



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/2**

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

Contratto prot.n. 17128 si/gce/fbe

Documento **MACROATTIVITÀ: LIVELLI DI FALDA**

I RAPPORTO DI VALUTAZIONE

**PERIODO DI RIFERIMENTO: DA NOVEMBRE
2006 A FEBBRAIO 2007**

Versione **1.1**

Emissione **15 Aprile 2007**

Redazione

Verifica

Verifica

Approvazione

Ing. Chiara Santi Ing. Rajandrea Sethi Prof. Ing. Antonio Di Molfettang. Pierpaolo Campostrini
(POLITECNICO TORINO) (POLITECNICO TORINO)

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

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	3
2.	STATO DI AVANZAMENTO CANTIERI	4
3.	ANALISI DEI DATI	6
3.1	Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello	7
3.2	Descrizione delle forzanti naturali.....	7
3.2.1	Precipitazioni.....	7
3.2.2	Livello del mare.....	10
3.2.3	Pressione atmosferica - h_b	12
3.3	Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A)	14
3.3.1	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}	14
3.3.2	Effetti delle precipitazioni.....	16
3.3.3	Effetti delle oscillazioni mareali.....	18
3.4	Piezometri profondi – secondo livello acquifero (Strato C)	20
3.4.1	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_{tl}	20
3.4.2	Effetti delle precipitazioni.....	22
3.4.3	Effetti mareali	24
4.	CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE.....	26
5.	ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA.....	27
5.1	Introduzione.....	27
5.2	Il calcolo della densità dell'acqua	28
5.2.1	Correlazione salinità-conduttanza specifica	28
5.2.2	Correlazione densità-conduttanza specifica	31
5.2.3	Profili verticali di densità.....	33
5.2.4	Correzione per esprimere il carico idraulico in funzione della densità di riferimento ρ_0	44
5.2.5	Differenza tra superficie piezometrica e quota d'acqua nei piezometri	44
6.	STUDIO PIEZOMETRICO	47
6.1	Piezometria superficiale	48
6.2	Piezometria profonda	55
7.	VERIFICA DEL RISPETTO DELLE SOGLIE DI AZIONE	61
8.	CONCLUSIONI.....	69

1. INTRODUZIONE

Il presente documento descrive l'analisi dei dati derivanti dal quadrimestre di monitoraggio che comprende il periodo 1 novembre 2006 - 28 febbraio 2007, relativi all'osservazione degli effetti delle attività del cantiere alla Bocca di Lido sui due livelli acquiferi, come previsto dal Disciplinare Tecnico (Studio B.6.72 B/2 "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2006) ed illustrato nel "Rapporto di Pianificazione Operativa" (Studio B.6.72 B/1, dicembre 2005).

Nel presente rapporto sono riportati i tracciati relativi ai livelli piezometrici in corrispondenza delle 11 postazioni doppie di monitoraggio a Punta Sabbioni nel periodo di osservazione. I dati sono messi in relazione alle forzanti naturali (precipitazioni, oscillazioni mareali e pressione atmosferica) che concorrono alla determinazione dei livelli piezometrici dei due acquiferi monitorati. I livelli piezometrici misurati nelle postazioni di monitoraggio sono stati confrontati con quelli registrati durante la Fase A, relativa agli andamenti dei livelli nella situazione *ante operam*. Inoltre, essi sono stati confrontati con le soglie di alto e basso livello, allo scopo di evidenziarne eventuali superamenti. Vengono, infine, presentati i risultati delle analisi di densità e conduttanza specifica dell'acqua di falda e le elaborazioni effettuate per la definizione di un metodo di correzione dei livelli piezometrici misurati dai trasduttori in funzione della densità dell'acqua.

2. STATO DI AVANZAMENTO CANTIERI

In questo paragrafo è riportata una descrizione sintetica dello stato attuale dei lavori in corrispondenza della Bocca di Lido, aggiornata al 28 febbraio 2007.

In Fig.2.1 è possibile osservare alcune delle attività completate ed indicate nei rapporti mensili "Interventi alle Bocche di porto per la difesa dalle acque alte - Lido Treporti. OP/299. Porto Rifugio - 1^Fase - Tura":

- la realizzazione della scogliera di protezione del terrapieno lato mare e del bacino del futuro porto rifugio;
- l'infissione del palancoato di chiusura della conca lato mare e lato terra;
- la realizzazione delle piste in sabbia per l'esecuzione della barriera idraulica realizzata mediante palancoato e diaframmi plastici;
- la realizzazione del terrapieno lato mare con riempimento di materiale sabbioso dragato;
- la costruzione del masso di coronamento in calcestruzzo, in prossimità del terrapieno lato mare;
- l'infissione del palancoato (lato mare), iniziata l'8 marzo 2006 e terminata a fine maggio 2006;
- il riempimento con sabbia della tura della conca di navigazione lato terra;
- la realizzazione del diaframma plastico con tecnica Bauer lungo la pista parallela al Lungomare Dante Alighieri, iniziata il 4 maggio 2006 e terminata all'inizio del mese di ottobre;
- la chiusura della conca del futuro porto rifugio;
- l'esecuzione delle tubazioni di scarico, la linea elettrica di alimentazione delle pompe e la posa in opera delle stesse entro pozzi di sommità;
- le attività di svuotamento del bacino.

Le operazioni che risultano in corso sono:

- il riempimento con sabbia del terrapieno lato laguna;
- la riprofilatura delle scarpate interne del bacino lato mare;
- l'installazione dei piezometri di monitoraggio suppletivi sul fondo del bacino.

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

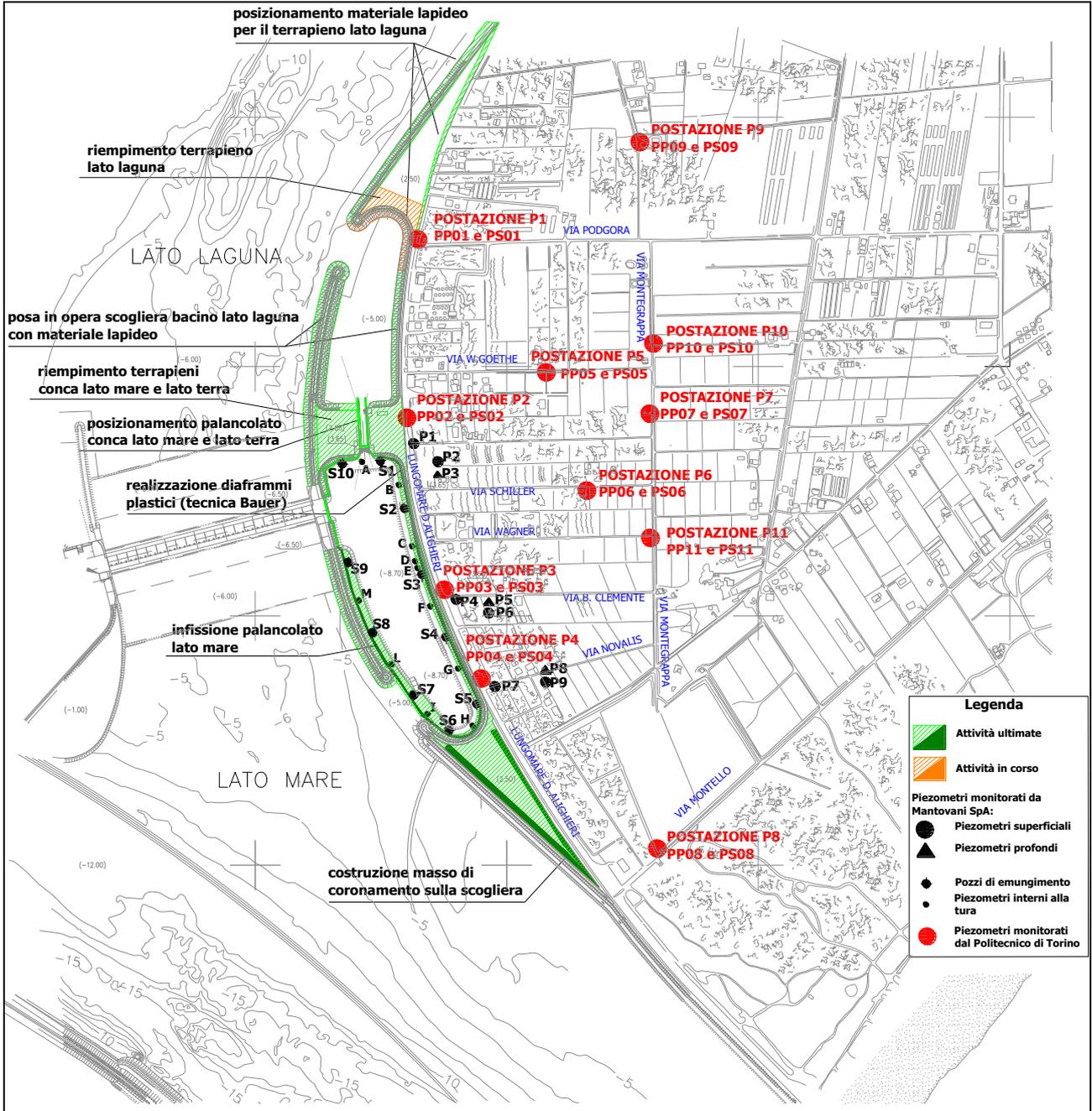


Fig. 2.1 - Stato avanzamento attività di cantiere

3. ANALISI DEI DATI

In questo capitolo vengono analizzate le risposte del sistema dinamico, registrate dai trasduttori di livello disposti nelle 11 postazioni doppie di monitoraggio (Fig.3.1), nel periodo compreso tra il 01/11/2006 e il 28/02/2007.

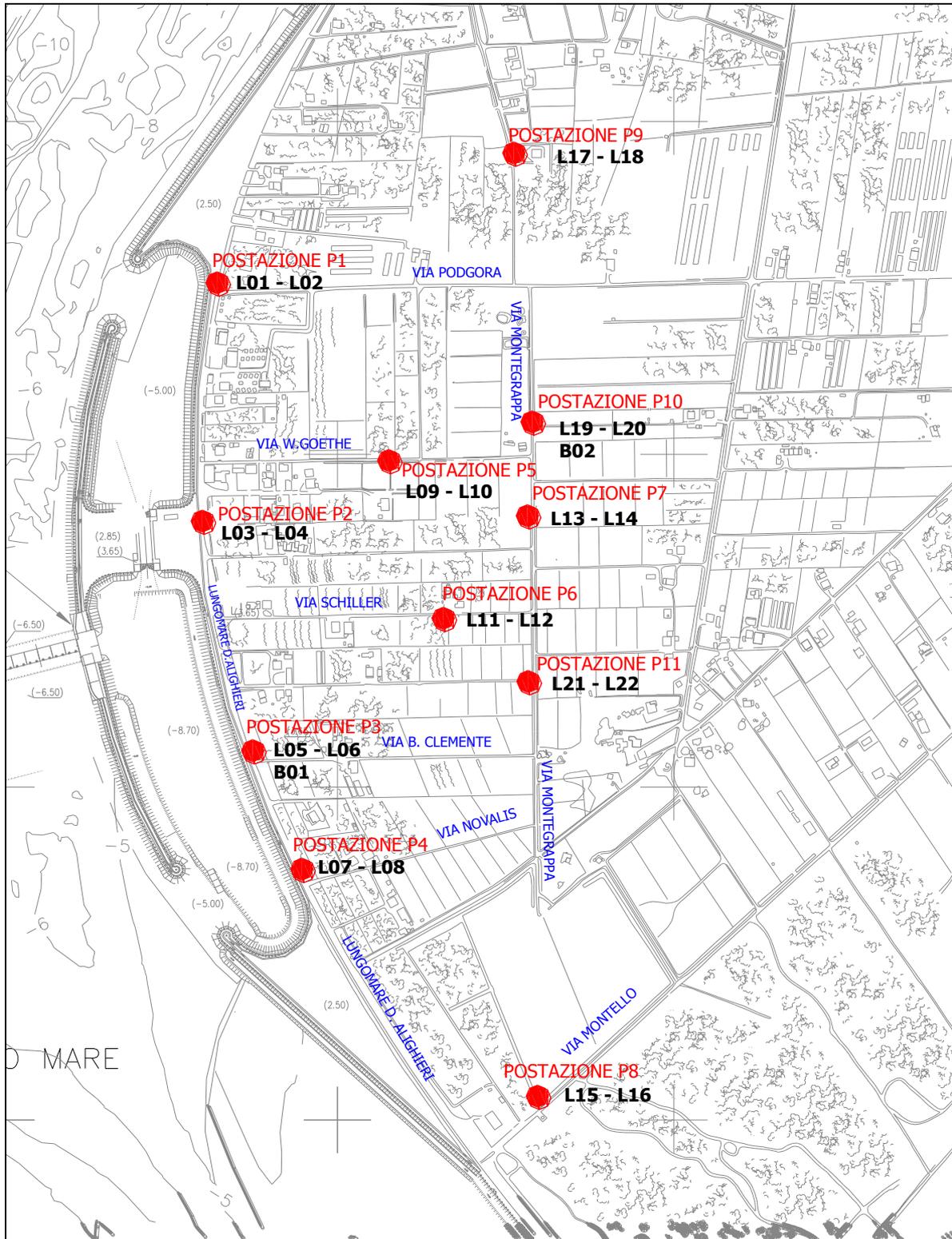


Fig.3.1- Ubicazione delle postazioni di monitoraggio, dei Levellogger e dei Barologger.

3.1 Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello

La risposta del sistema è misurata dal carico idraulico h_{tl} , registrato dai 22 trasduttori di livello e calcolabile mediante l'espressione (si veda "Rapporto di Pianificazione Operativa", dicembre 2005):

$$h_{tl} = z_t - l_{cc} + h_p = z_t - l_{cc} + (h_{p-nc} - h_{cp}) - (h_b - h_{cb})$$

dove:

z_t quota ortometrica assoluta del punto di riferimento;

l_{cc} lunghezza cavo corretta pari a 7.627 m;

h_p battente idrico insistente sul trasduttore, compensato dalla pressione atmosferica;

h_{p-nc} battente idrico non compensato dalla pressione atmosferica (lettura Levellogger);

h_b battente idrico corrispondente alla pressione atmosferica (lettura Barologger).

h_{cp}, h_{cb} coefficienti correttivi relativi al Levellogger ed al Barologger calcolati in fase di calibrazione.

3.2 Descrizione delle forzanti naturali

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

- Precipitazioni, registrate dalla stazione meteorologica gestita dalla "Matrice Aria e Agenti Chimici";
- oscillazioni mareali, registrate dal mareografo Diga Sud Lido (stazione di monitoraggio meteorologico dell'Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree);
- pressione atmosferica, registrata da 2 Barologger.

3.2.1 Precipitazioni

I dati di precipitazione sono stati acquisiti dalla centralina MET 3000R (ubicata presso il Circolo SO.CI.Ve., Lungomare Dante Alighieri, Fig.3.2), gestita dal settore "Matrice Aria e Agenti Chimici". A partire dal mese di febbraio 2007, per i periodi in cui risultavano mancanti i dati della centralina di Punta Sabbioni, sono stati utilizzati i dati registrati dalla centralina CEPPE situata alla bocca di porto di Malamocco, gestita dal Magistrato alle Acque di Venezia.

In Fig.3.3 è riportato l'andamento delle precipitazioni registrate durante i quattro mesi di monitoraggio. La Tab.3.1 riporta gli eventi piovosi più significativi, caratterizzati da un'altezza di pioggia superiore a 5 mm.

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

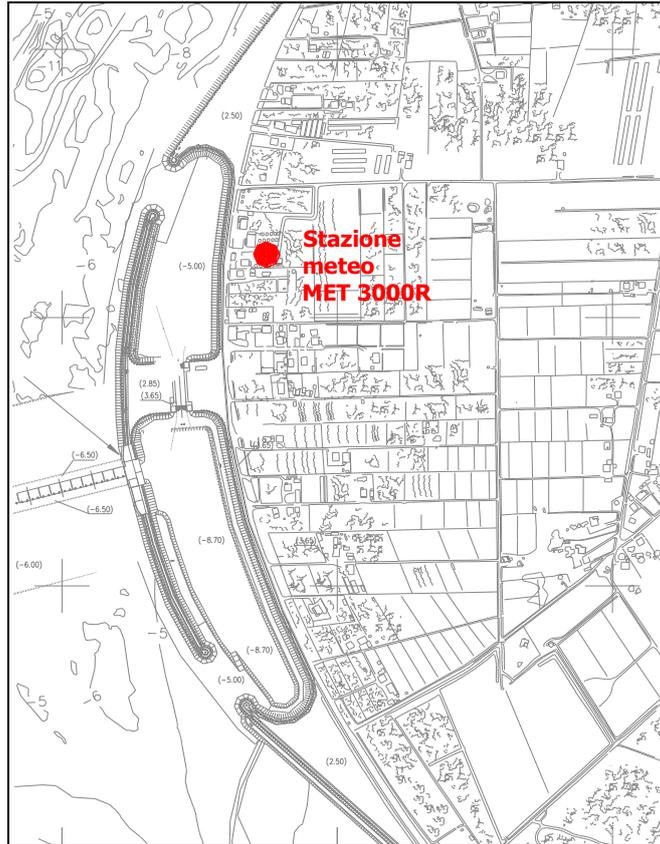


Fig.3. 2 - Ubicazione stazione meteo MET 3000R

Tab.3. 1 - Eventi piovosi significativi verificatisi nel periodo di monitoraggio

DATA	DURATA [h]	ENTITA' [mm]
21-22/11/06	15	12.6
08-09/12/06	19	21.2
17-18/12/06	21	19.4
06-07/02/07	17	7.6
12-13/02/07	12	29.0

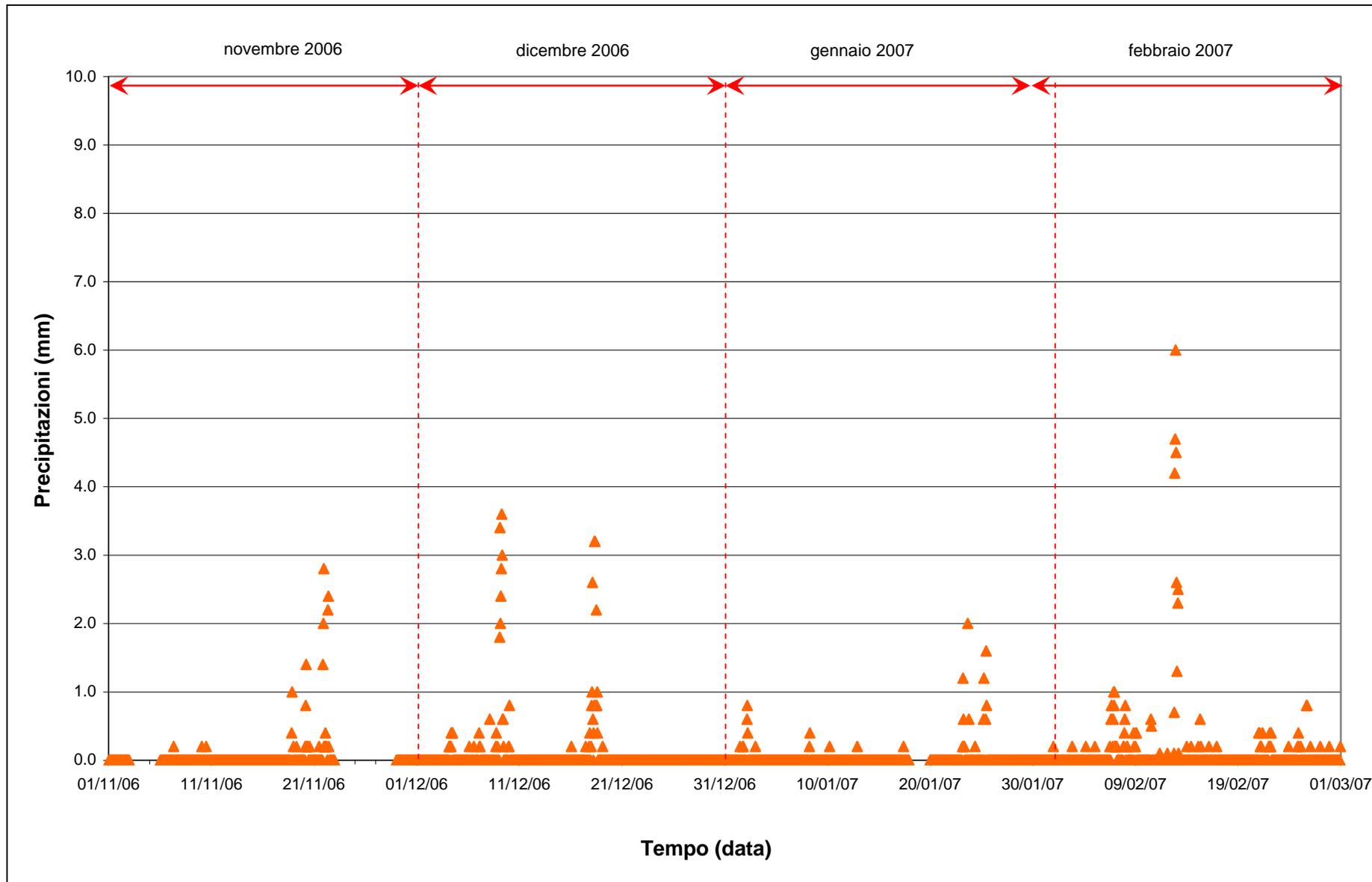


Fig.3. 3 - Precipitazioni registrate nel periodo di monitoraggio 01/01/2006 - 28/02/2007

3.2.2 Livello del mare

In Allegato 1 è riportata la serie temporale relativa ai livelli marini ed in Fig.3.4 è tracciato l'andamento del livello del mare registrato dal mareografo Diga Sud Lido durante i quattro mesi di monitoraggio. I dati riportati sono riferiti alla Rete Altimetrica dello Stato "Genova 1942" e sono caratterizzati da una frequenza di acquisizione oraria nell'intero periodo monitorato.

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

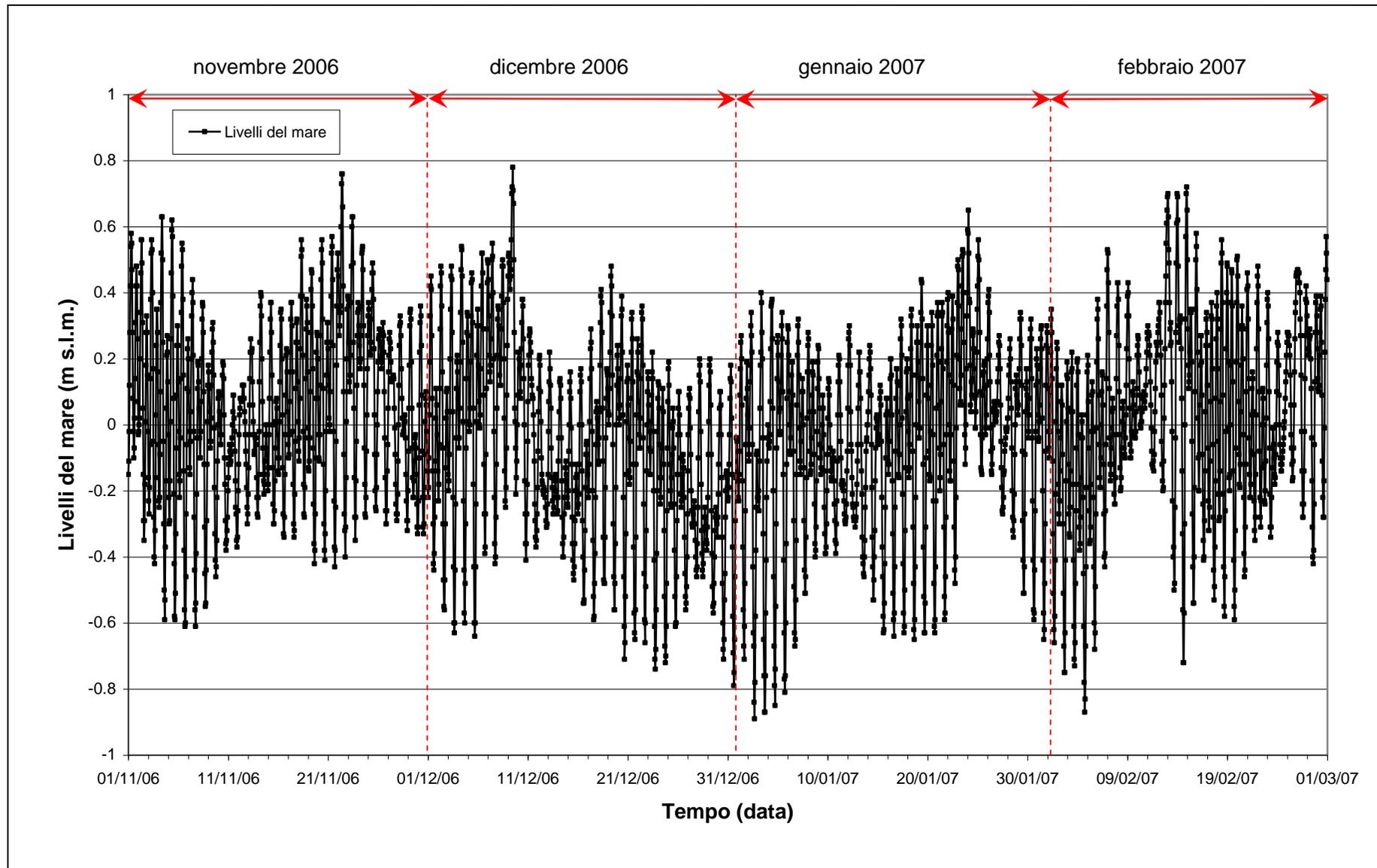


Fig.3. 4 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. I livelli sono riferiti al sistema IGM - "Genova 1942".

