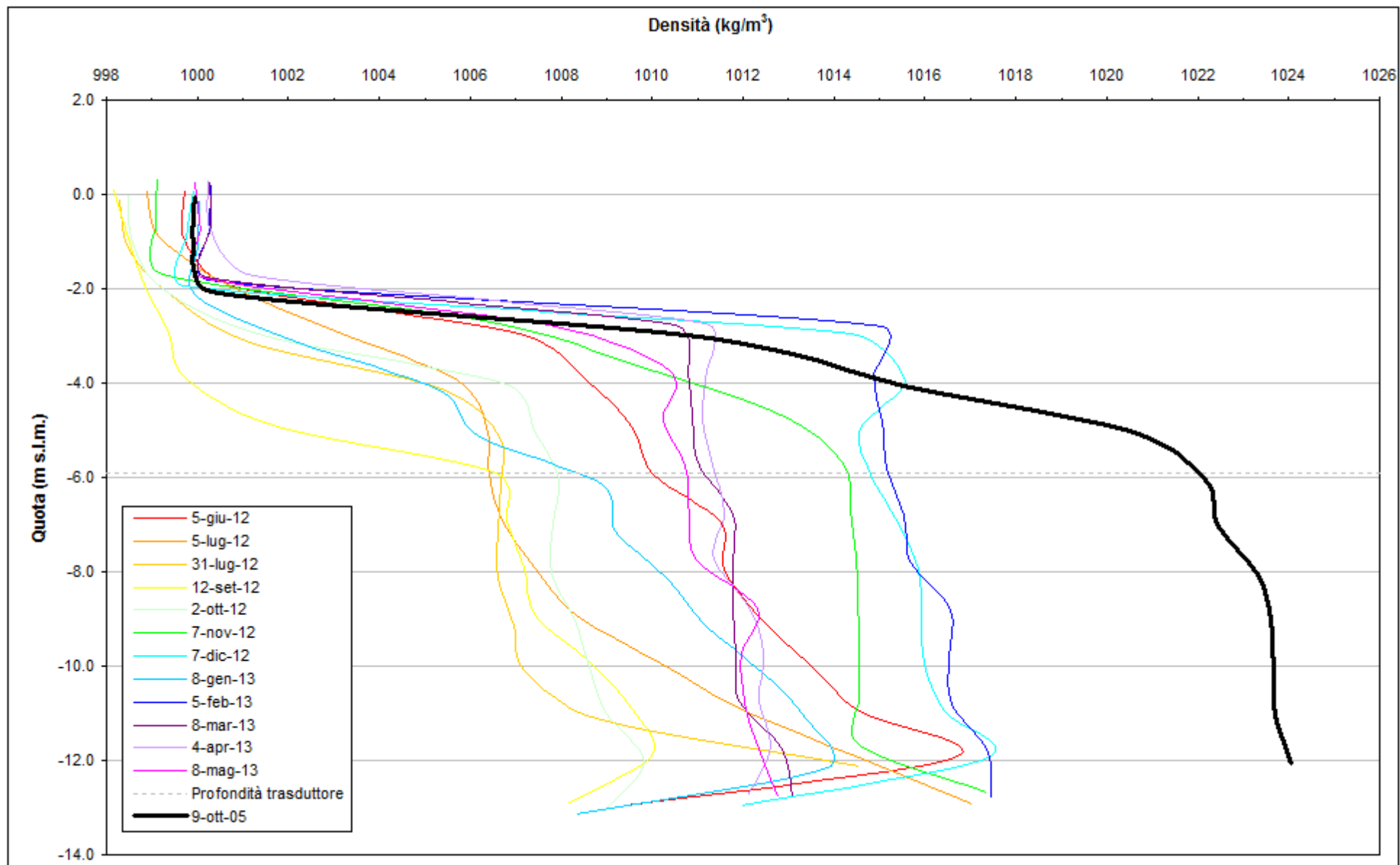


Fig. 2.82 - Profili verticali di densità PS02.

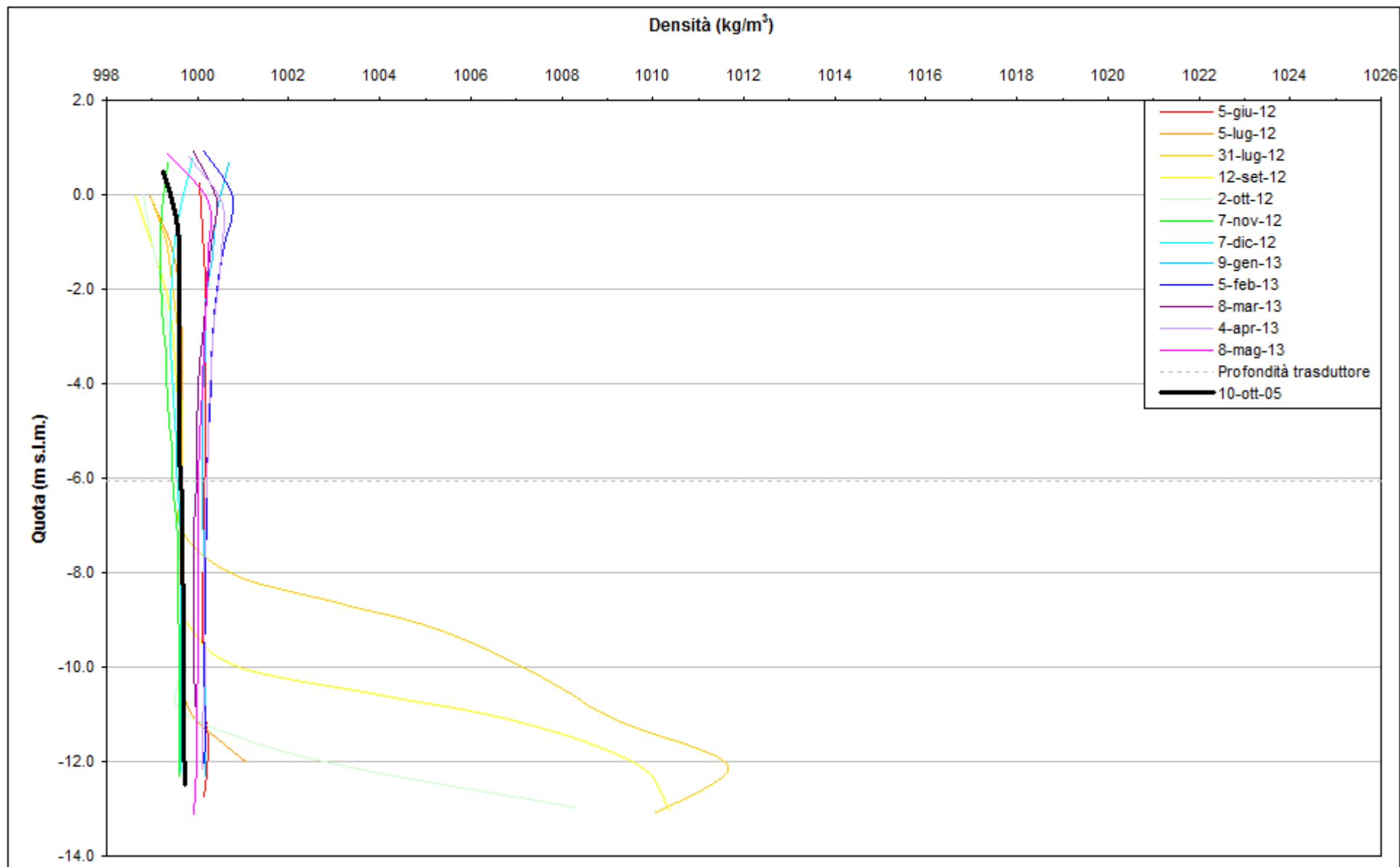


Fig. 2.83 - Profili verticali di densità PS03.

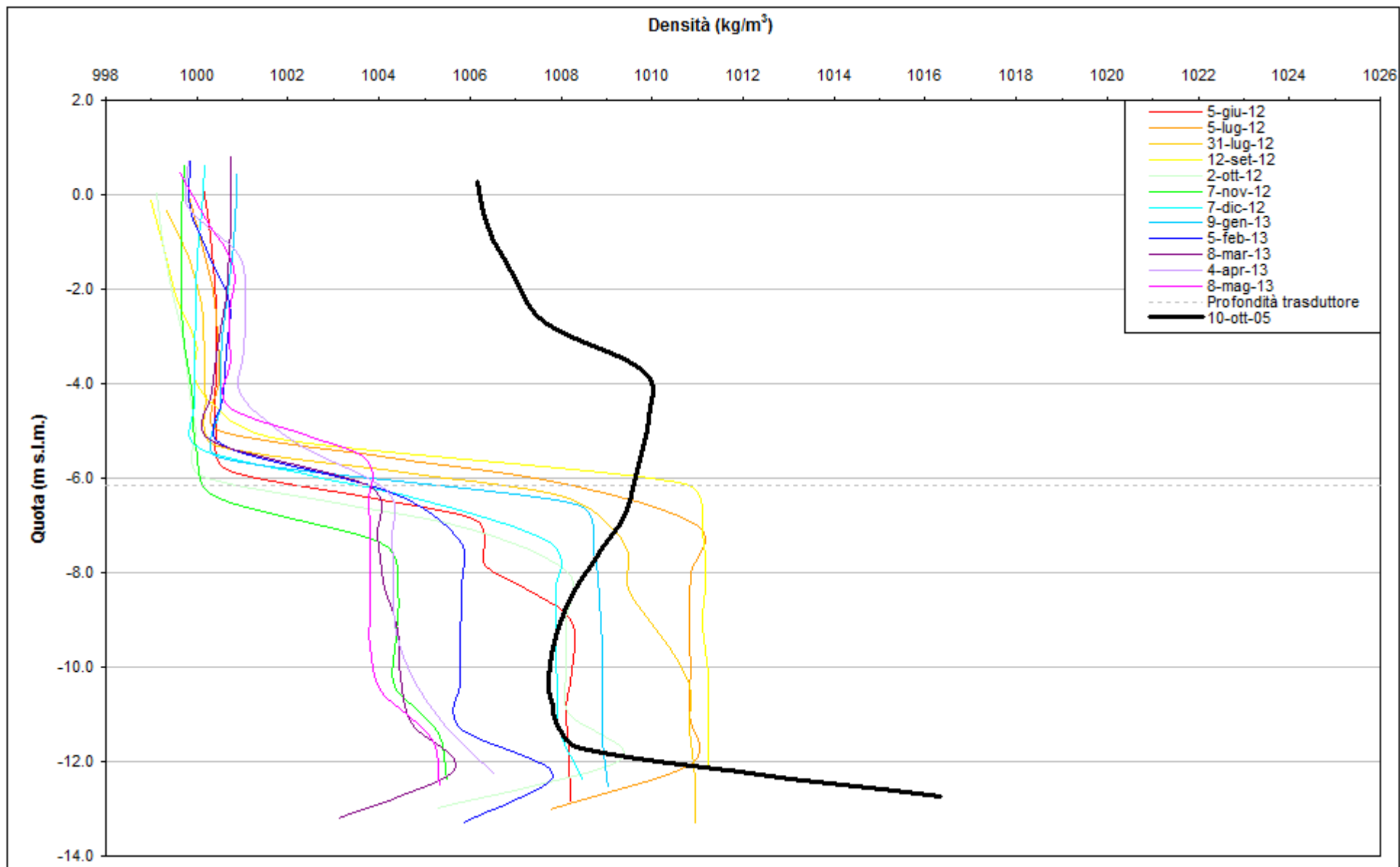


Fig. 2.84 - Profili verticali di densità PS04.



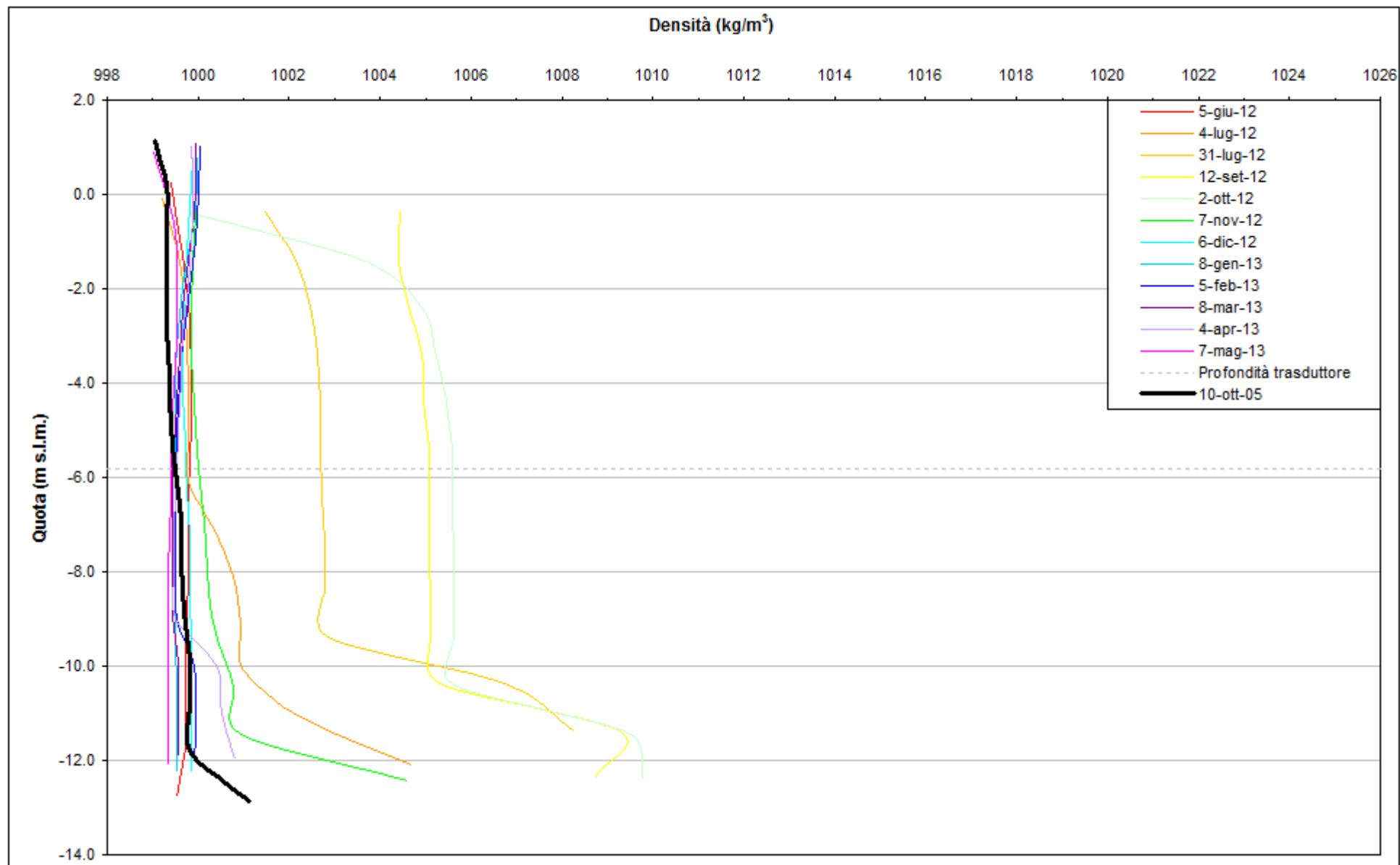


Fig. 2.85 - Profili verticali di densità PS05.

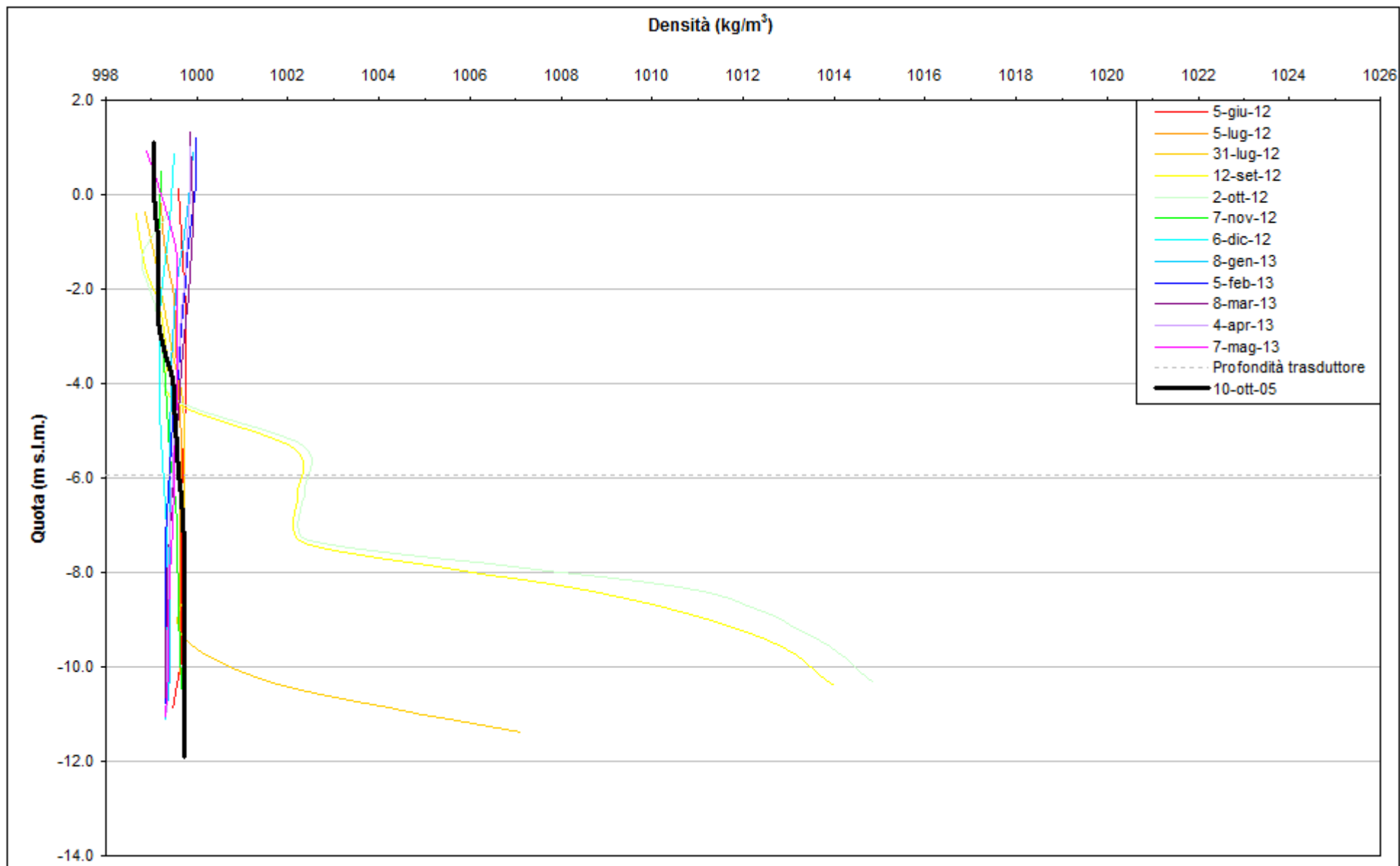


Fig. 2.86 - Profili verticali di densità PS06.

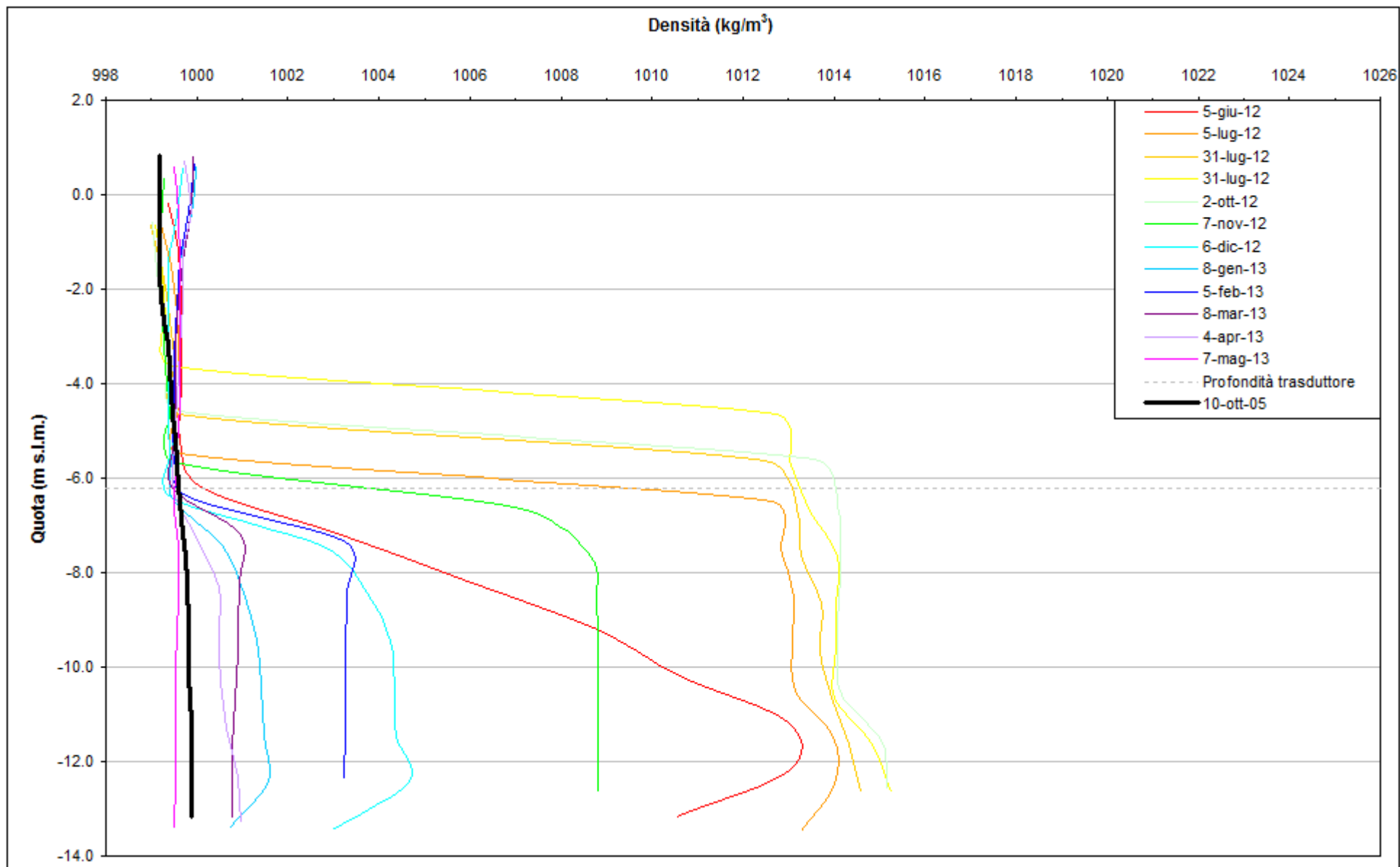


Fig. 2.87 - Profili verticali di densità PS07.

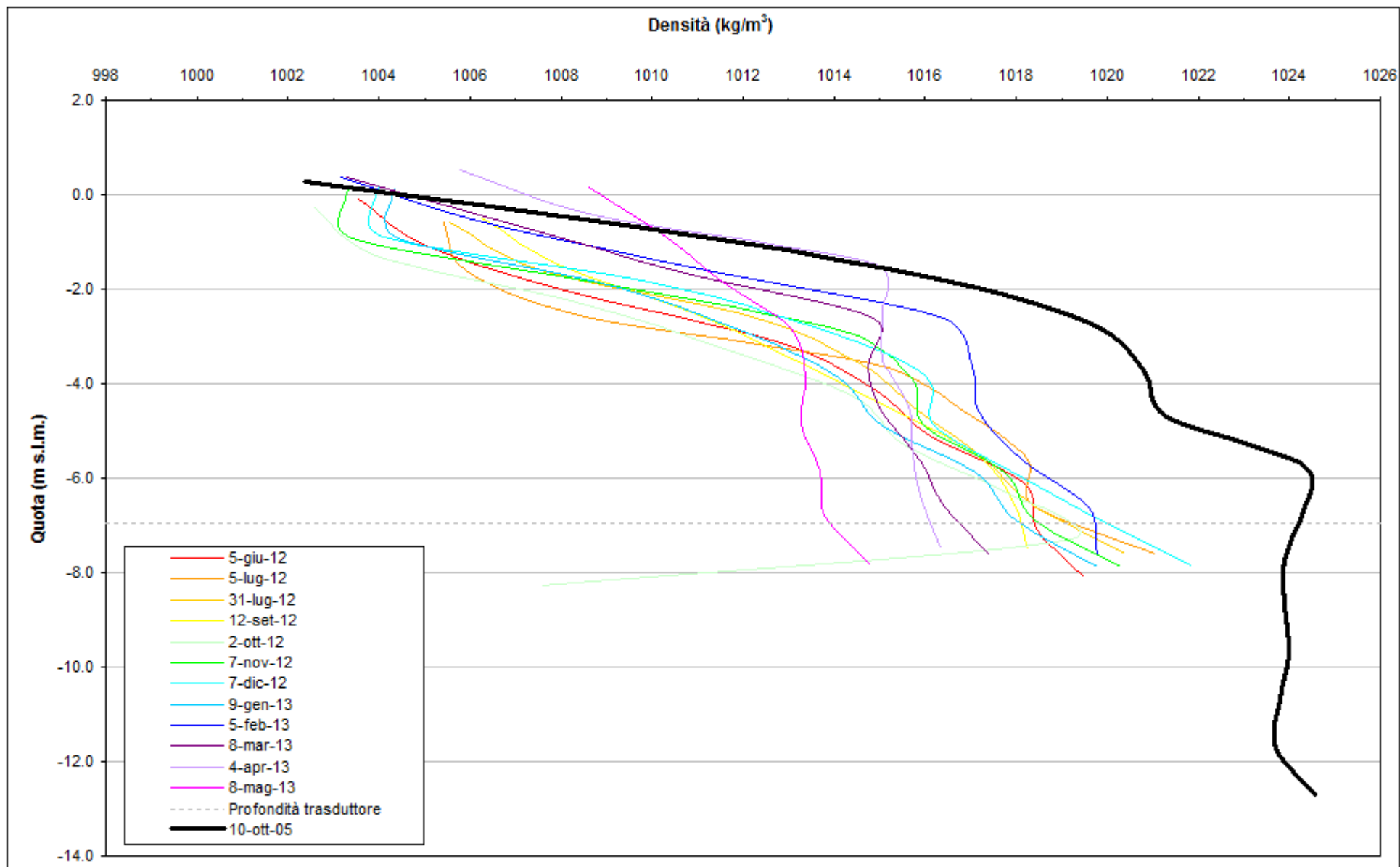


Fig. 2.88 - Profili verticali di densità PS08.

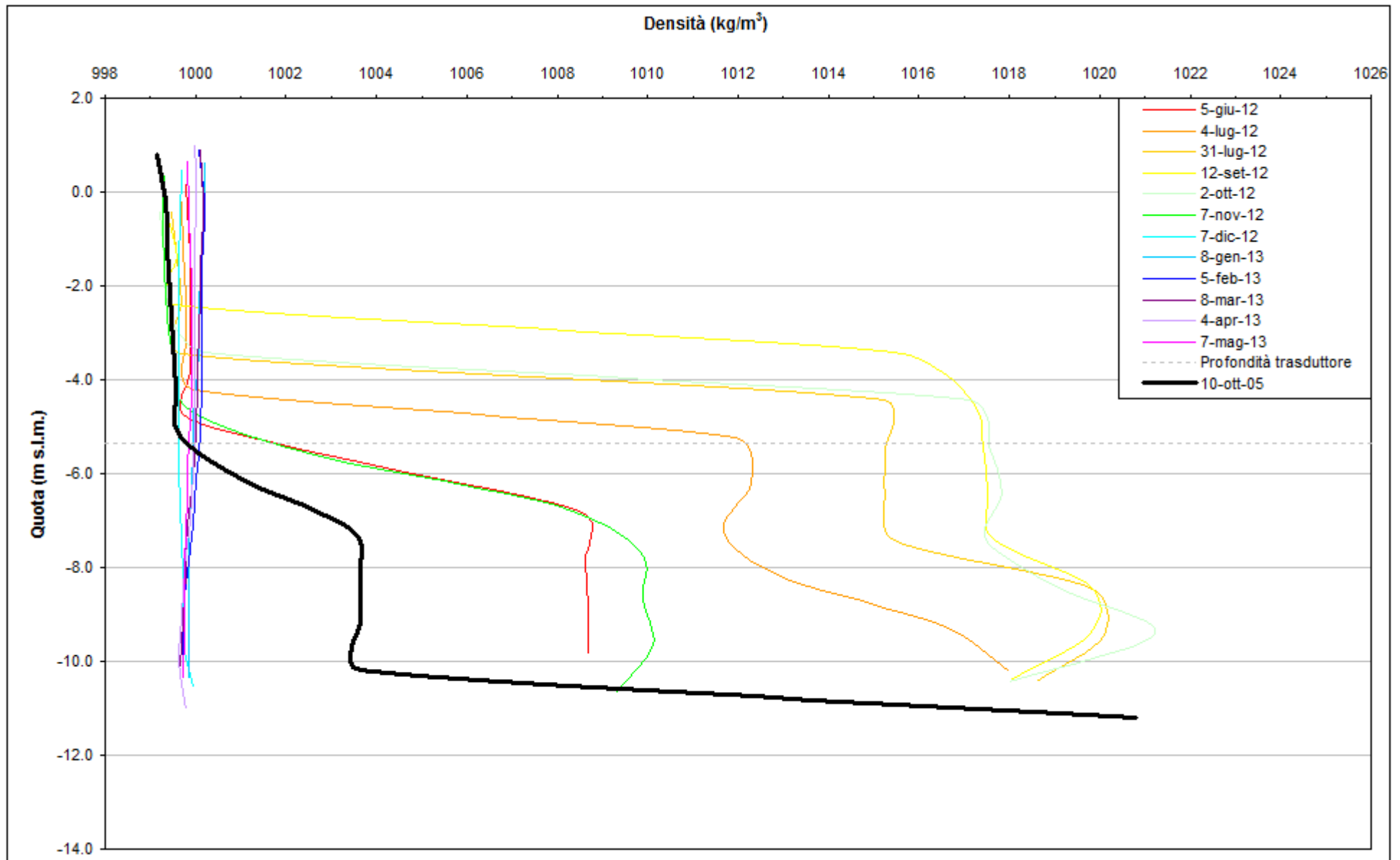


Fig. 2.89 - Profili verticali di densità PS09.