3.2.3 *Pressione atmosferica - h_p*

Nell'area oggetto del monitoraggio sono presenti due Barologger B01 e B02, posizionati all'altezza del piano campagna all'interno dei due piezometri profondi PP03 e PP10. Essi registrano la pressione atmosferica in corrispondenza di due aree: una in prossimità del Lungomare Dante Alighieri, l'altra più interna (Fig.3.5).

In Fig.3.6 è riportato l'andamento dei tracciati di misura dei Barologger nel periodo di osservazione: i dati registrati dai due strumenti sono in buon accordo. Analogamente a quanto descritto nel "Rapporto di Variabilità Attesa" (dicembre 2005), per la compensazione dei dati di livello è stato utilizzato il Barologger B02.

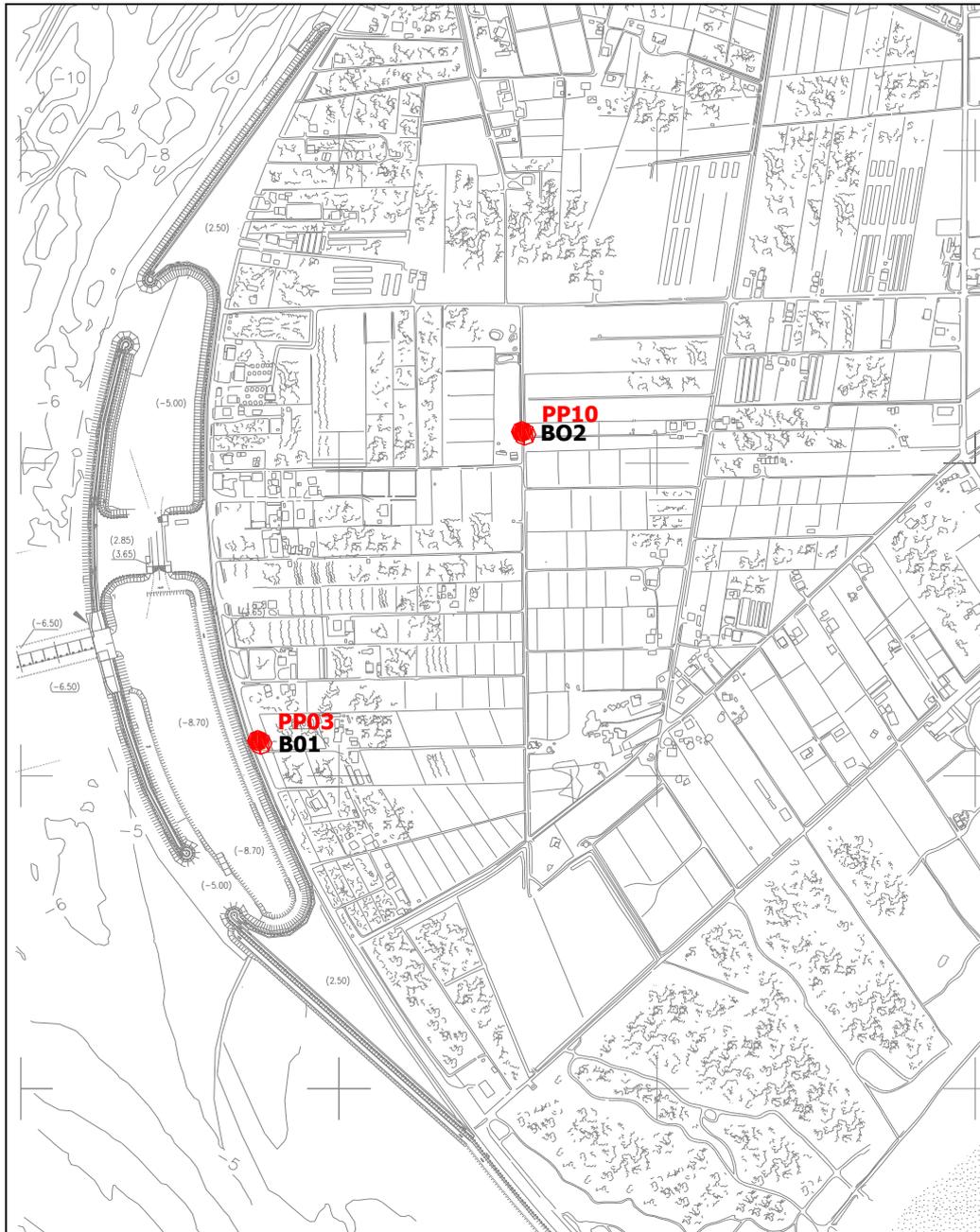
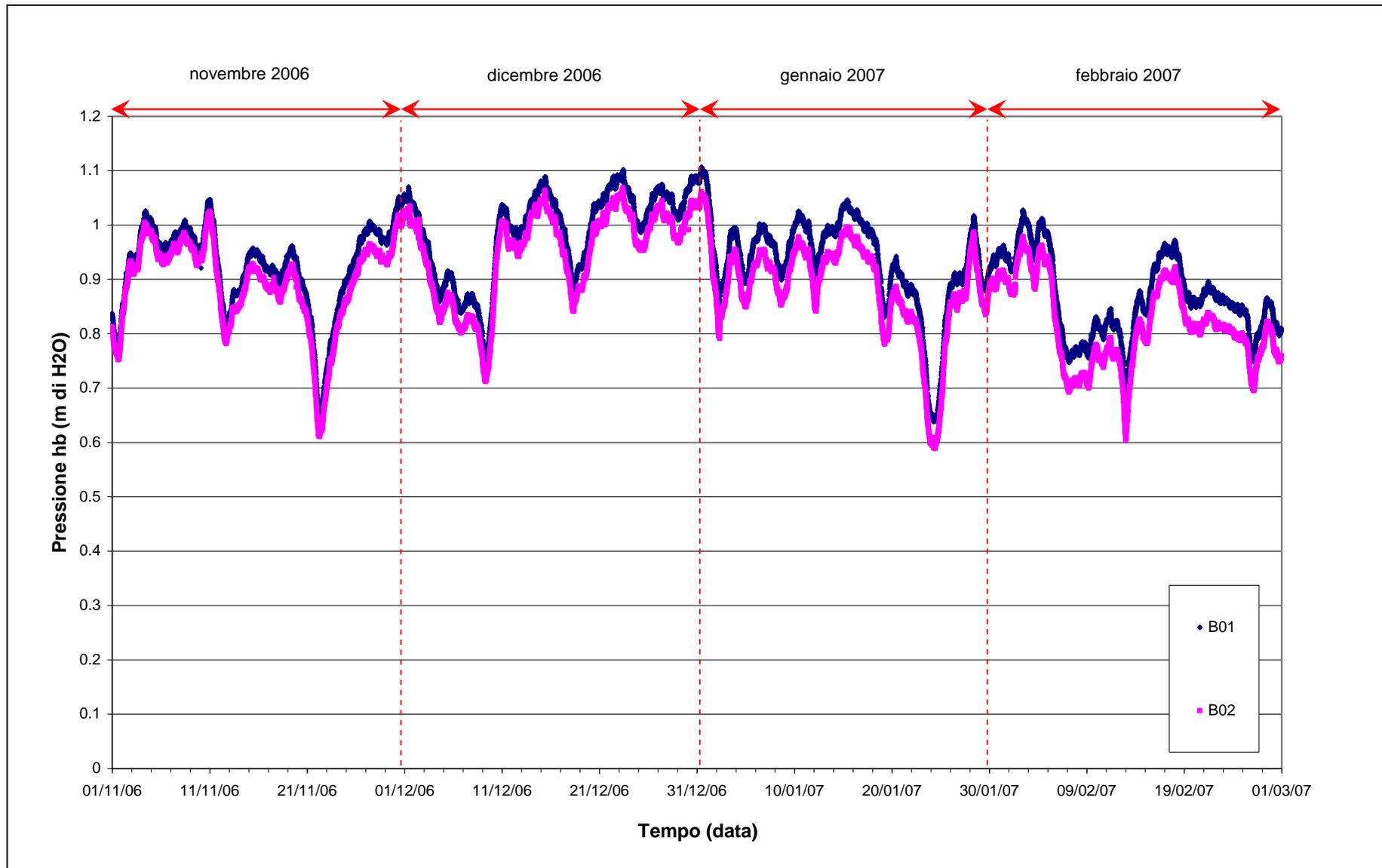


Fig.3. 5- Ubicazione dei Barologger B01 e B02

Fig.3. 6 - Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 (h_b)

3.3 Piezometri superficiali - primo livello acquifero (Strato A)

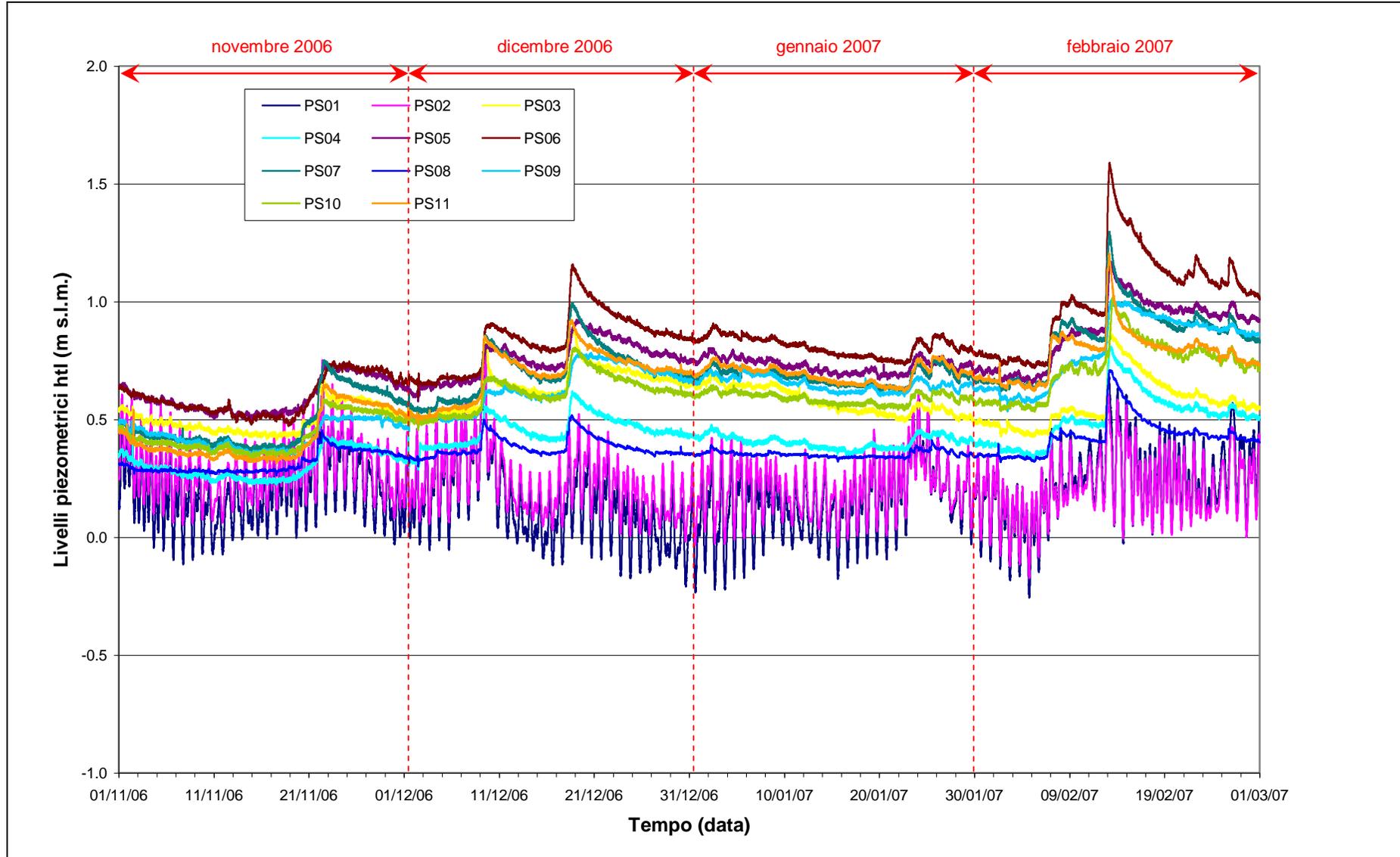
In questo capitolo vengono presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti degli 11 piezometri superficiali finestrati in corrispondenza del primo livello acquifero (Strato A), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 3.1.

3.3.1 *Livelli piezometrici (carichi idraulici) - htl*

I dati riportati in Fig.3.7 sono riferiti ai quattro mesi di monitoraggio di Fase B.

Dall'analisi dei tracciati riportati in Fig.3.7 è possibile osservare come i livelli piezometrici dei piezometri superficiali subiscano un progressivo aumento e siano in misura diversa sensibili alle forzanti naturali:

- i piezometri PS01 e PS02, posti sul Lungomare Dante Alighieri, sono caratterizzati da un andamento sinusoidale correlabile alle evoluzioni mareali;
- i piezometri PS05, PS06, PS07, PS08, PS09, PS10 e PS11, collocati nella porzione più interna della Area di Monitoraggio e quindi più distanti dal mare, presentano tracciati di misura caratterizzati da un andamento influenzato soprattutto dai fenomeni piovosi;
- i piezometri PS03 e PS04, benché posti in prossimità della costa, mostrano una dinamica simile a quella dei piezometri interni, cioè maggiormente influenzata dai fenomeni meteorologici ed in misura minore dalle oscillazioni mareali, mantenendo il comportamento assunto a partire dai mesi di agosto e settembre 2006, come già osservato nel III Rapporto di Valutazione (Studio B.6.72 B/1, 15 novembre 2006).

Fig.3.7 - Livelli piezometrici (h_t) relativi ai piezometri superficiali nei quattro mesi di monitoraggio novembre 2006 - febbraio 2007

3.3.2 *Effetti delle precipitazioni*

In Fig.3.8 è visualizzato l'andamento dei livelli piezometrici in corrispondenza dei piezometri superficiali maggiormente sensibili alle precipitazioni (i piezometri interni e i due piezometri esterni PS03 e PS04). Dai tracciati di misura è possibile notare come, in occasione di eventi pluviometrici particolarmente intensi, in corrispondenza di alcuni piezometri superficiali si verificano notevoli escursioni dal livello piezometrico (ad esempio, all'interno del PS06 nel mese di febbraio 2007 si registra un innalzamento di livello superiore a 60 cm, a seguito dell'evento piovoso del 12-13/02/07). I picchi che si ottengono a seguito degli eventi meteorici si smorzano con legge esponenziale e i livelli piezometrici diminuiscono progressivamente con il tempo trascorso dall'ultimo evento piovoso ed all'aumentare dei fenomeni di evapotraspirazione. La risposta all'evento meteorico è simile per tutti i piezometri, ma è particolarmente accentuata in corrispondenza dei piezometri PS06, PS07 e PS11, mentre il PS08 e il PS09 mostrano risposte meno marcate. Nella Fase A si era riscontrato che il piezometro maggiormente sensibile alle precipitazioni era il PS06 mentre quello che mostrava la minore escursione di livello era il PS08.

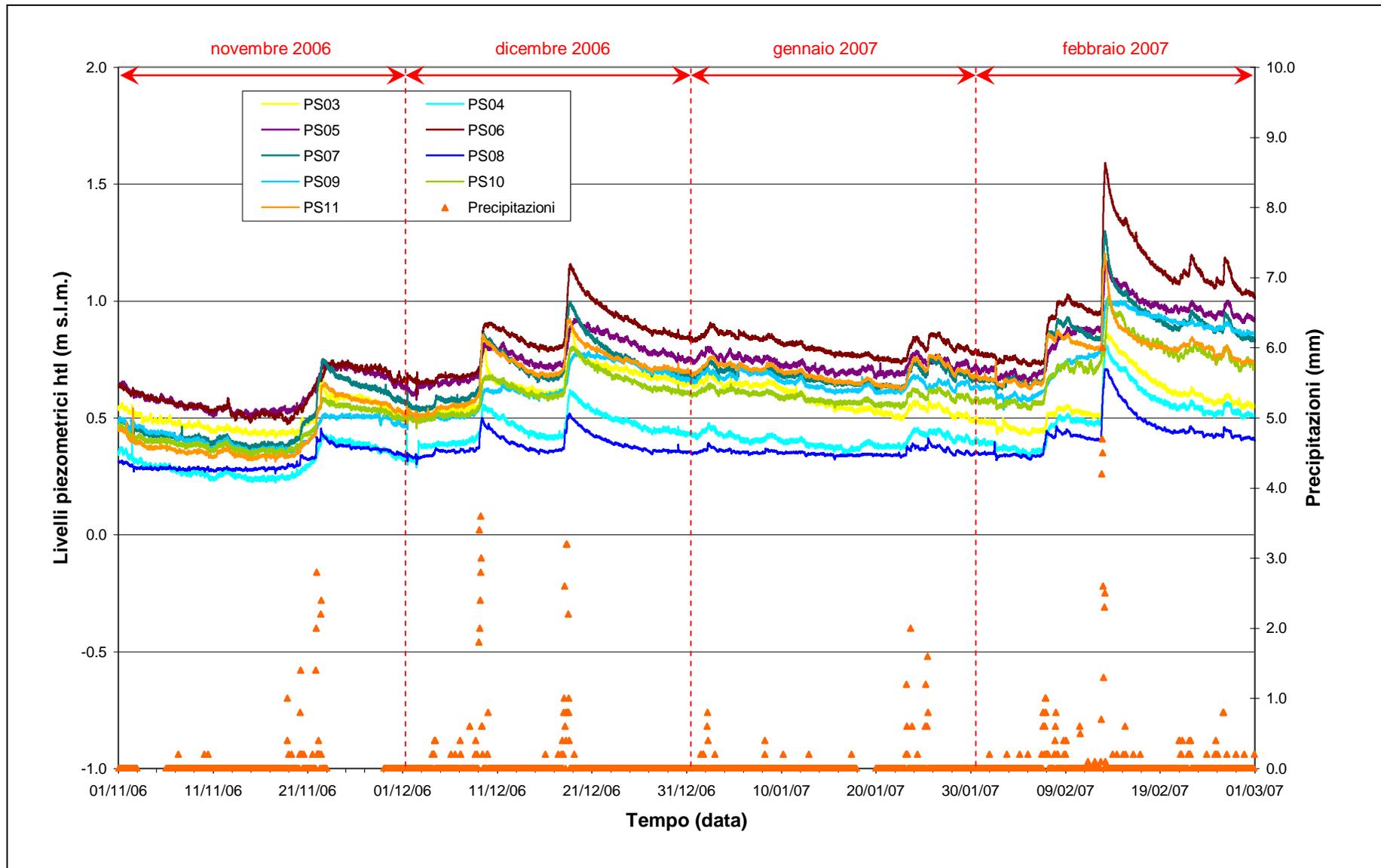


Fig.3.8 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali maggiormente sensibili alle precipitazioni

3.3.3 *Effetti delle oscillazioni mareali*

In Fig.3.9 è possibile confrontare i tracciati di misura dei trasduttori posizionati in corrispondenza dei piezometri PS01 e PS02 disposti sul Lungomare Dante Alighieri e le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. Le due serie temporali seguono andamenti caratterizzati da una ciclicità che è tipica delle evoluzioni mareali. Si verificano, infatti, incrementi di frequenza del fenomeno oscillatorio in corrispondenza del plenilunio e del novilunio. In corrispondenza dei quarti di luna le oscillazioni sono meno frequenti e più smorzate. Il periodo di oscillazione dei livelli nei piezometri varia da 12 h (novilunio e plenilunio) a 24 h (luna calante e crescente). Da un'analisi dei dati è possibile riscontrare uno sfasamento di circa due ore tra le oscillazioni mareali e quelle piezometriche.

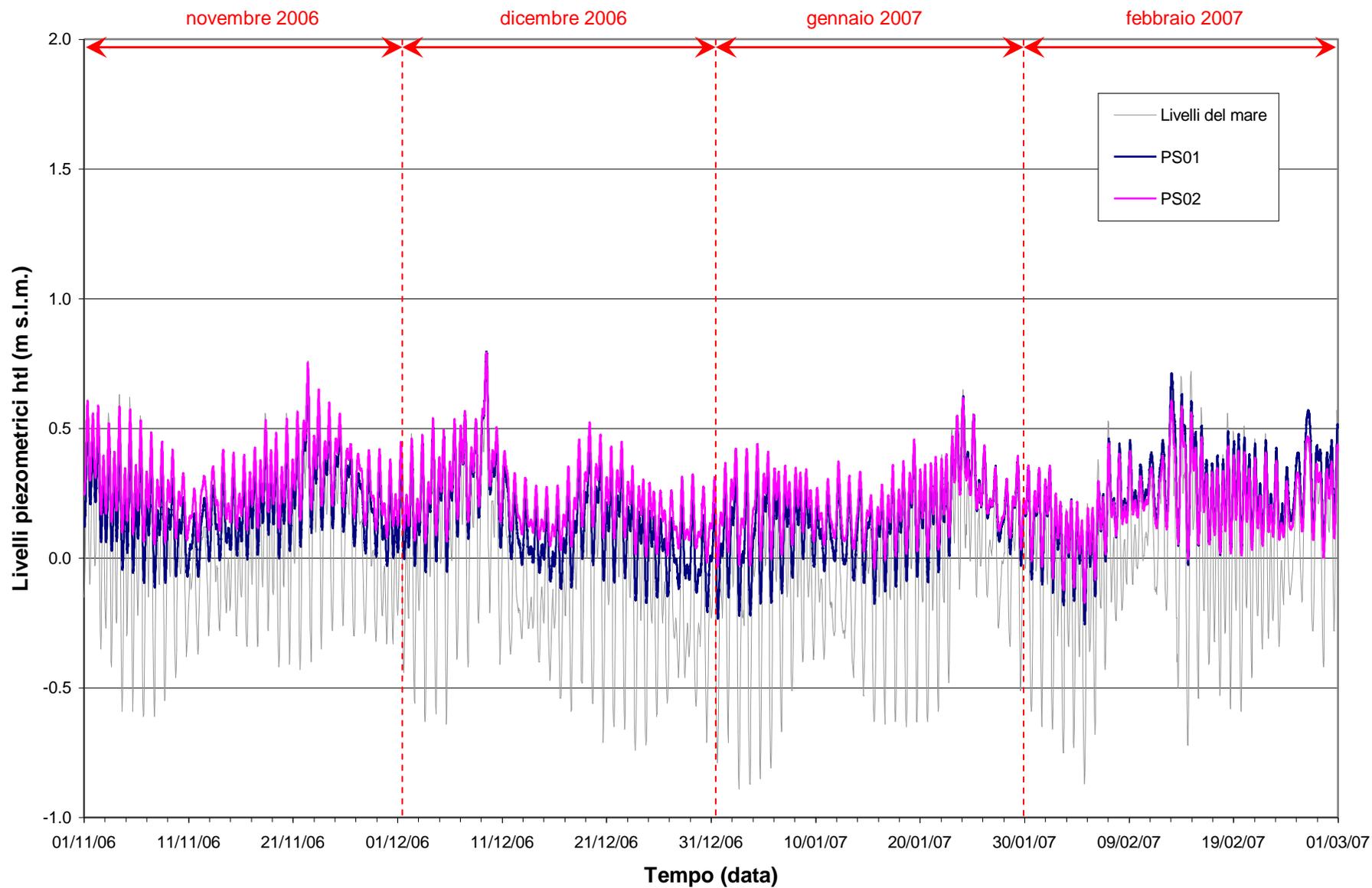


Fig.3.9 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali PS01, PS02 e livelli del mare

3.4 Piezometri profondi - secondo livello acquifero (Strato C)

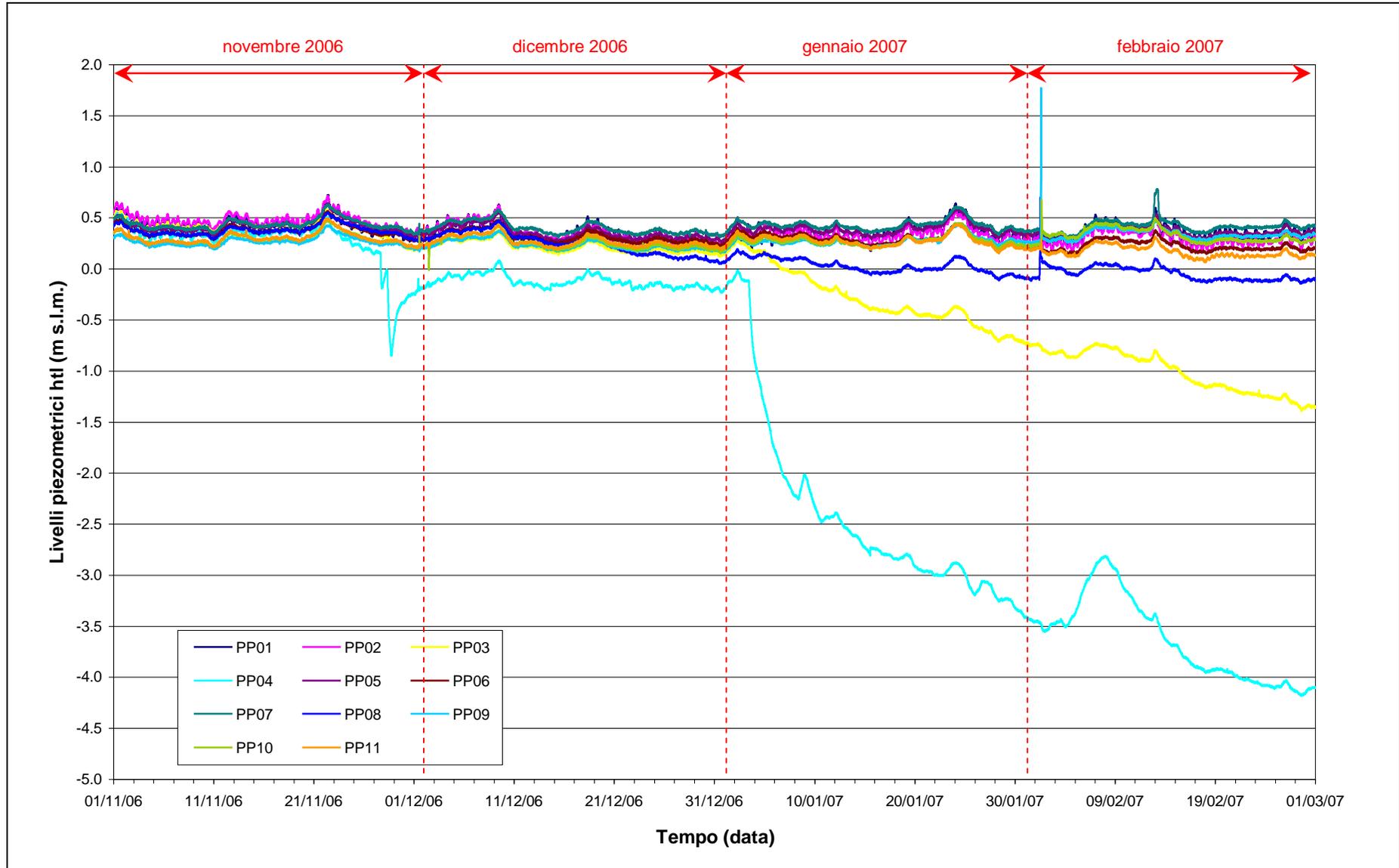
Di seguito verranno presentate ed analizzate le serie temporali dei livelli piezometrici assoluti negli 11 piezometri profondi finestrati in corrispondenza del secondo livello acquifero (Strato C), calcolati secondo quanto descritto nel paragrafo 3.1.

3.4.1 *Livelli piezometrici (carichi idraulici) - h_H*

I dati riportati in Fig.3.10 sono riferiti al quarto quadrimestre di monitoraggio della Fase B.

Dall'analisi dei tracciati riportati in Fig.3.10 è possibile osservare come i piezometri profondi siano, in misura diversa, sensibili ai fenomeni fisici esterni (eventi piovosi ed oscillazioni mareali):

- i piezometri PP01 e PP02, posti in prossimità del Lungomare Dante Alighieri, sono caratterizzati da un andamento sinusoidale correlabile alle evoluzioni mareali, ma in misura molto minore rispetto ai piezometri superficiali PS01 e PS02;
- i piezometri PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10 e PP11, collocati nella porzione più interna della area di monitoraggio, presentano tracciati di misura che sono influenzati in maniera ridotta sia dalle evoluzioni mareali sia dai fenomeni meteorologici;
- i piezometri PP03 e PP04, posti in prossimità del Lungomare Dante Alighieri, sono caratterizzati, nel mese di novembre 2006, da un andamento sinusoidale correlabile alle evoluzioni mareali come i piezometri PP01 e PP02, ma a partire dalla fine di novembre risultano influenzati soprattutto dalle attività di pompaggio interne al bacino lato mare. Il livello all'interno dei due piezometri diminuisce significativamente, fino a raggiungere i valori assoluti di -1.3 m s.l.m. e -4.1 m s.l.m., rispettivamente nel PP03 e nel PP04. Anche il piezometro profondo PP08 sembra risentire del pompaggio, poiché anche al suo interno si registra un abbassamento di livello, che raggiunge i -0.1 m s.l.m alla fine del mese di febbraio.

Fig.3.10 - Livelli piezometrici (h_i) relativi ai piezometri profondi

3.4.2 *Effetti delle precipitazioni*

In Fig.3.11 è stato confrontato l'andamento dei livelli piezometrici in corrispondenza dei piezometri profondi ubicati nella porzione interna dell'area di monitoraggio con le precipitazioni verificatesi nel periodo compreso tra novembre 2006 e febbraio 2007. Dall'analisi dei tracciati di misura, le influenze delle precipitazioni sui livelli piezometrici appaiono modeste: le escursioni di livello non superano i 25 cm. La risposta all'evento meteorico è simile per tutti i piezometri (ad eccezione dell'evento piovoso del 12-13/02/07 che provoca una sensibile variazione di livello nel piezometro PP07). Nella Fase A si era riscontrato che il piezometro profondo maggiormente sensibile alle precipitazioni era il PP05 mentre quelli che mostravano la minore escursione di livello erano il PP08 ed il PP11. Analogamente a quanto riscontrato nei precedenti mesi di monitoraggio, è possibile osservare che l'effetto delle precipitazioni sul secondo livello produttivo (Strato C) è inferiore rispetto a quanto riscontrato in corrispondenza dell'acquifero superficiale (Strato A).

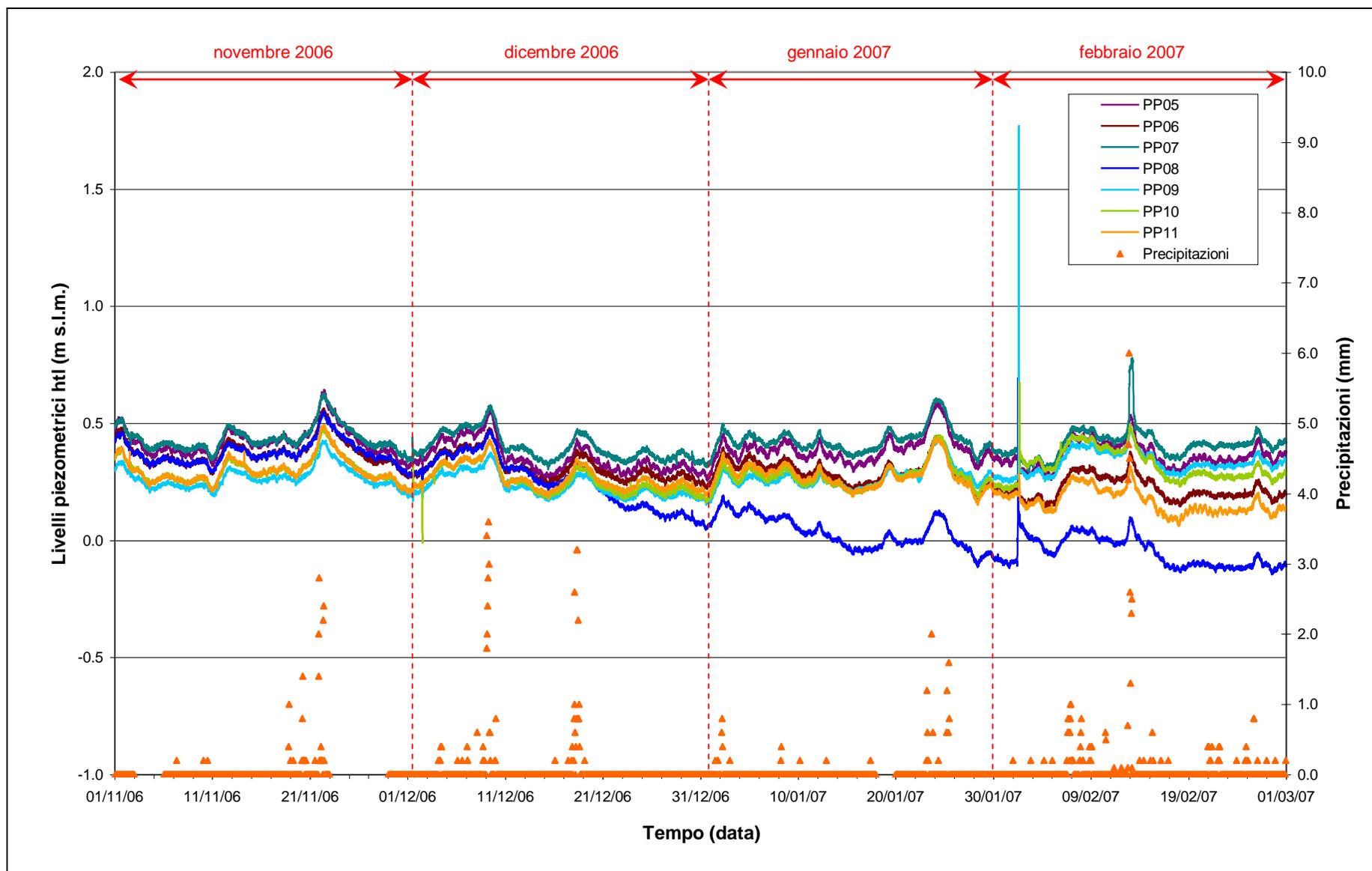


Fig.3.11- Livelli piezometrici dei piezometri profondi interni all'area di monitoraggio e precipitazioni

3.4.3 *Effetti mareali*

In Fig.3.12 è possibile confrontare i tracciati di misura dei trasduttori posizionati in corrispondenza dei piezometri PP01, PP02, PP03 e PP04 disposti sul Lungomare Dante Alighieri e le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. Le serie temporali seguono andamenti caratterizzati da una ciclicità che è tipica delle evoluzioni mareali. Si verificano, infatti, incrementi di frequenza del fenomeno oscillatorio in corrispondenza del plenilunio e del novilunio. In corrispondenza dei quarti di luna le oscillazioni sono meno frequenti e più smorzate. Il periodo di oscillazione dei livelli nei piezometri varia da 12 h (novilunio e plenilunio) a 24 h (luna calante e crescente). Da un'analisi dei dati è possibile riscontrare uno sfasamento di circa due ore tra le oscillazioni mareali e quelle piezometriche. Contrariamente ai piezometri profondi PP01 e PP02, il livello nei piezometri PP03 e PP04 risulta influenzato essenzialmente dalle attività di pompaggio interne al cantiere: a partire dal mese di dicembre l'andamento del livello nel PP03 e nel PP04 rispecchia le diverse fasi dell'attività di cantiere (attivazione o spegnimento delle pompe nei pozzi di dewatering o della draga), piuttosto che l'evoluzione dei fenomeni naturali.

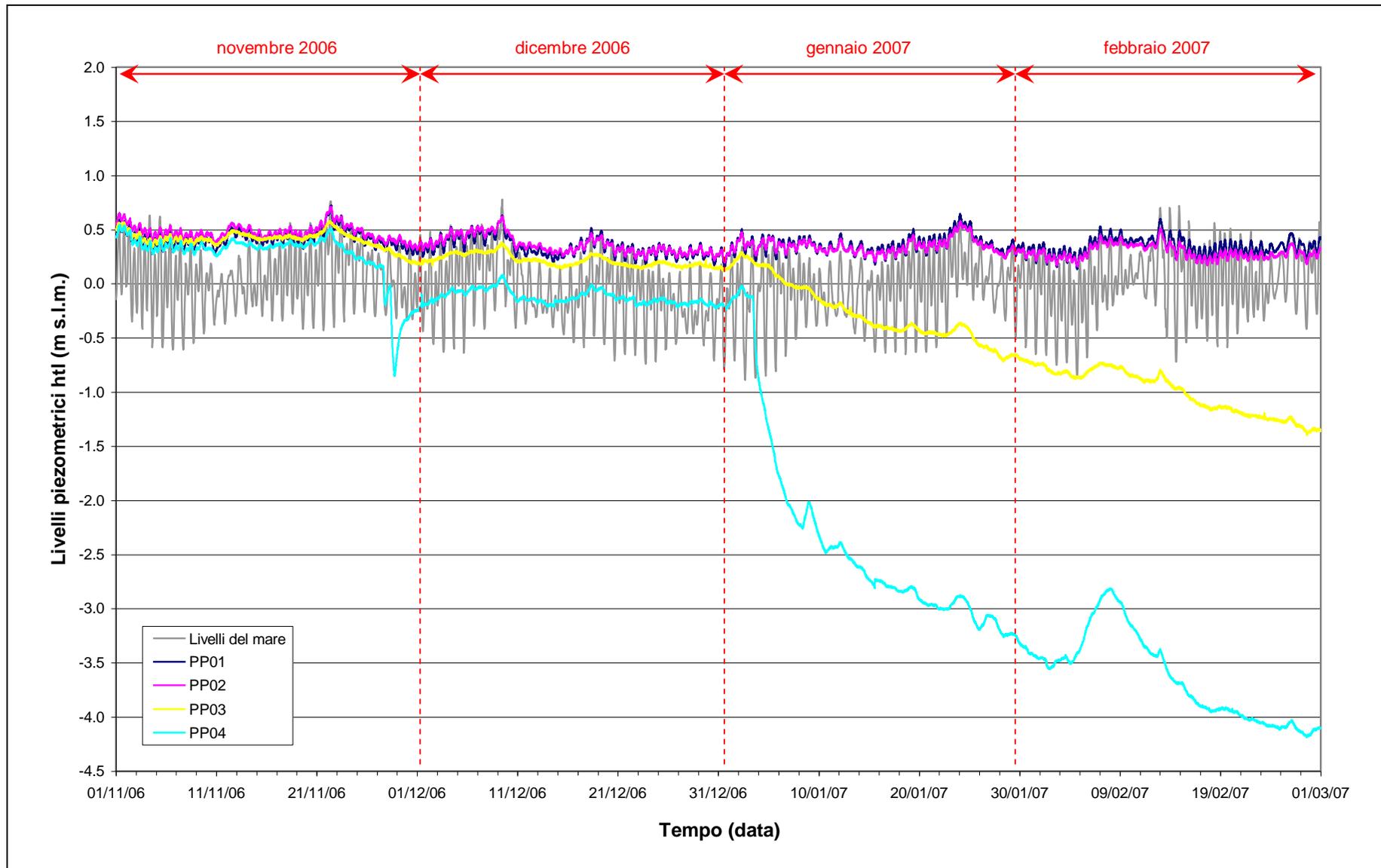


Fig.3.12 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP01, PP02, PP03 e PP04 e livelli del mare

4. CONTROLLO DELLA STRUMENTAZIONE

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

In seguito all'abbassamento di livello riscontrato all'interno del piezometro profondo PP04 si è deciso di installare al suo interno un trasduttore di pressione aggiuntivo. Il nuovo trasduttore ha un fondoscala di 30 metri ed è stato collocato ad una profondità di circa 23 m dal piano campagna. In questo modo sarà possibile evitare la perdita di dati nell'eventualità che un ulteriore abbassamento di livello all'interno del piezometro PP04 lasci il vecchio trasduttore al di sopra del pelo libero dell'acqua. Per il momento, comunque, non si è ancora reso necessario l'utilizzo dei dati acquisiti da questo trasduttore.

Per quanto riguarda il funzionamento della strumentazione installata, è stata riscontrata una sola irregolarità in un trasduttore di pressione. Il levelogger L08, situato all'interno del piezometro superficiale PS04, nei mesi di gennaio e febbraio 2007 ha registrato anomalie di temperatura, probabilmente a causa di un guasto del sensore di temperatura in esso presente. Dal momento che i valori di carico idraulico registrati dal trasduttore sono dipendenti dalla temperatura, anche questi erano caratterizzati da un tracciato anomalo. Si è resa pertanto necessaria la correzione dei dati di livello sulla base degli algoritmi di compensazione utilizzati dal trasduttore, ipotizzando che all'interno del piezometro PS04, all'altezza a cui è installato il levelogger, la temperatura fosse costante e pari alla media di quella misurata dallo stesso trasduttore nel mese di dicembre 2006 (per i dettagli si rimanda al Rapporto Mensile di gennaio 2007 ed alle schede tecniche del produttore). Nel corso dei prossimi sopralluoghi si provvederà alla sostituzione del trasduttore L08.

5. ANALISI DELLA DENSITÀ DELL'ACQUA DI FALDA

5.1 Introduzione

La prossimità del mare alla zona di monitoraggio determina la migrazione di acqua salata all'interno dei livelli acquiferi monitorati. Il fenomeno di intrusione del cuneo salino genera una distribuzione spaziale disomogenea della concentrazione di sale (e quindi di densità) all'interno del sistema acquifero (Fig.5.1). In corrispondenza delle postazioni di monitoraggio tale effetto si traduce con una distribuzione di concentrazione di sale variabile lungo la verticale (Fig.5.2).

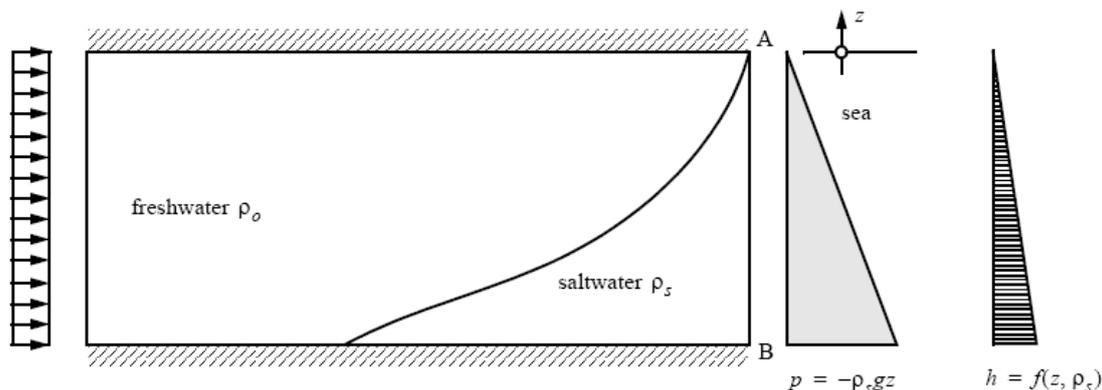


Fig.5. 1 - Intrusione del cuneo salino ed influenza sui carichi idraulici [Diersch, 2005]

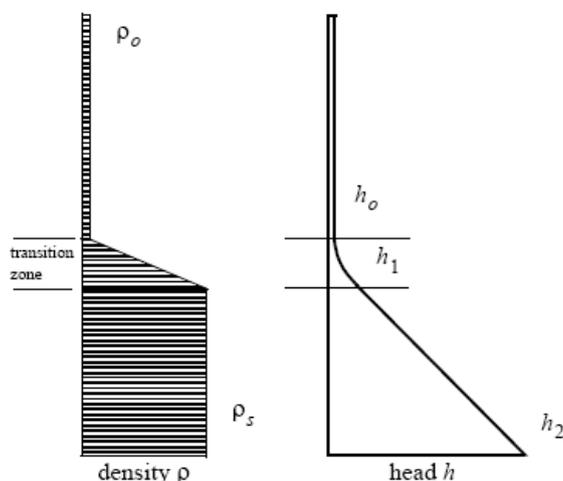


Fig.5. 2 - Variabilità di densità all'interno delle postazioni di monitoraggio ed influenza sui carichi idraulici [Diersch, 2005]

In presenza di variabilità spaziale della densità è consigliabile esprimere i carichi idraulici, registrati dai trasduttori di livello, in funzione di una densità di riferimento ρ_0 scelta come la densità dell'acqua pura ad una temperatura di 20°C. In tal modo è possibile esprimere l'equazione di conservazione della quantità di moto mediante l'equazione di Darcy generalizzata:

$$q_i = -k_{ij} f_{\mu} \left(\frac{\partial h_0}{\partial x_j} + \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} e_j \right)$$

dove:

q_i rappresentano le componenti della velocità di Darcy, k_{ij} il tensore della conducibilità idraulica relativo alla densità e viscosità di riferimento, f_μ il rapporto tra viscosità reale e di riferimento,

$h_0 = h_{0p} + z = \frac{P}{\rho_0 g} + z$ il carico idraulico riferito alla quota z ed alla densità ρ_0 . Il carico idraulico

h_0 deve essere dedotto dal carico idraulico misurato dai trasduttori di pressione (Rapporto di variabilità Attesa, Area Suolo, 2005): $h_{it} = z + h_p = z_t - l_{cc} + h_p$.

La variabilità di densità all'interno di una postazione di monitoraggio determina, inoltre, la non coincidenza della superficie piezometrica con la quota del pelo libero dell'acqua all'interno dei piezometri.

I paragrafi che seguono illustrano le misurazioni e gli algoritmi utilizzati per tener conto dei fenomeni dipendenti dalla densità e quindi correggere i dati dei trasduttori al fine di riferirli alla densità ρ_0 e valutare la differenza tra superficie piezometrica e quota dell'acqua nei piezometri.

5.2 Il calcolo della densità dell'acqua

La densità dell'acqua è funzione della temperatura e della concentrazione di soluti (principalmente cloruro di sodio). Essa cresce all'aumentare del contenuto in sali e al diminuire della temperatura. Non esistendo misure speditive che possano essere eseguite in campo per la misura della densità lungo la verticale all'interno di ciascun piezometro, sono state derivate alcune correlazioni con la conduttanza specifica, parametro più facilmente misurabile mediante sonda multiparametrica Solinst TLC modello 107 (come illustrato nel Rapporto Mensile di novembre 2006).

Sono state pertanto trovate una correlazione tra conduttanza e concentrazione di cloruri (paragrafo 5.2.1) ed una tra conduttanza e densità dell'acqua (paragrafo 5.2.2).

5.2.1 Correlazione salinità-conduttanza specifica

In data 02/12/2006, durante il sopralluogo mensile di dicembre, sono stati prelevati alcuni campioni d'acqua dai due acquiferi monitorati, in quattro diversi piezometri e a differenti profondità, in modo da esplorare tutto il range di variazione di conduttanza osservato nei mesi precedenti. In particolare, sono stati prelevati campioni all'interno dei piezometri PS02, PS08, PP10 e in mare (Fig.5.3).

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



Fig.5. 3 – Prelievo dei campioni d’acqua di mare

I campioni prelevati sono stati inviati in laboratorio, dove è stata determinata la concentrazione di cloruri (Tab.5.1). Le analisi sono riferite alla temperatura di 20°C e sono state condotte posizionando il campione in matraccio tarato (classe A) da 50 ml e pesandolo su bilancia analitica con una precisione di 0,01 mg. In Fig.5.4 è possibile osservare la correlazione tra la conduttanza specifica dell’acqua (a 20°C) ed il contenuto di ioni Cl⁻: nell’intervallo di valori misurati si osserva l’esistenza di una relazione di proporzionalità diretta.