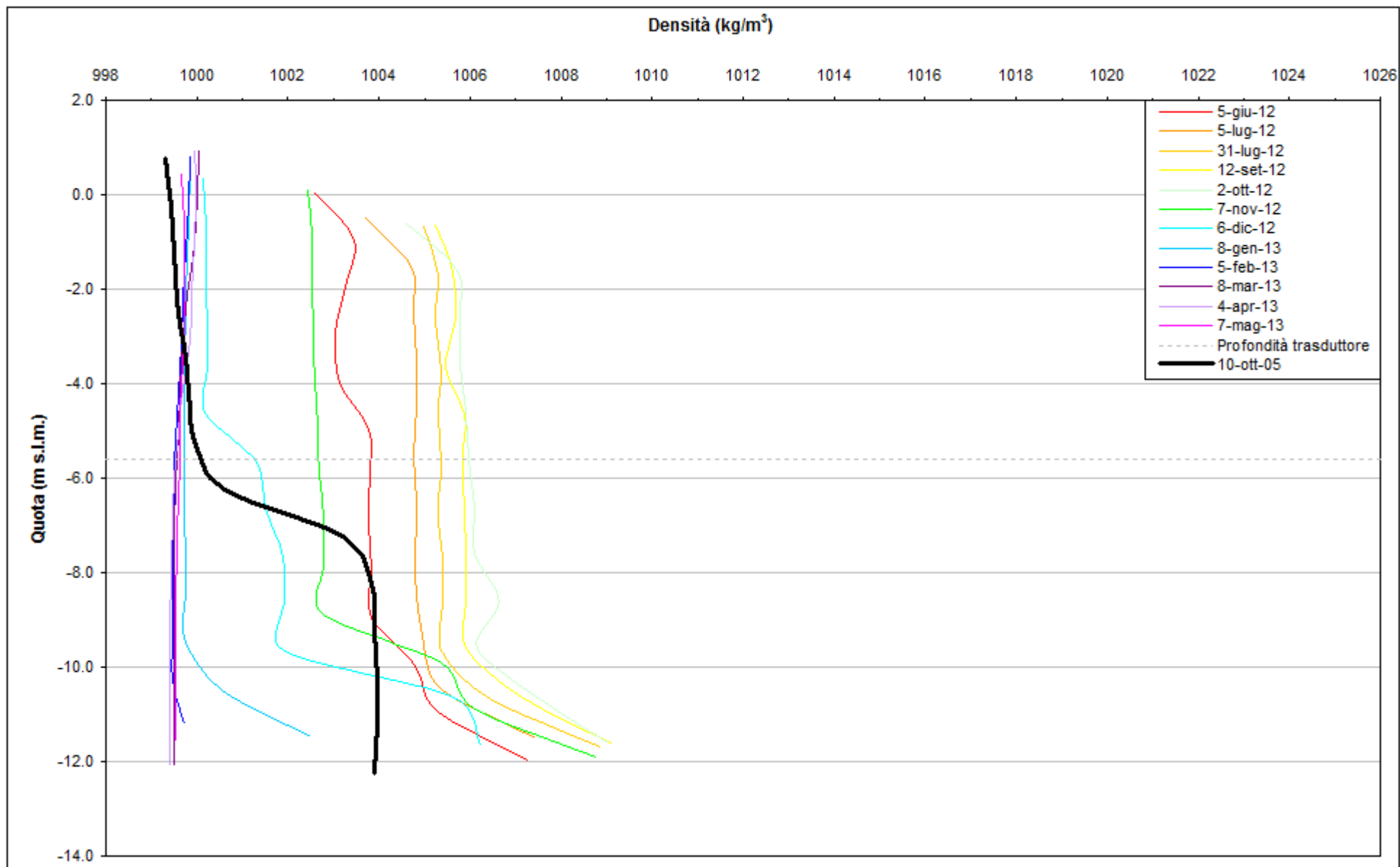


Fig. 2.90 - Profili verticali di densità PS10.

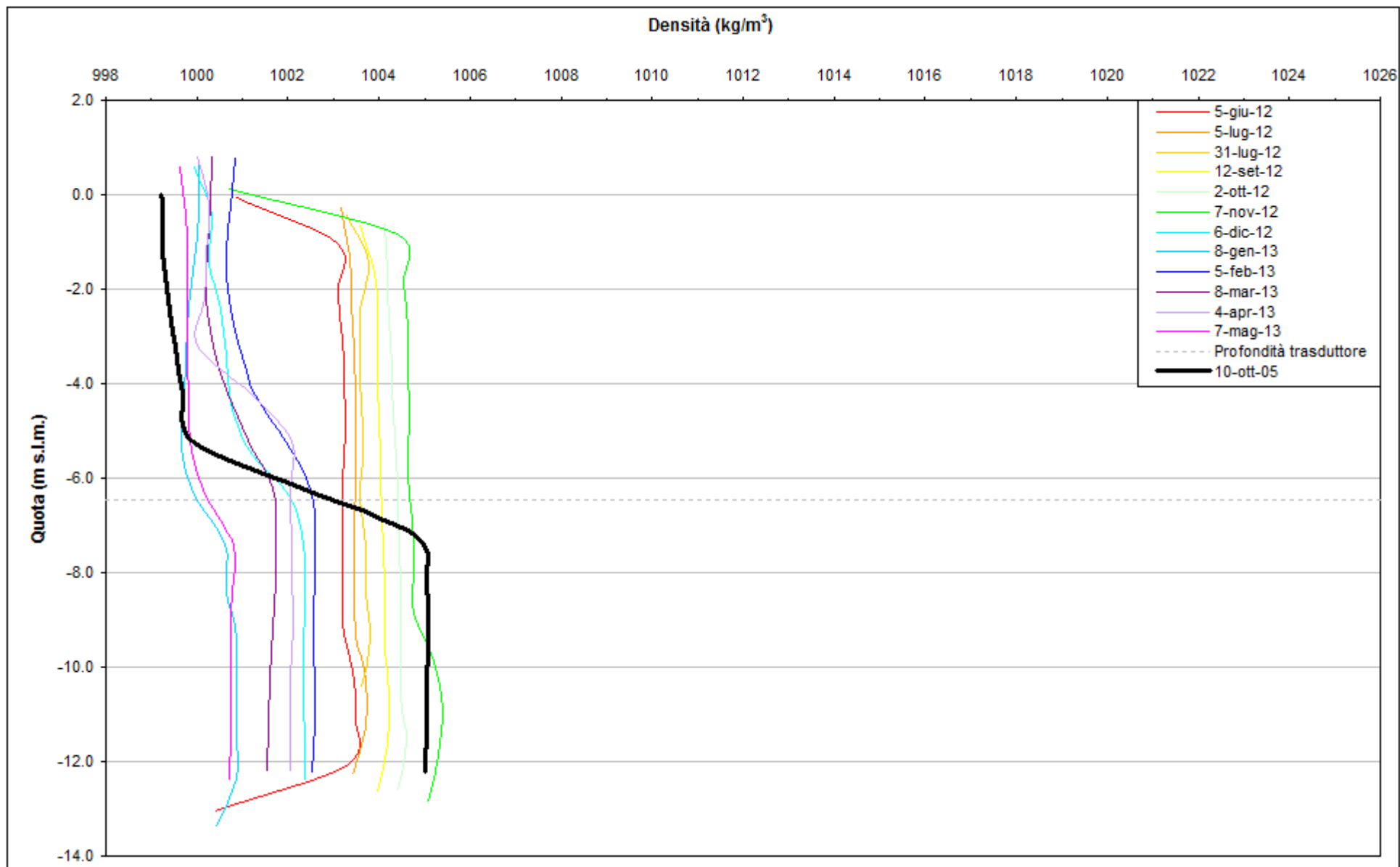


Fig. 2.91 - Profili verticali di densità PS11.

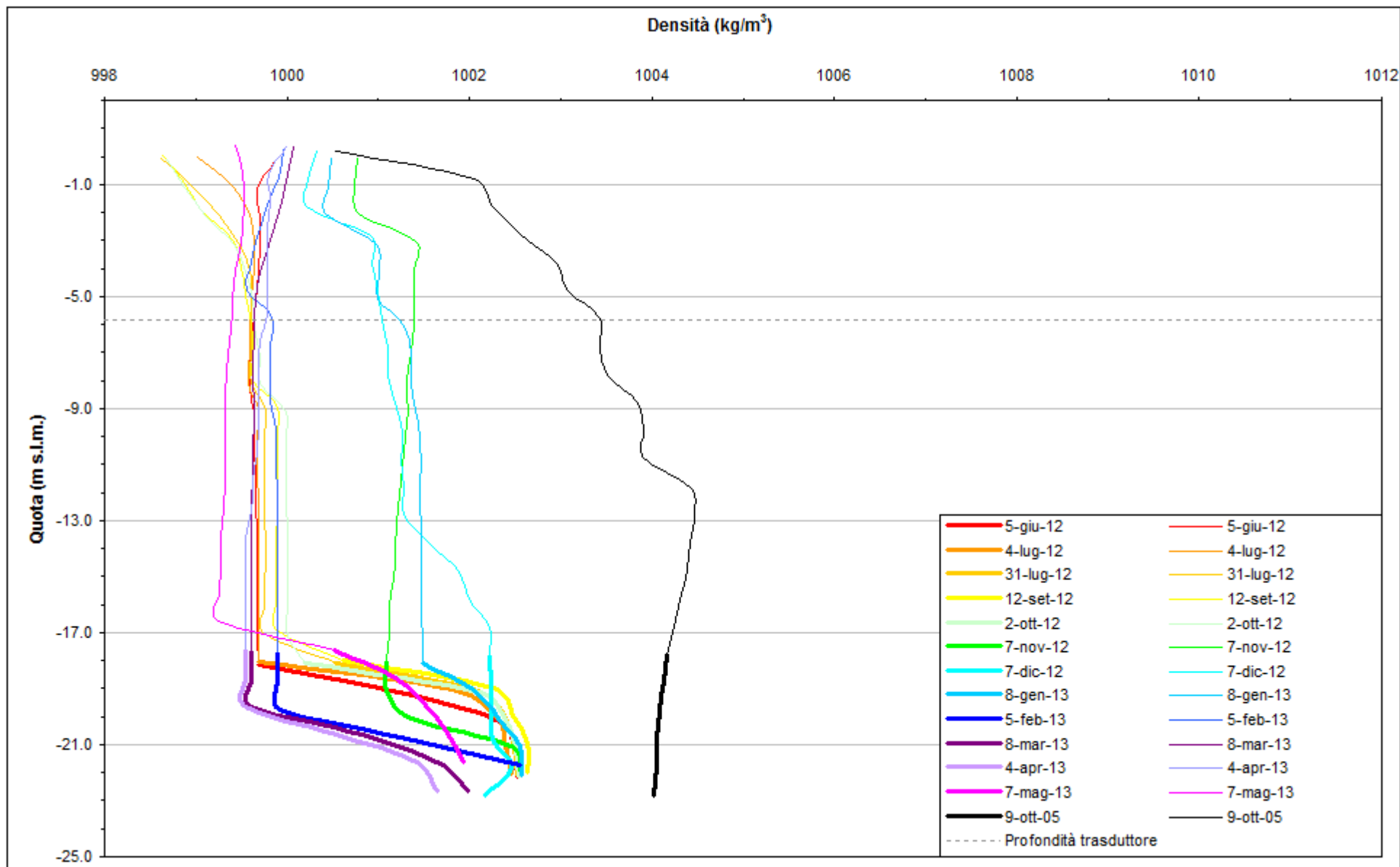


Fig. 2.92 - Profili verticali di densità PP01.



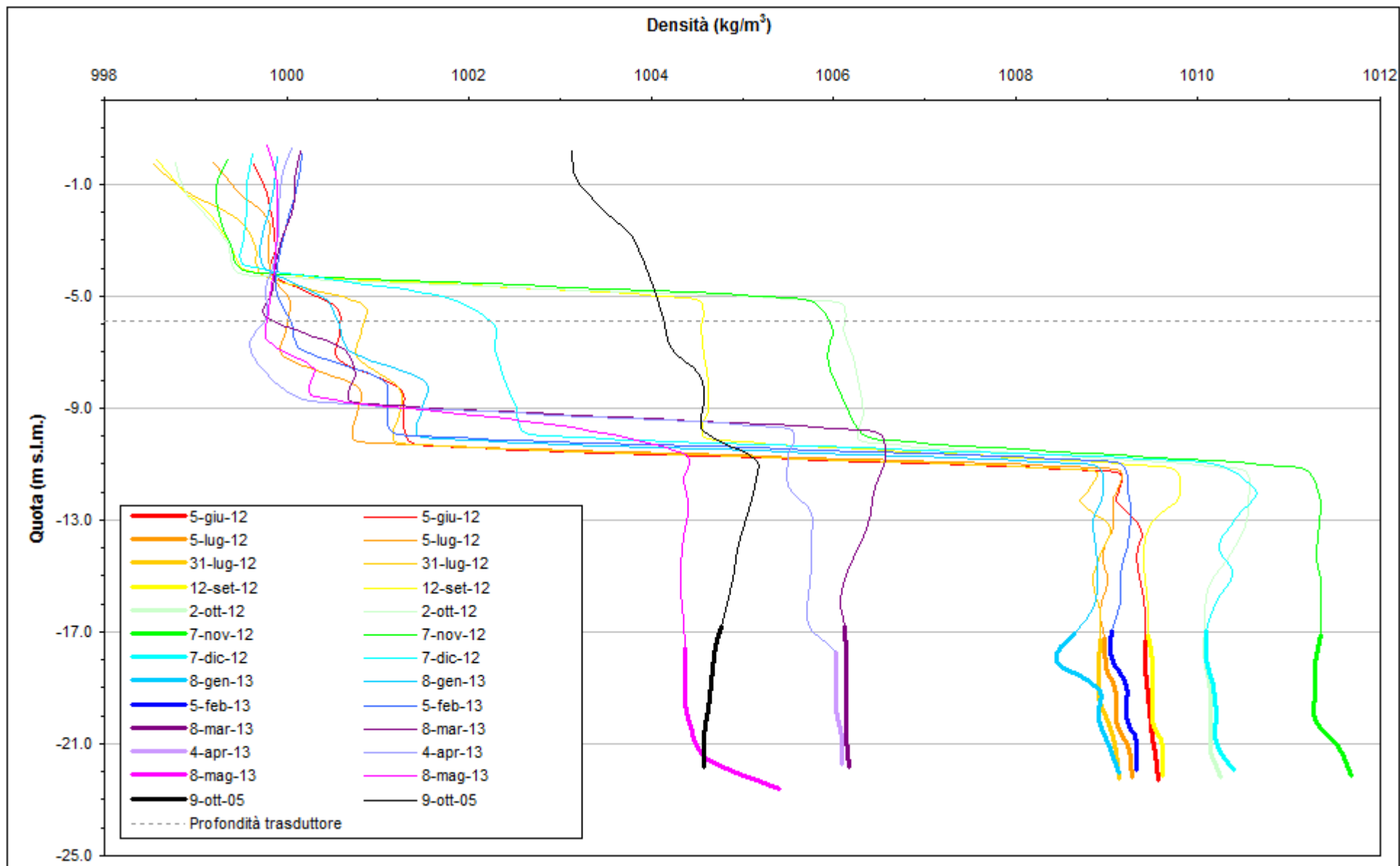


Fig. 2.93 - Profili verticali di densità PP02.

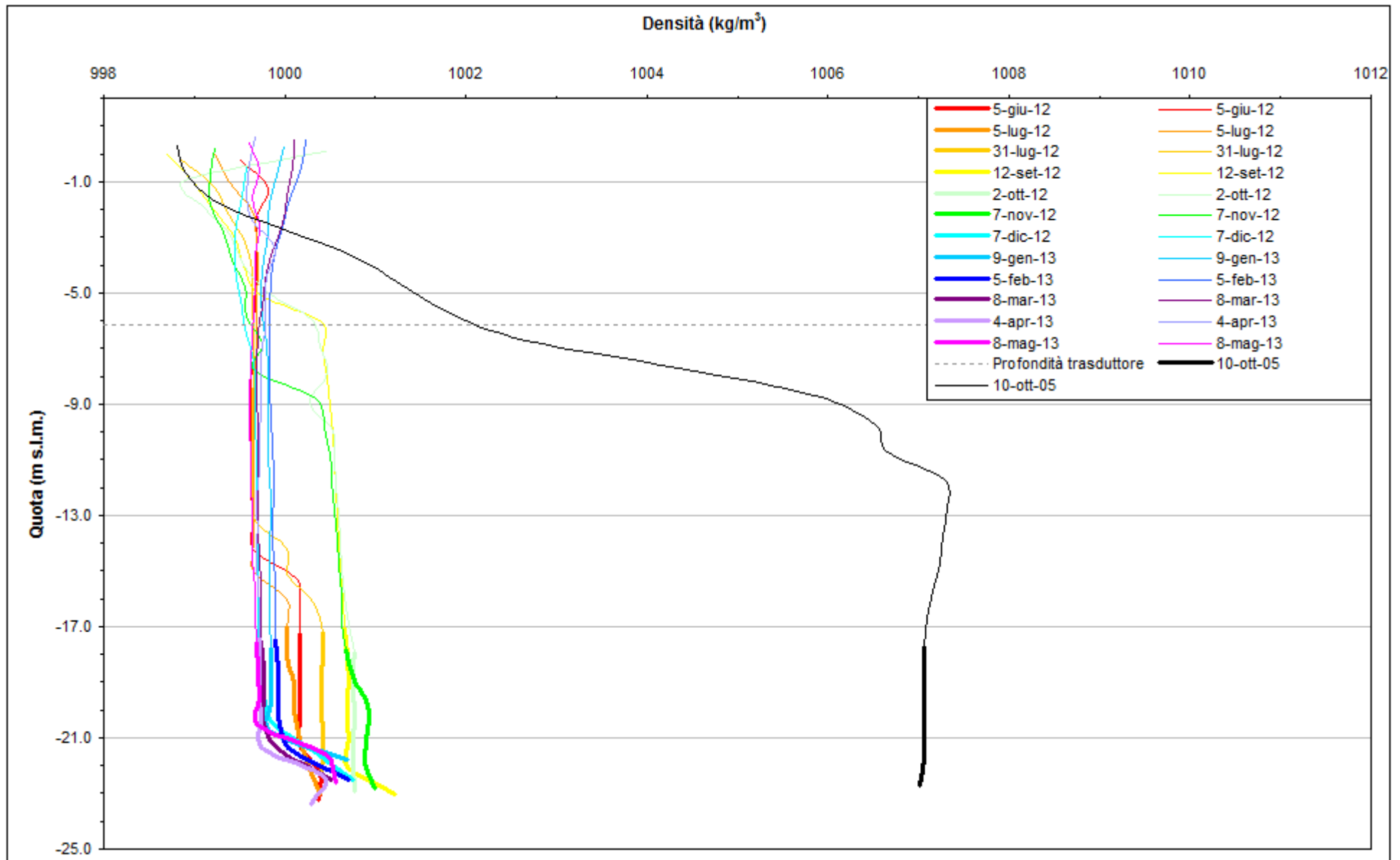


Fig. 2.94 - Profili verticali di densità PP03.

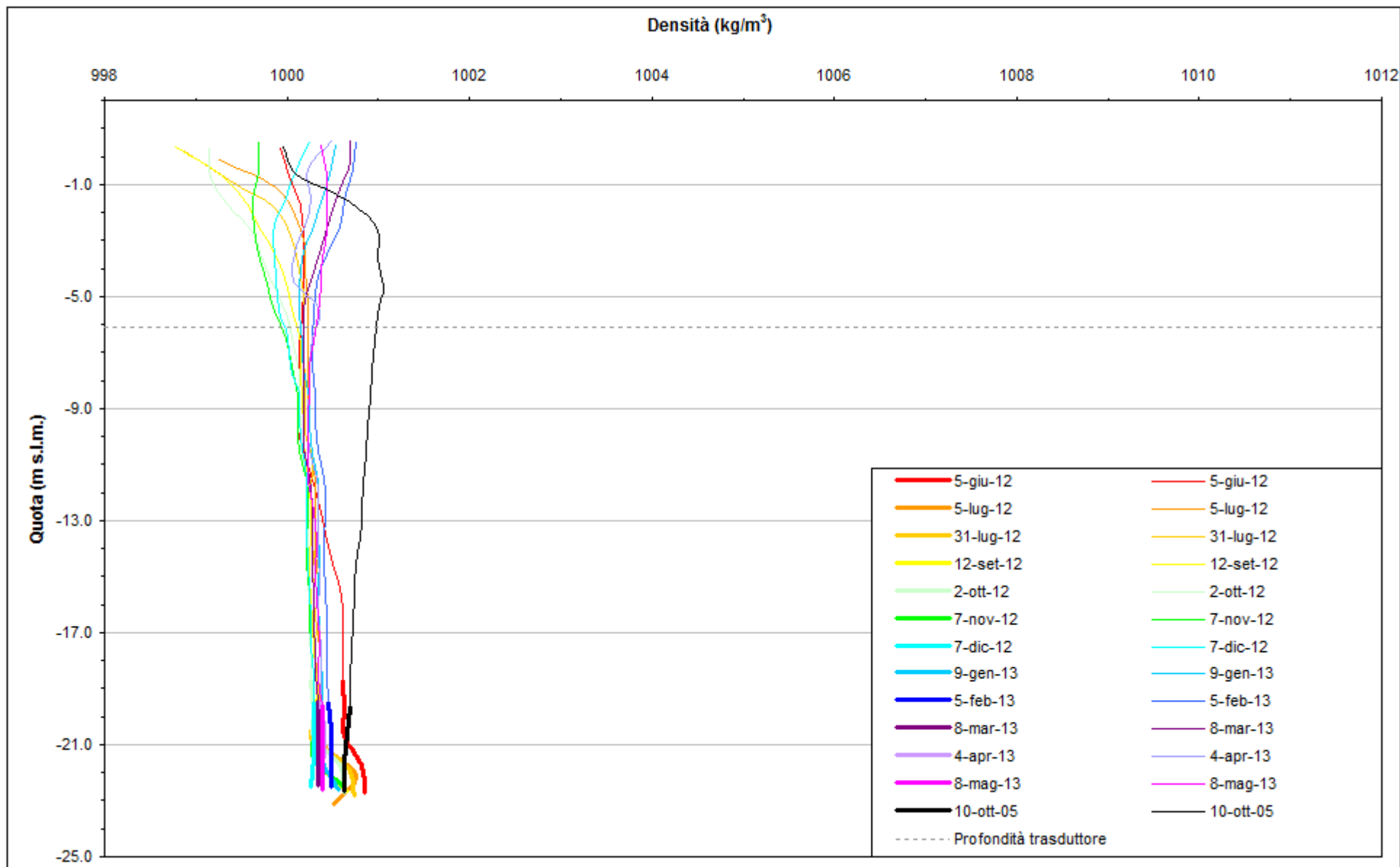


Fig. 2.95 - Profili verticali di densità PP04.

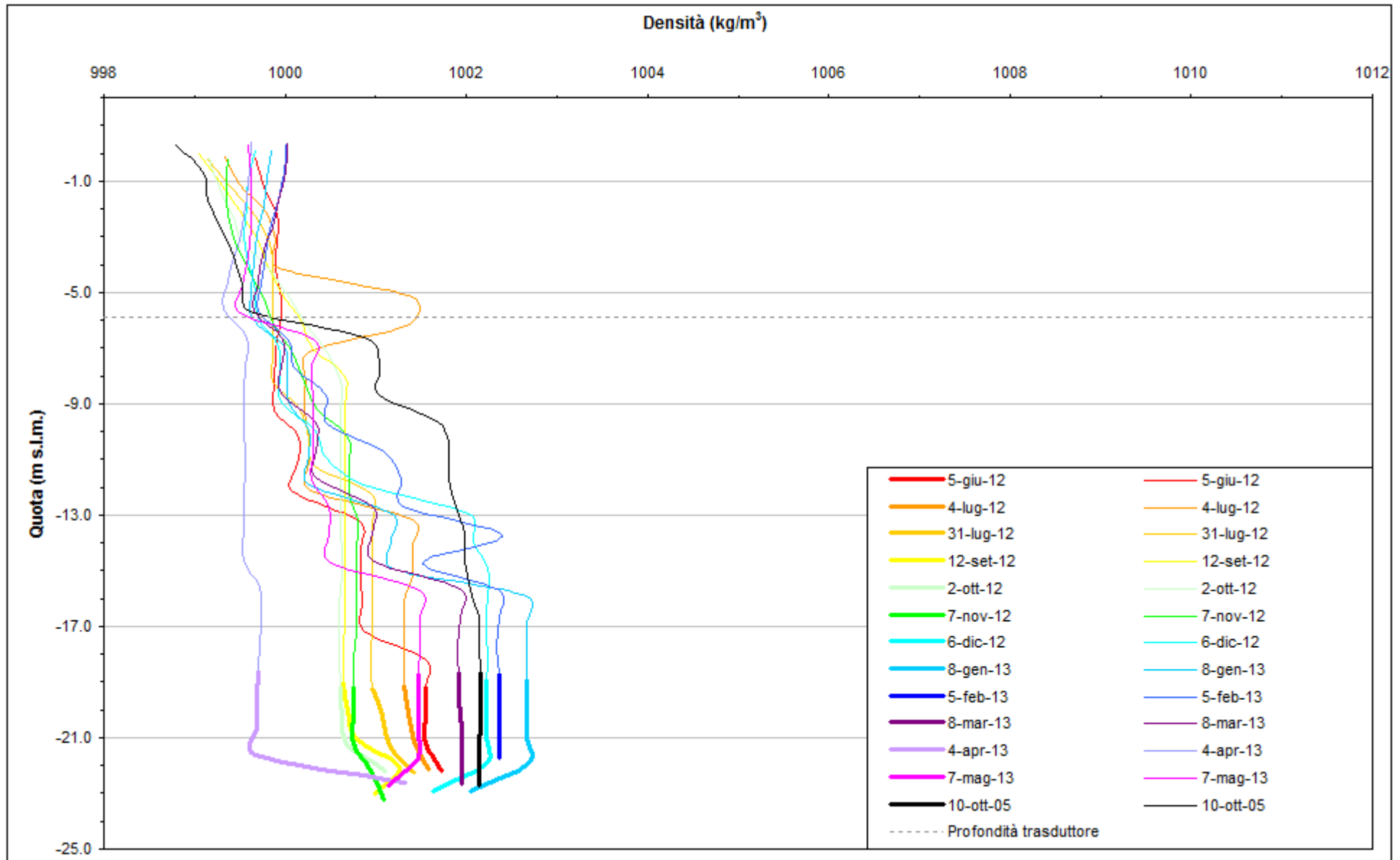


Fig. 2.96 - Profili verticali di densità PP05.

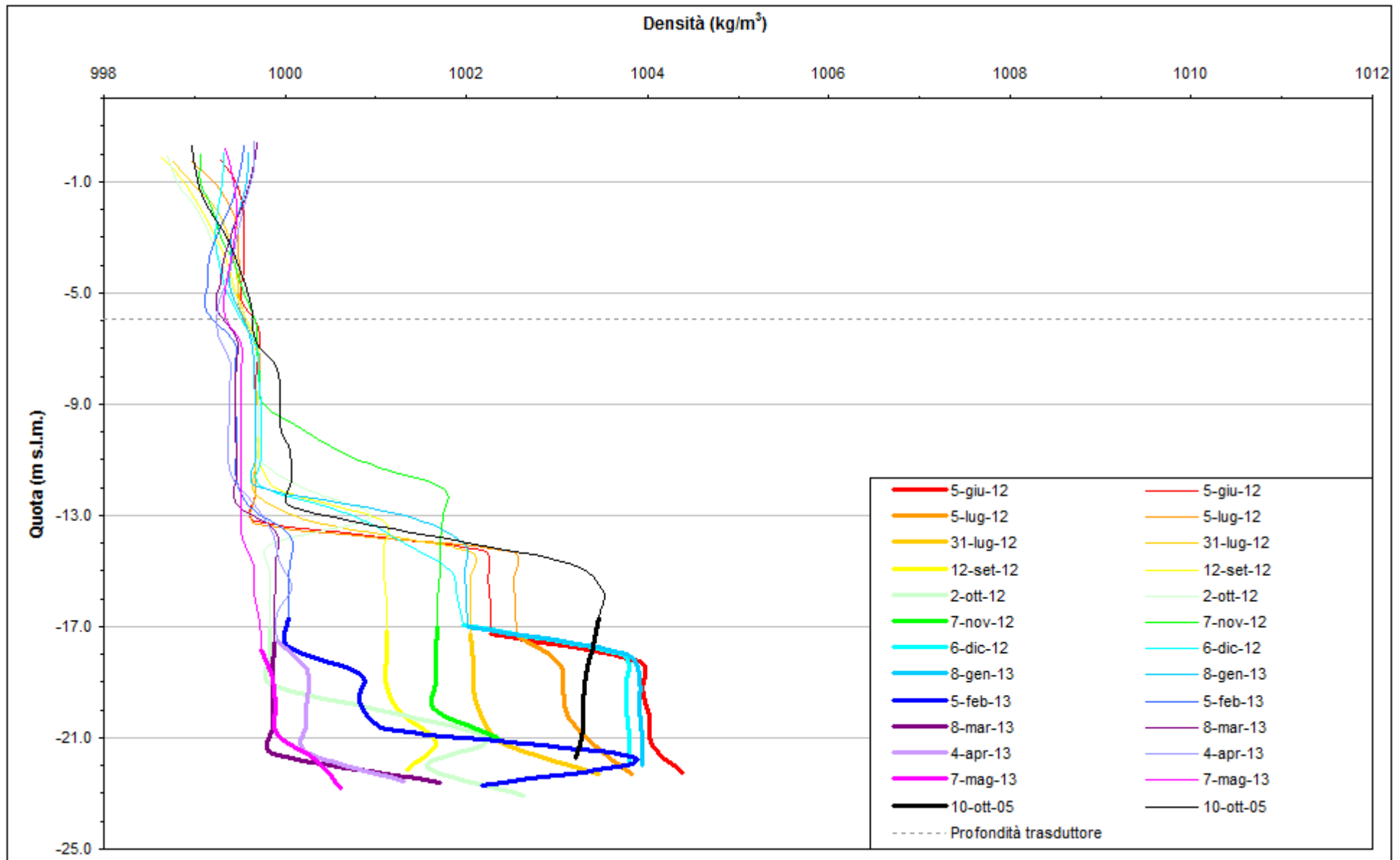


Fig. 2.97 - Profili verticali di densità PP06.