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

Tab.5. 1 – Analisi dei campioni d’acqua di falda (Laboratorio Ecoanalitica Srl, Torino)

Campione	Z (m da p.c.)	Conduttanza (20°C, µS/cm)	Cloruri (20°C, mg/l)
PS02 A	4.27	7614.1	2310
PS02 A bis	4.27	8254.7	2510
PS02 B	6.77	19157.1	6220
PS02 B bis	6.77	20070.0	6430
PS02 C	9.27	43920.0	14700
PS02 C bis	9.27	44160.4	14100
PS02 D	11.77	54167.9	18500
PS02 D bis	11.77	54270.0	19300
PS08 A	1.00	24654.5	8160
PS08 B	3.00	40410.0	13600
PS08 C	5.00	52020.0	17300
PP10 A	4.50	2007.9	312
PP10 B	6.50	2268.4	439
PP10 C	7.50	6819.2	1750
PP10 D	8.50	26820.0	8750
PP10 E	9.50	28530.0	9020
PP10 F	11.50	28690.7	9060
PP10 G	14.50	28780.7	9210
PP10 H	17.50	28542.6	9280
PP10 I	20.50	25211.2	8230
Mare 1	4.27	62370.0	30000

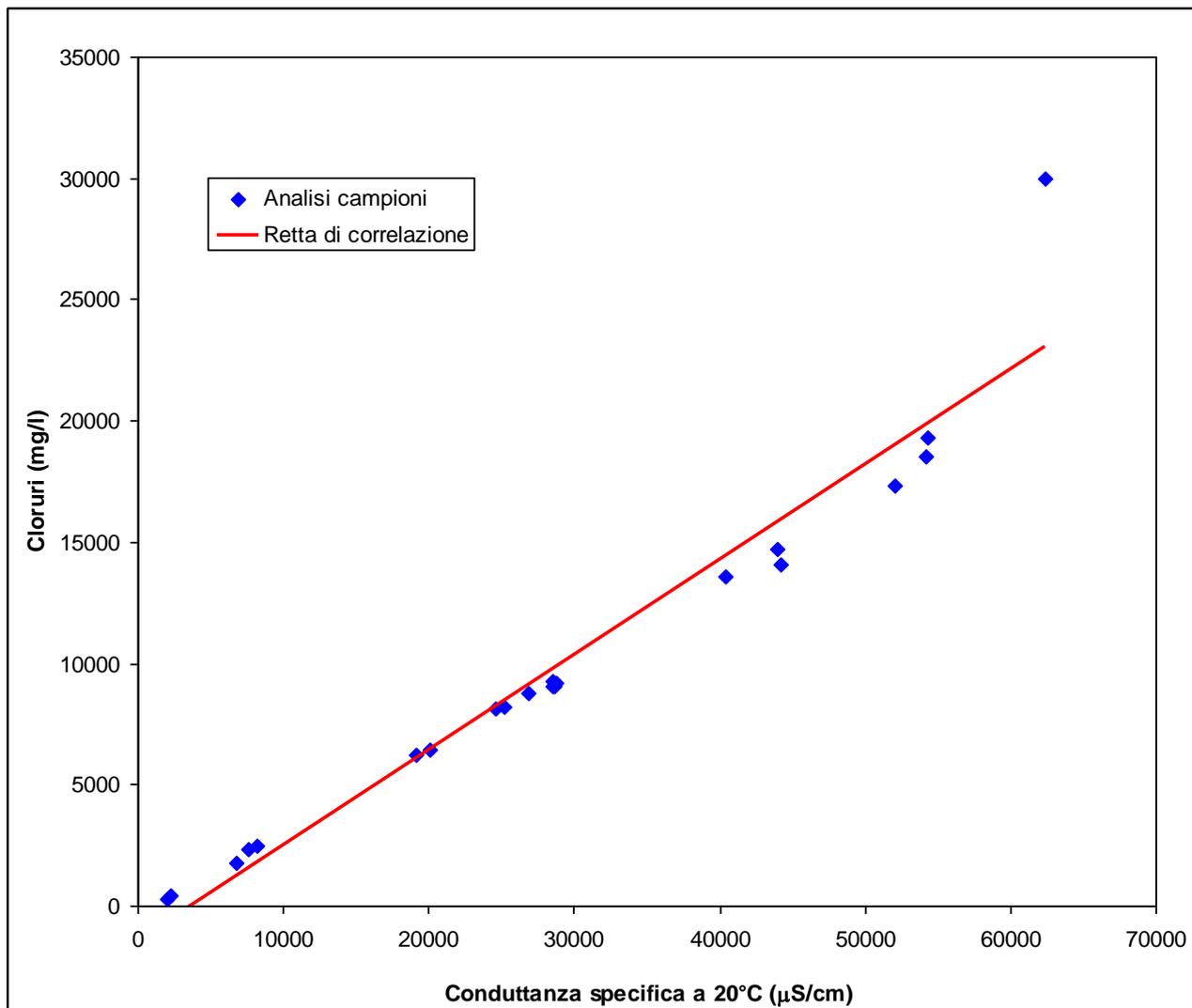


Fig.5. 4 - Correlazione tra contenuto di cloruri e conduttanza specifica (T=20°C) dell'acqua di falda

5.2.2 Correlazione densità-conduttanza specifica

Gli stessi campioni di acqua sono stati sottoposti ad analisi (alla temperatura di 20°C) mediante densimetro. Inoltre, i valori di conduttanza misurati dalla sonda sono stati riferiti alla stessa temperatura tramite il seguente algoritmo:

$$C_{20} = C_{25} \frac{1 + r \cdot (T - 25)}{1 + r \cdot (T - 20)}$$

Dove:

r (°C⁻¹) è un coefficiente di calibrazione del costruttore che vale 0.020;

T (°C) è la temperatura misurata dalla sonda;

C_{25} e C_{20} (µS/cm) sono le conduttanze specifiche a 25°C e 20°C, rispettivamente.

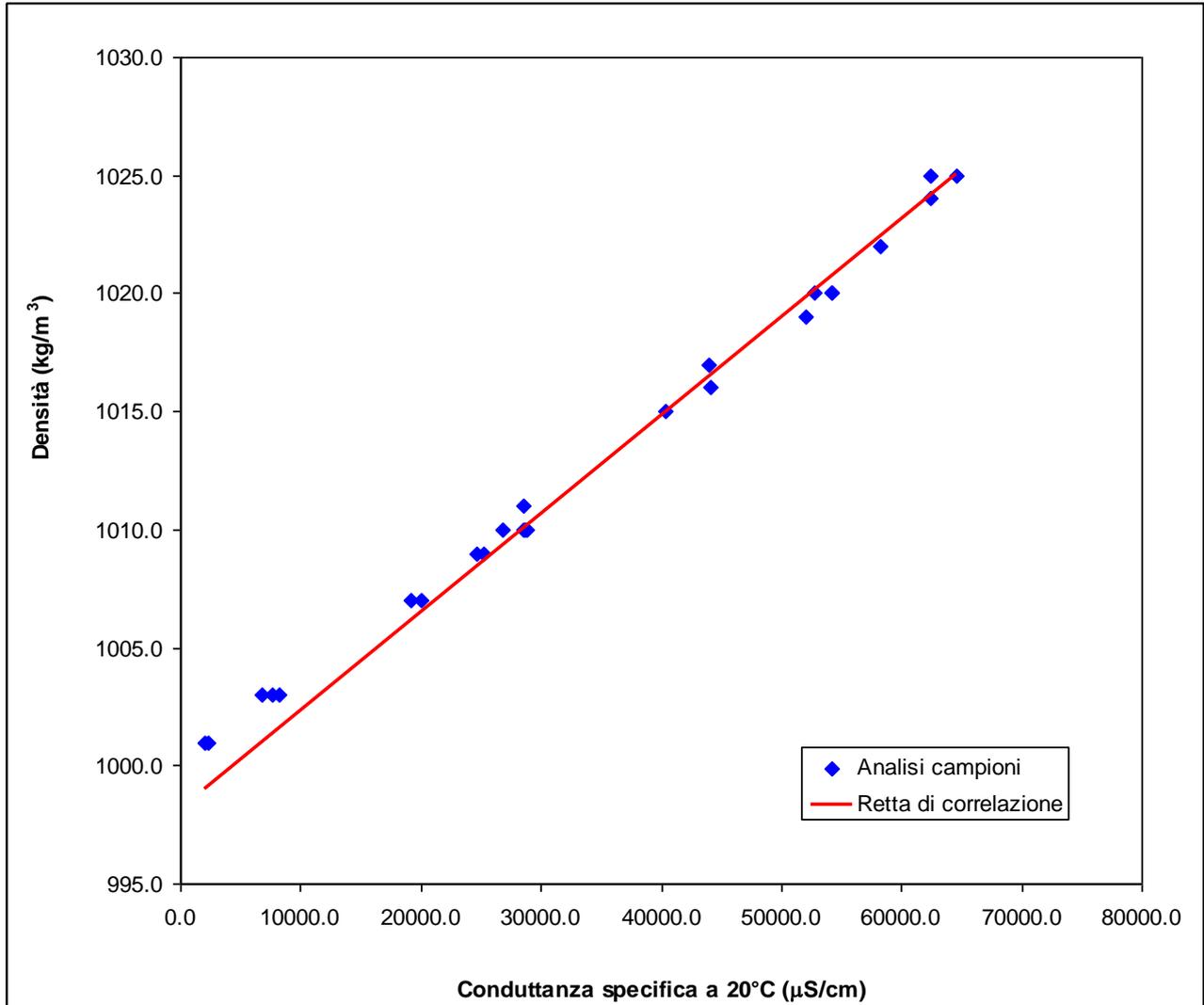


Fig.5. 5 - Correlazione densità - conduttanza specifica dell'acqua (T=20°C).

La correlazione tra densità e conduttanza specifica a 20°C (Fig.5.5) è stata ricavata impostando una intercetta $\rho_0 = 998.200101772$ (kg/m³) corrispondente alla densità dell'acqua pura (C=0) alla stessa temperatura ed è pari a:

$$\rho(T = 20^\circ\text{C}, C_{20}) = 998.200101772 + 4.16066 \cdot 10^{-4} \cdot C_{20}$$

Questa espressione fornisce la densità alla temperatura di 20°C al variare della conduttanza specifica. La relazione che permette di considerare anche la dipendenza dalla temperatura dell'acqua, ed esprime tale grandezza in funzione della conduttanza misurata con la sonda multiparametrica, è la seguente:

$$\begin{aligned} \rho(T, C) &= \rho(T, C_{20} = 0) + \rho(T = 20, C_{20}) - \rho_0 = \\ &= a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4 + fT^5 + gT^6 + 4.16066 \cdot 10^{-4} \cdot C_{25} \frac{1 + r \cdot (T - 25)}{1 + r \cdot (T - 20)} \quad (1) \end{aligned}$$

dove: $a = 9.998396 \cdot 10^2$, $b = 6.764771 \cdot 10^{-2}$, $c = -8.993699 \cdot 10^{-3}$, $d = 9.143518 \cdot 10^{-5}$,

$e = -8.907391 \cdot 10^{-7}$, $f = 5.291959 \cdot 10^{-9}$, $g = -1.359813 \cdot 10^{-11}$ (Perrochet, 1996).

5.2.3 Profili verticali di densità

Mediante la formula (1) è possibile ricostruire i profili verticali di densità a partire dalla temperatura dell'acqua e della conduttanza specifica misurate durante i sopralluoghi mensili (Figg. 5.6 - 5.10: piezometri superficiali; Figg. 5.11 - 5.15: piezometri profondi). Nelle figure che seguono è evidenziata (con un tratto più spesso) la posizione della finestratura in ogni piezometro, mentre le due rette tratteggiate orizzontali indicano la quota minima e massima, in m s.l.m., a cui sono collocati i trasduttori di pressione.