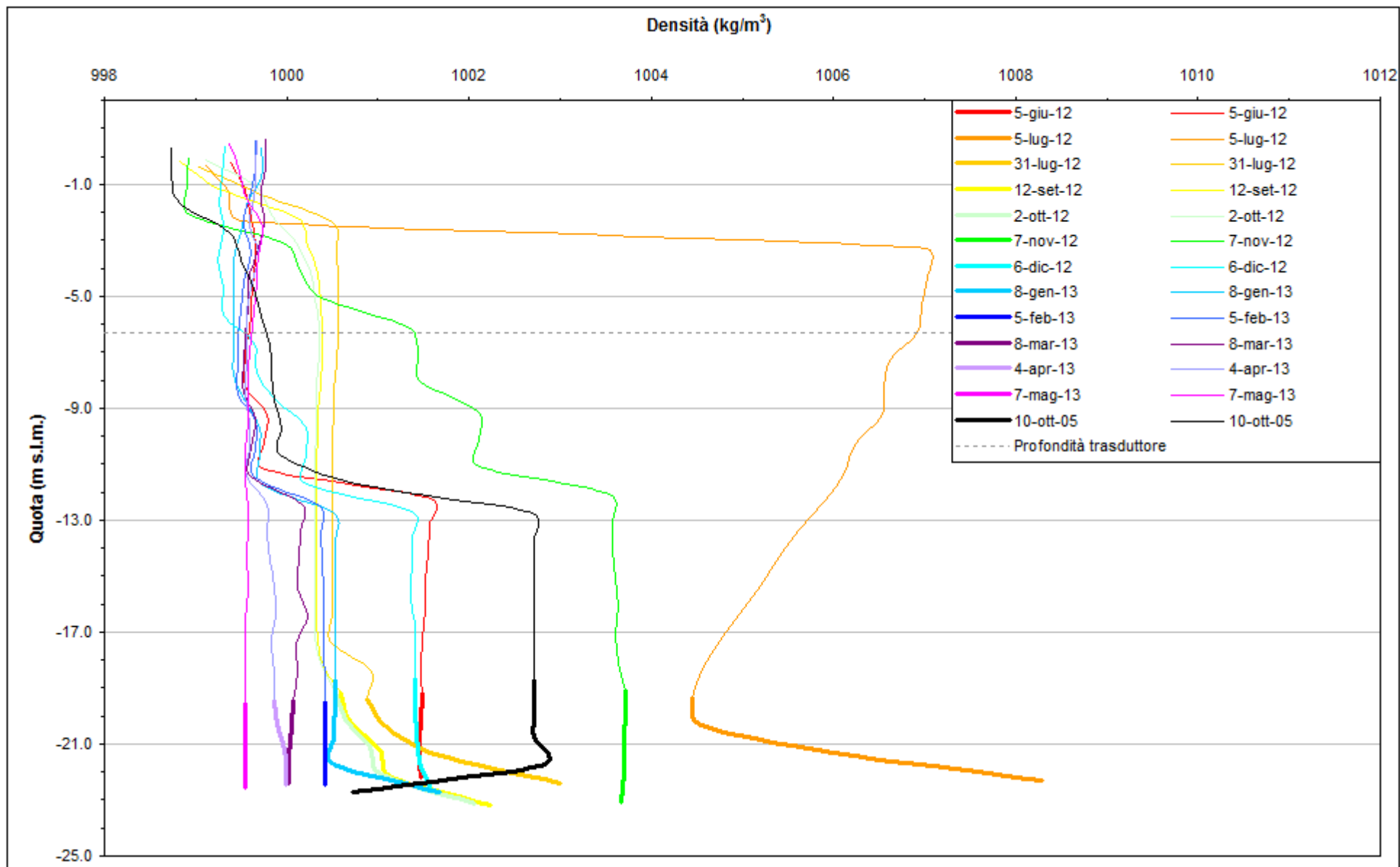


Fig. 2.98 - Profili verticali di densità PP07.

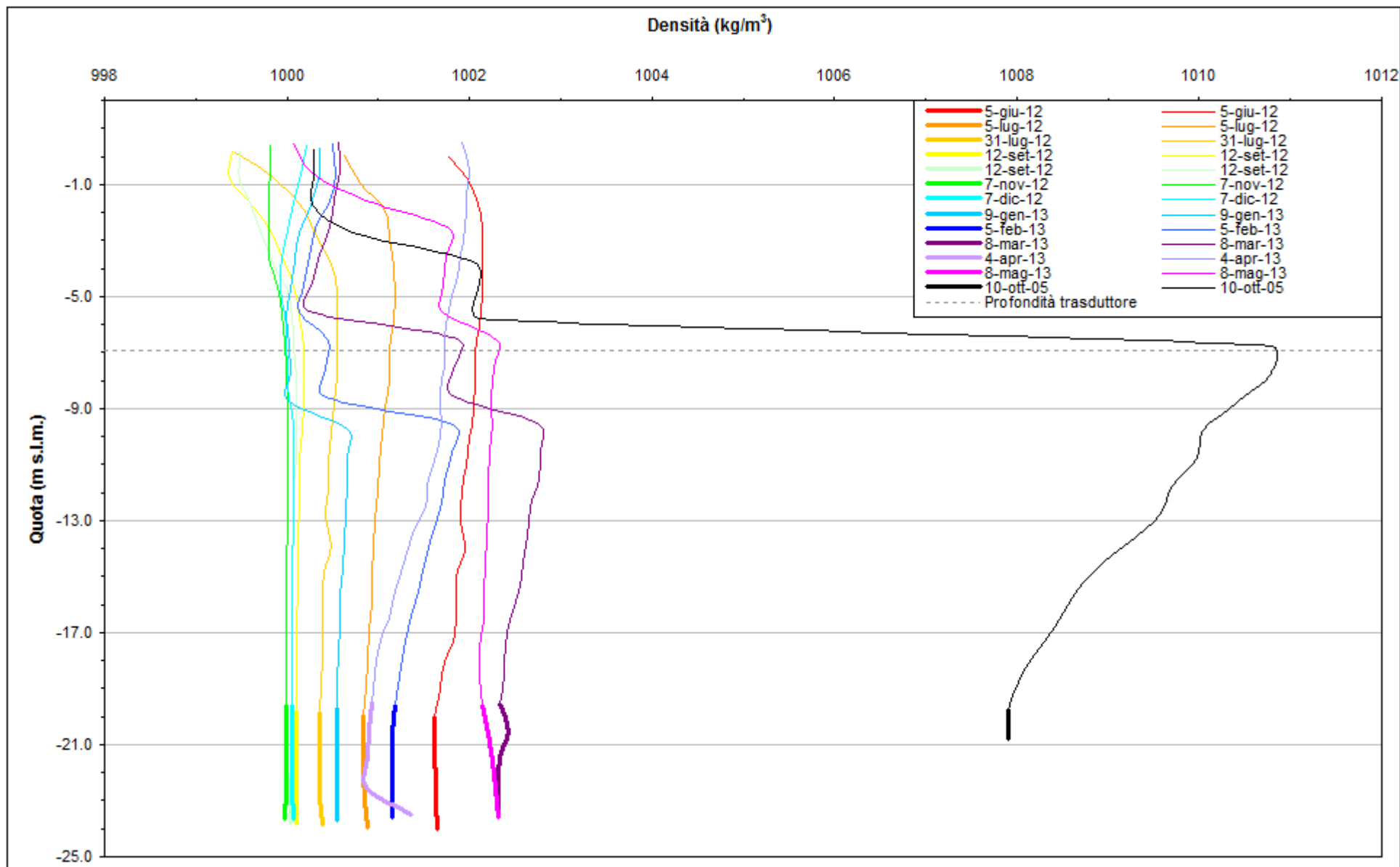


Fig. 2.99 - Profili verticali di densità PP08.

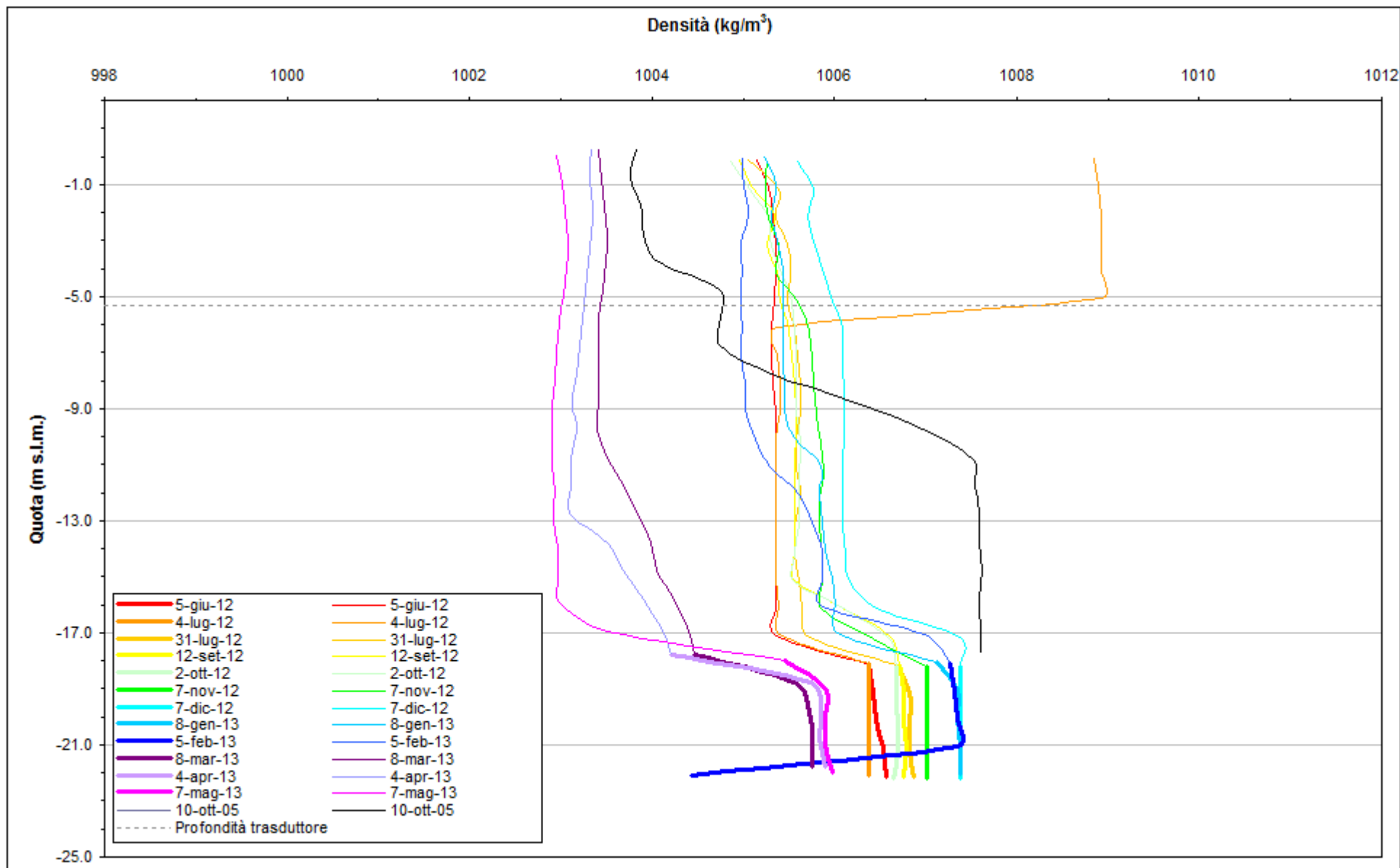


Fig. 2.100 - Profili verticali di densità PP09.



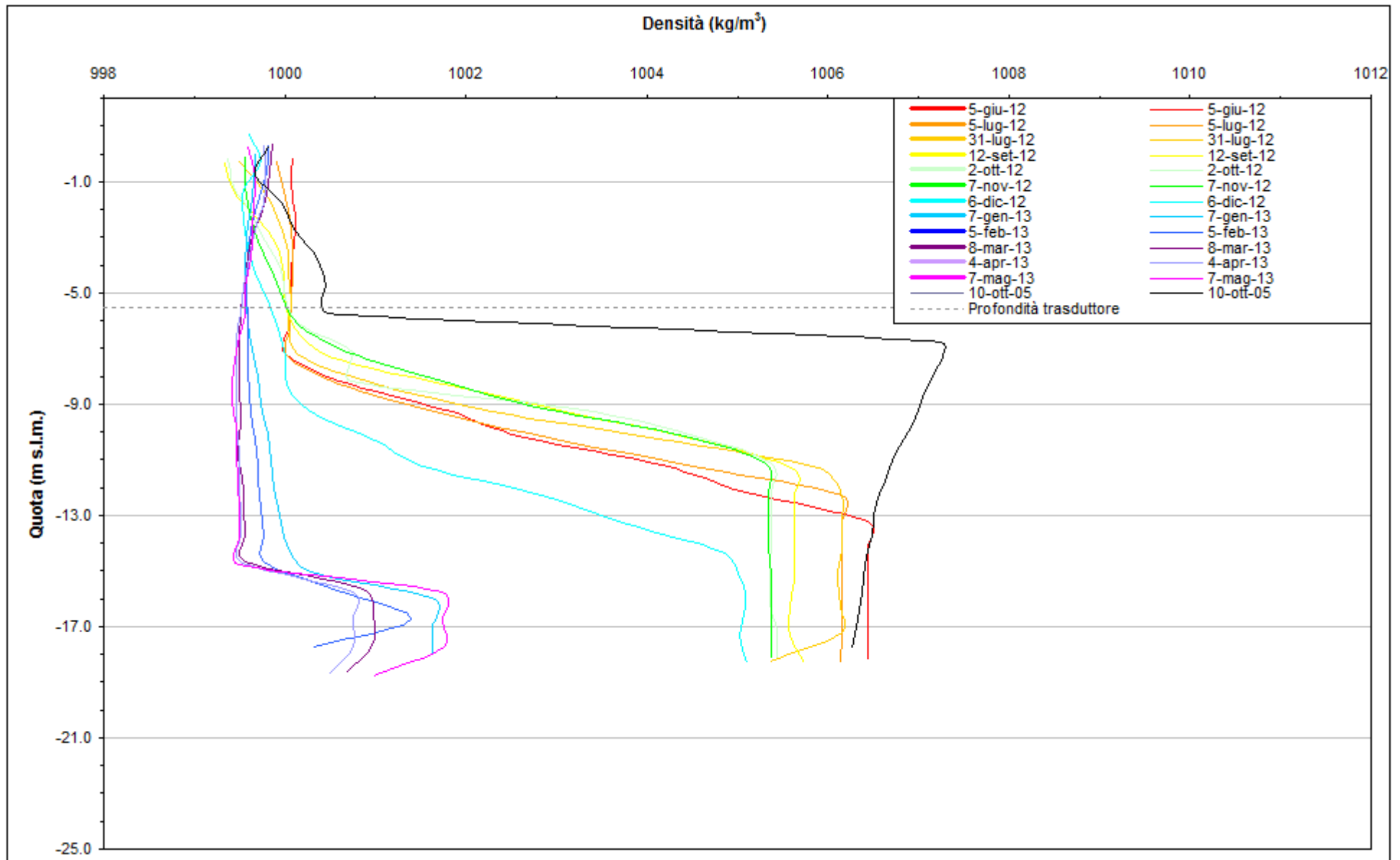


Fig. 2.101 - Profili verticali di densità PP10.

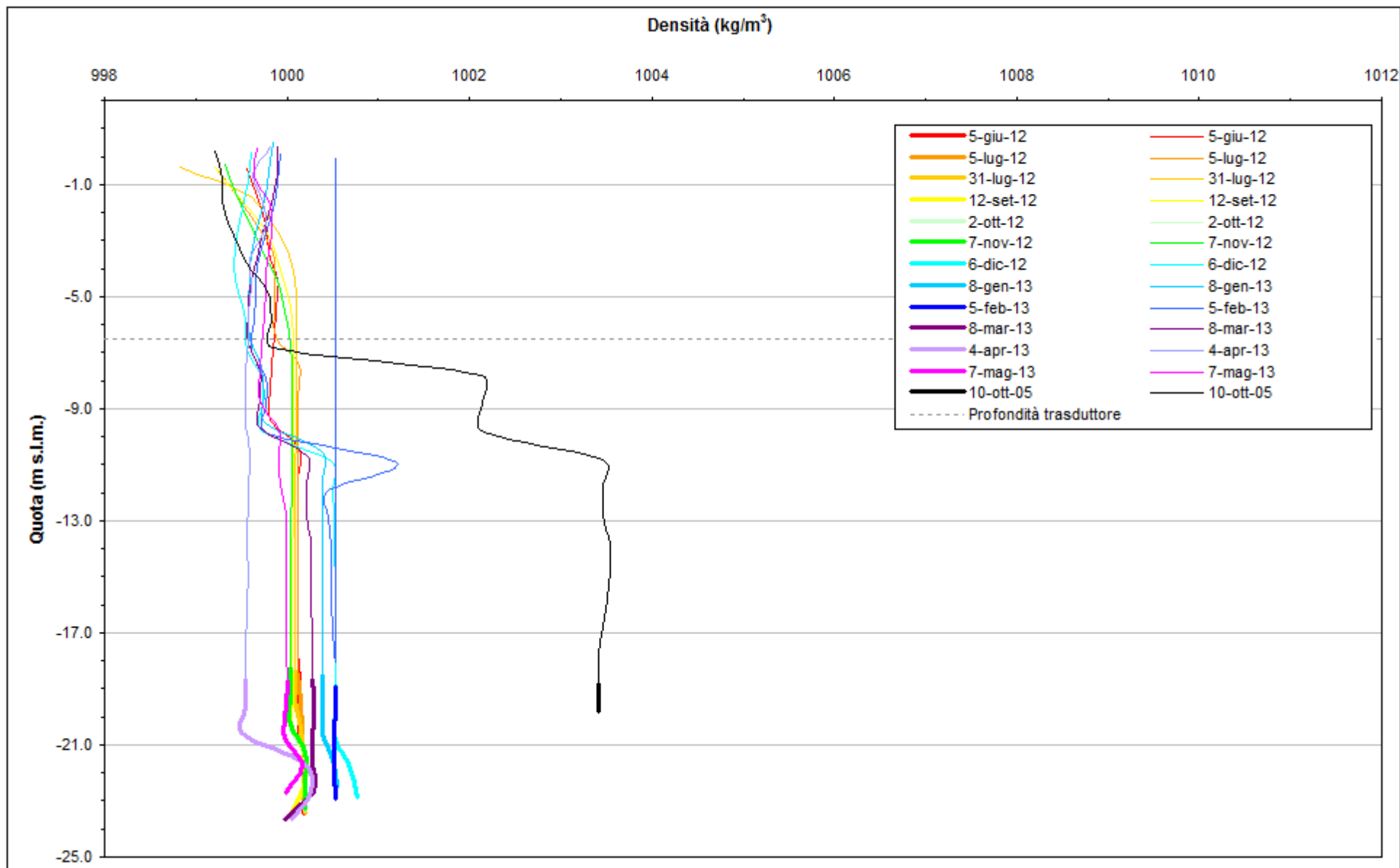


Fig. 2.102 - Profili verticali di densità PP11.

### 2.5.2 Andamento stagionale della conducibilità elettrica

In questo paragrafo si analizza la variazione spaziale e temporale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nei piezometri superficiali (Fig. 2.103÷2.113) e profondi (Fig. 2.114÷2.124).

La conducibilità elettrica specifica è influenzata dalla presenza di ioni disciolti nell'acqua e dalla temperatura, pertanto, per poter tenere conto delle effettive variazioni dei sali presenti in acqua, nei grafici che seguono viene rappresentata la conducibilità elettrica normalizzata ad una temperatura di 25°C.

Nei grafici relativi all'acquifero superficiale è possibile notare la separazione - talvolta piuttosto netta - tra acqua dolce (valori inferiori a 2000  $\mu\text{S/cm}$ ), salmastra (indicativamente tra 2000 e 10000  $\mu\text{S/cm}$ ) e salata (oltre 10000  $\mu\text{S/cm}$ ).

In particolare per i piezometri superficiali (Fig. 2.103÷2.113) è possibile osservare che in molte postazioni è avvenuta una consistente riduzione durante l'anno monitorato, a seguito delle intense precipitazioni avvenute nei mesi compresi tra novembre 2012 e aprile 2013.

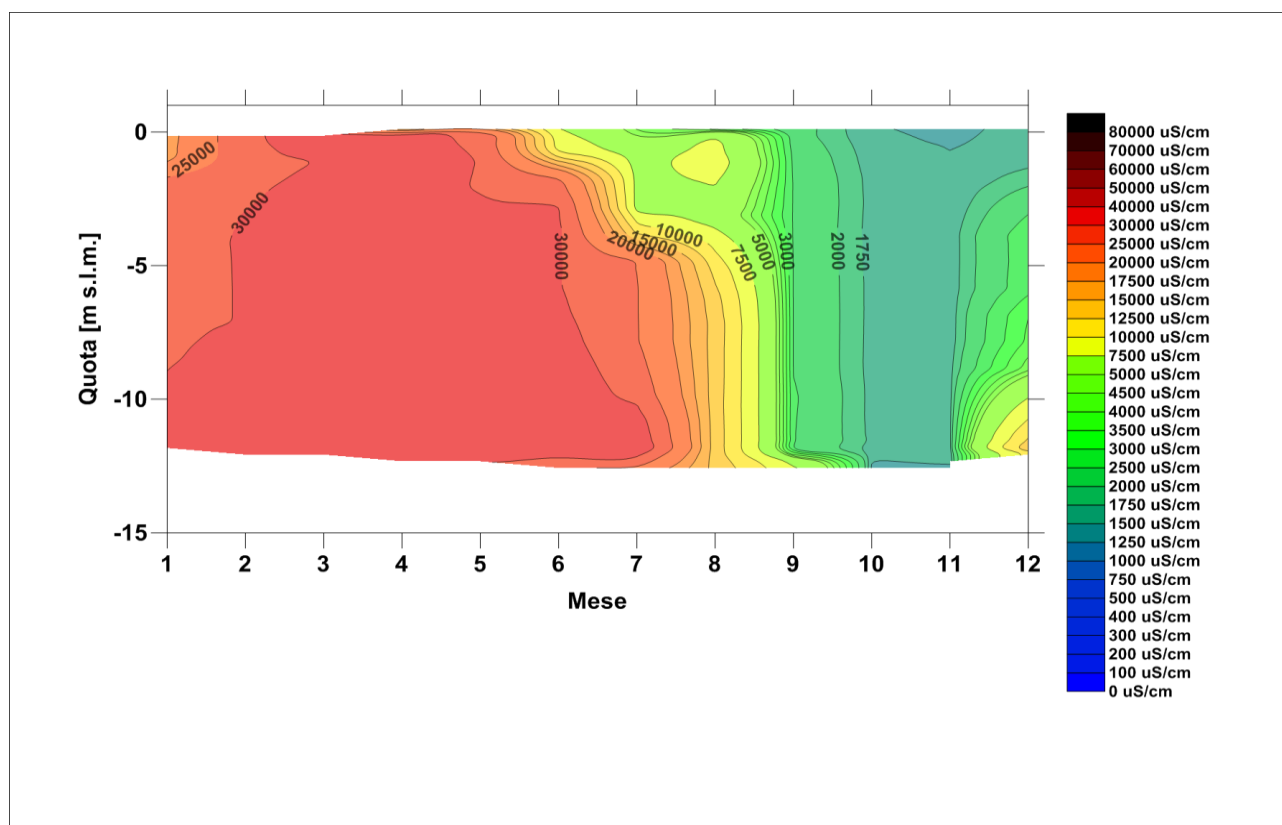


Fig. 2.103 – Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PS01 (periodo: giugno 2012 – maggio 2013).

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

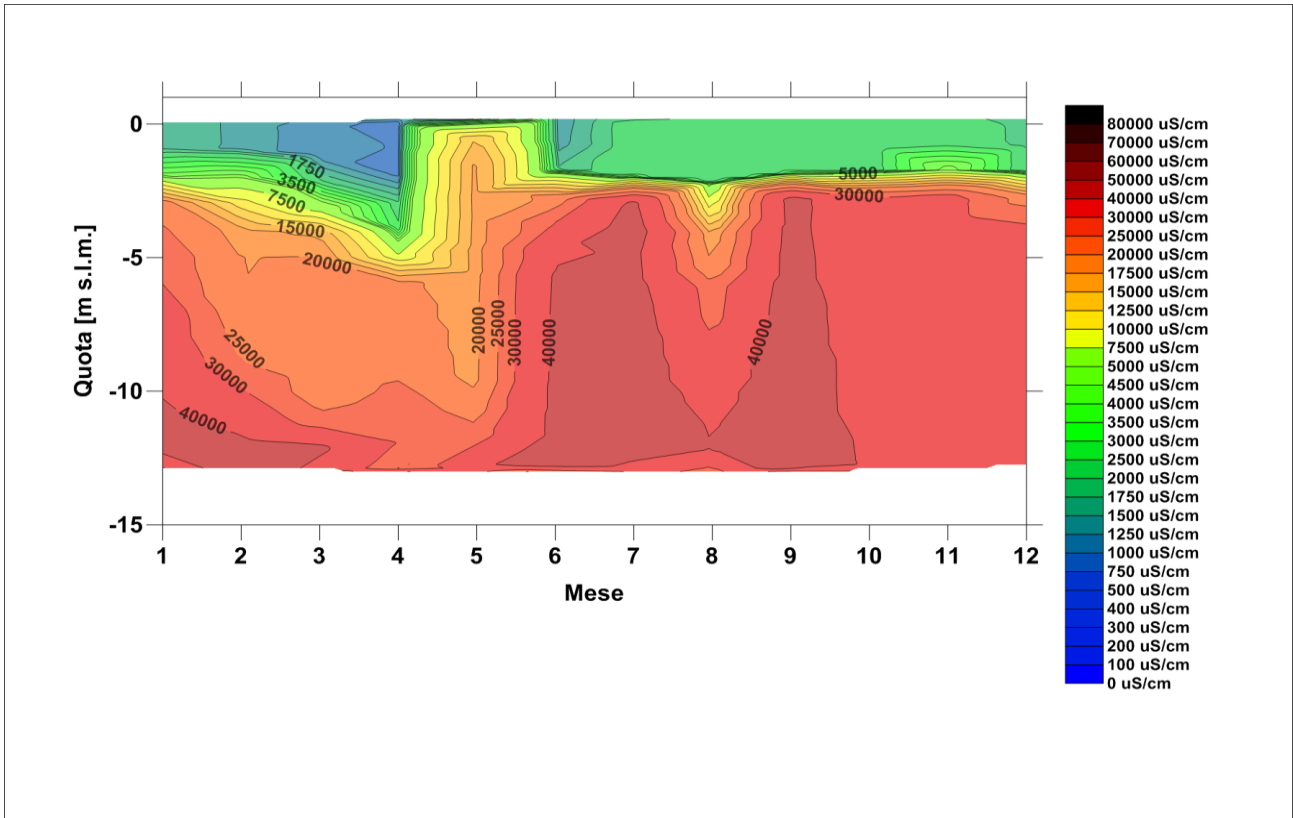


Fig. 2.104 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PS02 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

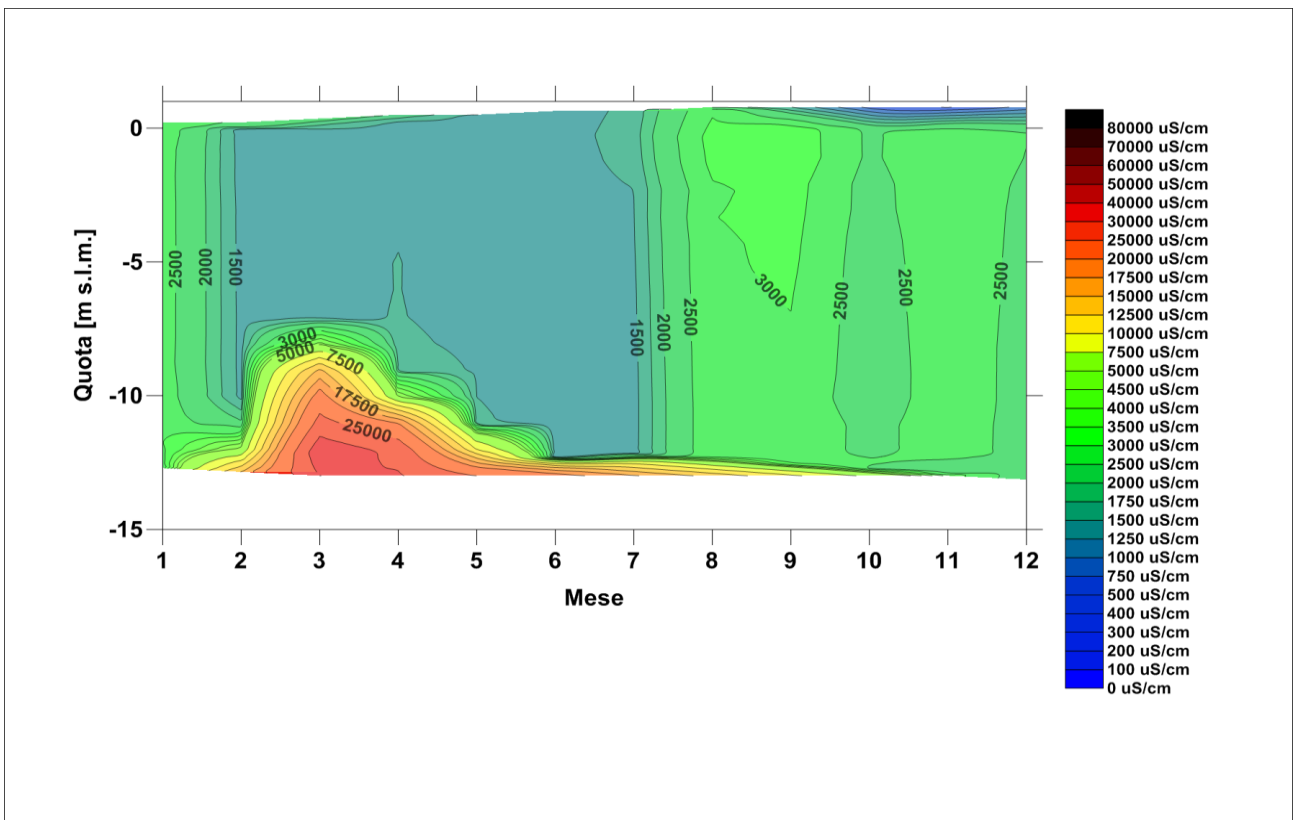


Fig. 2.105 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PS03 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

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

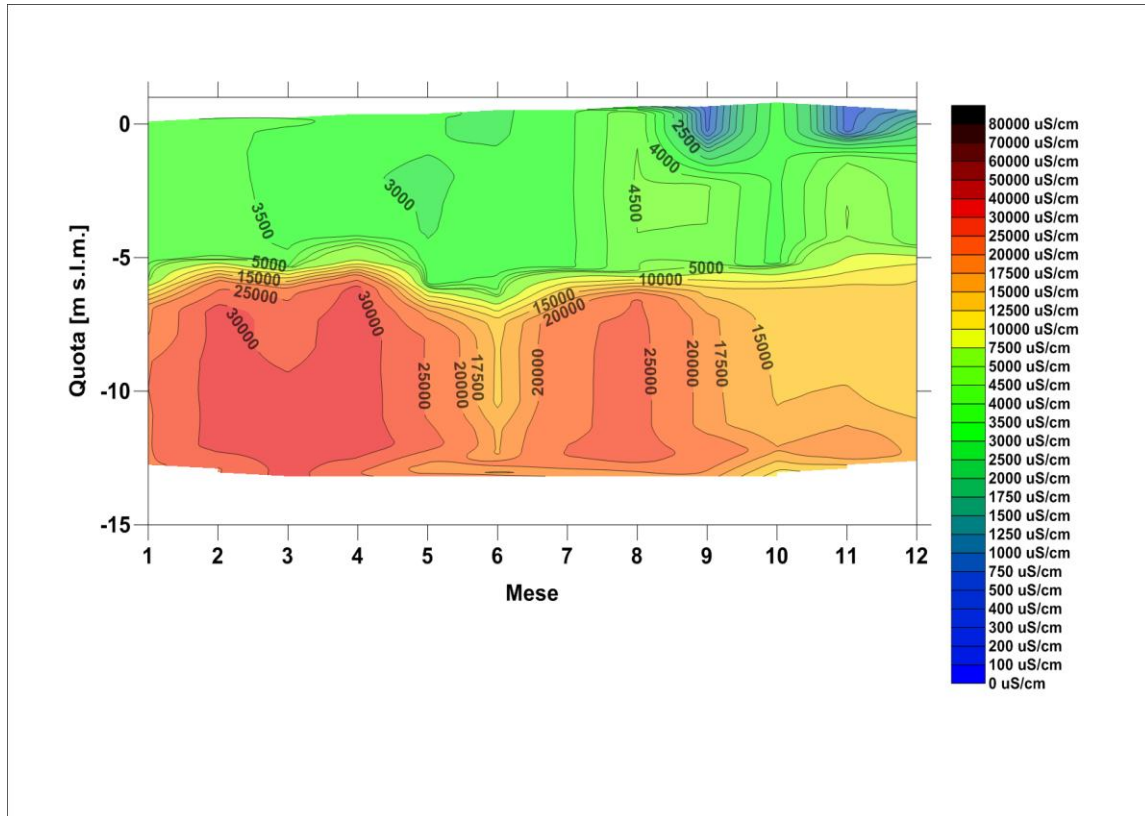


Fig. 2.106 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PS04 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

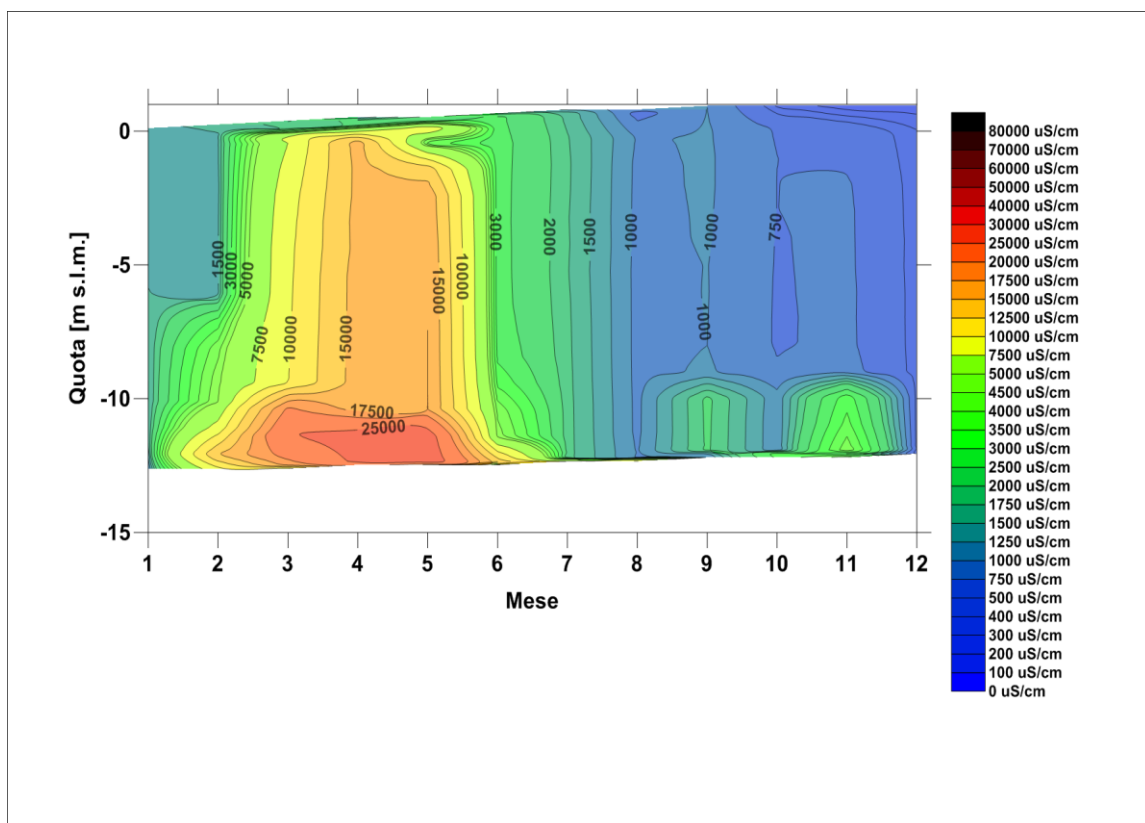


Fig. 2.107 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PS05 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

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

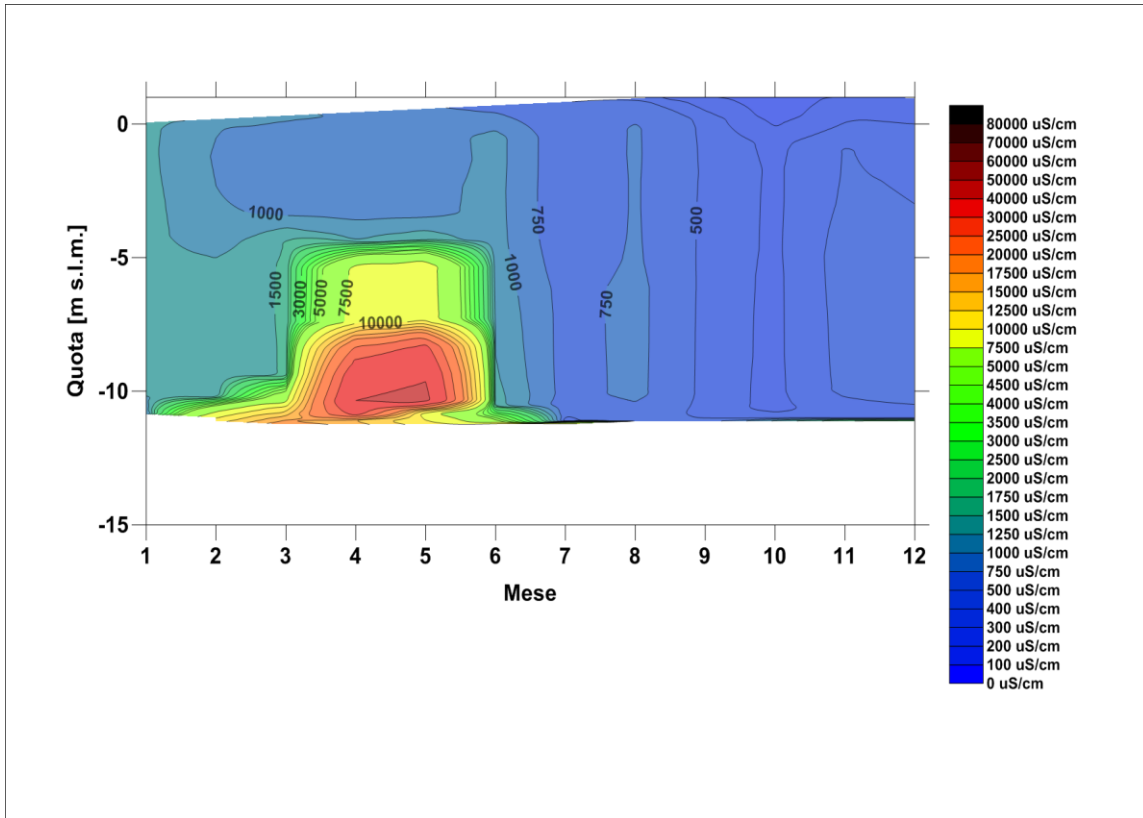


Fig. 2.108 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PS06 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

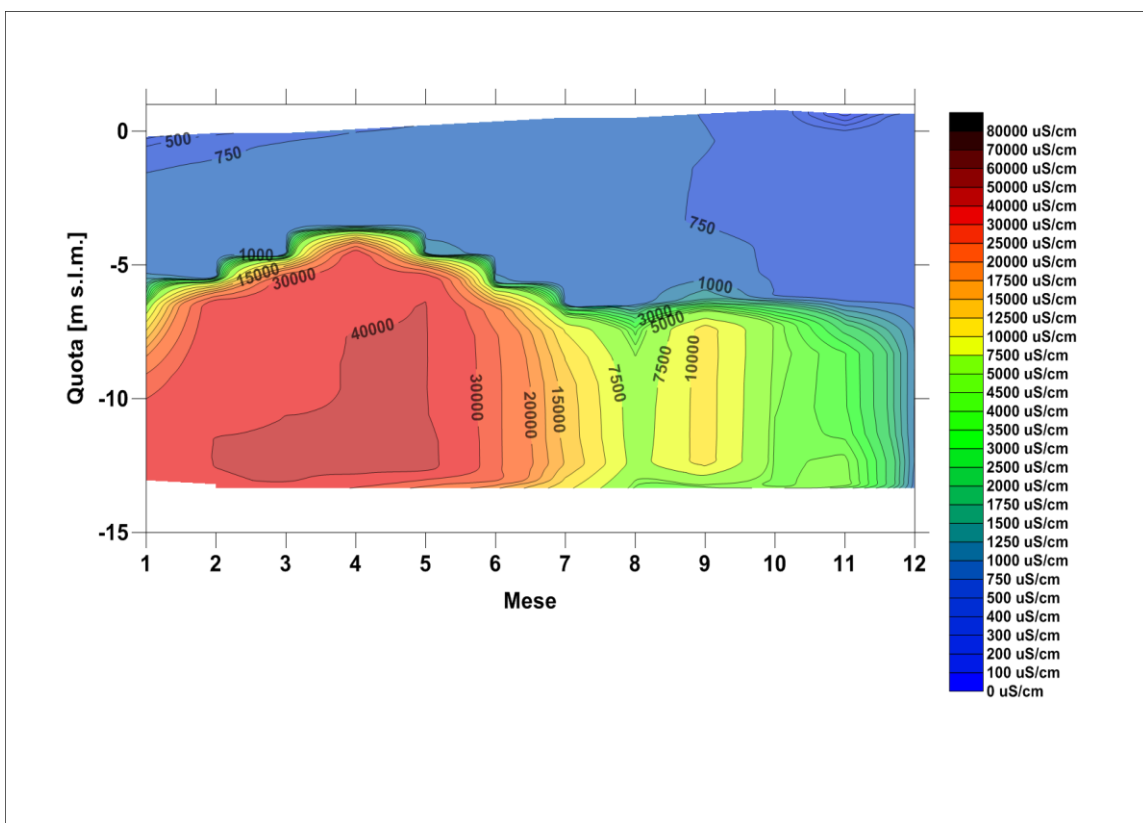


Fig. 2.109 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PS07 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

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

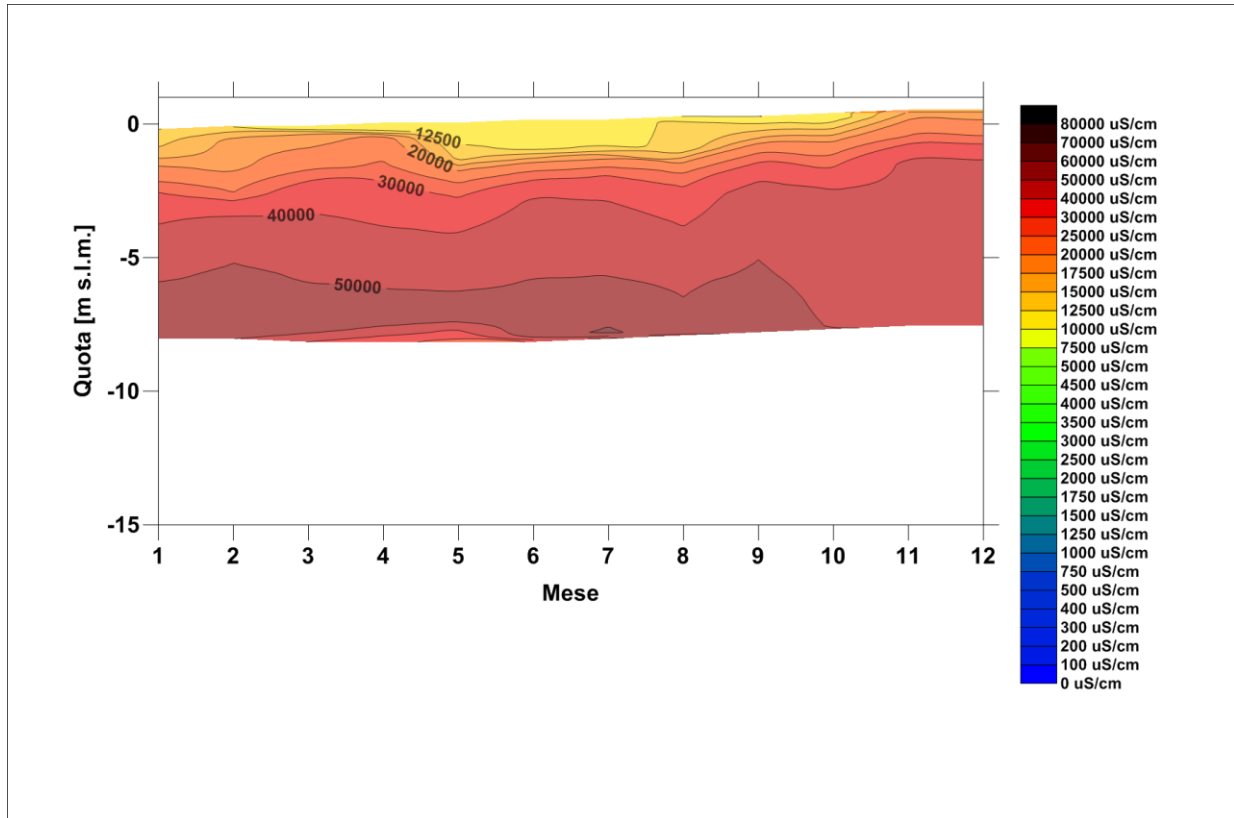


Fig. 2.110 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PS08 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

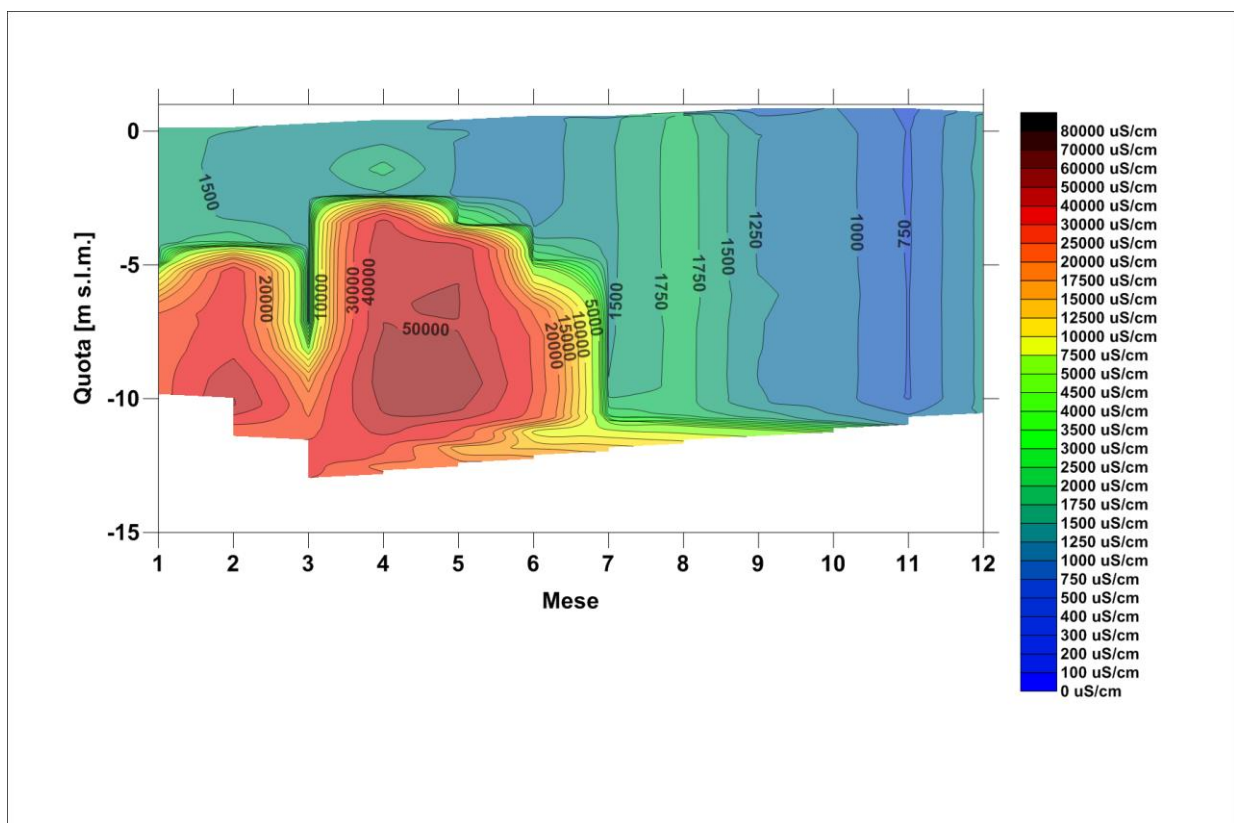


Fig. 2.111 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PS09 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

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

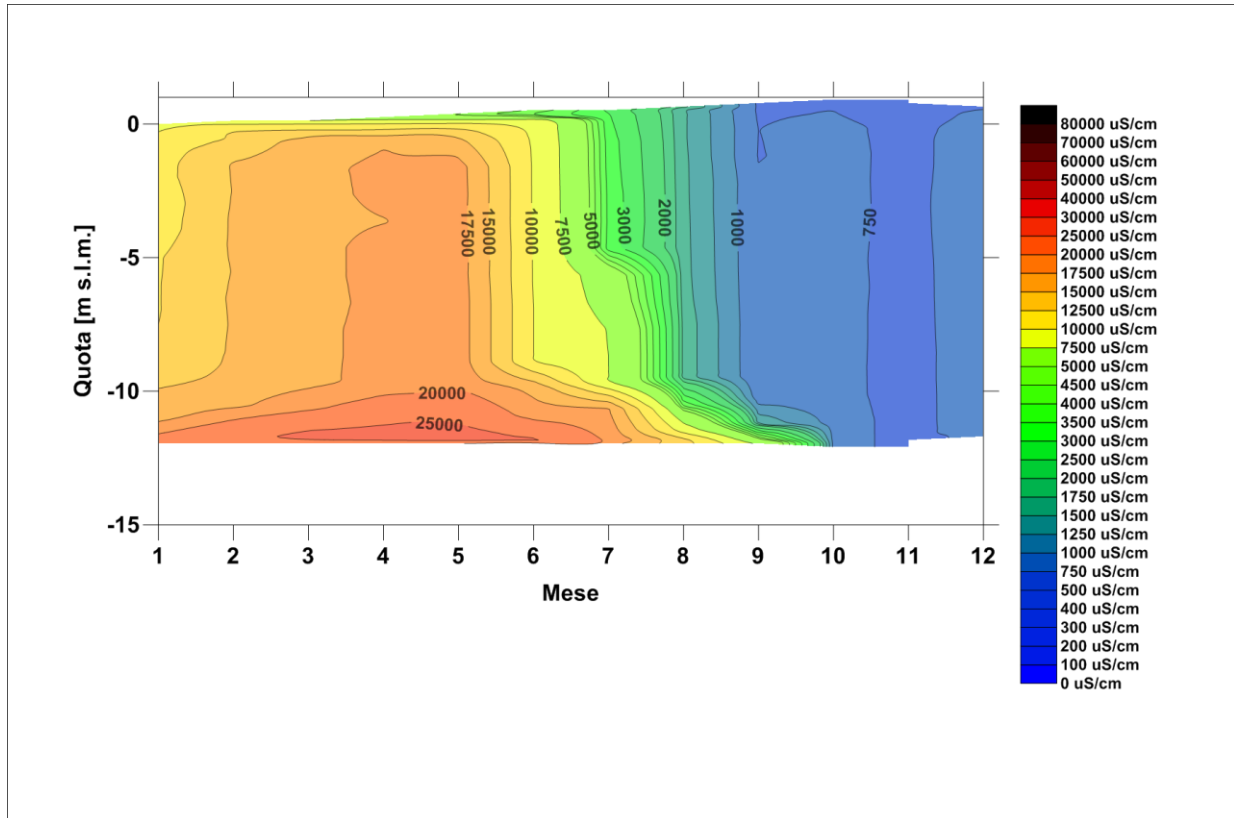


Fig. 2.112 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PS10 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

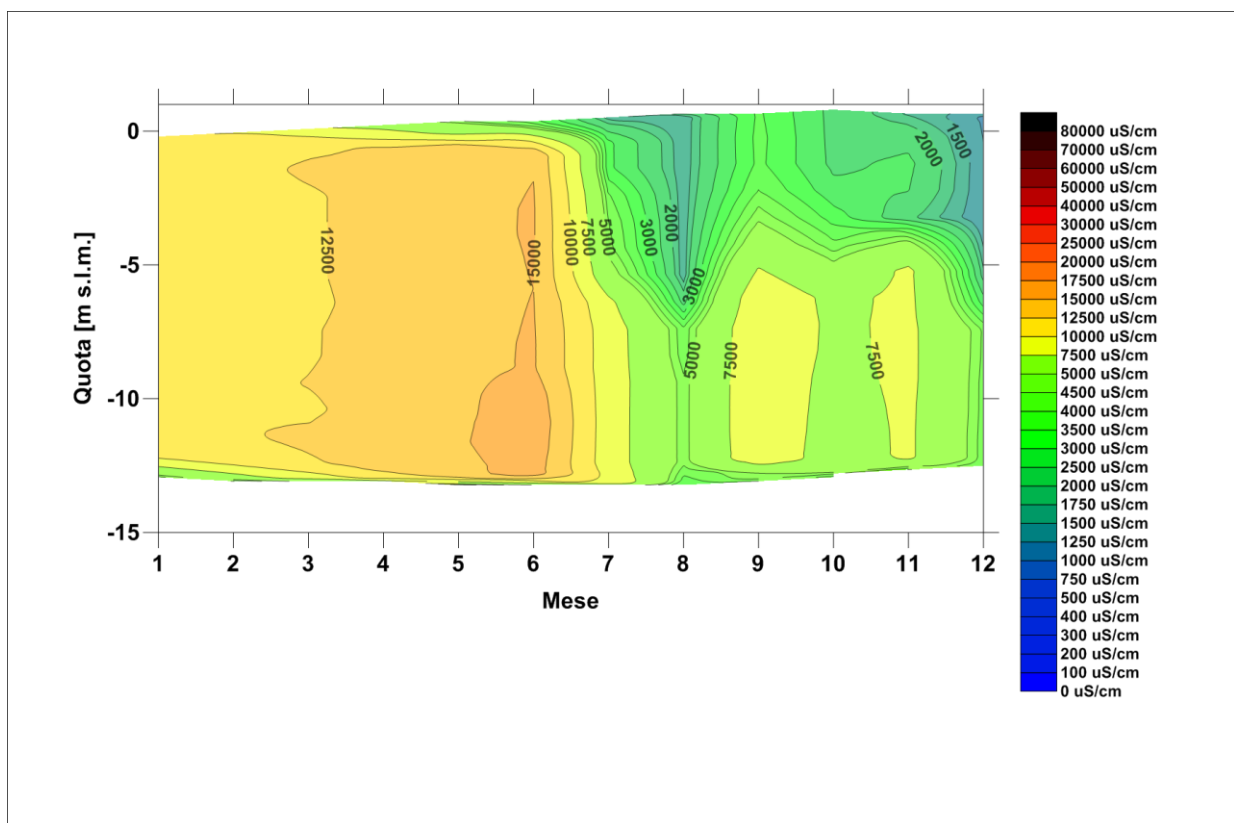


Fig. 2.113 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PS11 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).