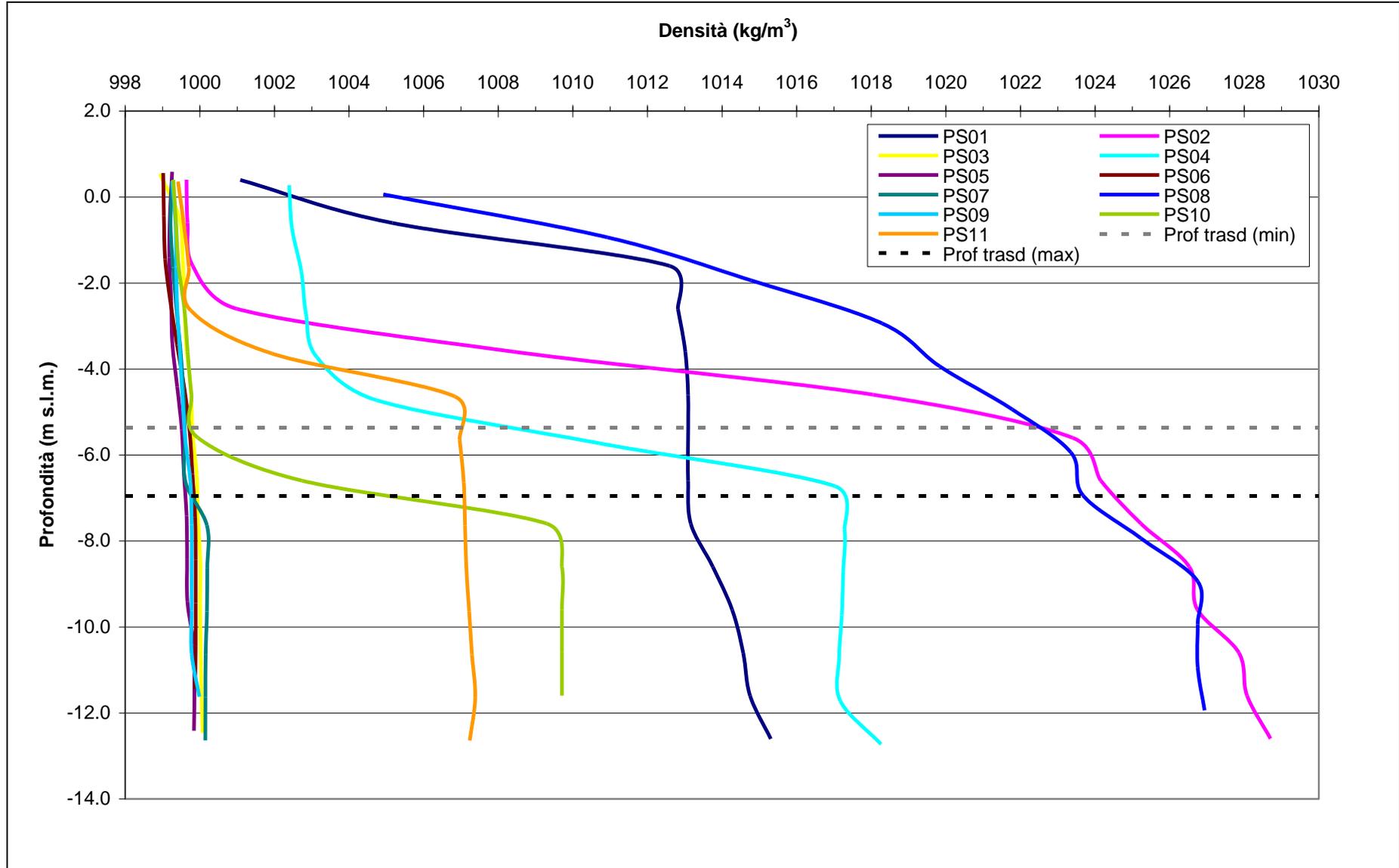


Fig.5. 6 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 2 novembre 2006

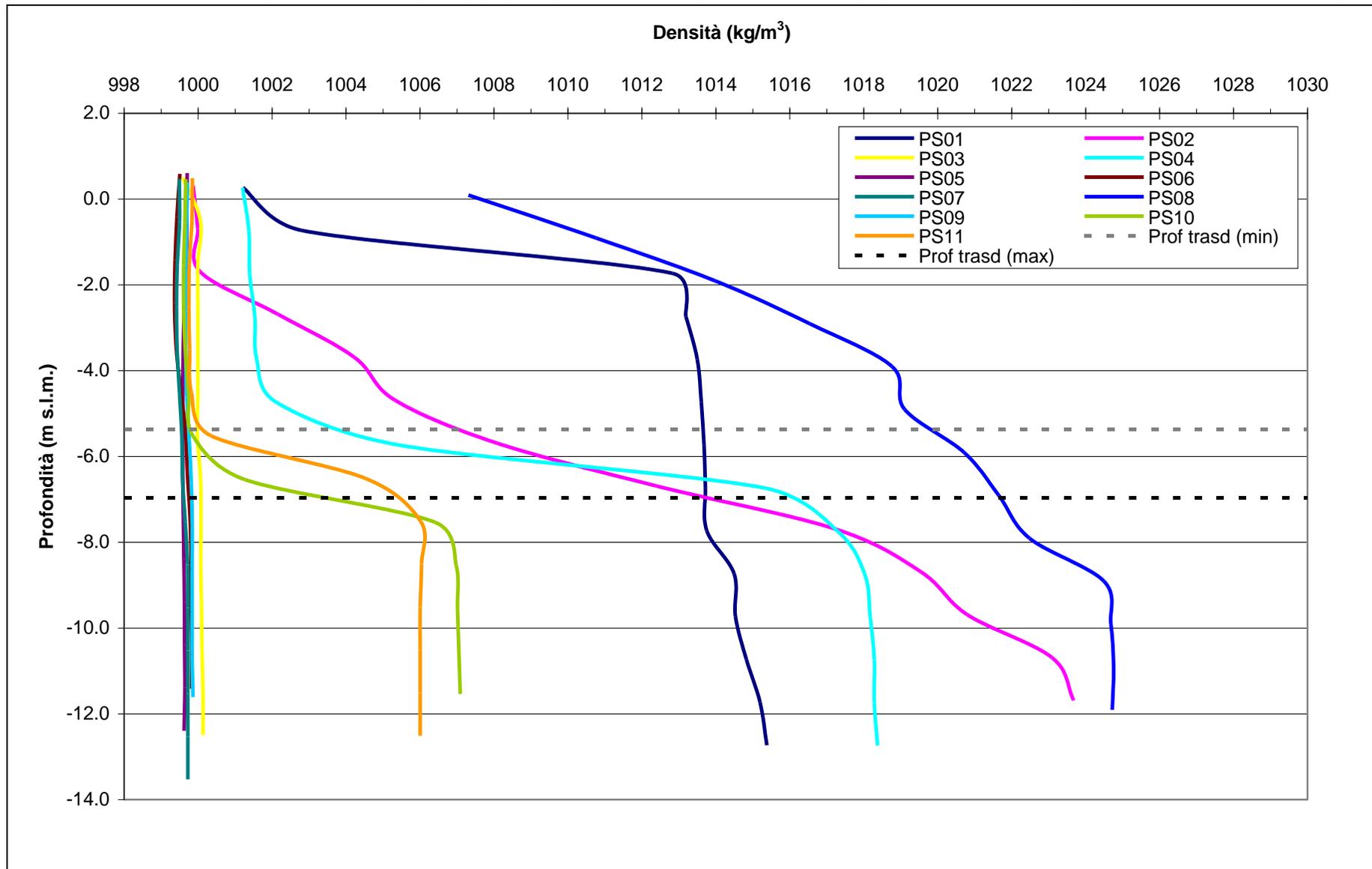


Fig.5. 7 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 1 dicembre 2006

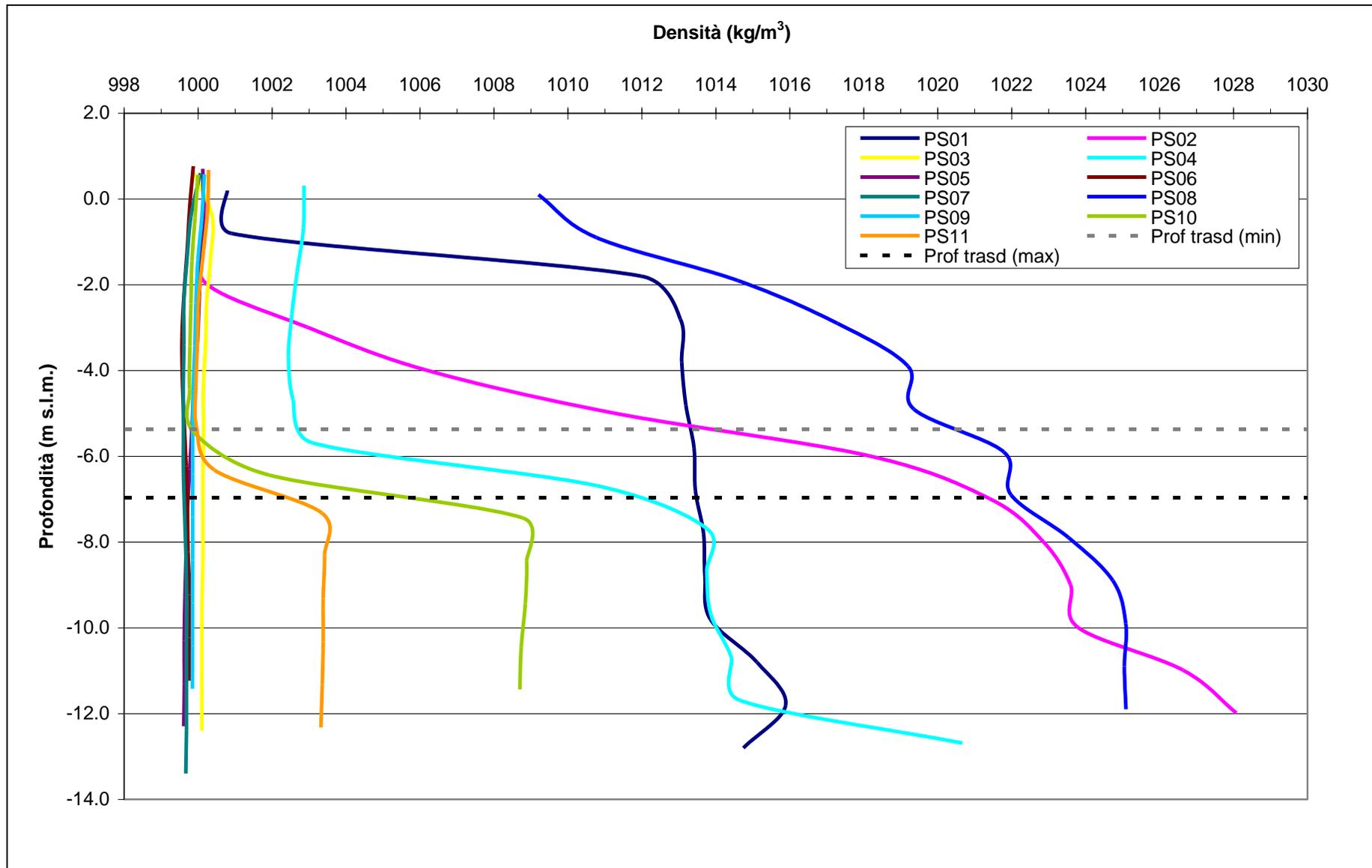


Fig.5. 8 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 5 gennaio 2007

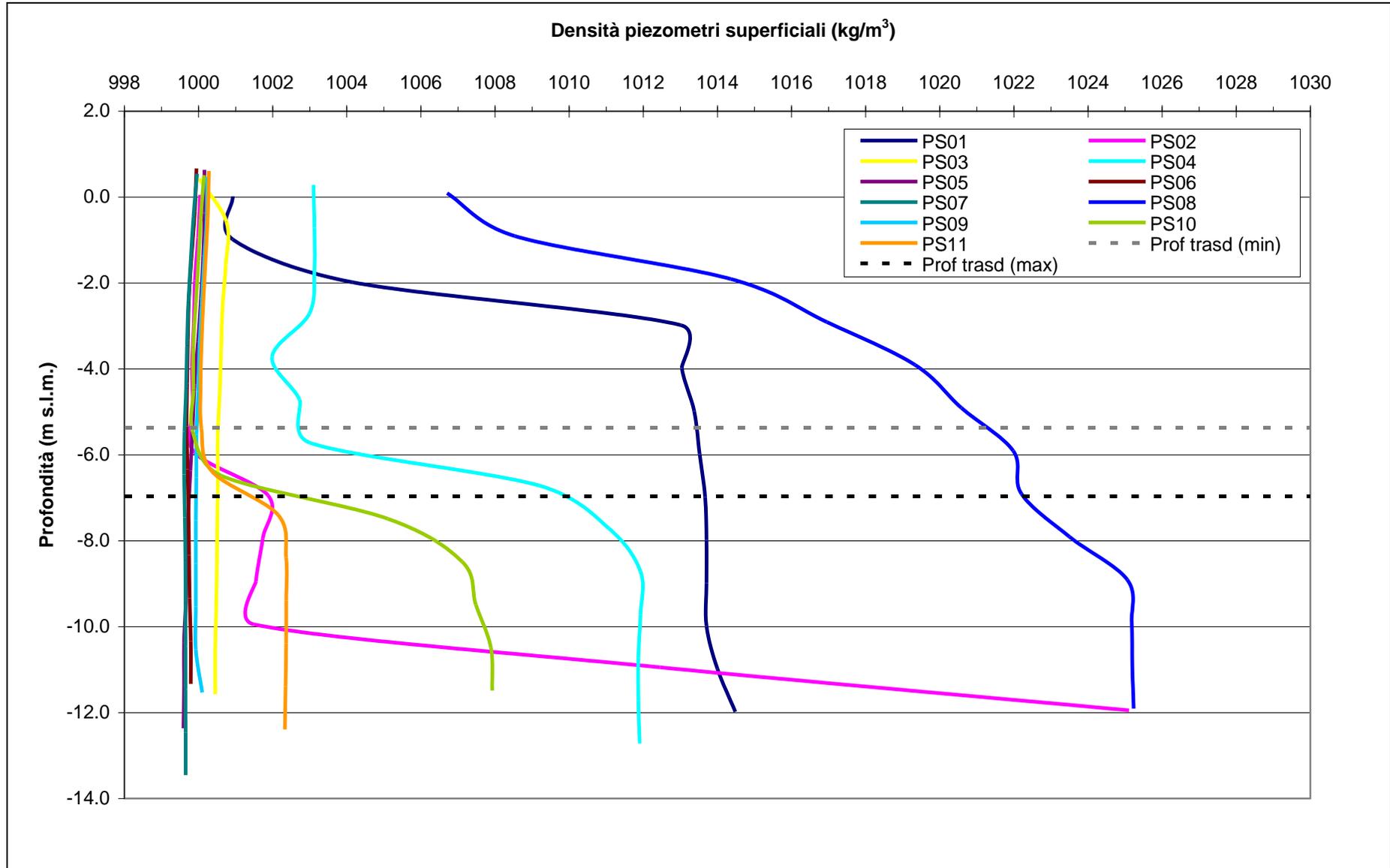


Fig.5. 9 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 2 febbraio 2007

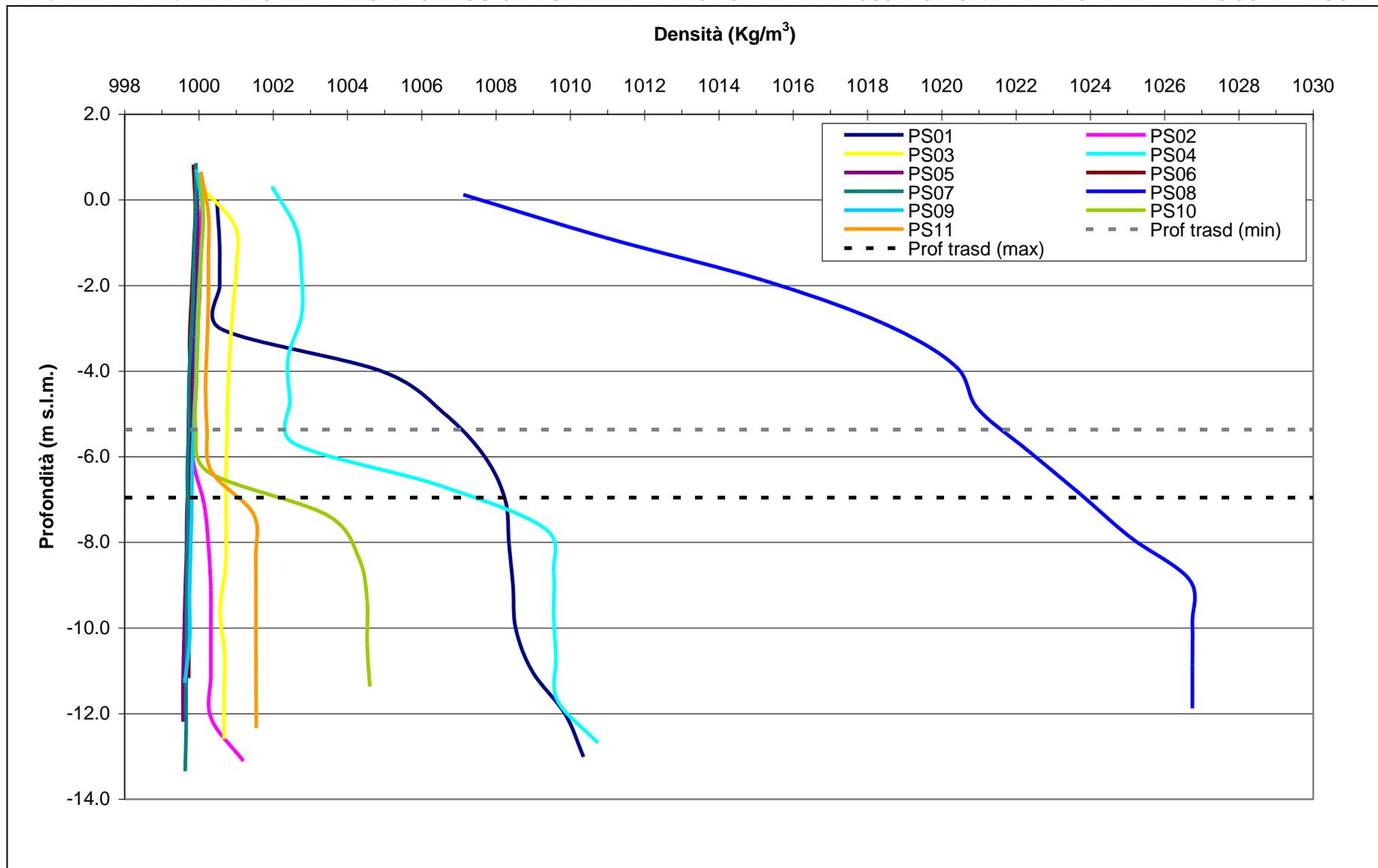


Fig.5. 10 - Profili verticali di densità piezometri superficiali - 11 marzo 2007

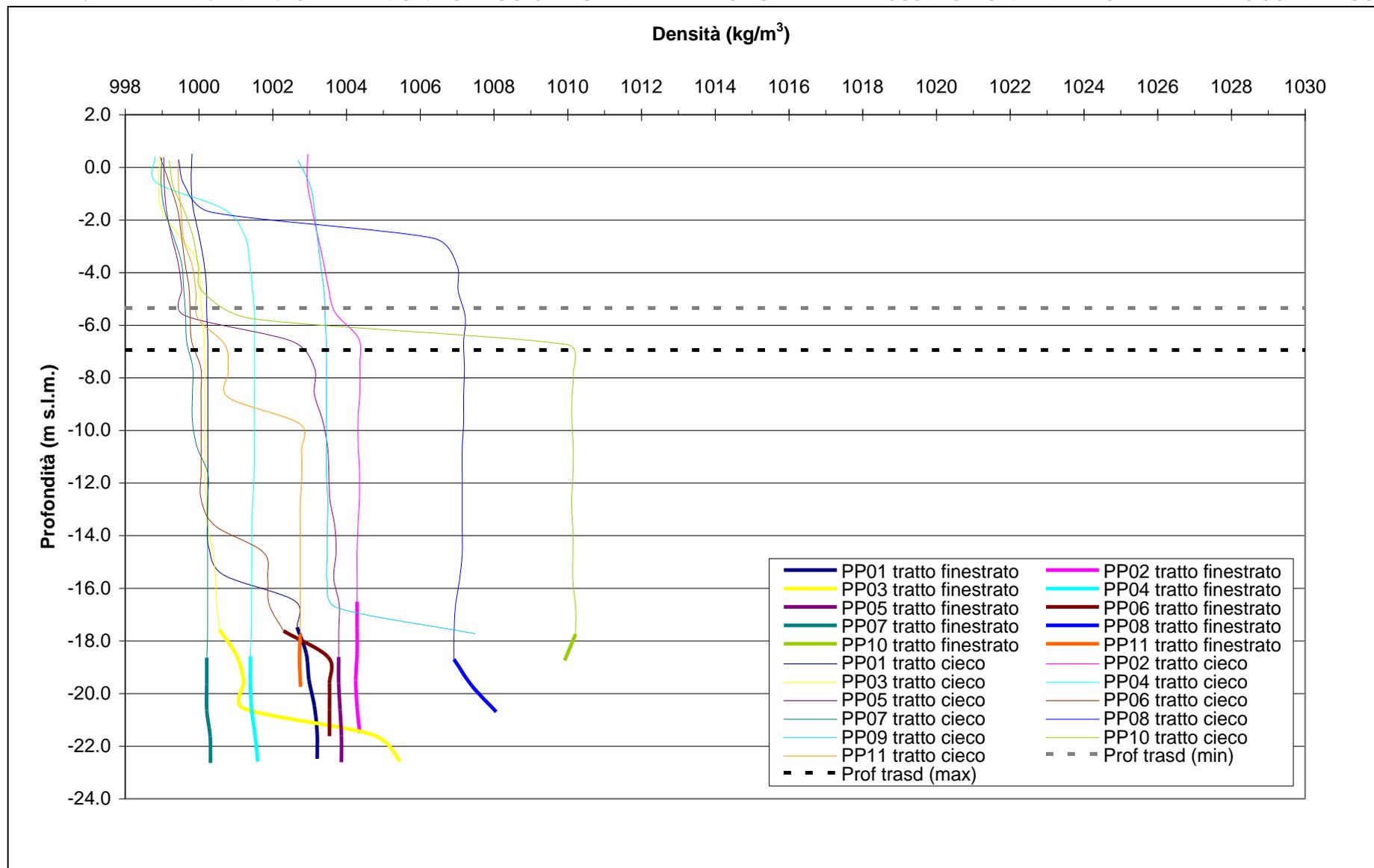


Fig.5. 11 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 2 novembre 2006

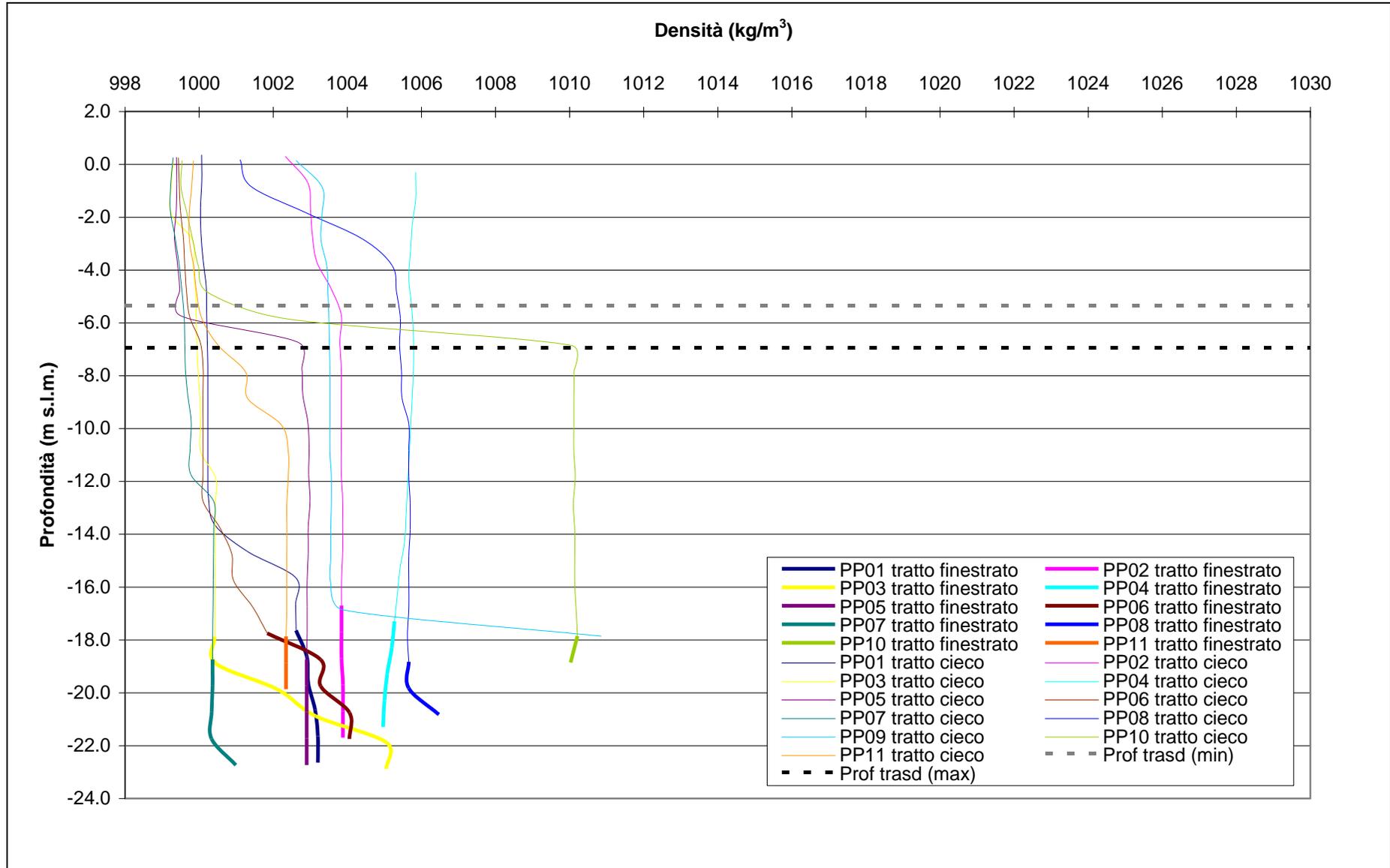


Fig.5. 12 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 1 dicembre 2006

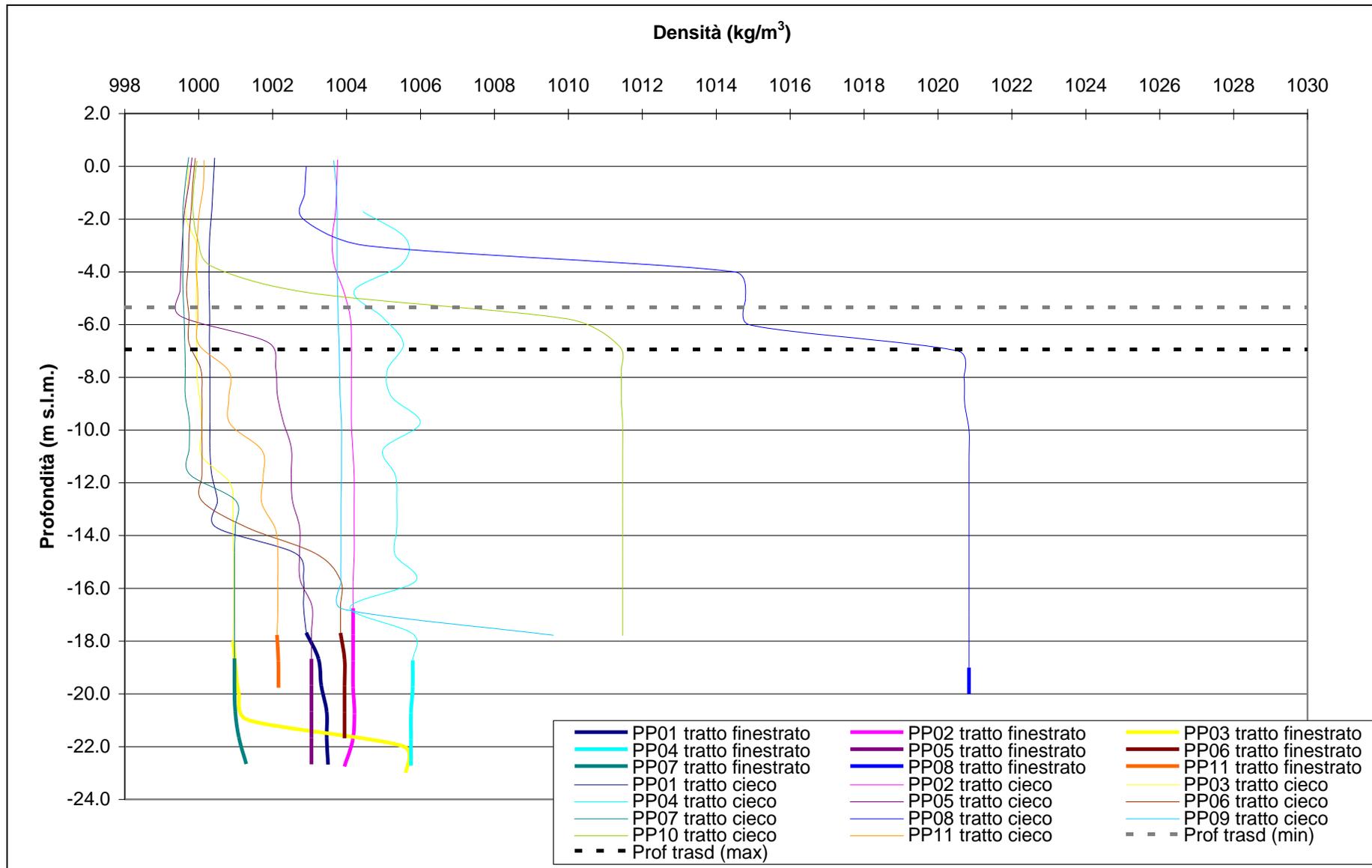


Fig.5. 13 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 5 gennaio 2007

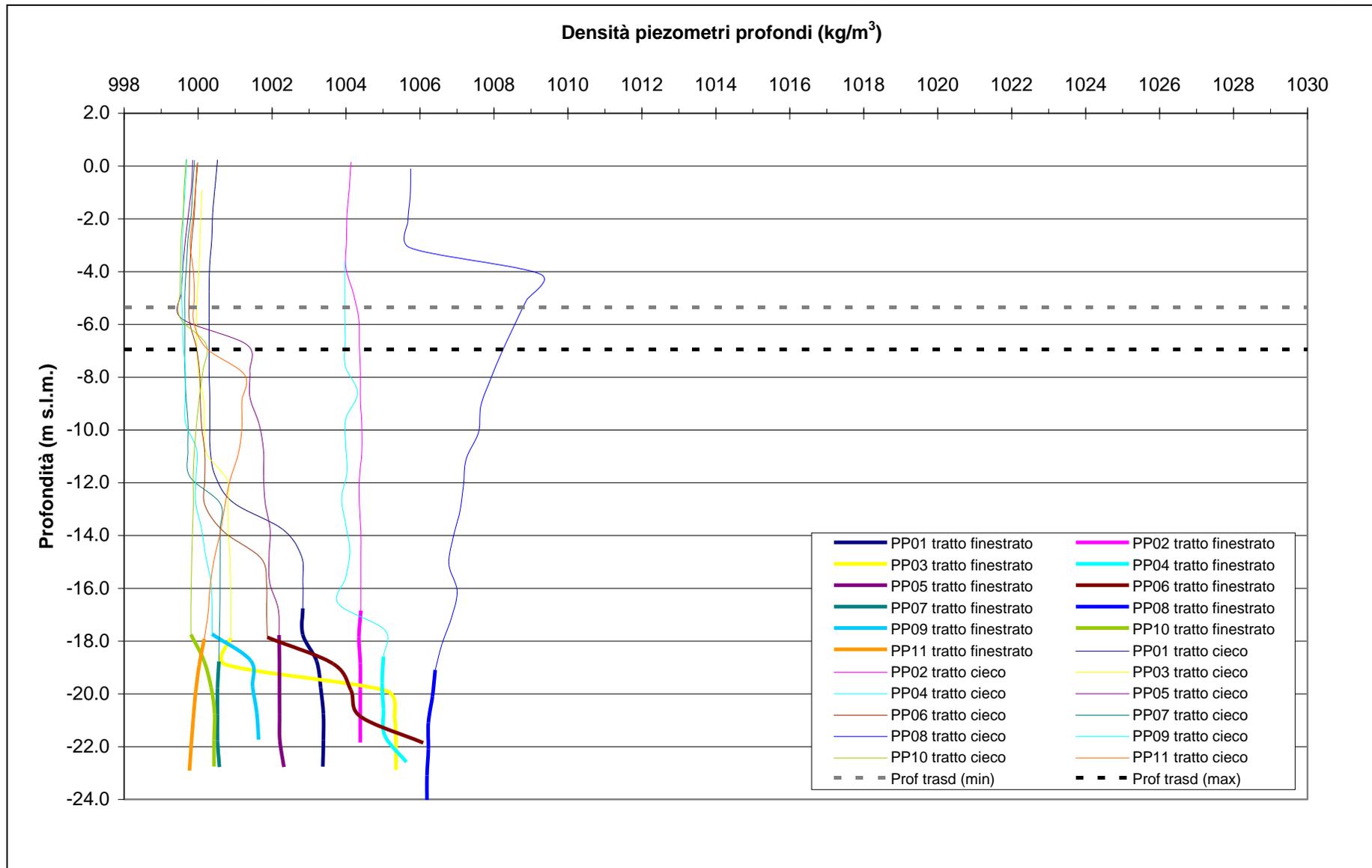


Fig.5. 14 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 2 febbraio 2007

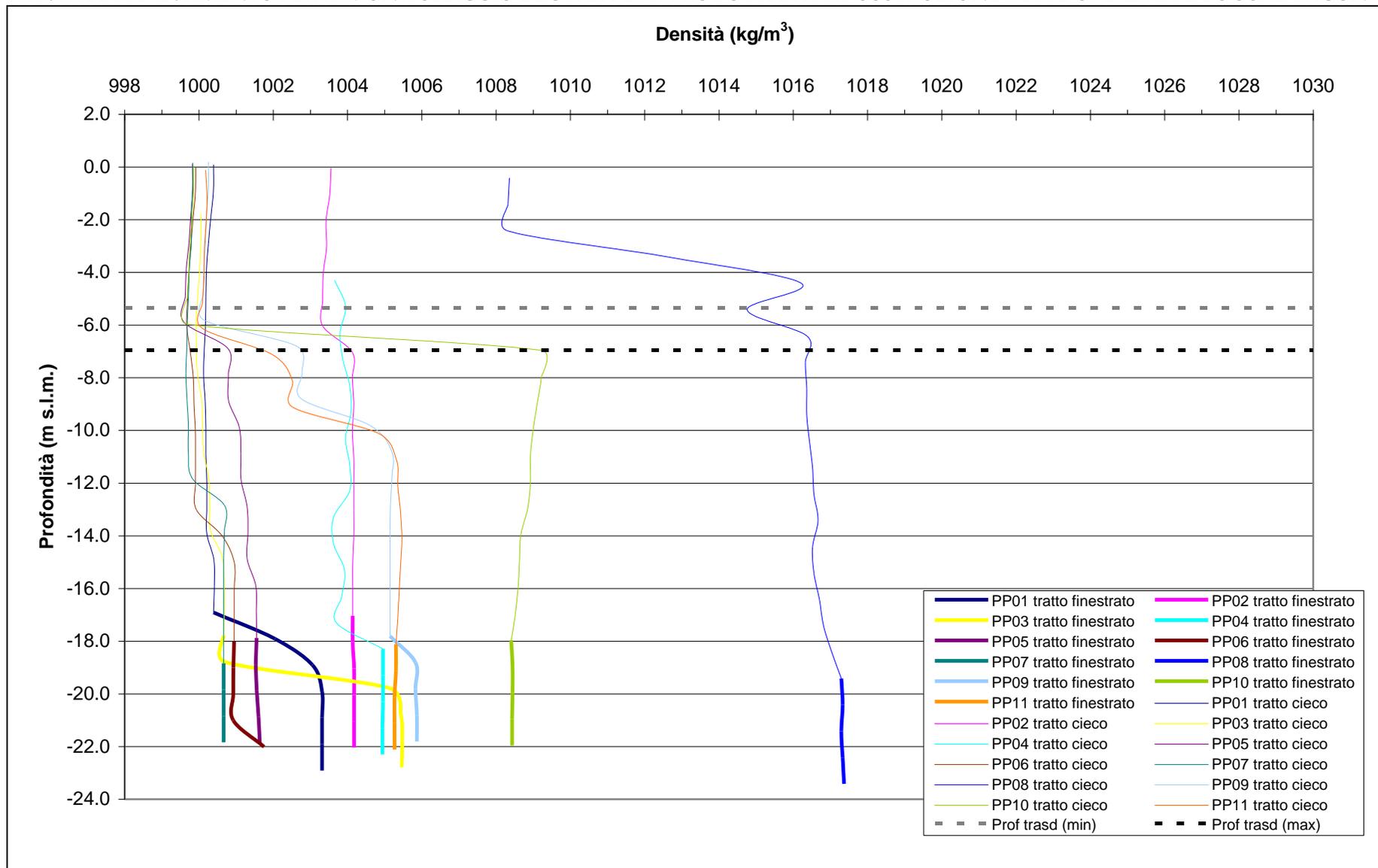


Fig.5. 15 - Profili verticali di densità piezometri profondi - 11 marzo 2007

5.2.4 Correzione per esprimere il carico idraulico in funzione della densità di riferimento ρ_0

Gli algoritmi interni dei trasduttori di pressione (Levelogger) utilizzano per il calcolo dei livelli una densità dell'acqua (in corrispondenza del punto di misura) che dipende dalla temperatura, secondo la seguente formula:

$$\rho_w(T, C = 0) = K_s \left(1 - \frac{(T + K_A)(T - K_B)^2}{K_D(T + K_C)} \right)$$

Dove:

K_s (kg/m³) è la densità dell'acqua pura alla temperatura di 4°C, pari a 999.972 kg/m³;

T (°C) è la temperatura misurata in falda;

$K_A = 288.9414$, $K_B = 3.9863$, $K_C = 68.12963$, $K_D = 508929.2$ sono le costanti di correzione (per ulteriori dettagli si rimanda alle schede tecniche del produttore).

Per esprimere i battenti idrici in funzione della densità di riferimento ρ_0 è possibile pertanto utilizzare la seguente espressione:

$$h_{0p} = h_p \frac{\rho_w}{\rho_0}$$

L'errore che si compie trascurando tale correzione è pari a:

$$\Delta h = \Delta h_p = h_p - h_{0p} = h_p \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_0} \right)$$

che risulta essere massimo quando è minima la temperatura in corrispondenza dei trasduttori (circa 12.5°C) ed è massimo il battente idraulico compensato h_p (7.62 m):

$$\Delta h_{\max}(T = 12.5^\circ C, h_p = 7.62m) = -9.4 \cdot 10^{-3} m$$

Dal momento che tale correzione sarebbe inferiore al centimetro si ritiene possa essere trascurata.

Per questo motivo e poiché i trasduttori di livello risultano essere posizionati mediamente alla quota assoluta $z_m = -6.036$ m s.l.m, le piezometrie riportate nella presente relazione e nei precedenti rapporti quadrimestrali sono da intendersi come ricostruzioni dei carichi idraulici riferiti alla densità ρ_0 ed alla quota z_m .

5.2.5 Differenza tra superficie piezometrica e quota d'acqua nei piezometri

La quota assoluta del pelo libero dell'acqua all'interno dei piezometri determinata mediante l'utilizzo di freatometro manuale si discosta dal carico idraulico misurata dai trasduttori di pressione (h_{pi}). Tale differenza è imputabile, in parte, al fatto che, come descritto nei precedenti paragrafi, i trasduttori di pressione non tengono conto della reale densità della colonna di acqua al di sopra del trasduttore ma di una densità teorica $\rho_w(T, C = 0)$ prossima a ρ_0 .

La quota del pelo libero dell'acqua può essere stimata con approssimazione tramite alcune trasformazioni della seguente uguaglianza:

$$h_p \rho_w = \int_z^{z_{pl}} \rho(x) dx$$

ovvero:

$$z_{pl} = h_p \frac{\rho_w}{\rho_m} + z$$

dove $\rho_m = \frac{\int_z^{z_{pl}} \rho(x) dx}{z_{pl} - z} = \frac{\sum \rho_i z_i}{\sum z_i}$ rappresenta la densità media della colonna d'acqua al di sopra del trasduttore posto alla quota assoluta z .

Per ogni trasduttore è stata ricavato la differenza Δz_{pl} tra il carico idraulico misurato dal trasduttore di livello e la quota del pelo libero stimata con la procedura appena descritta:

$$\Delta z_{pl} = h_{tl} - z_{pl} = h_p \left(1 - \frac{\rho_w}{\rho_m} \right)$$

Le differenze Δz_{pl} variano tra le diverse postazioni ma anche nel tempo seguendo le variazioni temporali dei profili di densità. Le serie temporali dei carichi idraulici possono quindi essere ricavate applicando ad ogni valore di livello fornito dai trasduttori una traslazione Δz_{pl} variabile nel tempo. I valori intermedi possono essere ricavati, ad esempio, dall'interpolazione lineare tra due Δz_{pl} successivi, calcolati sulla base delle misure effettuate durante ogni sopralluogo mensile (Fig.5.16). Le Tab.5.2 e 5.3 riportano le differenze Δz_{pl} ricavate sulla base delle misure manuali della quota del pelo libero dell'acqua effettuate durante ogni sopralluogo mensile: si può notare come solamente nei piezometro superficiale PS08 questa differenza sia superiore ai 10 cm.

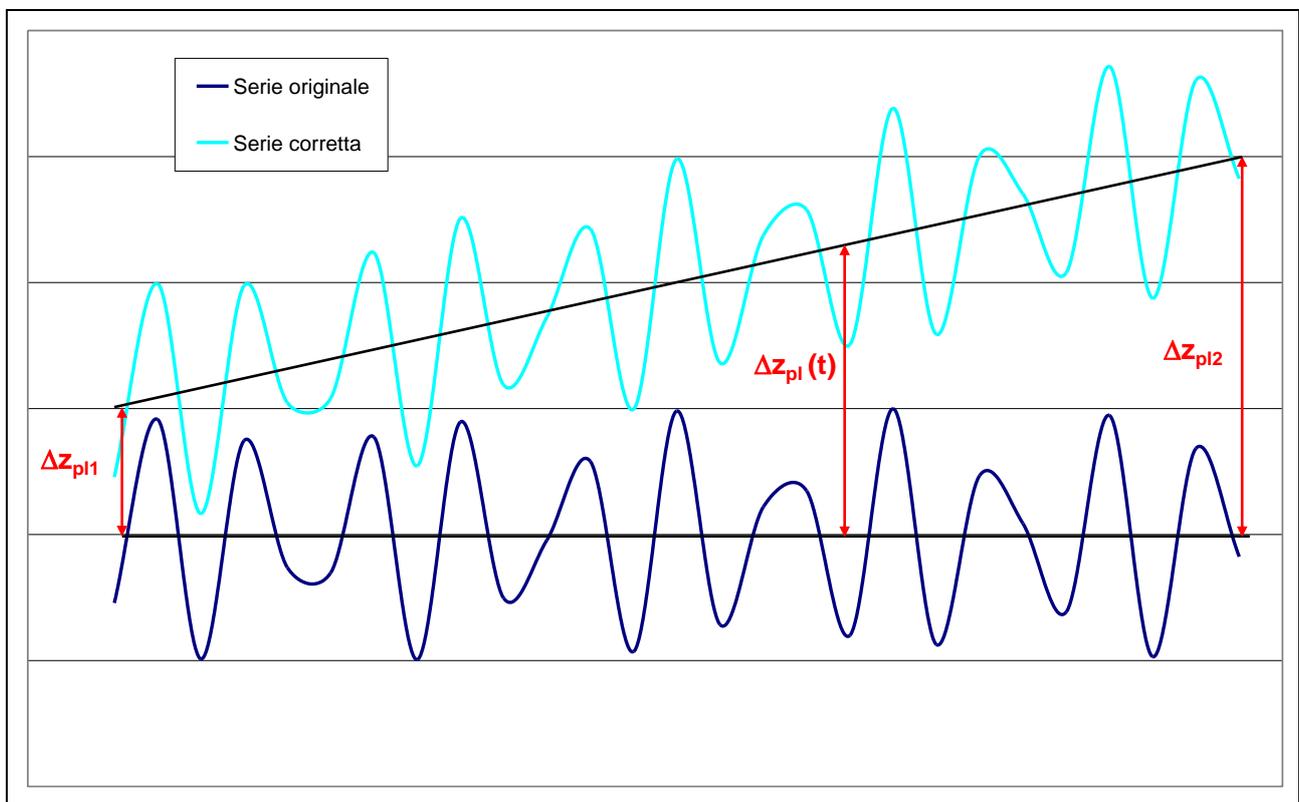


Fig.5. 16 - Determinazione delle differenze Δz_{pl} in funzione del tempo.

Tab.5. 2 - Δz_{pl} ricavati per i piezometri superficiali

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

Δz_{pl} (m)	PS01	PS02	PS03	PS04	PS05	PS06	PS07	PS08	PS09	PS10	PS11
02/11/2006	0.078	0.058	0.009	0.040	0.007	0.007	0.008	0.138	0.007	0.008	0.029
01/12/2006	0.076	0.029	0.012	0.025	0.009	0.008	0.009	0.130	0.009	0.009	0.012
05/01/2007	0.071	0.037	0.013	0.030	0.012	0.010	0.010	0.135	0.011	0.010	0.014
02/02/2007	0.060	0.010	0.016	0.030	0.012	0.010	0.011	0.132	0.011	0.011	0.014
11/03/2007	0.026	0.010	0.017	0.028	0.011	0.011	0.011	0.140	0.011	0.011	0.014

Tab.5. 3 - Δz_{pl} ricavati per i piezometri profondi

Δz_{pl} (m)	PP01	PP02	PP03	PP04	PP05	PP06	PP07	PP08	PP09	PP10	PP11
02/11/2006	0.011	0.033	0.009	0.016	0.007	0.008	0.008	0.046	0.028	0.009	0.010
01/12/2006	0.012	0.031	0.009	0.044	0.008	0.009	0.008	0.042	0.028	0.009	0.011
05/01/2007	0.013	0.035	0.010	0.030	0.009	0.010	0.009	0.075	0.031	0.014	0.012
02/02/2007	0.013	0.036	0.010	0.015	0.009	0.010	0.010	0.062	0.008	0.008	0.011
11/03/2007	0.012	0.031	0.008	0.011	0.009	0.010	0.010	0.093	0.011	0.009	0.013

6. STUDIO PIEZOMETRICO

Nel seguente paragrafo sono riportate le ricostruzioni della superficie piezometrica relative al Primo livello acquifero (Strato A) ed al Secondo livello acquifero (Strato C), derivanti dalla elaborazione dei dati acquisiti in corrispondenza delle postazioni di monitoraggio. Sono state effettuate quattro ricostruzioni piezometriche per entrambi gli acquiferi monitorati, utilizzando i dati registrati in corrispondenza di istanti temporali lontani da eventi piovosi intensi e da estremi mareali (Tab.6.1; Figg.6.1 - 6.2). È possibile effettuare un confronto con la situazione osservata in Fase A.

Come illustrato in precedenza (paragrafo 5.2.4) le piezometrie riportate nella presente relazione e nei precedenti rapporti quadrimestrali sono da intendersi come ricostruzioni dei carichi idraulici riferiti alla densità ρ_0 ed alla quota media $z_m = -6.036$ m s.l.m.).

Tab.6. 1 - Istanti temporali utilizzati per l'elaborazione delle piezometrie

Mese	Data e ora
Fase A	12 novembre 2005 - h. 14:00
Novembre	11 novembre 2006 - h. 10:00
Dicembre	26 dicembre 2006 - h. 09:00
Gennaio	20 gennaio 2007 - h. 03:00
Febbraio	21 febbraio 2007 - h. 16:00

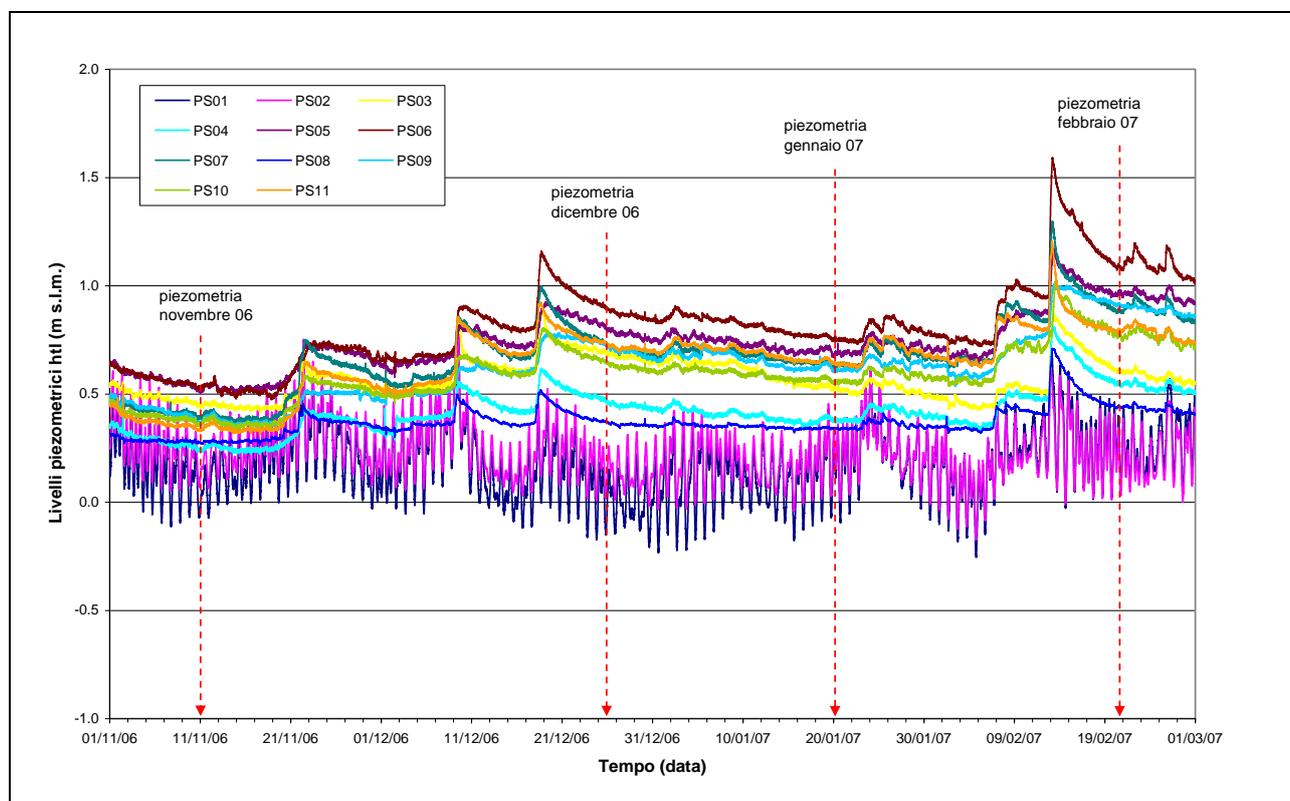


Fig.6. 1 - Elaborazione delle piezometrie superficiali

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

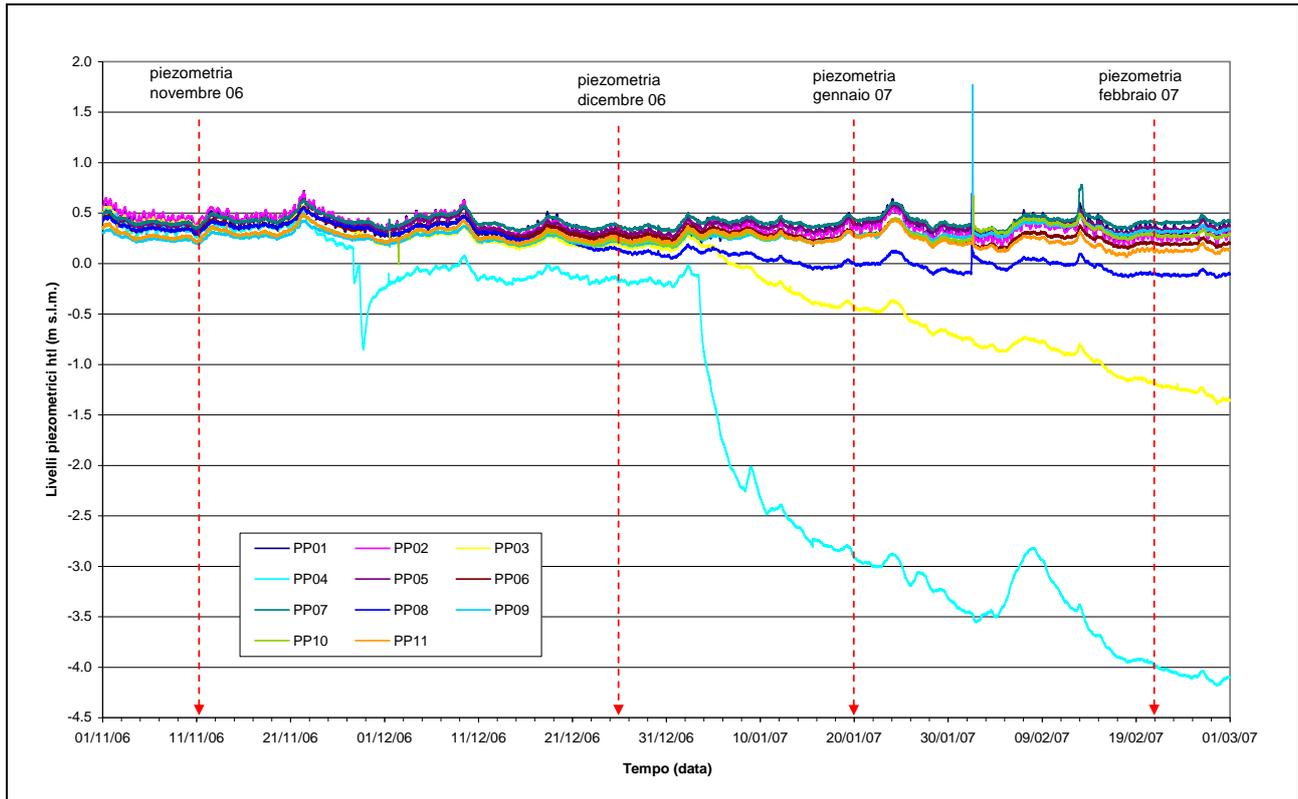


Fig.6. 2 - Elaborazione delle piezometrie profonde

6.1 Piezometria superficiale

La piezometria del Primo livello acquifero (Strato A) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levellogger posti nei piezometri superficiali. In Tab. 6.2 sono riportati i livelli piezometrici riferiti agli istanti temporali scelti per ognuno dei quattro mesi monitorati e alla Fase A. Nelle Figg. 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab.6. 2- Livelli piezometrici h_{Hl} relativi al Primo livello acquifero: Fase A e quattro date di riferimento

Piezometro	Levellogger	X	Y	Z_t (m s.l.m.)	Fase A	novembre	dicembre	gennaio	febbraio
					h_{Hl} (m s.l.m.)				
PS01	L02	2318325.88	5035253.68	1.778	0.271	0.092	0.045	0.238	0.176
PS02	L04	2318303.30	5034900.48	1.713	n.d.	0.200	0.146	0.255	0.131
PS03	L06	2318377.62	5034552.61	1.545	0.331	0.450	0.675	0.519	0.599
PS04	L08	2318449.34	5034373.27	1.453	0.147	0.254	0.453	0.381	0.544
PS05	L10	2318582.01	5034989.80	1.816	0.799	0.531	0.785	0.677	0.969
PS06	L12	2318658.27	5034750.84	1.688	0.843	0.533	0.883	0.756	1.117
PS07	L14	2318785.95	5034898.62	1.403	0.654	0.403	0.713	0.628	0.910
PS08	L16	2318799.69	5034032.43	0.663	0.345	0.281	0.361	0.340	0.435
PS09	L18	2318764.67	5035448.00	2.259	0.638	0.381	0.707	0.600	0.897
PS10	L20	2318792.99	5035043.94	2.023	0.634	0.378	0.629	0.549	0.785
PS11	L22	2318787.28	5034652.23	1.169	0.673	0.348	0.718	0.639	0.806

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

Il livello piezometrico medio nei piezometri interni all'area di monitoraggio nei mesi da ottobre 2006 a febbraio 2007 è di poco inferiore a quanto osservato durante la Fase A mentre risulta aumentato se confrontato con quello del precedente quadrimestre di monitoraggio ("III Rapporto di Valutazione", Studio B.6.72 B/1, novembre 2006). Il livello all'interno dei piezometri PS01 e PS02 si mantiene poco al di sopra del livello del mare, mentre nei piezometri PS03, PS04 e PS08 è compreso tra quello medio dei piezometri interni e quello del mare. La crescita dei livelli nei quattro mesi monitorati, evidente nei mesi di dicembre 2006 e febbraio 2007, è correlabile, oltre che alle precipitazioni, alla diminuzione dei fenomeni di evapotraspirazione rispetto a quanto avveniva nei mesi estivi. Tra i piezometri interni, la crescita di livello è maggiore nel PS05 e nel PS06: come già osservato in precedenza, essi sono caratterizzati da un livello più elevato. Il flusso irradia da essi verso il mare in corrispondenza delle postazioni PS01 e PS02, come avveniva durante la Fase A, mentre nella parte sud dell'area di monitoraggio il flusso assume una direzione parallela alla costa, come già si verificava nei mesi estivi in seguito alla costruzione del diaframma impermeabile. Il gradiente idraulico medio (Tab.6.3) è aumentato lievemente rispetto al precedente quadrimestre di monitoraggio.