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

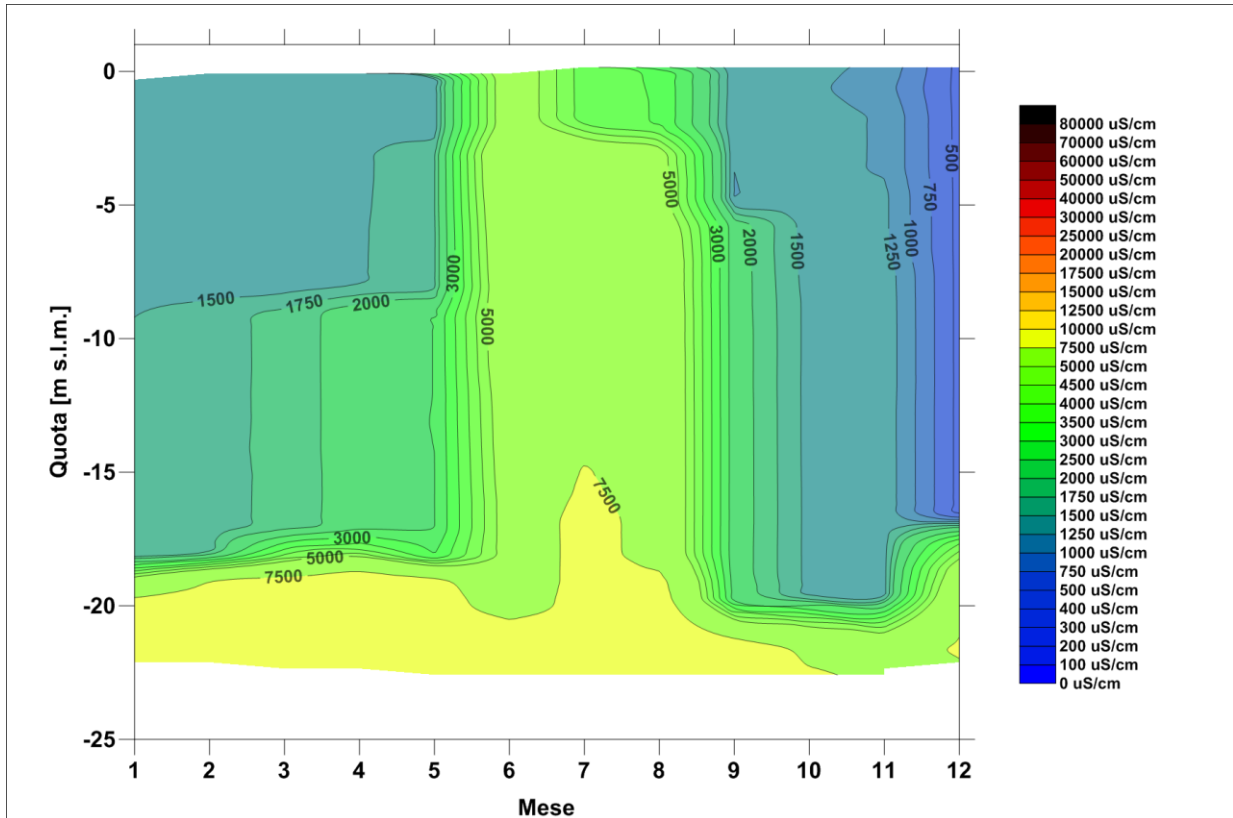


Fig. 2.114 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro profondo PP01 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

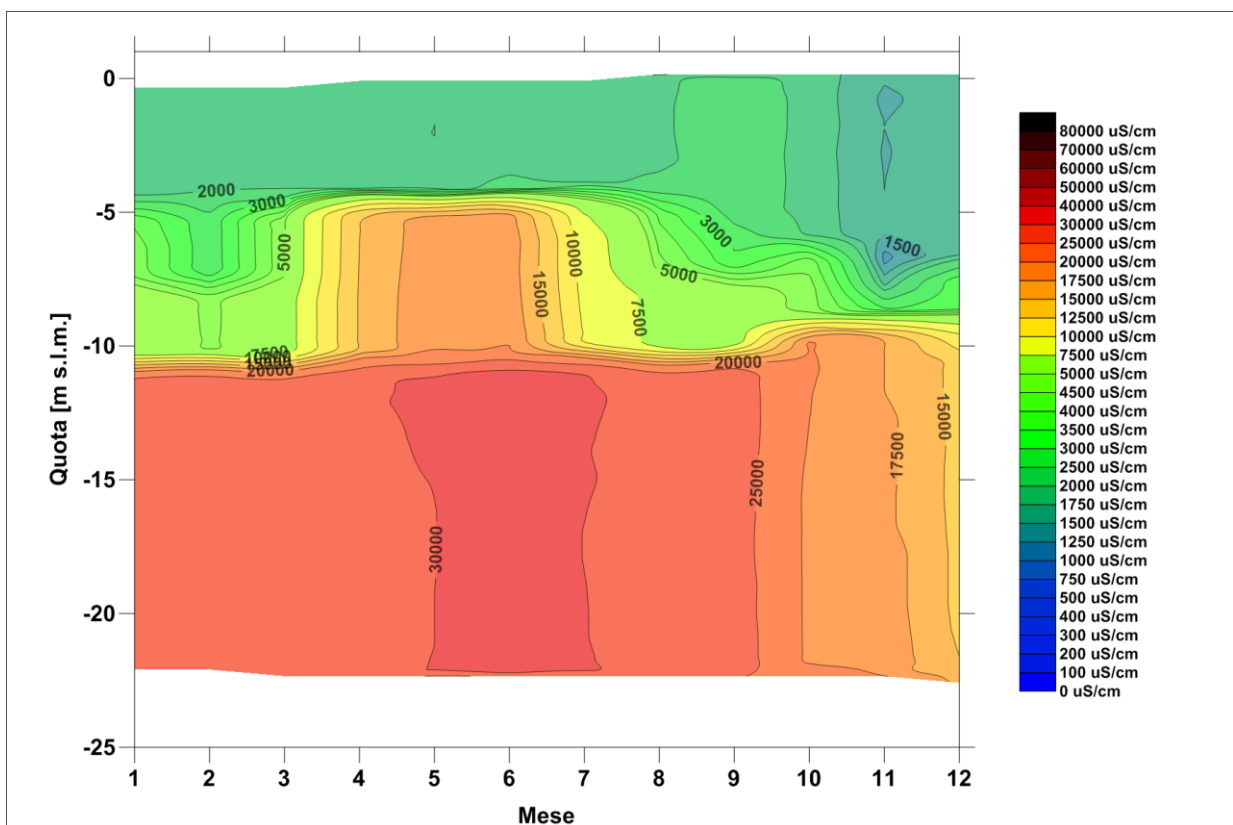


Fig. 2.115 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro profondo PP02 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

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

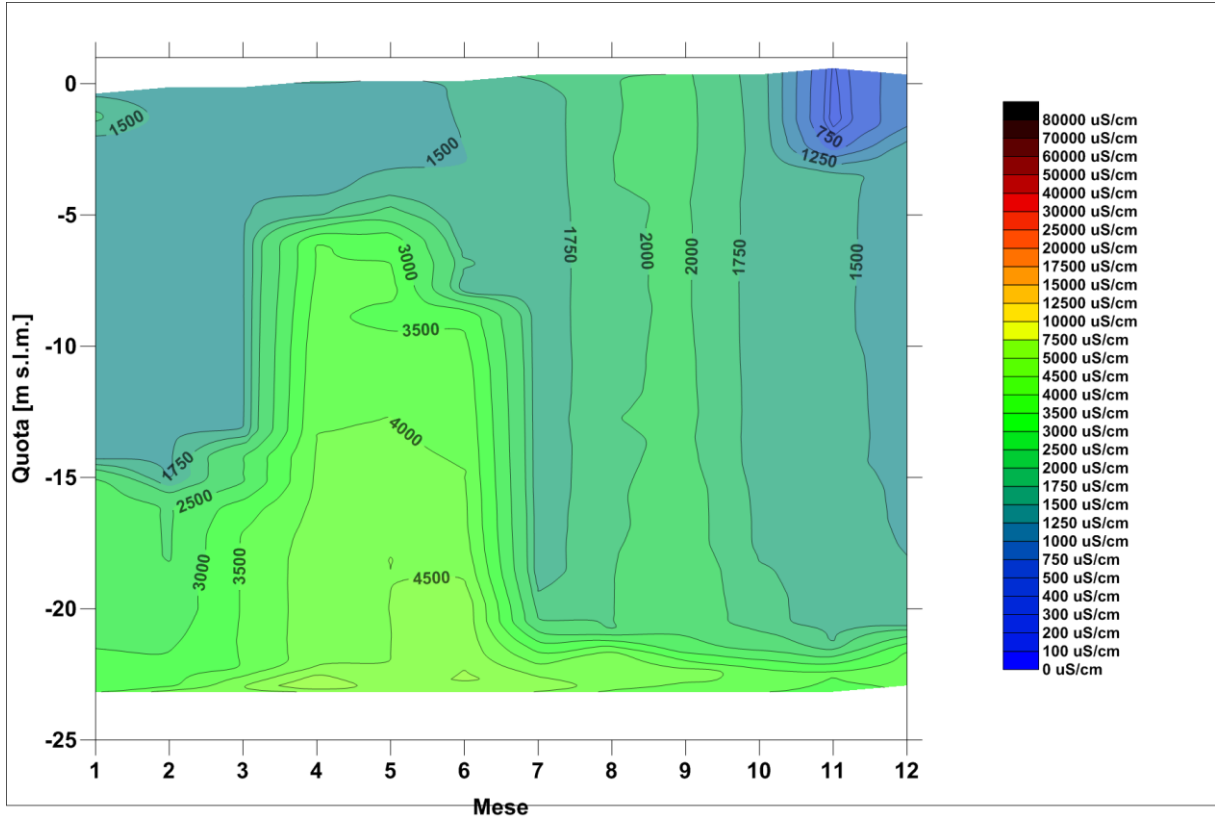


Fig. 2.116 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro profondo PP03 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

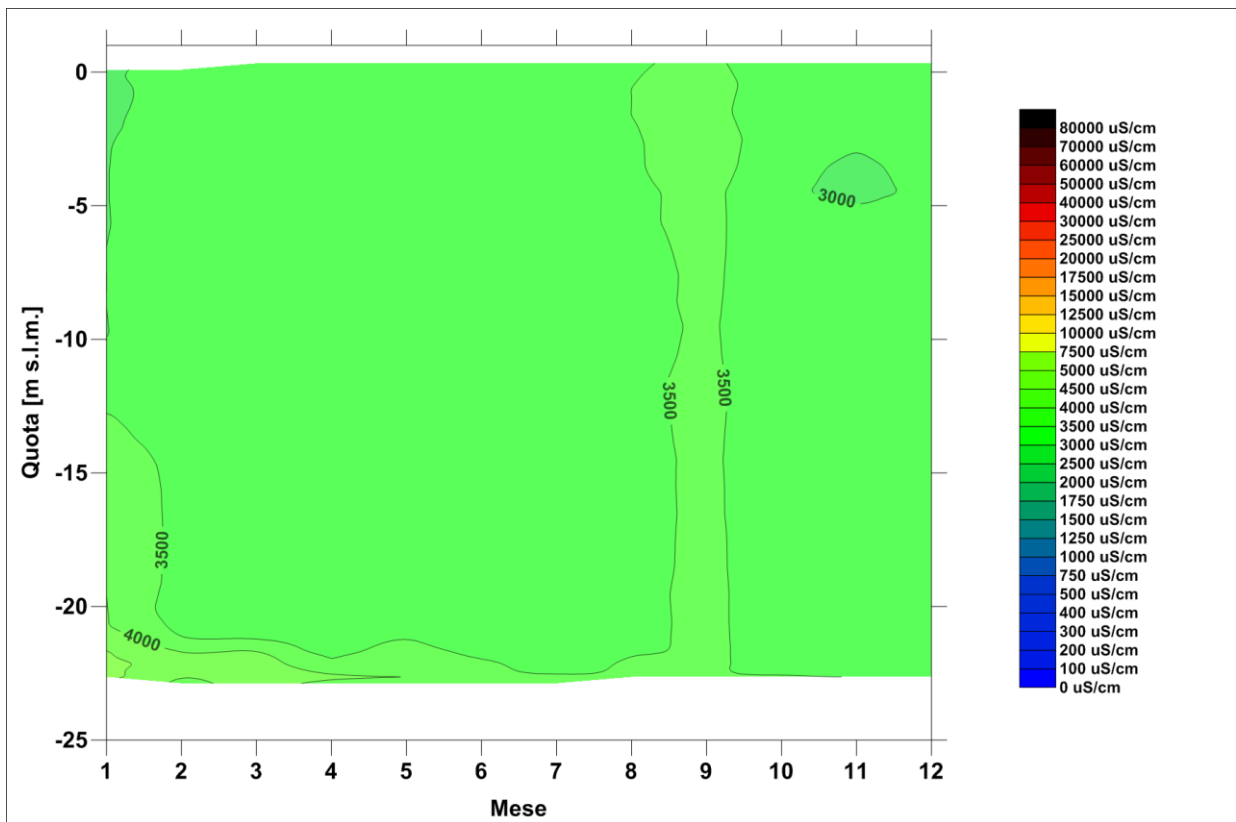


Fig. 2.117 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro profondo PP04 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

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

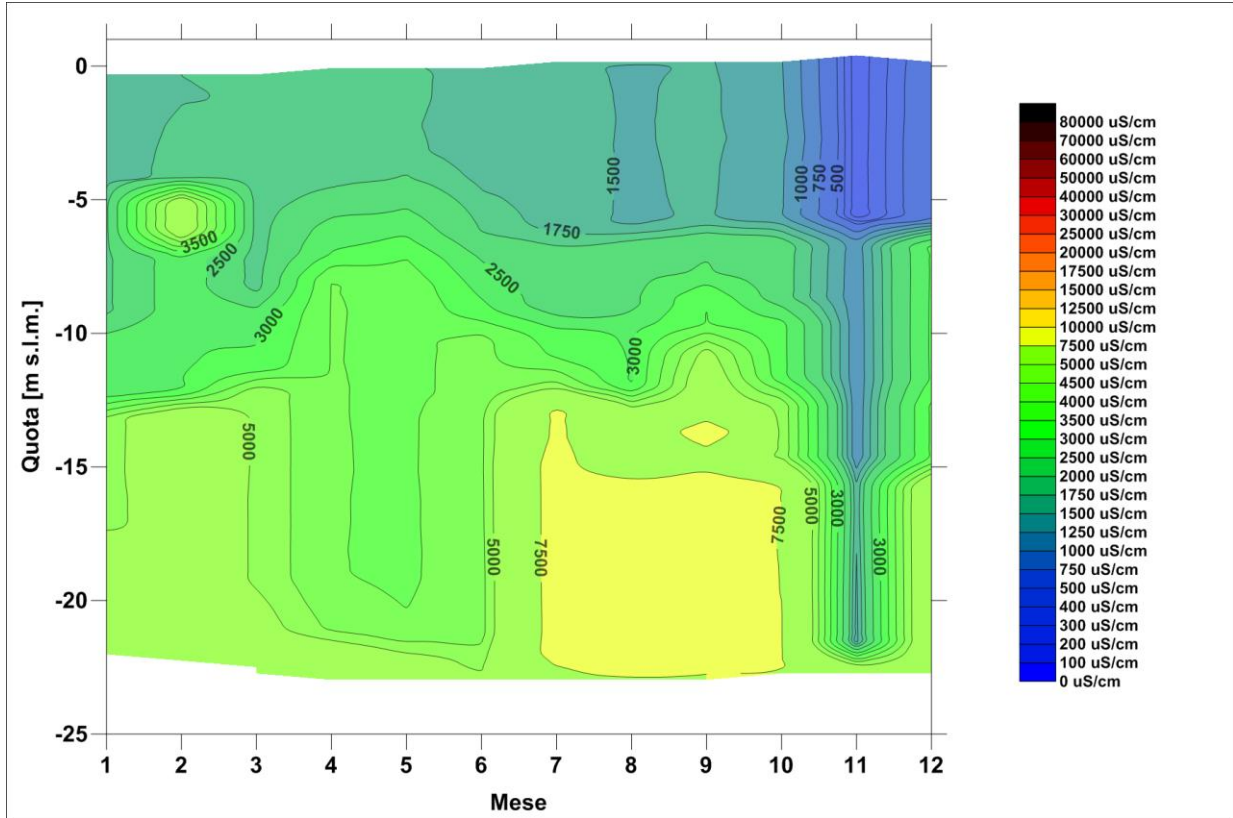


Fig. 2.118 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro profondo PP05 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

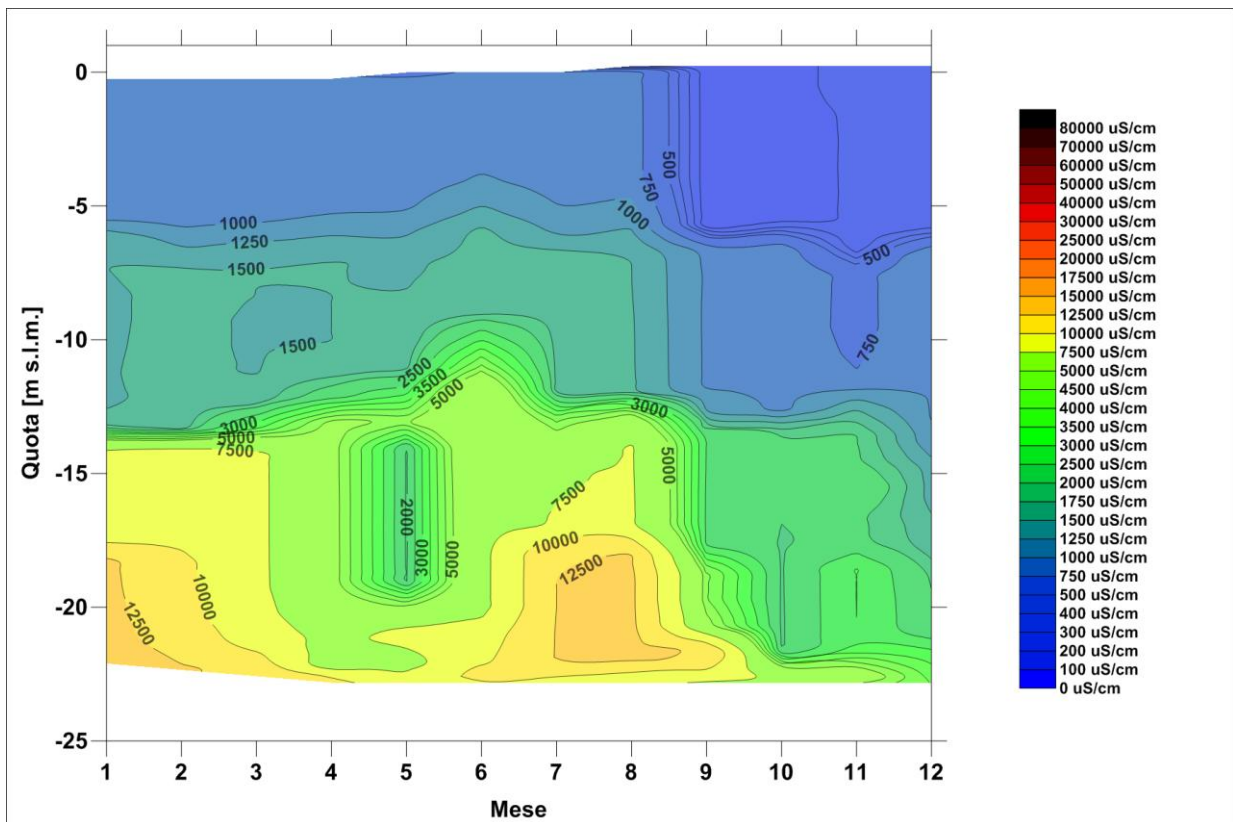


Fig. 2.119 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro profondo PP06 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

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

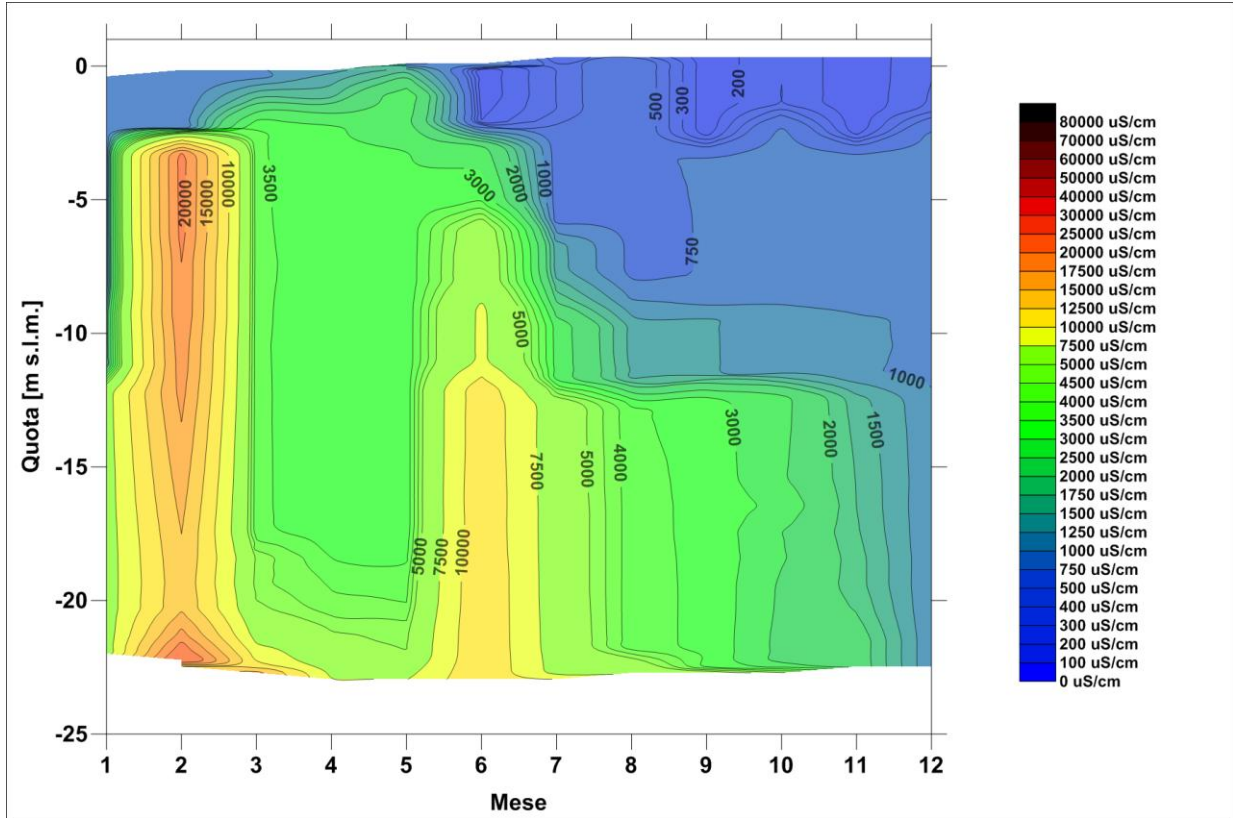


Fig. 2.120 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro profondo PP07 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

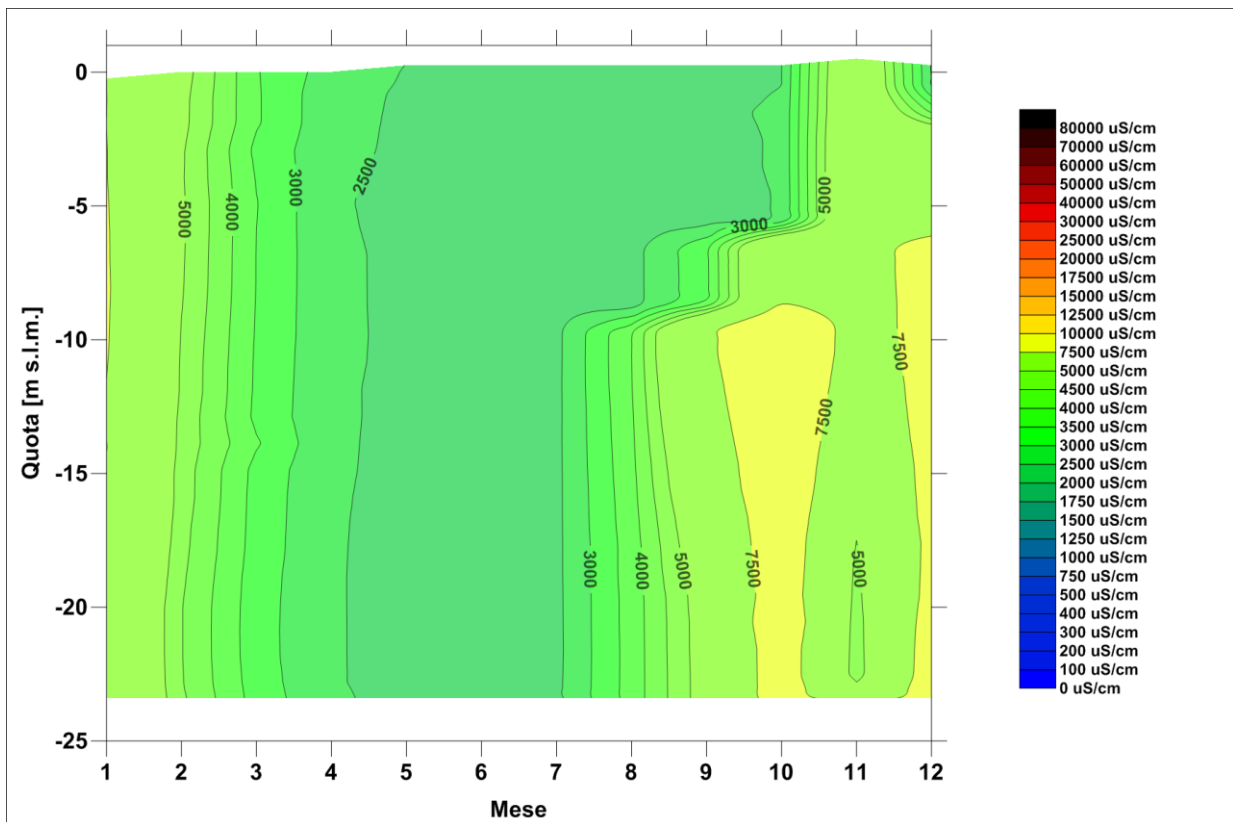


Fig. 2.121 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro profondo PP08 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

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

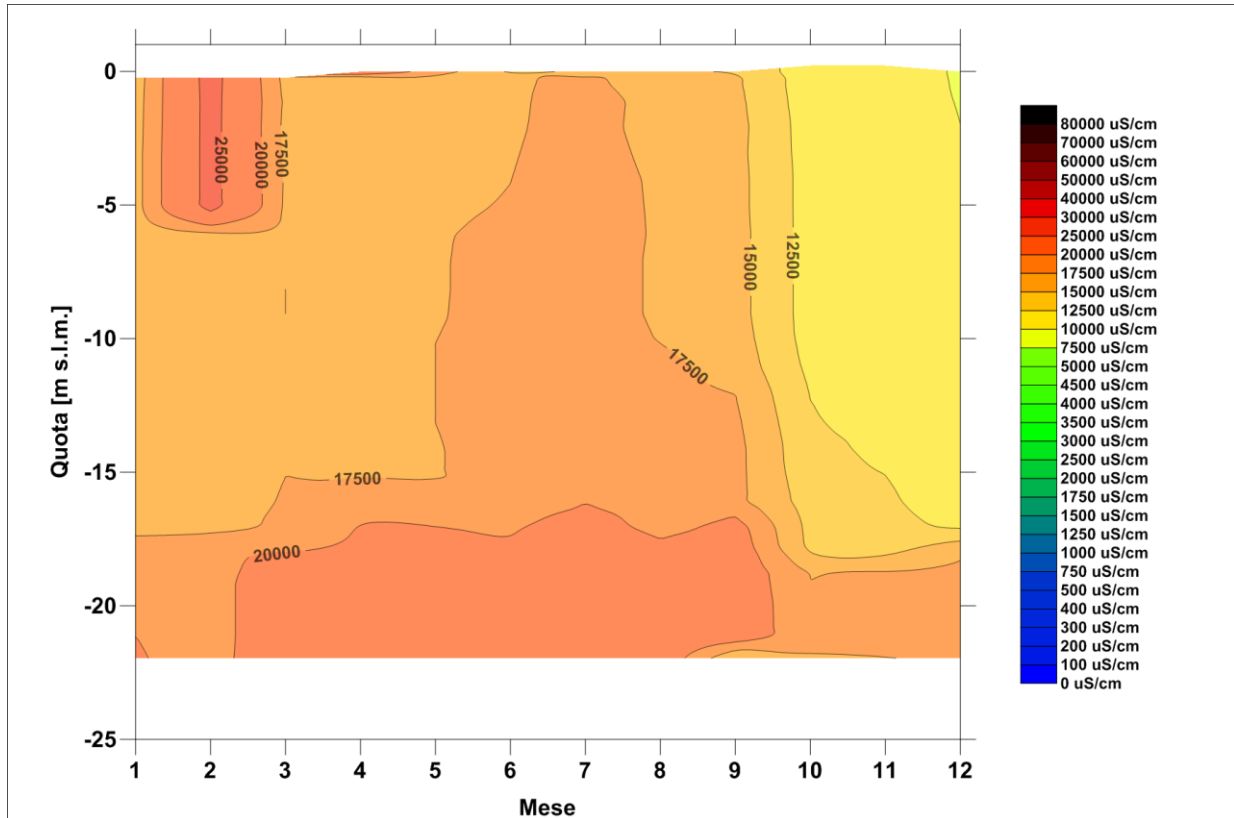


Fig. 2.122 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro profondo PP09 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

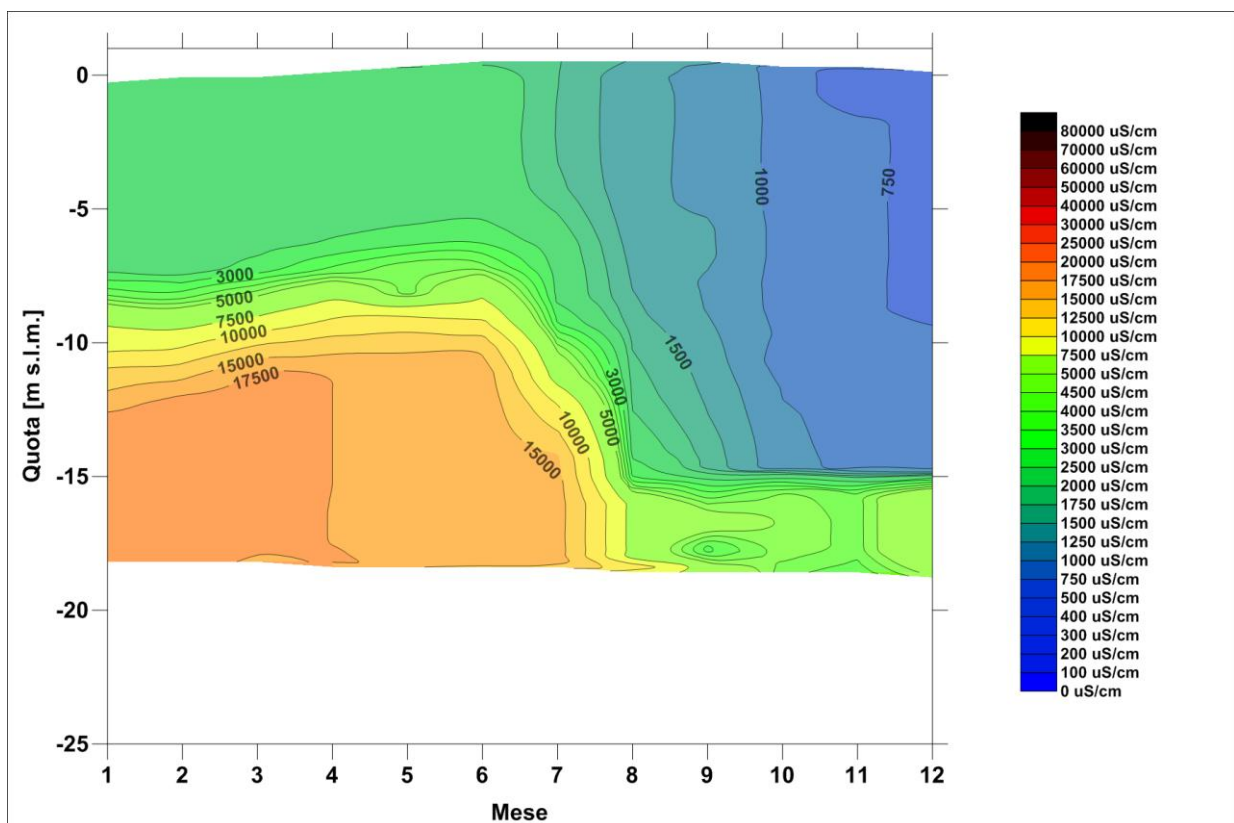


Fig. 2.123 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro profondo PP10 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

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

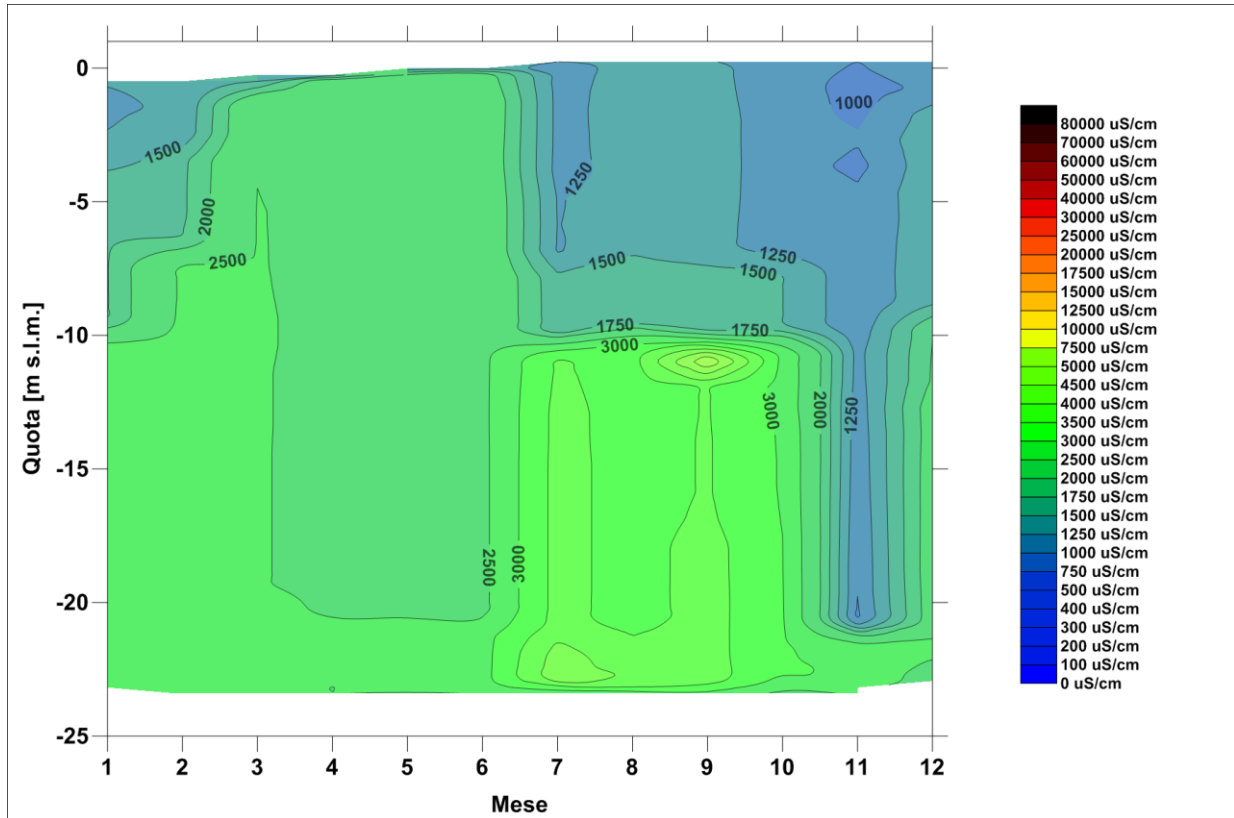


Fig. 2.124 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro profondo PP11 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

## 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 indotte dalla marea, mentre l'influenza delle piogge è trascurabile. Viceversa, nei piezometri interni (PS05÷11) e in quelli 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, seguiti da una lenta discesa di livello dovuta dapprima al deflusso verso il mare e in seguito all'evapotraspirazione.

Tra l'inizio e la fine dell'anno di monitoraggio si osserva un forte incremento dei livelli di falda superficiale nei piezometri PS03÷11, tra 30÷40 cm (PS03, PS04) e 50÷55 cm (PS05, PS06, PS09, PS10), che è attribuibile alle intense precipitazioni registrate durante la seconda metà dell'anno monitorato (novembre 2012 – aprile 2013: 747.2 mm, a fronte di una media per questo periodo pari a 366.2 mm nel periodo 1992÷2012. fonte: stazione meteorologica "ARPAV – Cavallino Treporti").

Nel mese di marzo 2012 è stato interrotto il pompaggio di dewatering, con il conseguente allagamento della tura provvisoria di prefabbricazione dei cassoni mobili. Si è quindi verificato un recupero dei carichi idraulici nella falda profonda, che però è avvenuto in gran parte nei mesi di marzo e aprile 2012, oggetto del precedente rapporto annuale ("Studio B.6.72 B/8, Rapporto Finale").

Durante il periodo monitorato (01/05/12 – 30/04/13) si è completato il recupero della situazione *ante operam* nella falda profonda, in particolare nei mesi compresi tra maggio e luglio 2012, nei quali si osserva un incremento dei carichi idraulici pari a circa 30 cm in PP04 e PP12, 50 cm in PP13 e 55 cm in PP14. A partire dal mese di agosto 2012, il carico idraulico nei piezometri profondi è influenzato in modo preponderante dalla pressione atmosferica e del livello medio del mare.

È possibile osservare alcuni picchi di livello, in particolare nei piezometri PP07, PP08, PP12, PP13 dovuti all'infiltrazione di acqua piovana nel pozzetto durante eventi meteorici particolarmente intensi, che hanno determinato superamenti della soglia di Alto Livello Istantaneo.

Il monitoraggio mensile della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda ha evidenziato, nella maggior parte dei piezometri superficiali e profondi, un calo dei valori di questo parametro tra l'inizio (maggio 2012) e la fine (aprile 2013) del periodo monitorato, che si può attribuire alle intense precipitazioni avvenute nel periodo novembre 2012 – aprile 2013 (747.2 mm, a fronte di una media per questo periodo pari a 366.2 mm nel periodo 1992÷2012. fonte: stazione meteorologica "ARPAV – Cavallino Treporti"). In entrambi gli acquiferi monitorati, i valori attuali di densità sono nella maggior parte dei casi inferiori rispetto alla situazione *ante operam*. Non si sono quindi verificati incrementi dell'intrusione salina attribuibili al cantiere.

**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 2012 e il 30 aprile 2013.

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

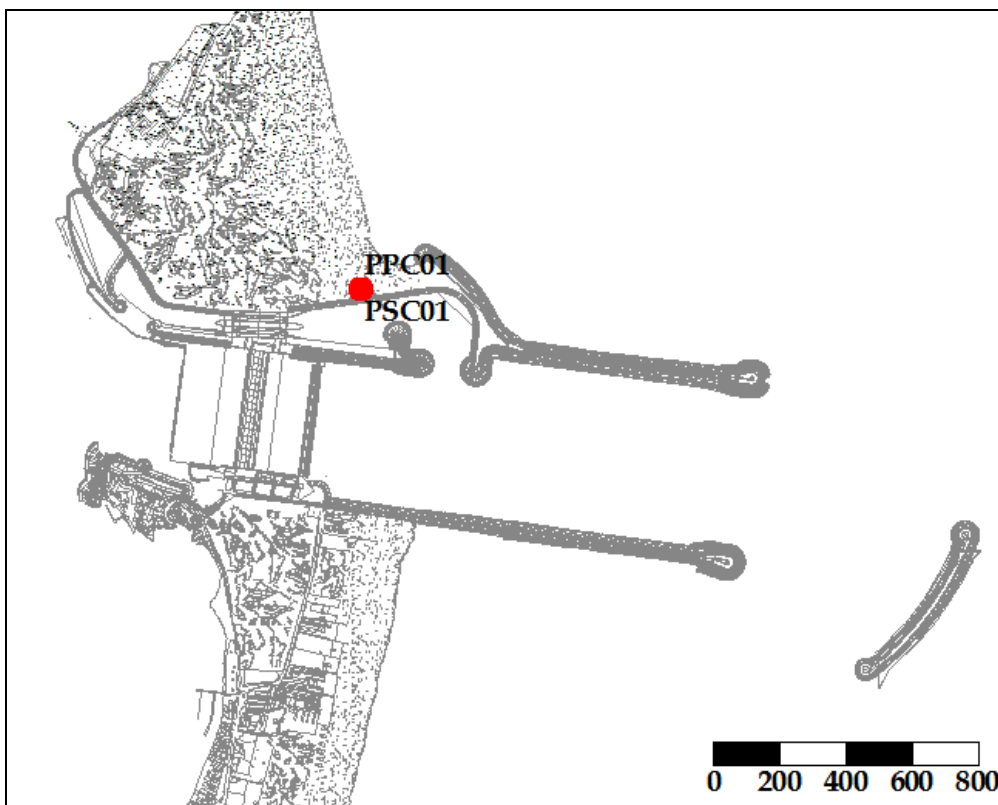


Fig. 3.1- Ubicazione dei piezometri

Tab. 3.1- Coordinate planoaltimetriche dei piezometri di monitoraggio.

NOME	H geoid	N GB Fuso Est	E GB Fuso Est
PSC01	2.065	5012706.063	2308002.906
PPC01	2.072	5012707.515	2308002.753

## 3.2 ANALISI DEI DATI

### 3.2.1 *Descrizione delle forzanti naturali*

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

- Precipitazioni, registrate dalla stazione meteorologica “Chioggia, loc. S. Anna”, gestita da ARPA Veneto e posta circa 12 km a sud del cantiere;
- oscillazioni mareali registrate dal mareografo “Chioggia Città” per i mesi di giugno e luglio 2012 e, per gli altri mesi, dal mareografo “Diga Sud Chioggia” (stazioni 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 “ARPAV Chioggia loc. S. Anna”, rappresentata 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 della stazione pluviometrica “ARPAV - Chioggia loc. Sant’Anna”.

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)
13/05/12	24	14.8
16/05/12	24	7.8
20-21/05/12	48	17.2
26/05/12	24	8.0
04/06/12	24	18.2
11/08/12	24	8.2
01-05/09/12	120	95.2
12-13/09/12	48	22.8
19/09/12	24	24.2
24/09/12	24	26.8
30/09/12	24	19.4
01/10/12	24	9.0
10-11/10/12	48	5.0
15-16/10/12	48	16.2
26-29/10/12	96	70.0
31/10/12	24	75.4
01/11/12	24	17.2
23/11/12	24	5.8
27-30/11/12	96	67.0
01-02/12/12	48	16.4
07-08/12/12	48	17.0
14-15/12/12	48	10.8
21/12/12	24	6.6
26/12/12	24	6.6
02/01/13	24	11.0
13-17/01/13	120	51.2
19-20/01/13	48	12.0
22-23/01/13	48	12.0
28/01/13	24	8.6
02/02/13	24	38.6
10-11/02/13	48	37.2
21-23/02/13	72	25.8
06-12/03/13	168	49.4
16-18/03/13	72	33.2
20-21/03/13	48	11.2
23-25/03/13	72	50.8
28-31/03/13	96	34.0
04-05/04/13	48	24.2
19-23/04/13	120	39.8

### 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 - $h_b$**

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

Nelle Fig.3.7-3.8 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.

Nel periodo 05/06/12 - 05/07/12 non sono disponibili i dati relativi al Barologger BC01, a causa di un problema tecnico al trasduttore.

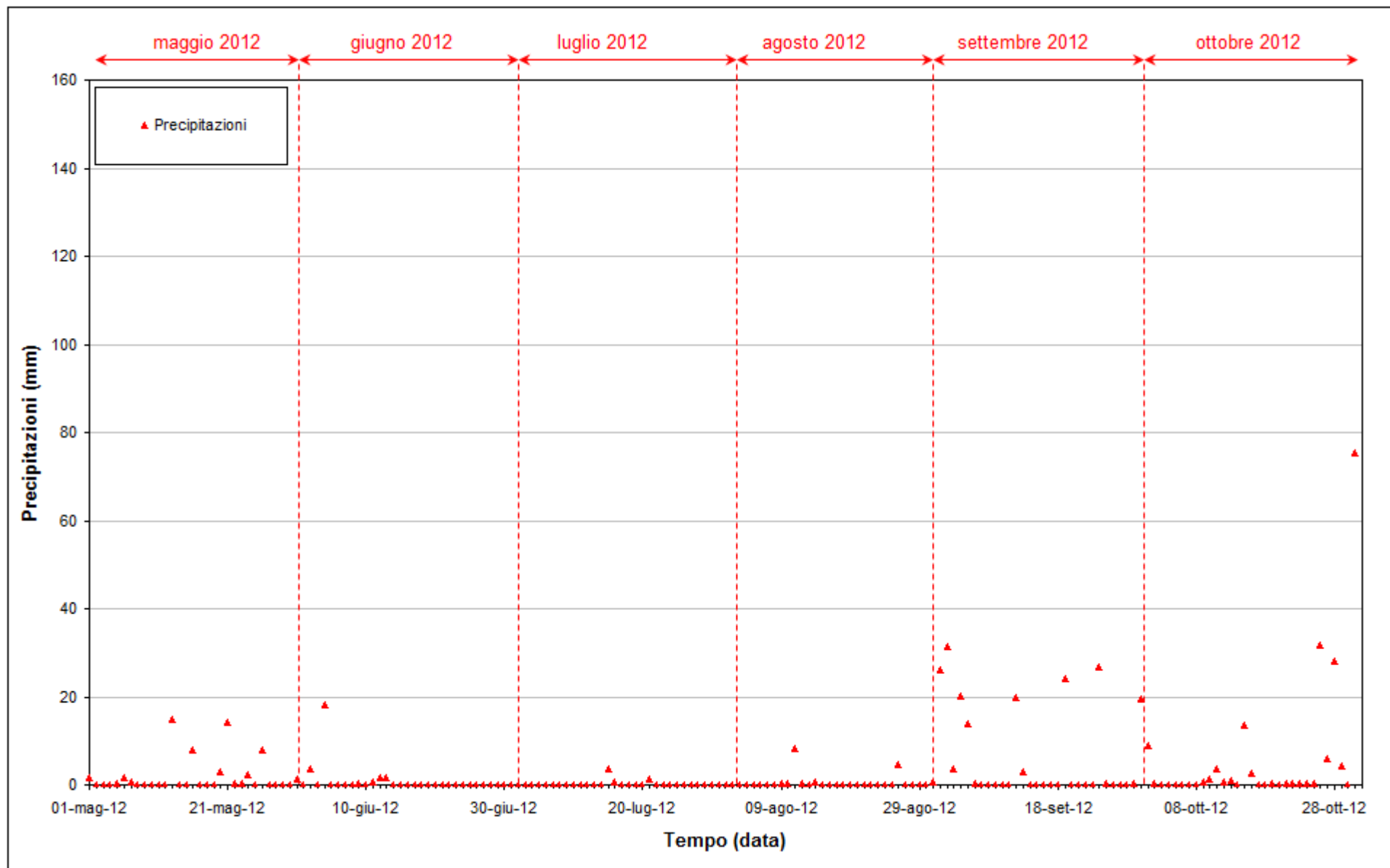


Fig. 3.3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

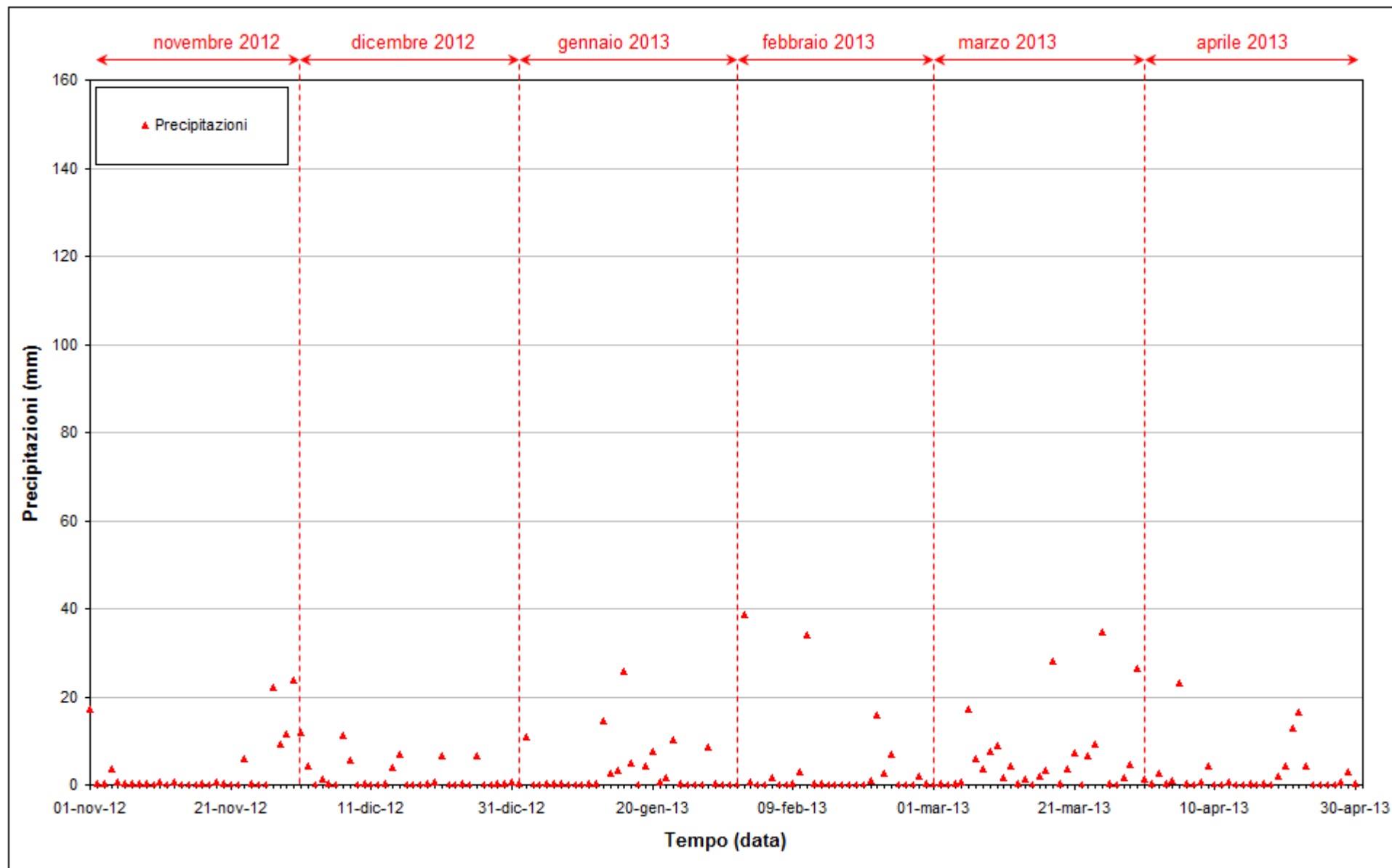


Fig. 3.4 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

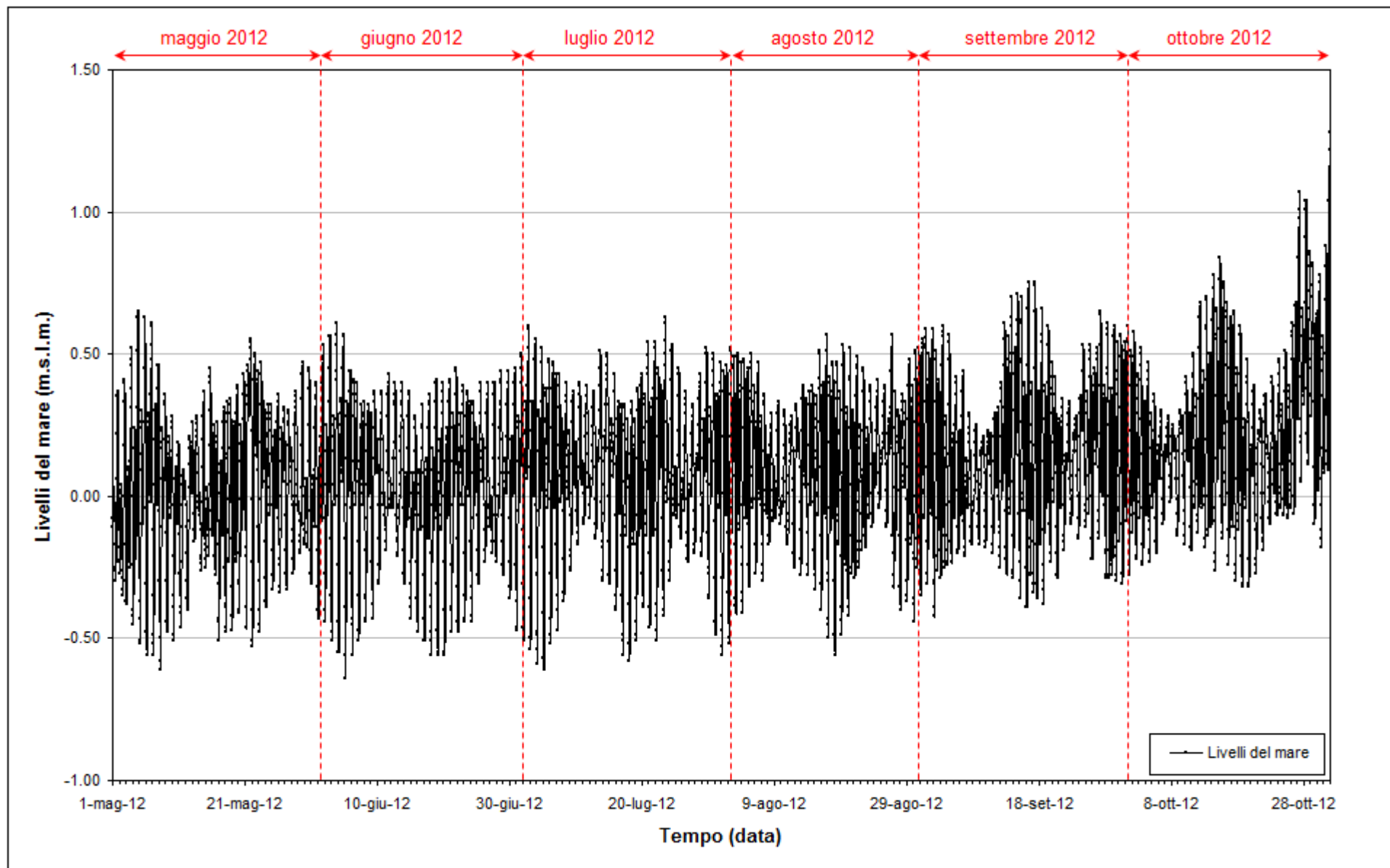


Fig. 3.5 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

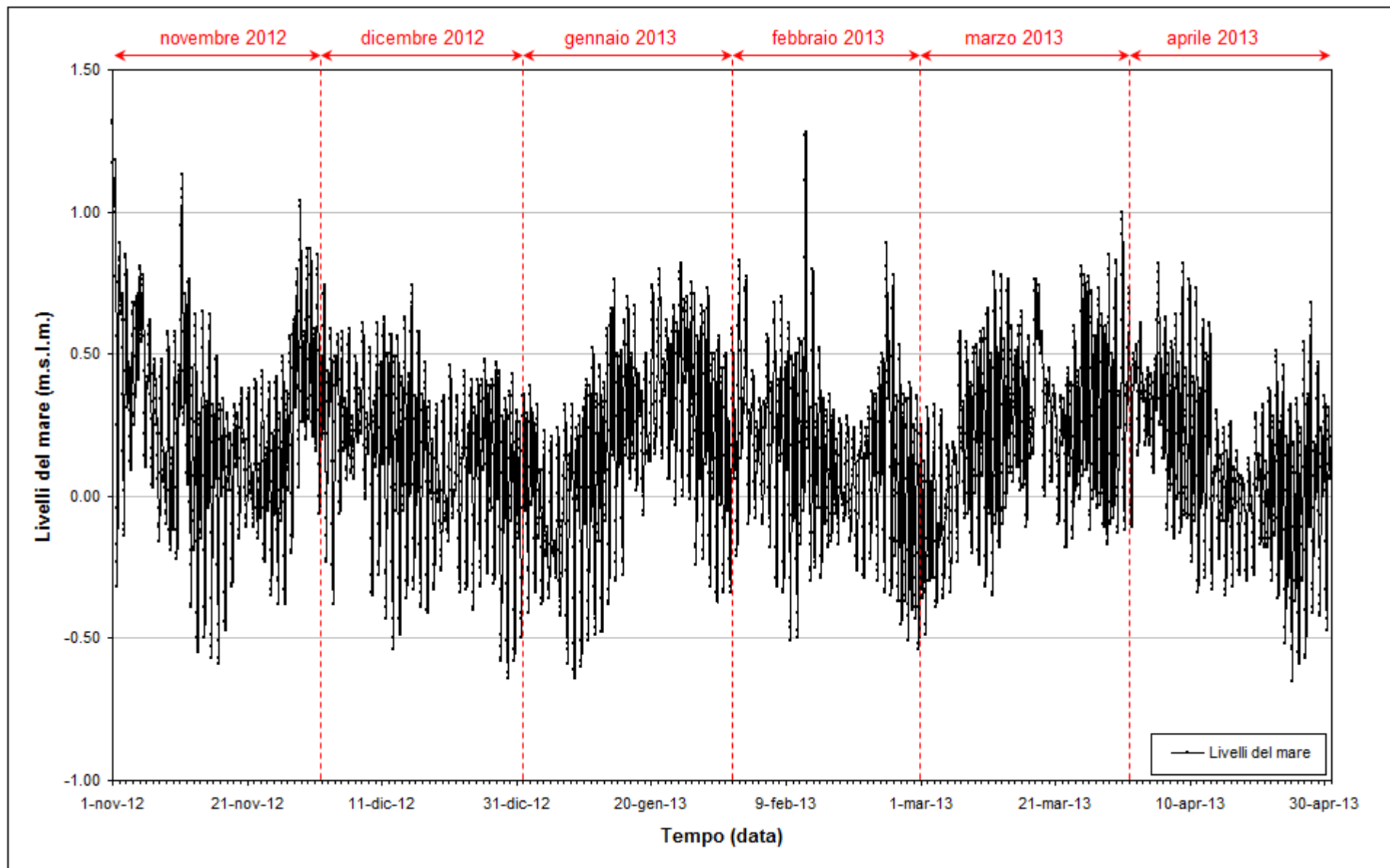


Fig. 3.6 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Chioggia nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.