Tab.6. 3 - Gradienti idraulici medi caratterizzanti le superfici piezometriche

Data piezometria	Gradiente idraulico medio
Fase A: 12 novembre 2005 - h14.00	0.14%
mese novembre: 11 novembre 2006 - h.10:00	0.09%
mese dicembre: 26 dicembre 2006 - h.09:00	0.19%
mese gennaio: 20 gennaio 2007 - h.03:00	0.13%
mese febbraio: 21 febbraio 2007 - h.16:00	0.25%

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

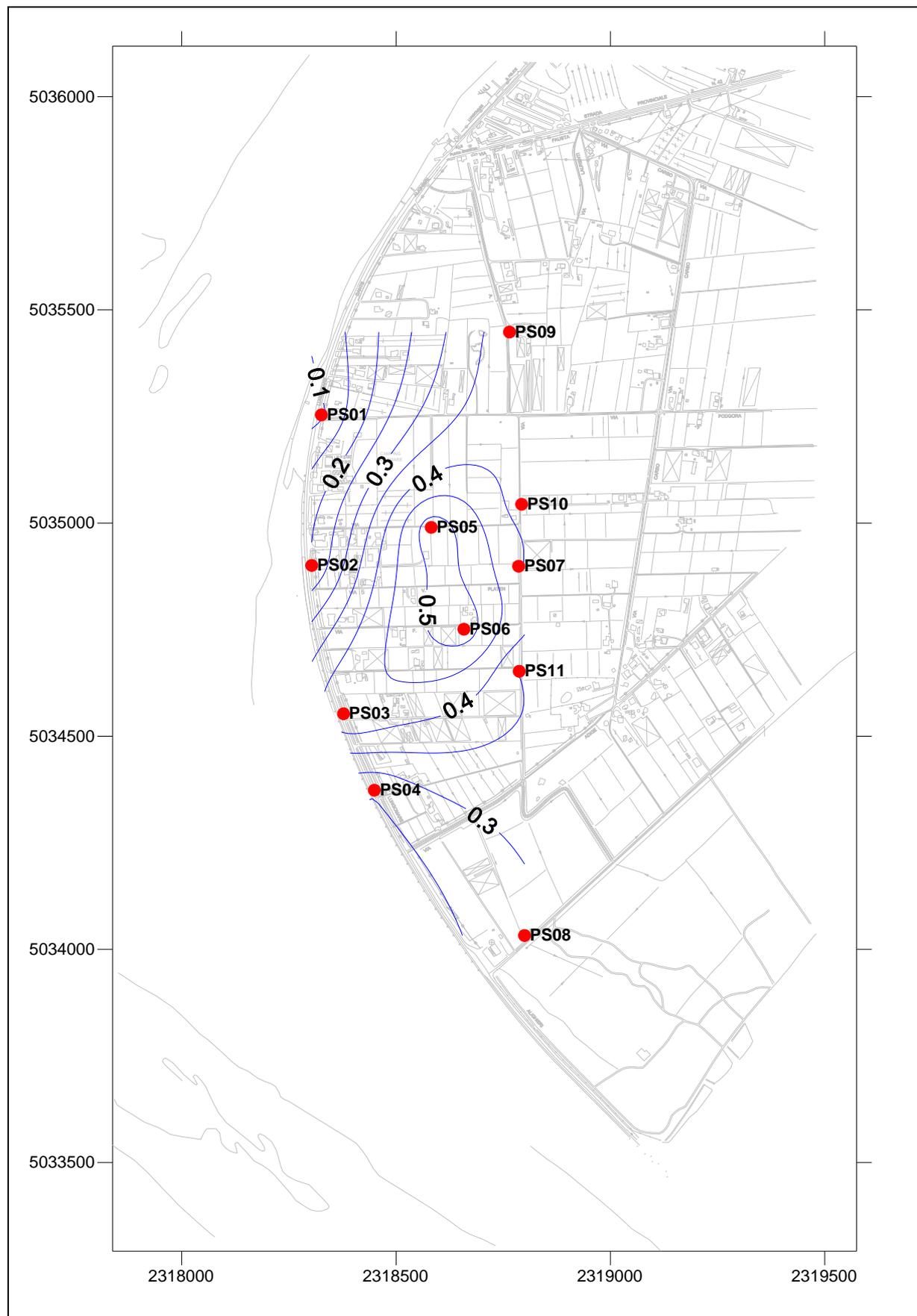


Fig.6. 4 - Piezometria superficiale mese di novembre 2006 (h_{fl} - m s.l.m.), 11 novembre 2006 - h.10:00

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

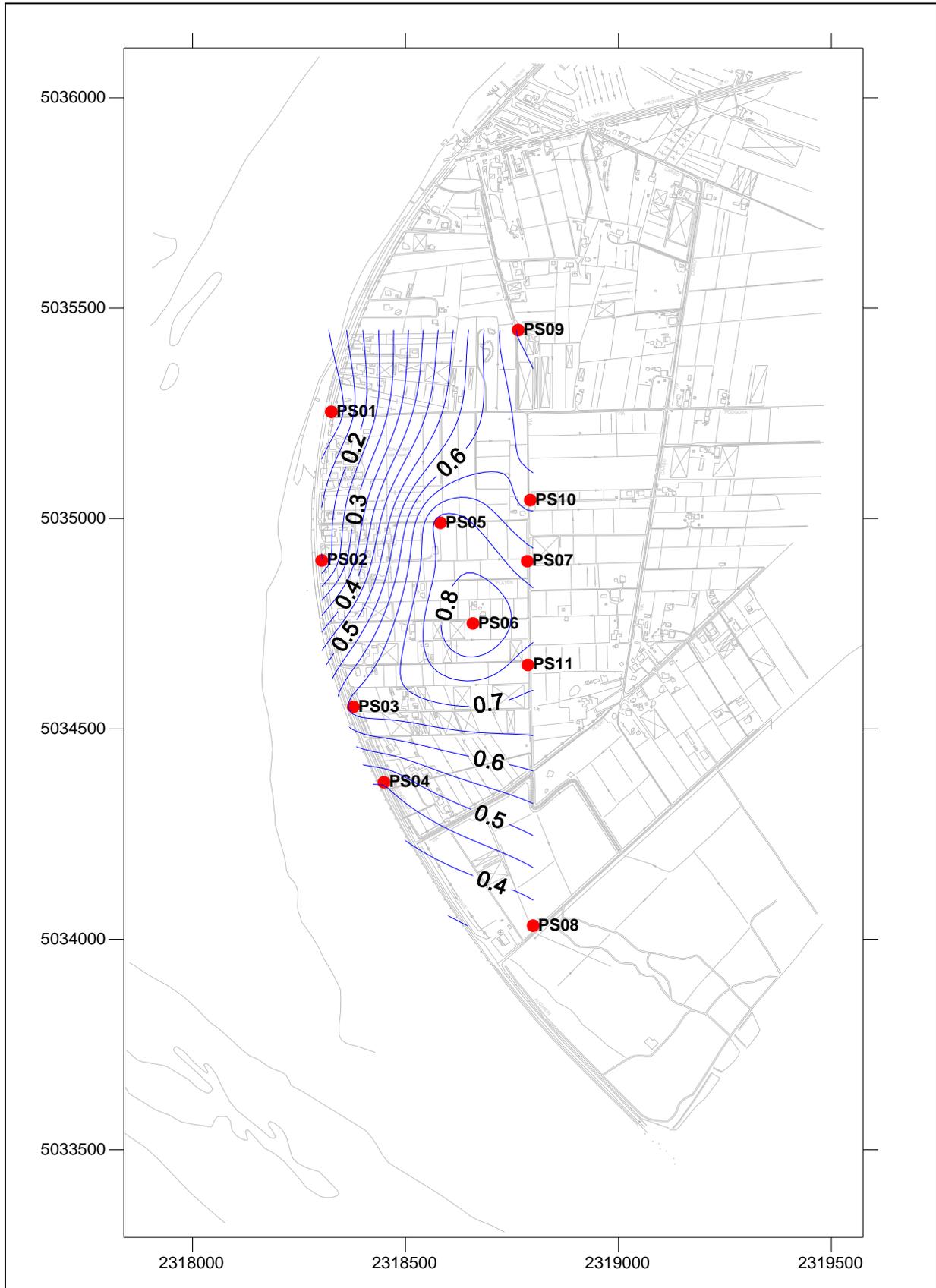


Fig.6. 5 - Piezometria superficiale mese di dicembre 2006 (h_{el} - m s.l.m.), 26 dicembre 2006 - h.09:00

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

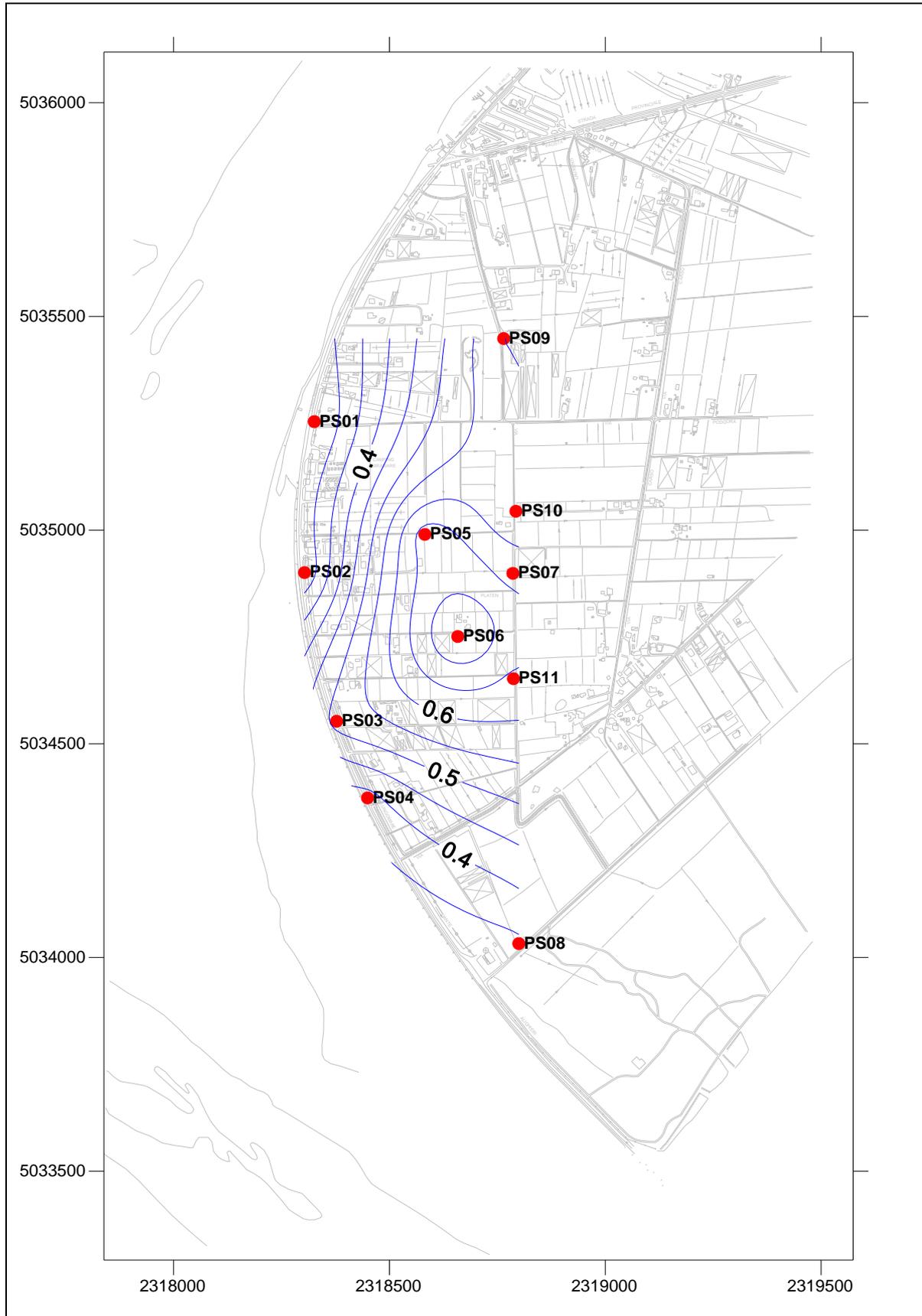


Fig.6. 6- Piezometria superficiale mese di gennaio 2007 (h_{H} - m s.l.m.), 20 gennaio 2007 - h.03:00

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

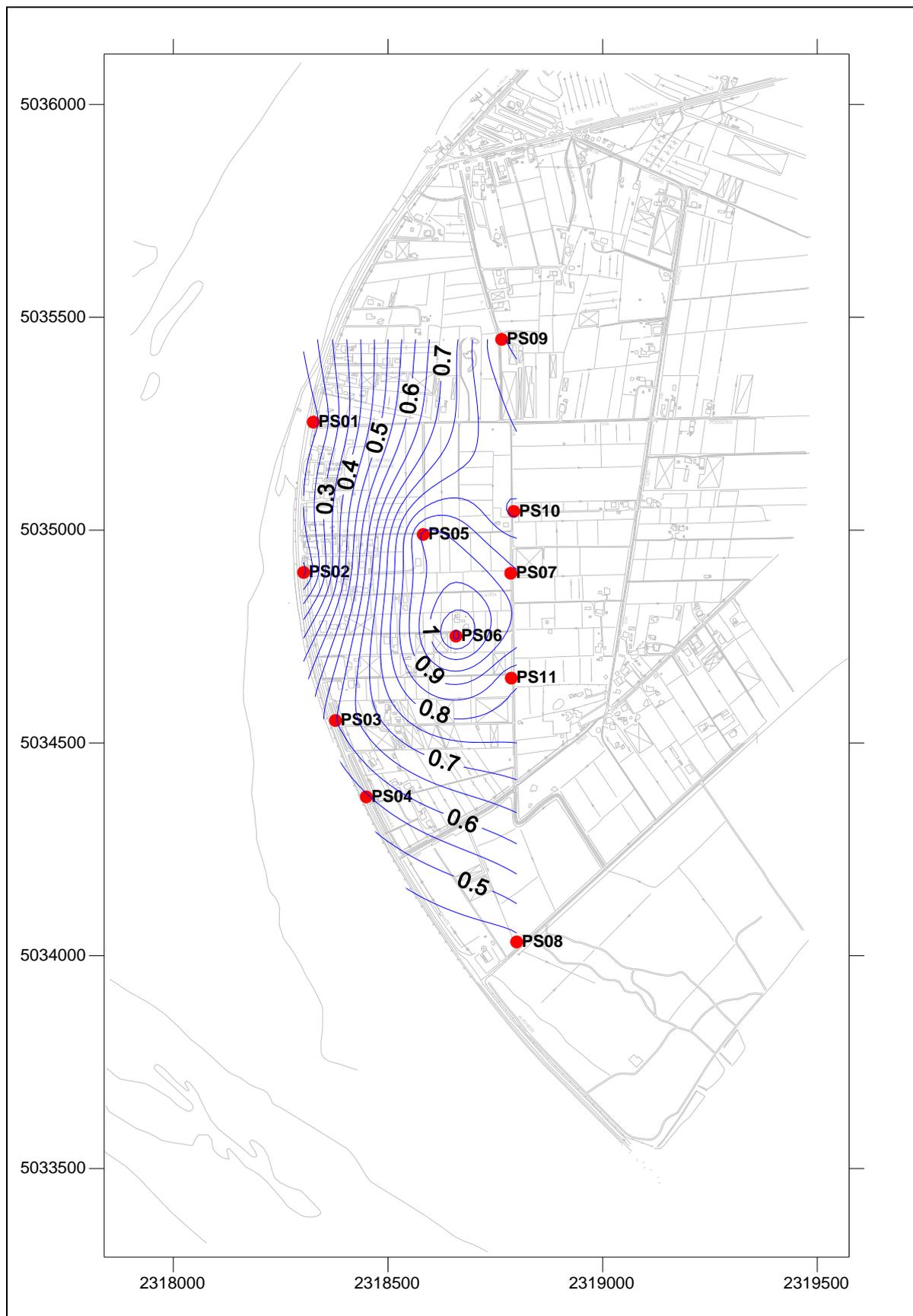


Fig.6. 7 - Piezometria superficiale mese di febbraio 2007 (h_{el} - m s.l.m.), 21 febbraio 2007 - h.16:00

6.2 Piezometria profonda

La piezometria del Secondo livello acquifero (Strato C) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levellogger posizionati in corrispondenza di piezometri profondi. In Tab. 6.4 sono riportati i livelli piezometrici riferiti a cinque istanti temporali, uno per ognuno dei mesi monitorati ed uno appartenente alla Fase A. Nelle Figg. 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12 sono riportate le relative piezometrie, elaborate con il software Surfer.

Tab.6. 4 - Livelli piezometrici h_H relativi al Secondo livello acquifero (Strato C), rilevati dai trasduttori nella Fase A e nelle quattro date di riferimento.

Piezometro	Levellogger	X	Y	z_t (m s.l.m.)	Fase A	novembre	dicembre	gennaio	febbraio
					h_H (m s.l.m.)				
PP01	L01	2318325.44	5035252.10	1.781	0.337	0.376	0.271	0.373	0.274
PP02	L03	2318303.40	5034898.36	1.706	0.298	0.427	0.285	0.346	0.234
PP03	L05	2318378.37	5034550.49	1.492	0.353	0.394	0.160	-0.451	-1.217
PP04	L07	2318448.54	5034374.67	1.515	0.394	0.300	-0.181	-2.928	-4.020
PP05	L09	2318579.81	5034989.68	1.730	0.469	0.356	0.310	0.387	0.333
PP06	L11	2318658.29	5034748.80	1.652	0.375	0.319	0.270	0.283	0.182
PP07	L13	2318786.12	5034900.50	1.323	0.401	0.382	0.355	0.427	0.388
PP08	L15	2318800.26	5034031.14	0.675	0.260	0.325	0.115	-0.016	-0.122
PP09	L17	2318765.07	5035445.93	2.274	0.339	0.212	0.194	0.285	0.309
PP10	L19	2318793.08	5035045.83	2.098	0.302	0.246	0.207	0.267	0.267
PP11	L21	2318787.40	5034654.31	1.087	0.288	0.253	0.231	0.270	0.126

Fino al mese di novembre i livelli all'interno dei piezometri profondi si mantengono entro un ristretto range di variazione, tra 0.0 e 0.5 m s.l.m., come osservato nei mesi precedenti e durante la Fase A. Il gradiente piezometrico è molto basso e non è possibile individuare una direzione preferenziale di flusso all'interno dell'area di monitoraggio. A partire dal mese di dicembre varia il comportamento all'interno dei piezometri PP03, PP04 e PP08. Le anomalie in corrispondenza di queste postazioni, provocate dalle operazioni di svuotamento del bacino, determinano una variazione della direzione di flusso. Il carico idraulico risulta essere minimo in corrispondenza della postazione PP04. Si può, inoltre, notare un considerevole aumento del gradiente idraulico nel periodo monitorato (Tab. 6.5).

Tab.6. 5 - Gradienti idraulici medi caratterizzanti le superfici piezometriche profonde

Data piezometria	Gradiente idraulico medio
Fase A: 12 novembre 2005 - h14.00	0.02%
mese novembre: 11 novembre 2006 - h.10:00	0.011%
mese dicembre: 26 dicembre 2006 - h.09:00	0.094%
Mese gennaio: 20 gennaio 2007 - h.03:00	0.73%
Mese febbraio: 21 febbraio 2007 - h.16:00	0.94%

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

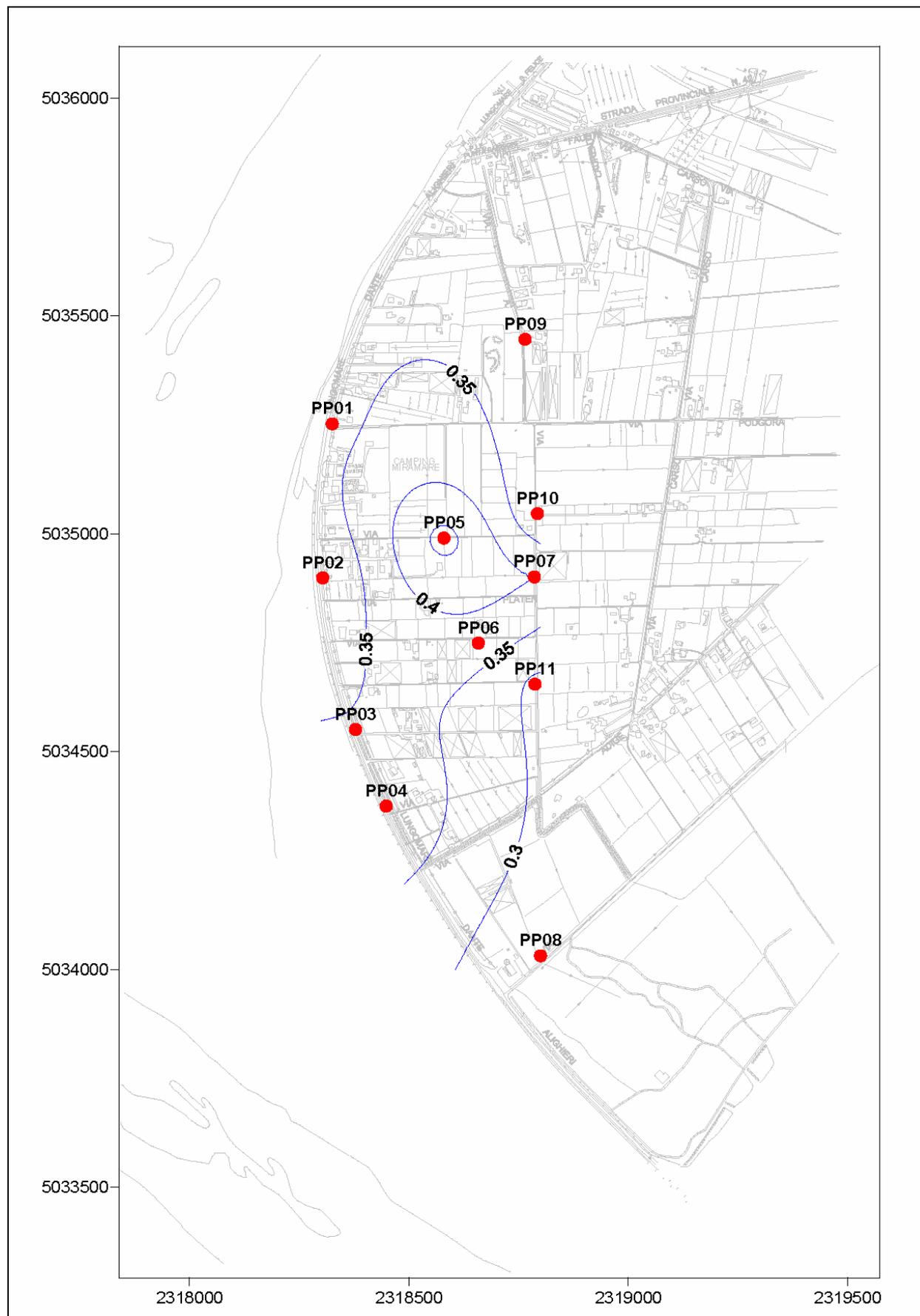


Fig.6. 8 - Piezometria profonda Fase A (h_{tl} - m s.l.m.), 12 novembre 2005 - h.14.00

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

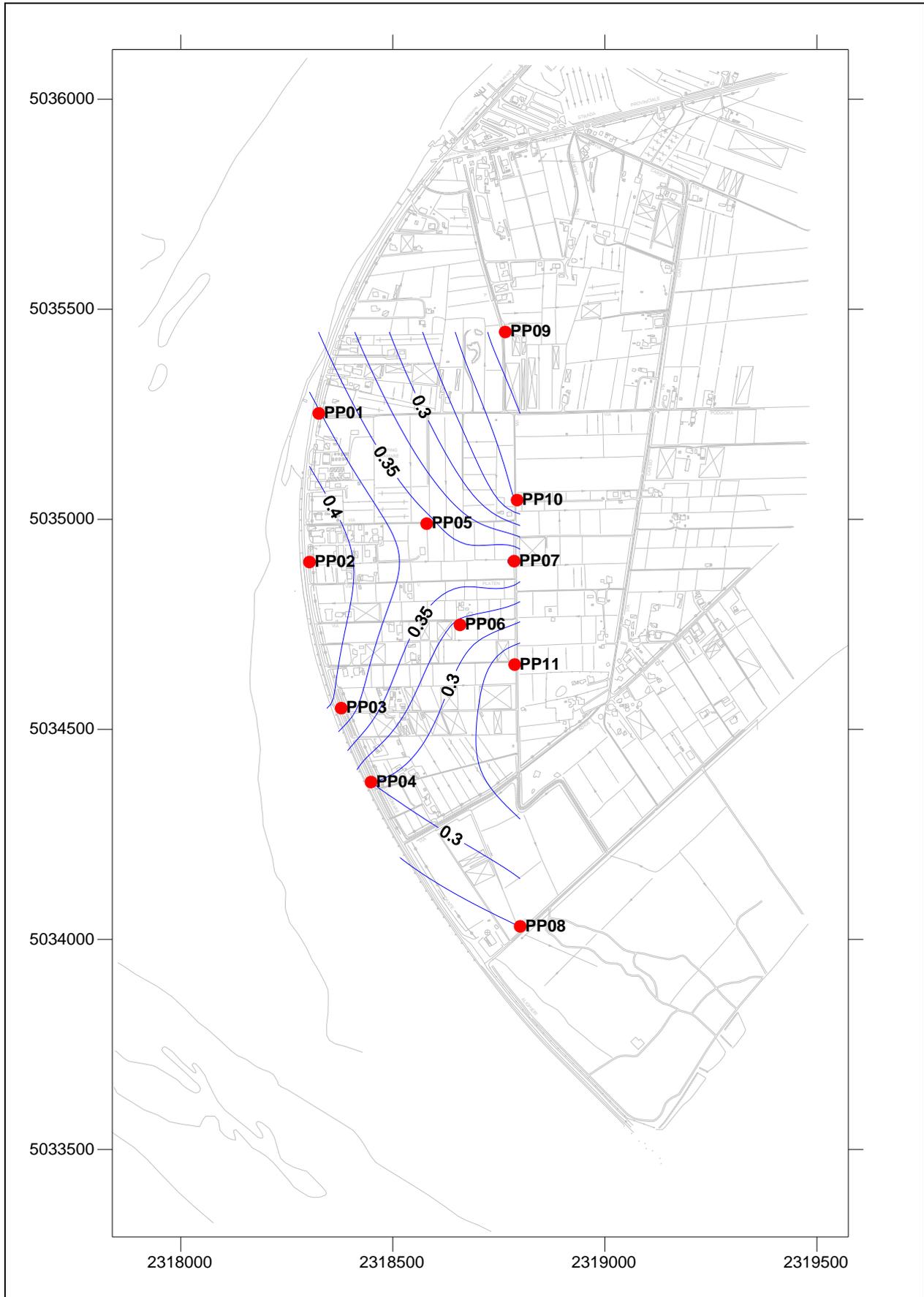


Fig.6. 9 - Piezometria profonda mese di novembre (h_{el} - m s.l.m.), 11 novembre 2006 - h.10:00