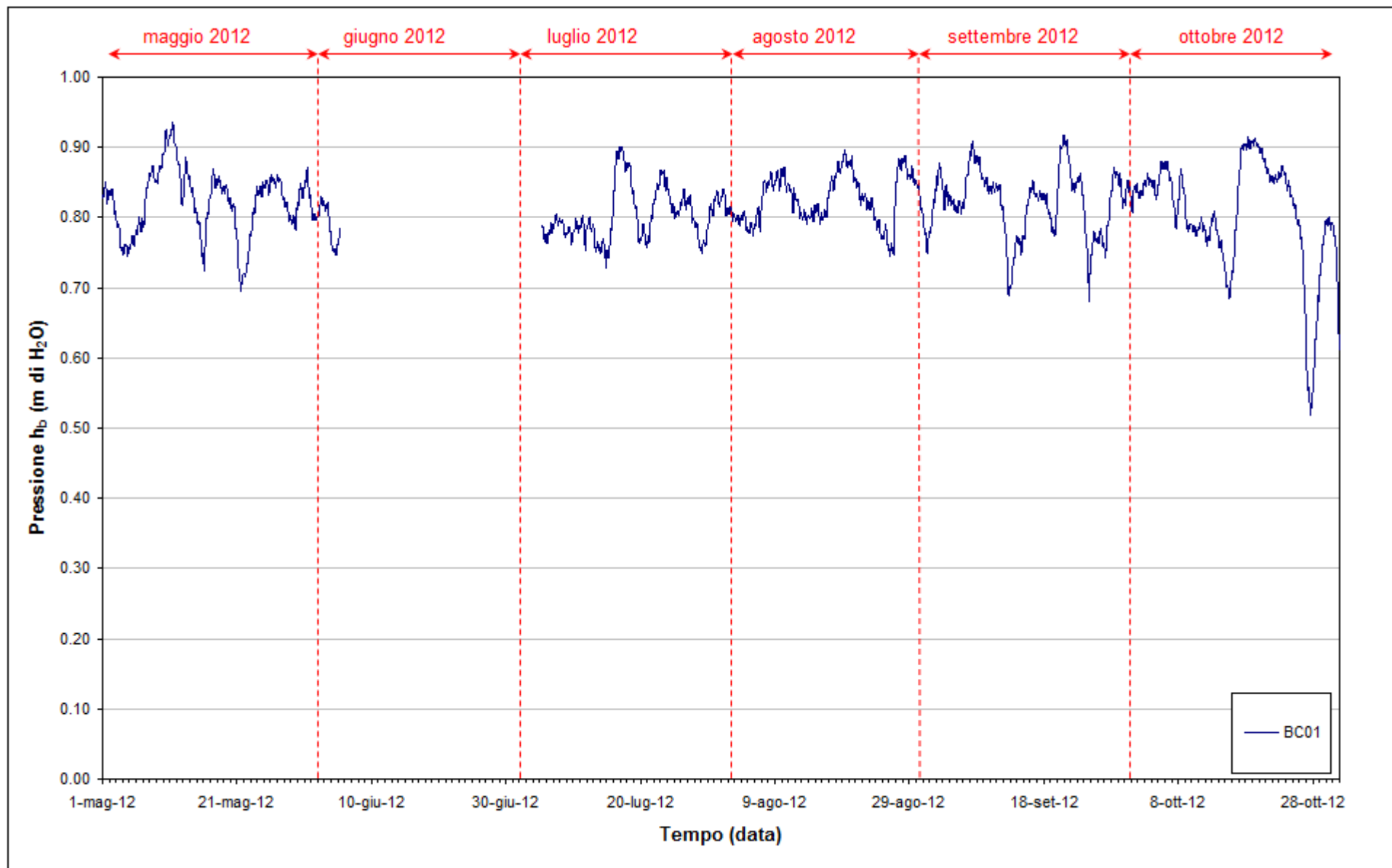


Fig. 3.7 - Tracciato di misura del Barologger BC01 ( $h_b$ ) nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

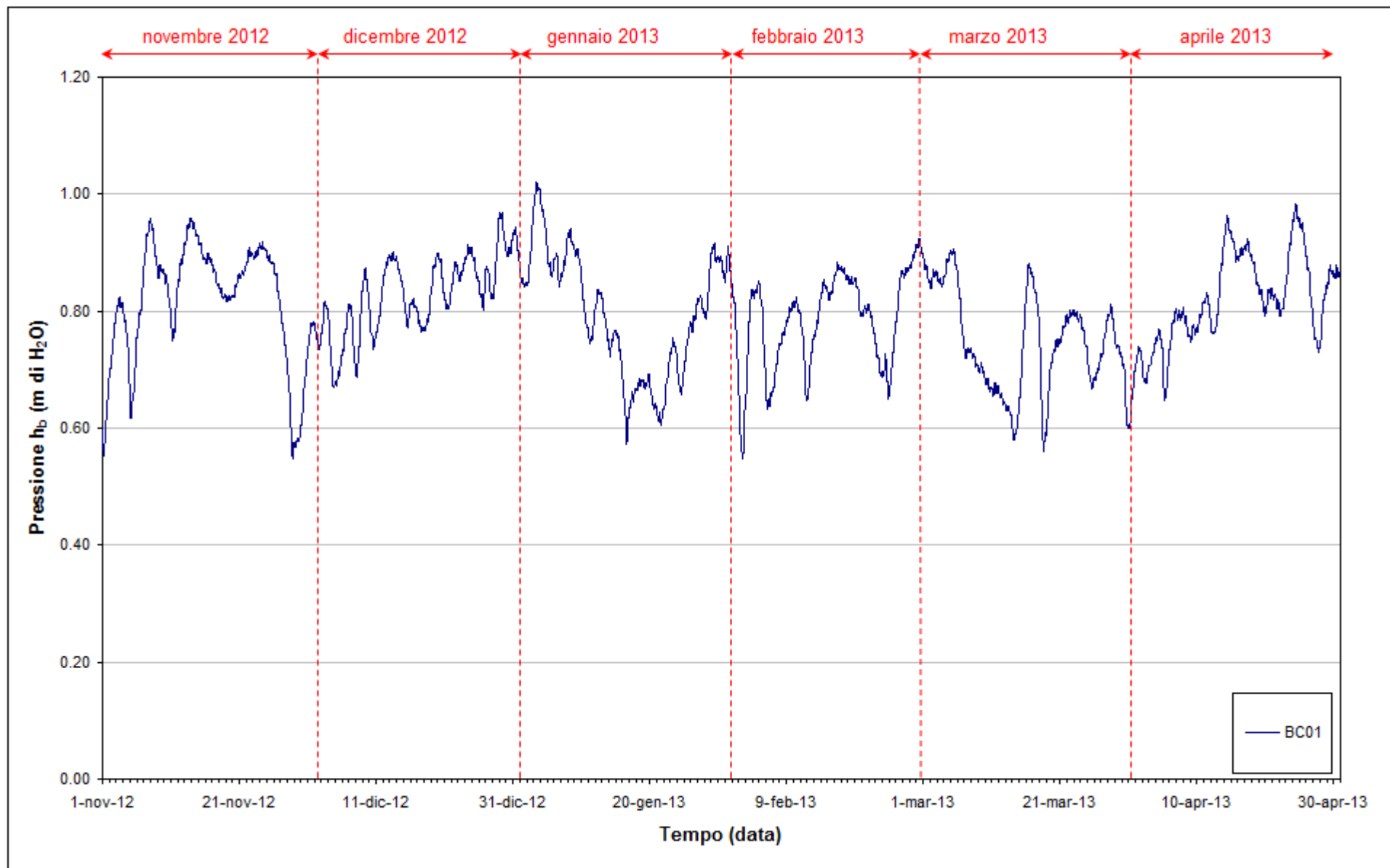


Fig. 3.8 - Tracciato di misura del Barologger BC01 ( $h_b$ ) nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

### **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).

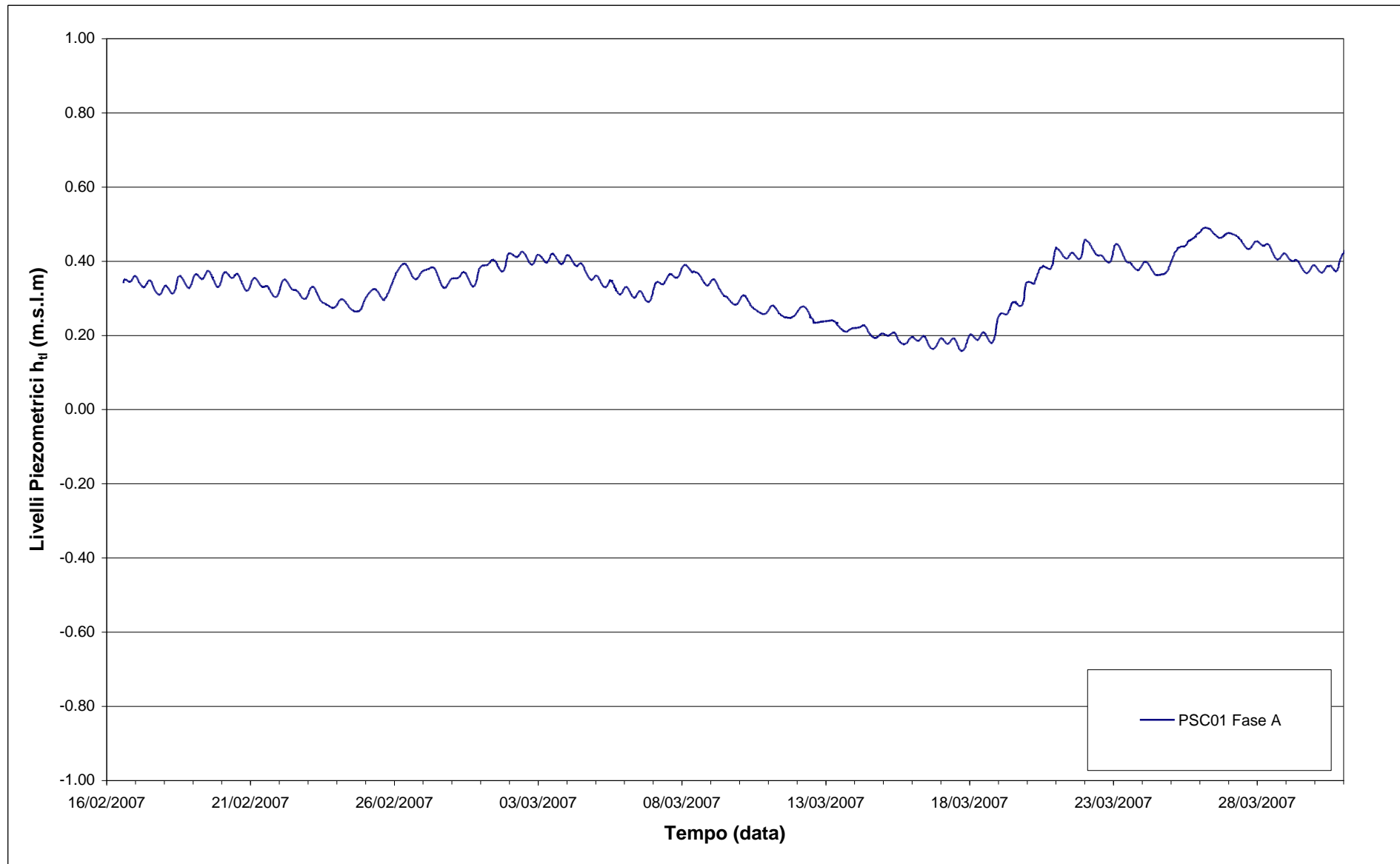
In Fig. 3.9 è riportato l'andamento dei livelli piezometrici nel piezometro superficiale PSC01 durante la fase A (febbraio – marzo 2007).

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 (01/05/12 – 30/04/13) si osserva un incremento di circa 25 cm del livello di falda nel piezometro superficiale PSC01, attribuibile alle intense precipitazioni avvenute nel periodo novembre 2012 – aprile 2013 (totale: 625 mm, a fonte di una media di 346.1 mm per lo stesso periodo negli anni 1992÷2012).

Nel periodo 05/06/12 – 05/07/12 non sono disponibili i dati relativi al piezometro PSC01, a causa di un problema tecnico al trasduttore.

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

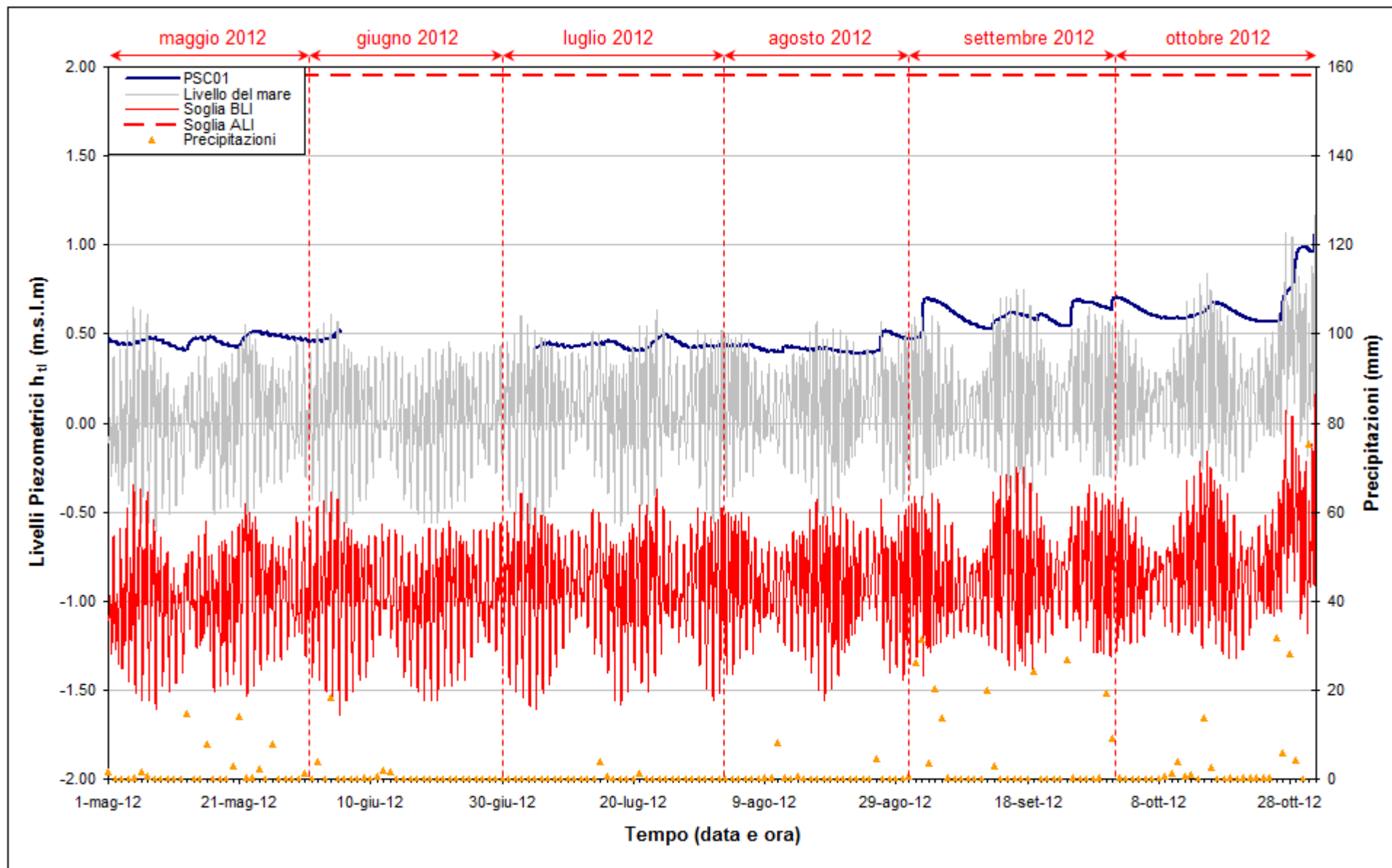


Fig. 3.10 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro superficiale PSC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

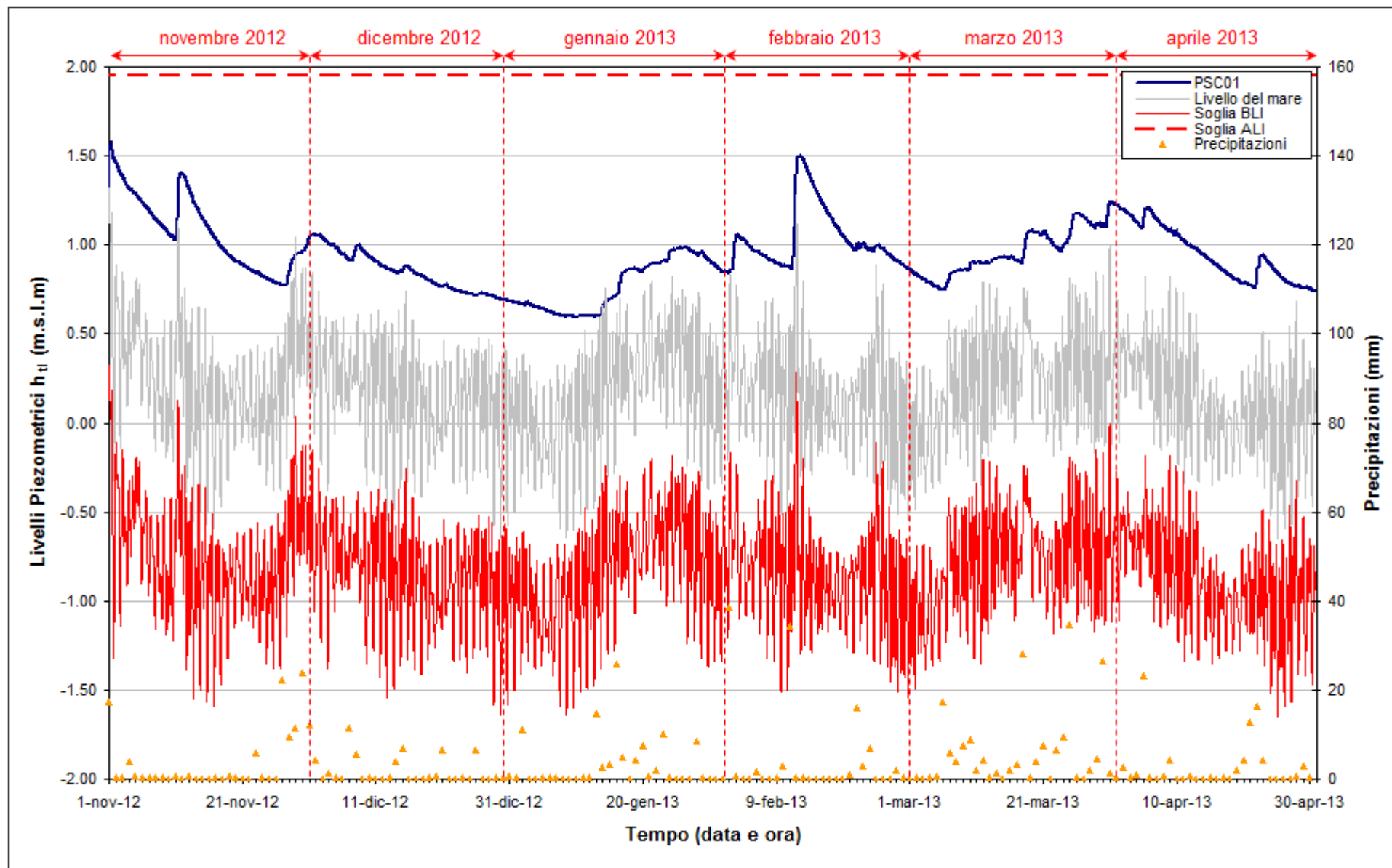


Fig. 3.11 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro superficiale PSC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

### **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).

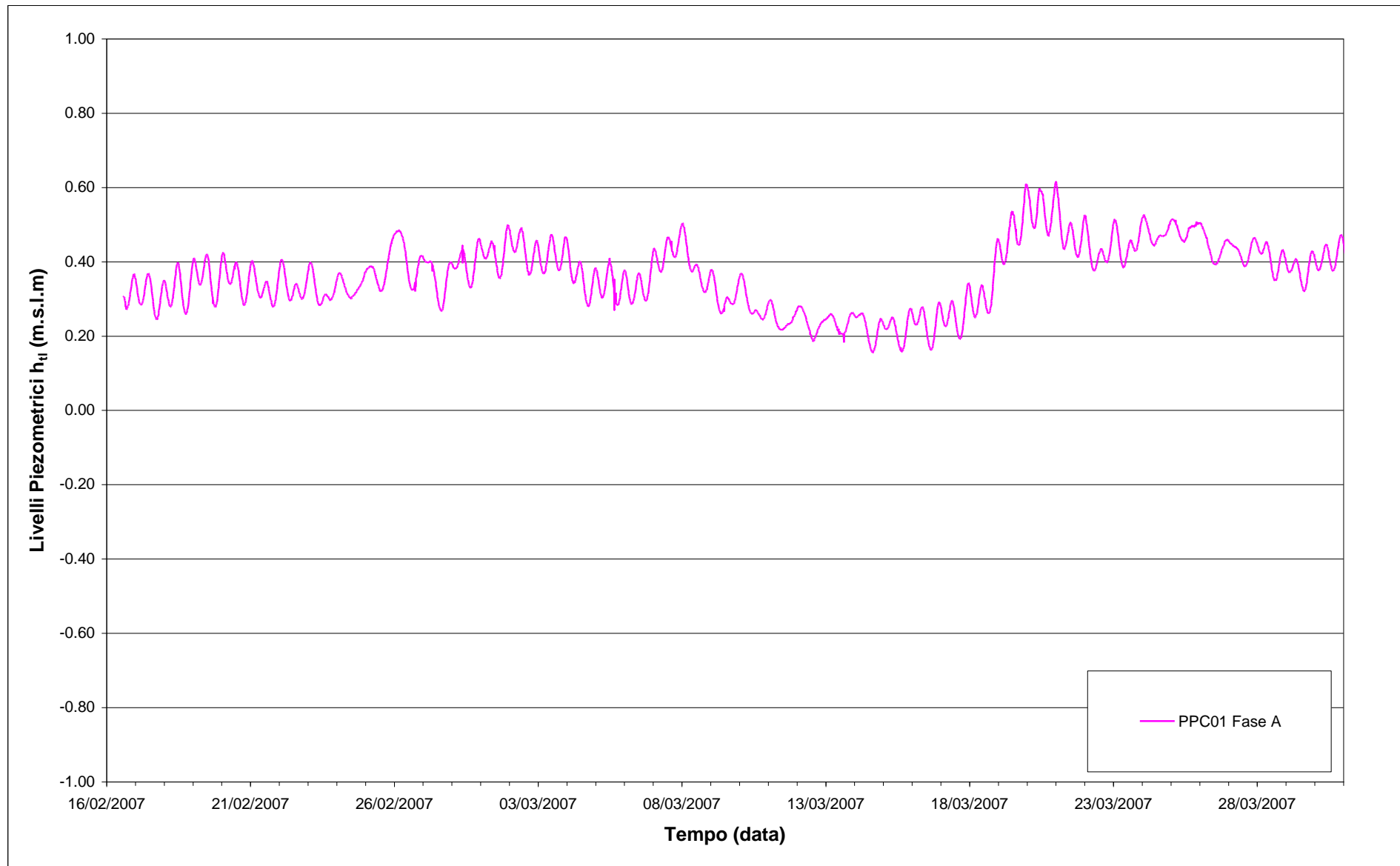
Nelle Figg.3.13-3.14 sono rappresentati singolarmente i livelli assoluti del piezometro PPC01, associati alle relative soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo ed alle forzanti naturali (precipitazioni e oscillazioni mareali).

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.

Tra l'inizio e la fine dell'anno di monitoraggio (01/05/12 – 30/04/13) non si osservano variazioni apprezzabili del carico idraulico nel piezometro PPC01.

Le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono state superate durante tutto il periodo di monitoraggio 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 cm.

I dati relativi al periodo 05/06/12 – 05/07/12 non sono disponibili a causa di un problema tecnico del trasduttore di misura del livello.

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



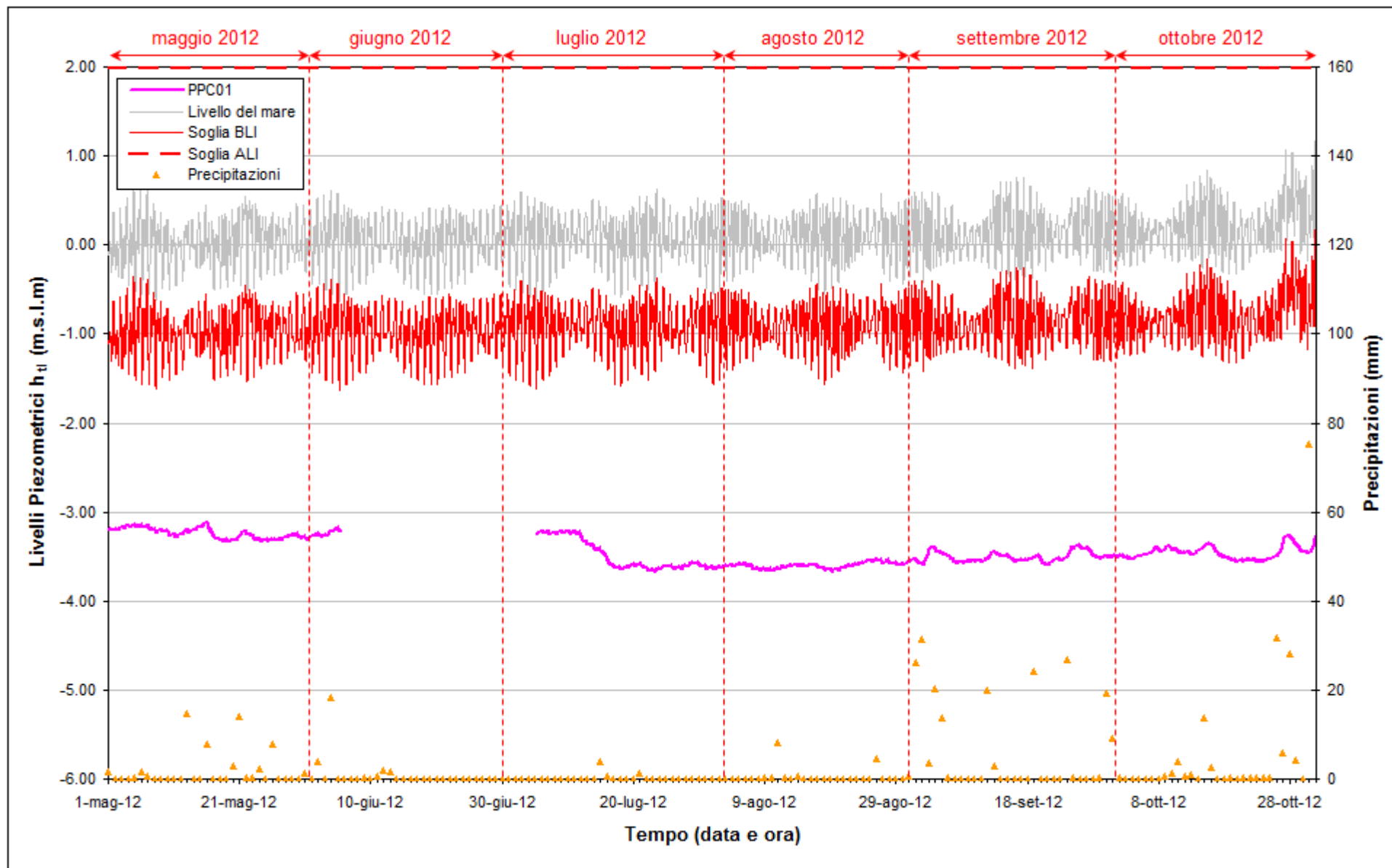


Fig. 3.13 - Livelli piezometrici ( $h_U$ ) relativi al piezometro profondo PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

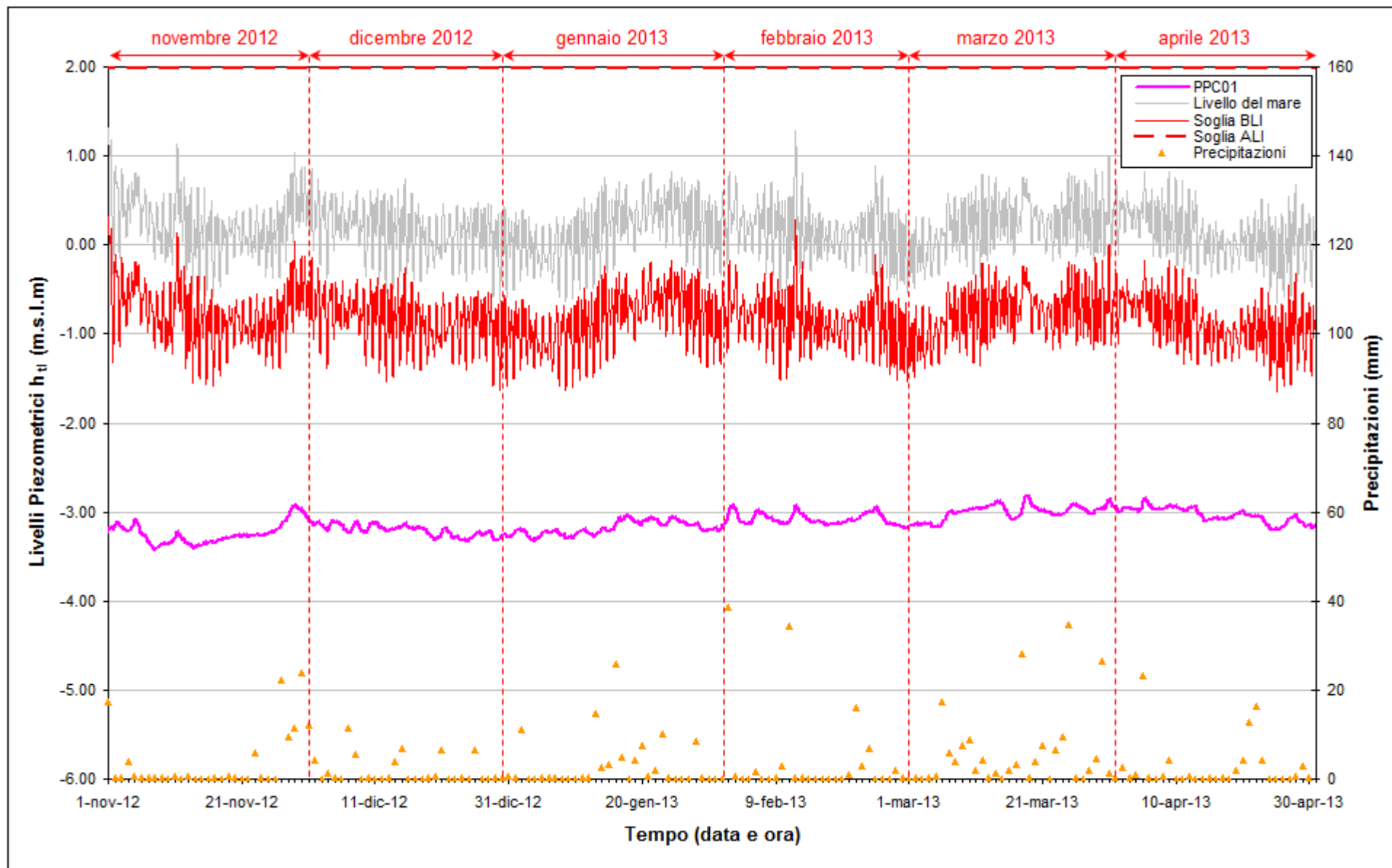


Fig. 3.14 - Livelli piezometrici ( $h_u$ ) relativi al piezometro profondo PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

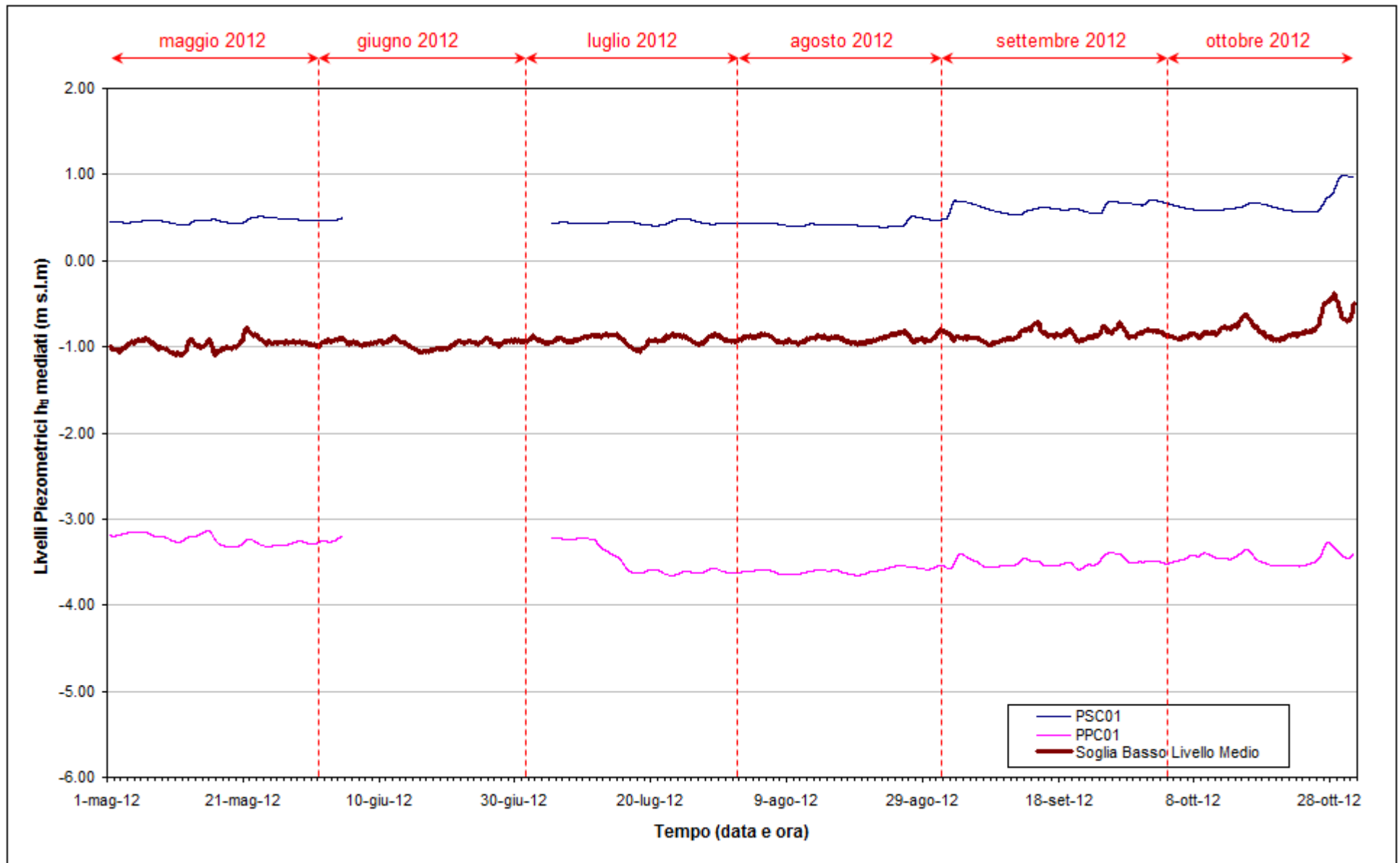


Fig. 3.15 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri PSC01 e PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/05/2012 - 31/10/2012.

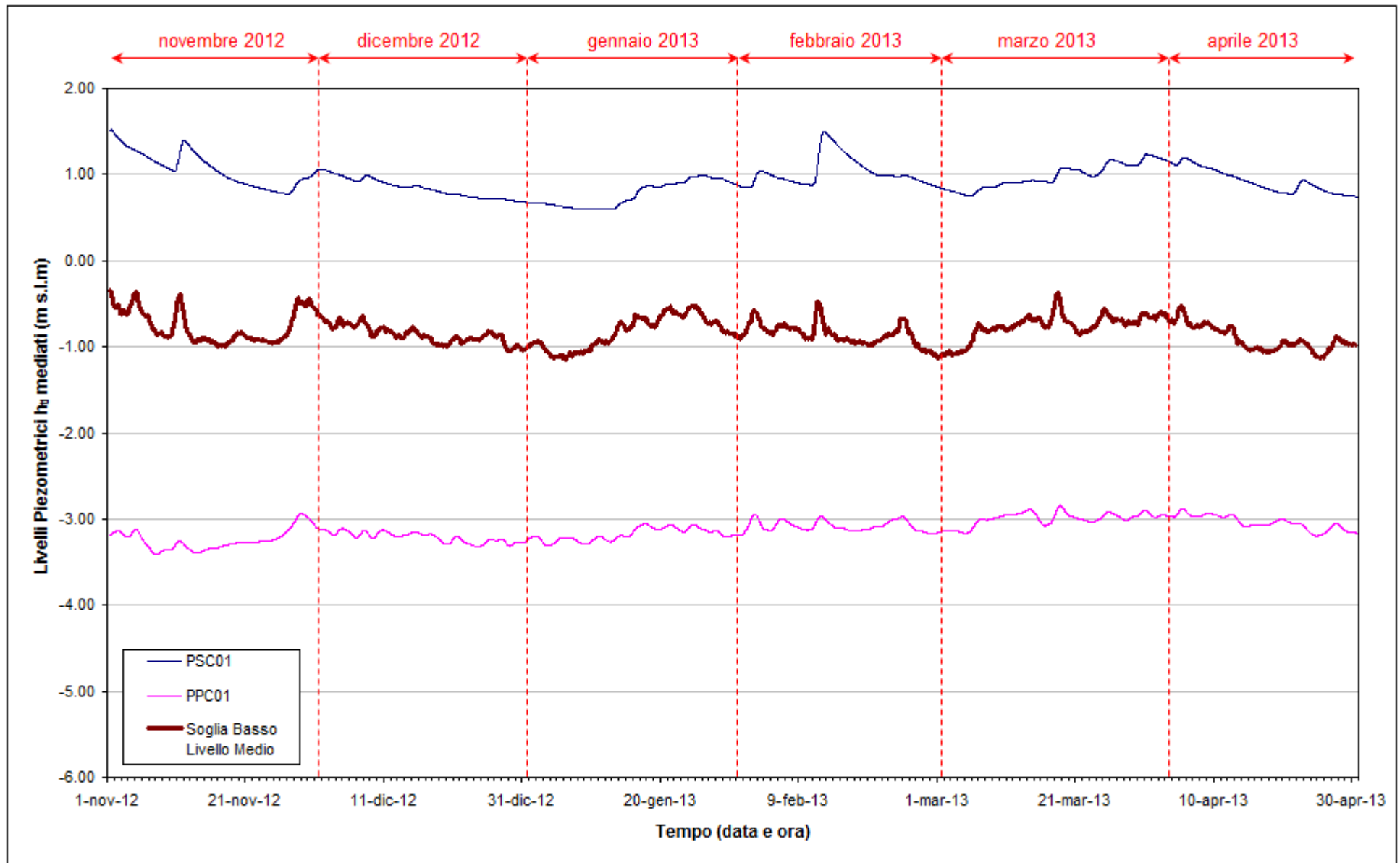


Fig. 3.16 - Soglia di Basso Livello Medio nei piezometri PSC01 e PPC01 nel periodo di monitoraggio 01/11/2012 - 30/04/2013.

### 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.

Le soglie di Alto Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate, in entrambi i piezometri, per tutto il periodo monitorato (01/05/12 - 30/04/13).

Le soglie di Basso Livello Istantaneo e Medio sono state rispettate per tutto il periodo monitorato nel piezometro superficiale PSC01, mentre sono state superate nel piezometro PPC01 a causa del pompaggio di dewatering della tura.

### 3.4 ANALISI DELLA SALINITÀ DELL'ACQUA DI FALDA

Nei paragrafi che seguono vengono analizzati i risultati del monitoraggio dell'evoluzione della salinità dell'acqua di falda, che viene effettuato con rilievi mensili della conducibilità elettrica nel piezometro superficiale PSC01 e nel piezometro profondo PPC01, utilizzando una sonda multiparametrica Solinst TLC 107. In ciascuna postazione, dopo aver misurato la soggiacenza, si è proceduto alla lettura dei dati di temperatura e conduttanza specifica. Il primo valore è stato determinato posizionando lo strumento a 10 cm di profondità rispetto al pelo libero dell'acqua, mentre i successivi sono stati misurati a profondità crescenti, ad intervalli costanti di 1 metro, fino al raggiungimento del fondo foro.

Nel capitolo 3.4.1 si riportano i profili di densità dell'acqua di falda, calcolati utilizzando una correlazione empirica che lega questa grandezza alla conducibilità elettrica e alla temperatura. I profili vengono confrontati con la situazione *ante operam*.

Nel capitolo 3.4.2 si riporta un confronto grafico dei valori di conducibilità elettrica rilevati nei 12 mesi di monitoraggio, che permette di comprendere le dinamiche stagionali di questo parametro.

#### 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, Il 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 finestratura.

In ciascuna figura è inoltre riportato il confronto con il profilo di conducibilità elettrica misurato in fase A (aprile 2007), rispetto al quale si osserva una diminuzione di questo parametro sia nel piezometro superficiale PSC01 che nel piezometro profondo PPC01. 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 2012 - aprile 2013) si osserva una diminuzione della densità dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PSC01 e nel piezometro profondo PPC01 attribuibile alle intense precipitazioni avvenute nella seconda metà dell'anno monitorato (novembre 2012 - aprile 2013: 625 mm, a fronte di una media di 346.1 mm per lo stesso periodo negli anni 1992÷2012). I valori di densità dell'acqua di falda sono inferiori rispetto alla situazione *ante operam*.

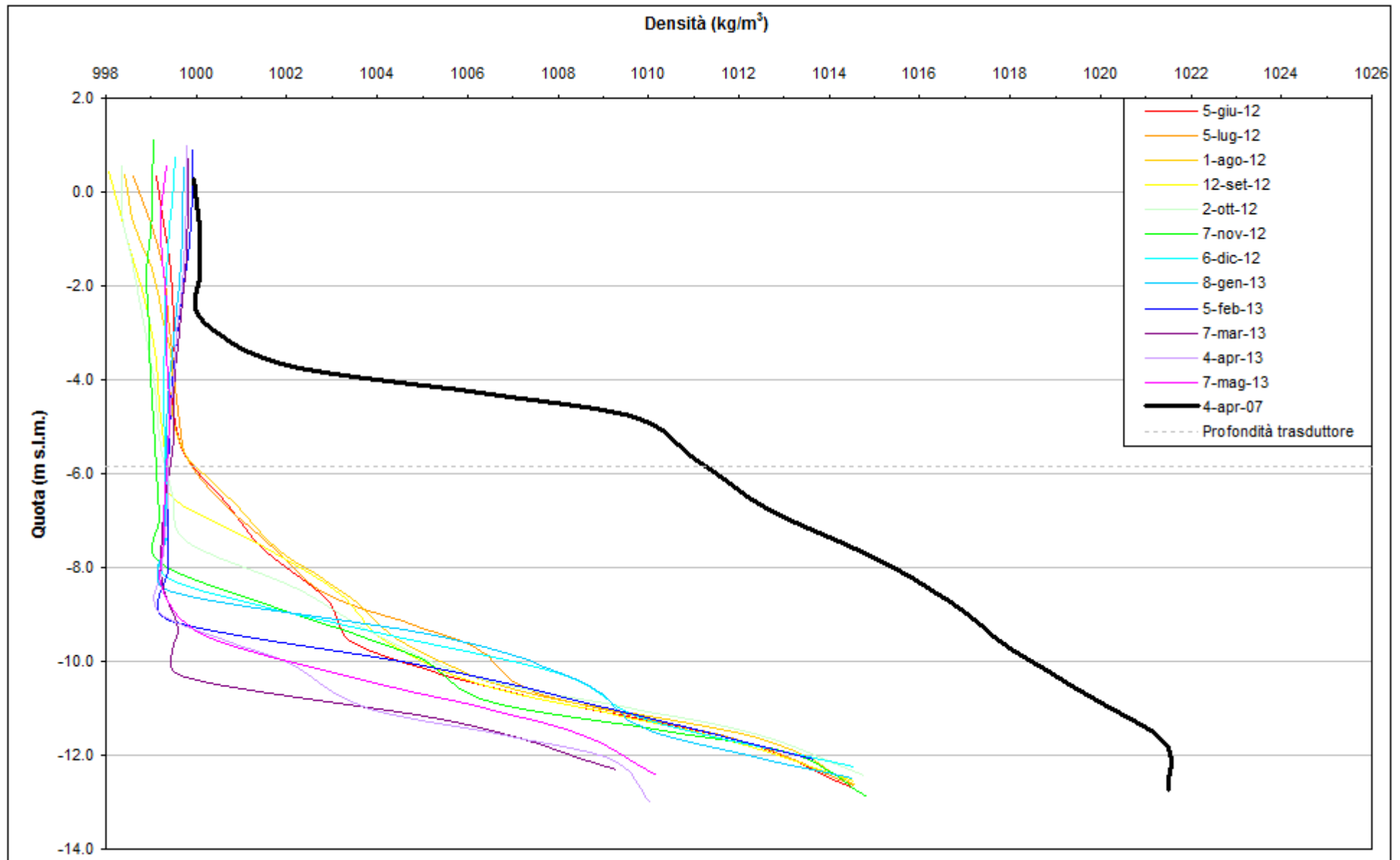


Fig. 3.17 - Profili verticali di densità PSC01.



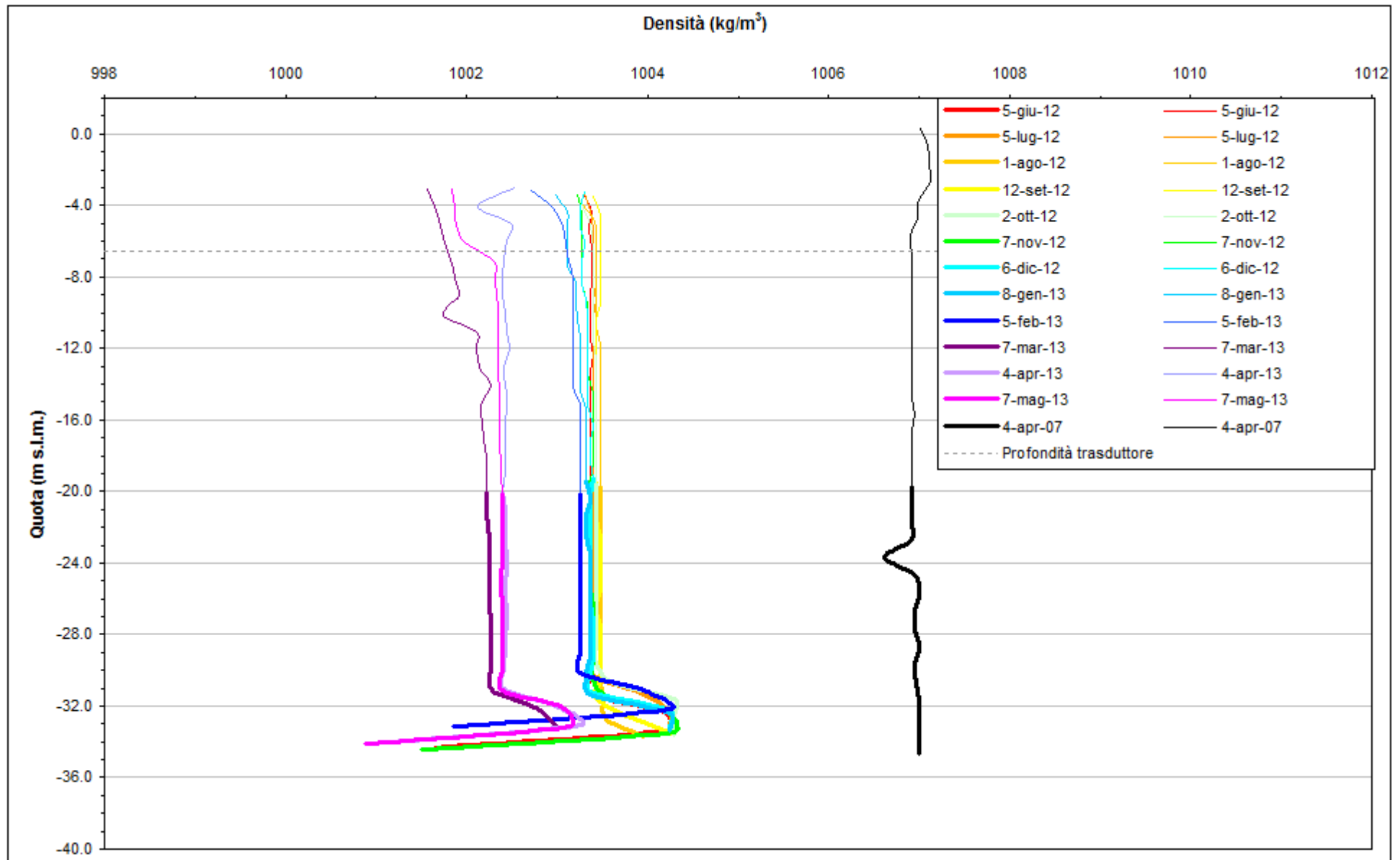


Fig. 3.18 - Profili verticali di densità PPC01.

### 3.4.2 Andamento stagionale della conducibilità elettrica

In questo paragrafo si analizza la variazione spaziale e temporale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PSC01 (Fig.3.19) e nel piezometro profondo PPC01 (Fig.3.20).

La conducibilità elettrica specifica è influenzata dalla presenza di ioni disciolti nell'acqua e dalla temperatura, pertanto, per poter tenere conto delle effettive variazioni dei sali presenti in acqua, nei grafici che seguono viene rappresentata la conducibilità elettrica normalizzata ad una temperatura di 25°C.

In Fig. 3.19 è possibile notare la separazione piuttosto netta tra acqua dolce (valori inferiori a 2000  $\mu\text{S/cm}$ ), salmastra (indicativamente tra 2000 e 10000  $\mu\text{S/cm}$ ) e salata (oltre 10000  $\mu\text{S/cm}$ ).

Nei grafici di Fig. 3.19-3.20 è possibile osservare la riduzione della conducibilità elettrica avvenuta durante l'anno monitorato (01/05/12 - 30/04/13), attribuibile alle intense precipitazioni avvenute nei mesi compresi tra novembre 2012 e aprile 2013 (totale: 625 mm, a fronte di una media di 346.1 mm per lo stesso periodo negli anni 1992÷2012. Fonte: stazione meteorologica "ARPAV - Chioggia loc. Sant'Anna).

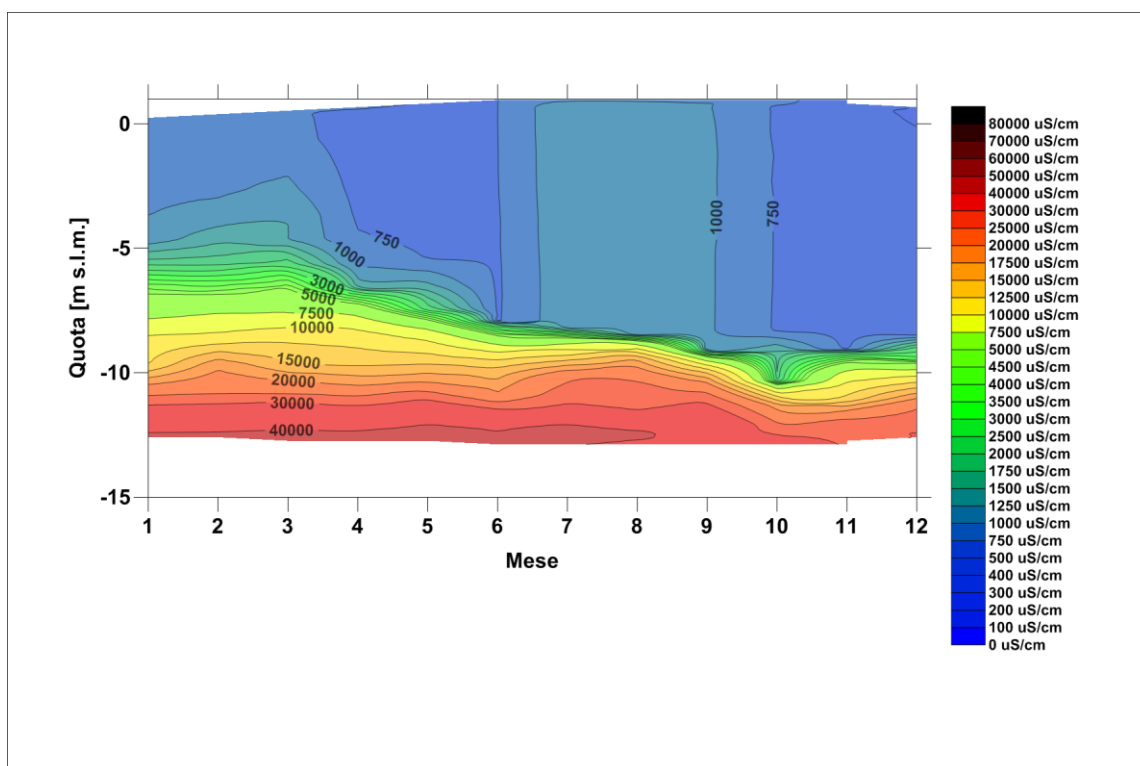


Fig. 3.19 - Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PSC01 (periodo: giugno 2012 - maggio 2013).

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

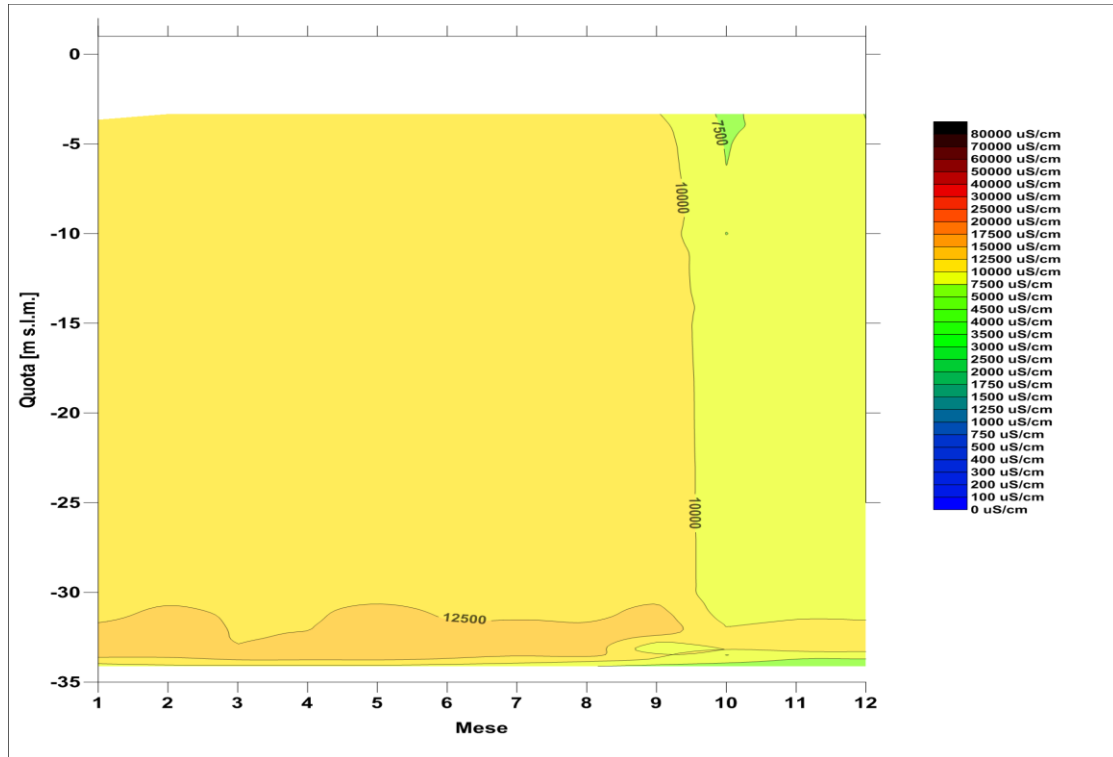


Fig. 3.20 – Andamento stagionale della conducibilità elettrica specifica dell'acqua di falda nel piezometro superficiale PSC01 (periodo: giugno 2012 – maggio 2013).

### 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 30 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: CVN).

Nel periodo monitorato (01/05/12 - 30/04/13) si osserva un incremento del carico idraulico di circa 25 cm nel piezometro superficiale PSC01 attribuibile alle intense precipitazioni avvenute nel periodo novembre 2012 - aprile 2013 (totale: 625 mm, a fronte di una media di 346.1 mm per lo stesso periodo negli anni 1992÷2012. Fonte: stazione meteorologica "ARPAV - Chioggia loc. Sant'Anna).

Nel piezometro profondo PPC01 non si osservano invece variazioni apprezzabili del carico idraulico.

Tra l'inizio e la fine del periodo di monitoraggio (maggio 2012 - aprile 2013) si osserva una diminuzione dei valori di conducibilità elettrica dell'acqua di falda, e quindi della sua salinità e densità, sia nel piezometro superficiale PSC01 che nel piezometro profondo PPC01. I valori di densità dell'acqua di falda sono, in entrambe le postazioni di monitoraggio, inferiori rispetto alla situazione *ante operam*.

## BIBLIOGRAFIA

- Carbognin L., Teatini P., Tosi L., 2005, "Land subsidence in the Venetian area: known and recent aspects", *Giornale di Geologia Applicata* I pp.5÷11;
- Dazzi R., Gatto G., Mozzi G., Zambon G., Conchetto E., Bortoli A., Dell'Andrea E., Martini G., Menegus L., 1999, "Controllo di eventuali danni ambientali determinati dagli emungimenti praticati nelle aree di Cavallino, Treporti, Punta Sabbioni e Isola di Sant'Erasmus (Provincia di Venezia)", CNR-GNDICI, Tipografia Moro, Cassola (VI), 118 pp.
- Gambolati G., Gatto P., Freeze R.A., 1974, "Mathematical simulation of the subsidence of Venice. 2: results", *Water Resources Research* 10 pp.563÷577;
- Gatto P., Carbognin L., 1981, "The Lagoon of Venice: natural environmental trend and man-induced modification", *Hydrologic Science Bulletin* 26 pp. 379÷391;
- Kent V.D., Rio D., Massari F., Kukla G., Lanci L., 2002, "Emergence of Venice during the Pleistocene", *Quaternary Science Reviews* 21 pp. 1719÷1727;
- Lancellotta R., 2004, "Geotecnica", editore Zanichelli, Bologna;
- Magistrato alle Acque di Venezia- CORILA. "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, 2005. Esecutore Consorzio Venezia Nuova;
- Magistrato alle Acque di Venezia- CORILA. "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, 2005. Esecutore Consorzio Venezia Nuova;
- Magistrato alle Acque di Venezia- CORILA. "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, 2007. Esecutore Consorzio Venezia Nuova;
- Magistrato alle Acque di Venezia- CORILA. "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, 2008. Esecutore Consorzio Venezia Nuova;
- Magistrato alle Acque di Venezia- CORILA. "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", Rapporto Finale, 2009. Esecutore Consorzio Venezia Nuova;
- Magistrato alle Acque di Venezia- CORILA. "Studio B.6.72 B/8 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari - Macroattività: livelli di falda", Rapporti mensili da Maggio 2012 ad Aprile 2013. Esecutore Consorzio Venezia Nuova;
- Magistrato alle Acque di Venezia- CORILA. "Studio B.6.72 B/8 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari - Macroattività: livelli di falda", I Rapporto di Valutazione, 2012. Esecutore Consorzio Venezia Nuova;
- Magistrato alle Acque di Venezia- CORILA. "Studio B.6.72 B/8 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari -

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

Macroattività: livelli di falda”, II Rapporto di Valutazione, 2013. Esecutore Consorzio Venezia Nuova;

- Magistrato alle Acque di Venezia- CORILA. “Studio B.6.72 B/8 Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari - Macroattività: livelli di falda”, III Rapporto di Valutazione, 2013. Esecutore Consorzio Venezia Nuova;
- Strozzi T., Teatini P., Tosi L., 2009, “TerraSAR-X reveals the impact of the mobile barrier works on Venice coastland stability”, *Remote Sensing of Environment* 113 pp. 2682÷2688;
- Teatini P., Tosi L., Strozzi T., Carbognin L., Wegmuller U., Rizzetto F., 2005, “Mapping regional land displacements in the Venice coastland by an integrated monitoring system”, *Remote Sensing of Environment* 98 (4) pp. 403÷413;
- Tosi L., Teatini P., Carbognin L., Brancolini G., 2009, “Using high resolution data to reveal depth-dependent mechanisms that drive land subsidence: The Venice coast, Italy”, *Tectonophysics* 474 pp.271÷284;
- Tosi L., Strozzi T., Teatini P., 2012, Cosmo-SKYMED versus TerraSAR-X based interferometry for monitoring the MOSE settlements at the Venice Lagoon inlets, proceeding IGARSS 2012 pp. 2837÷2840.