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

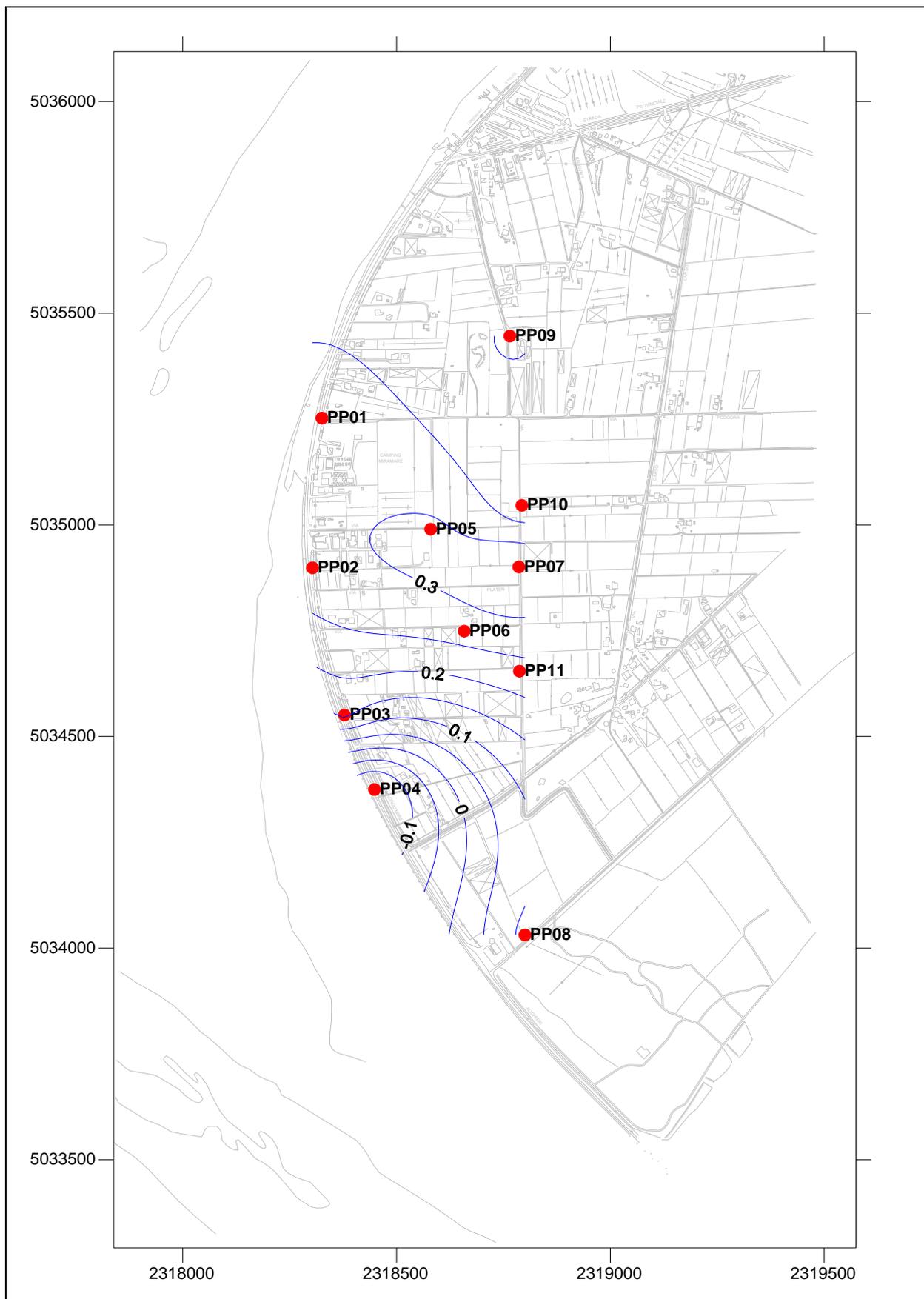


Fig.6. 10 - Piezometria profonda mese di dicembre (h_{fl} - m s.l.m.), 26 dicembre 2006 - h.09:00

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

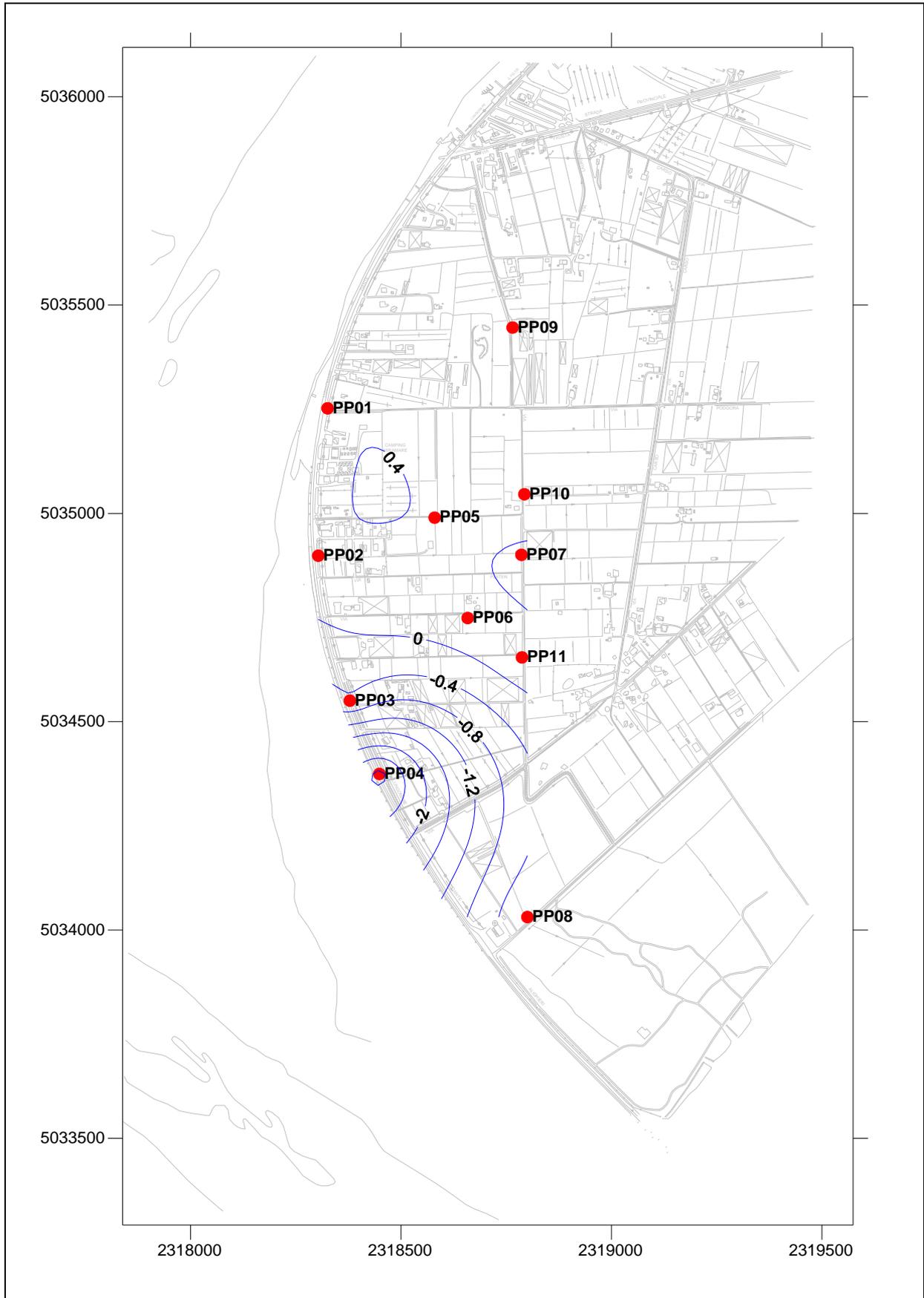


Fig.6. 11 - Piezometria profonda mese di gennaio (h_{hl} - m s.l.m.), 20 gennaio 2007 - h.3:00

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

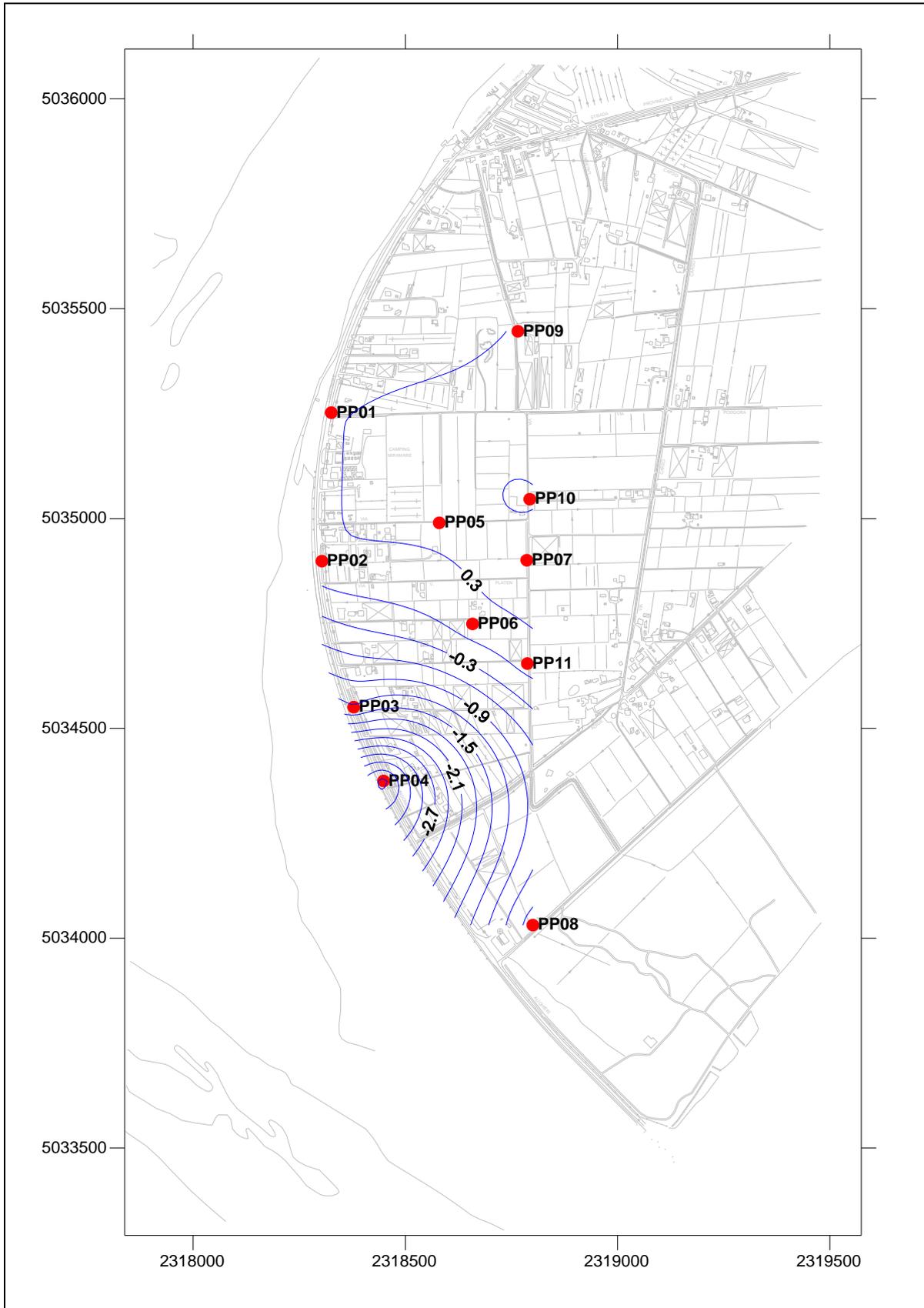


Fig.6. 12 - Piezometria profonda mese di febbraio (h_{d1} - m s.l.m.), 21 febbraio 2007 - h.16:00

7. 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.7.1):

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

Tab.7. 1 - Identificazione preliminare delle soglie ed azioni correttive

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

Sigla	ALI			ALM		
Evento	Alto livello istantaneo			Alto livello medio (24 h)		
Espressione	$h_{it} > z_t$			$\bar{h}_{it,24} > z_t$		
Causa	Naturale	Antropica		Naturale	Antropica	
		Varia	Cantiere		Varia	Cantiere
Azione	Valutare affidabilità dati Barologger	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 quadrimestre di monitoraggio è stato verificato il rispetto delle soglie indicate in Tab.7.1. Nel seguito sono indicati i superamenti:

- La soglia di Basso Livello Istantaneo non è stata rispettata nel piezometro profondo PP04 a partire dal 04/01/2007 e nel piezometro profondo PP03 a partire dal 24/01/2007;
- La soglia di basso livello medio non è stata rispettata nel piezometro profondo PP04 a partire dal 04/01/2007 e nel piezometro profondo PP03 a partire dall'11/02/2007;
- La soglia di Alto Livello Istantaneo non è stata rispettata nei piezometri superficiali PS08 e PS11 in data 12-13/02/2007;
- La soglia di alto livello medio non è stata rispettata nel piezometro superficiale PS08 in data 13/02/2007.

Nel caso dei piezometri superficiali il superamento delle soglie di alto livello è di origine naturale, essendo imputabile ad un evento meteorico piuttosto intenso, mentre nei piezometri profondi il superamento delle soglie di basso livello è correlato alle operazioni di svuotamento del bacino lato mare. In Figg. 7.1, 7.2 e 7.3 sono visualizzate le soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali: si notano i superamenti nei piezometri PS08 e PS11 nel mese di febbraio. In Figg. 7.4, 7.5 e 7.6 sono visualizzate le soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi: si notano i superamenti nei piezometri PP03 e PP04 a partire dal mese di gennaio.

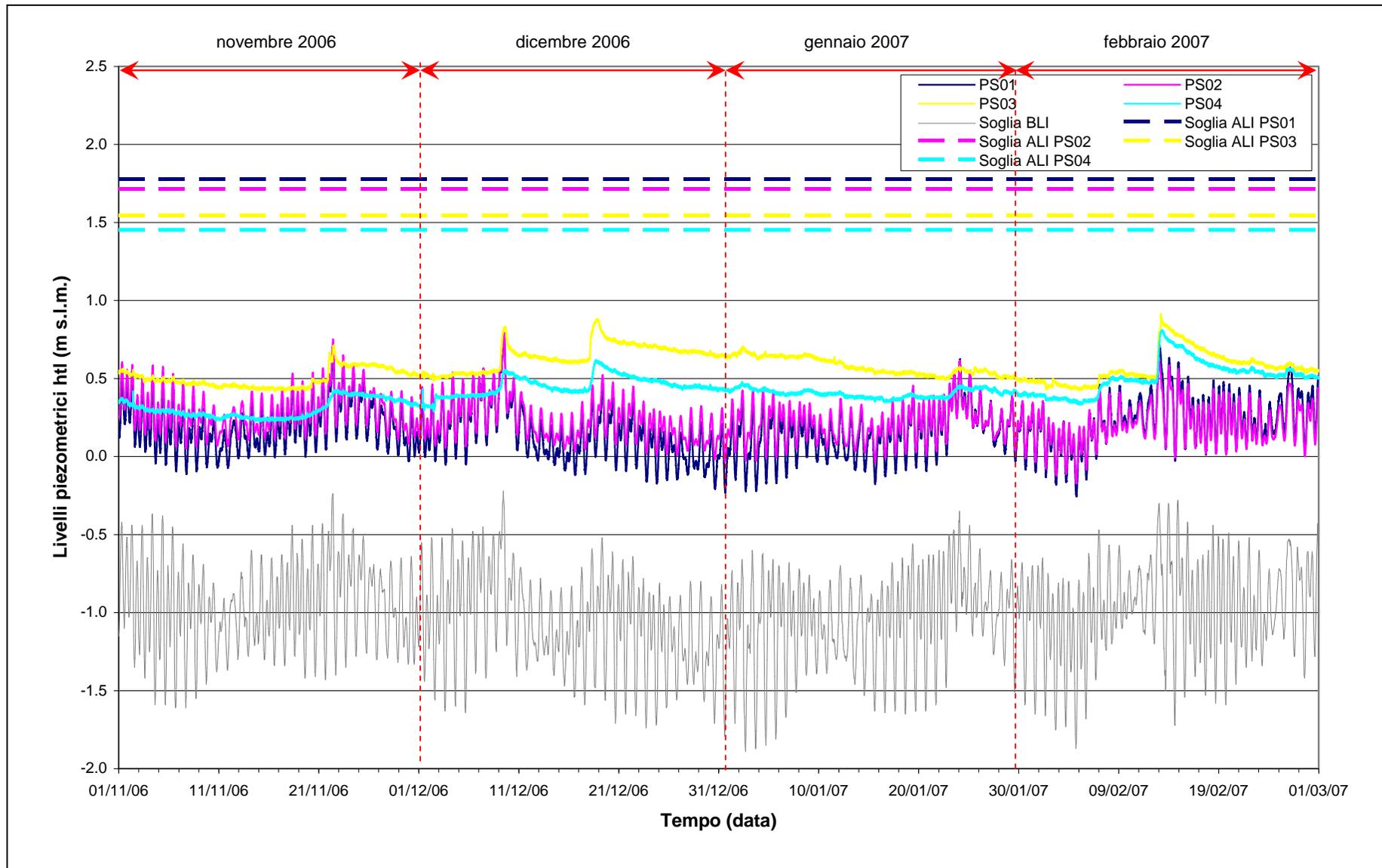


Fig.5.1 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS01, PS02, PS03, PS04

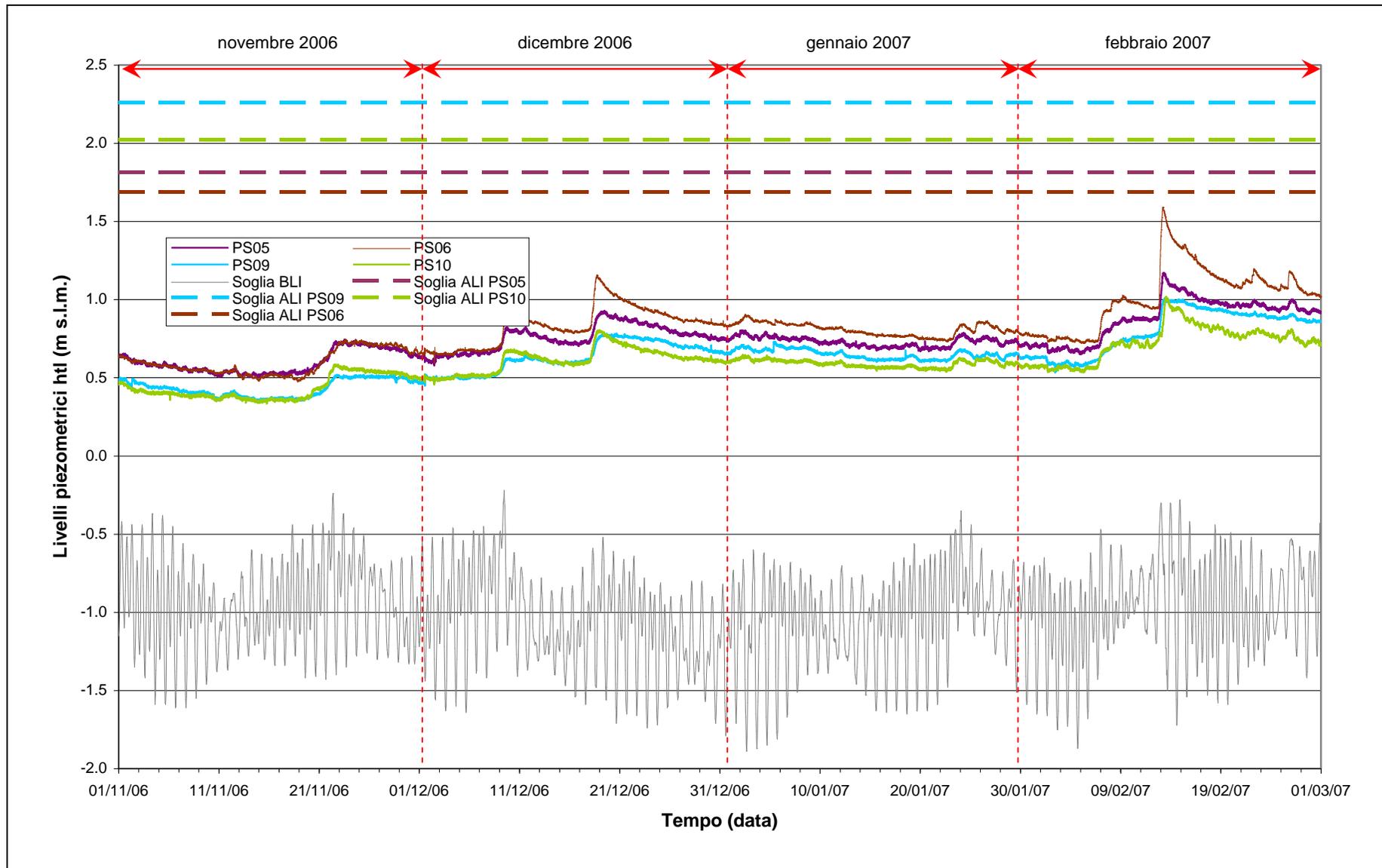


Fig.5.2 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS05, PS06, PS09, PS10

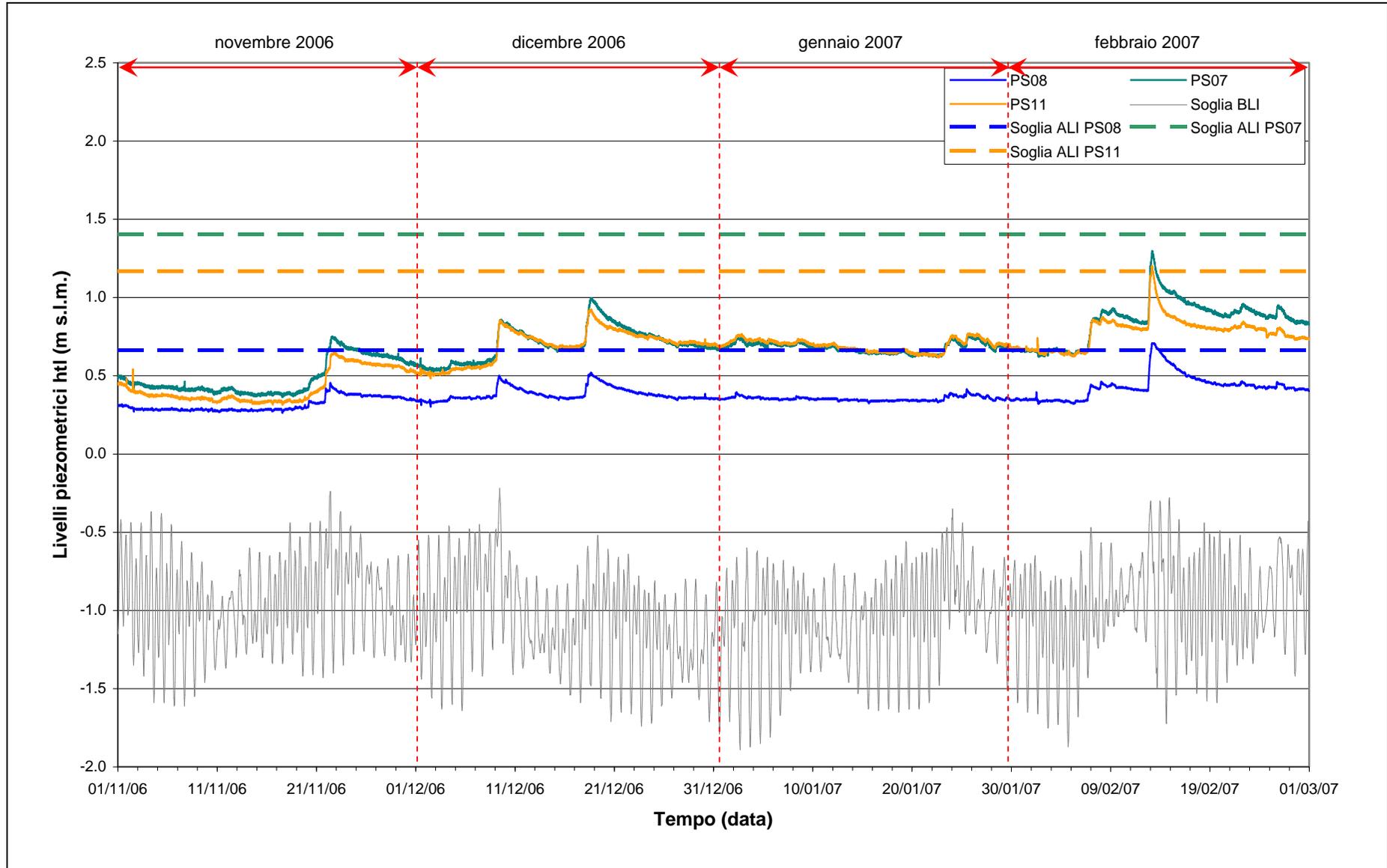


Fig.5.3 – Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri superficiali PS07, PS08, PS11

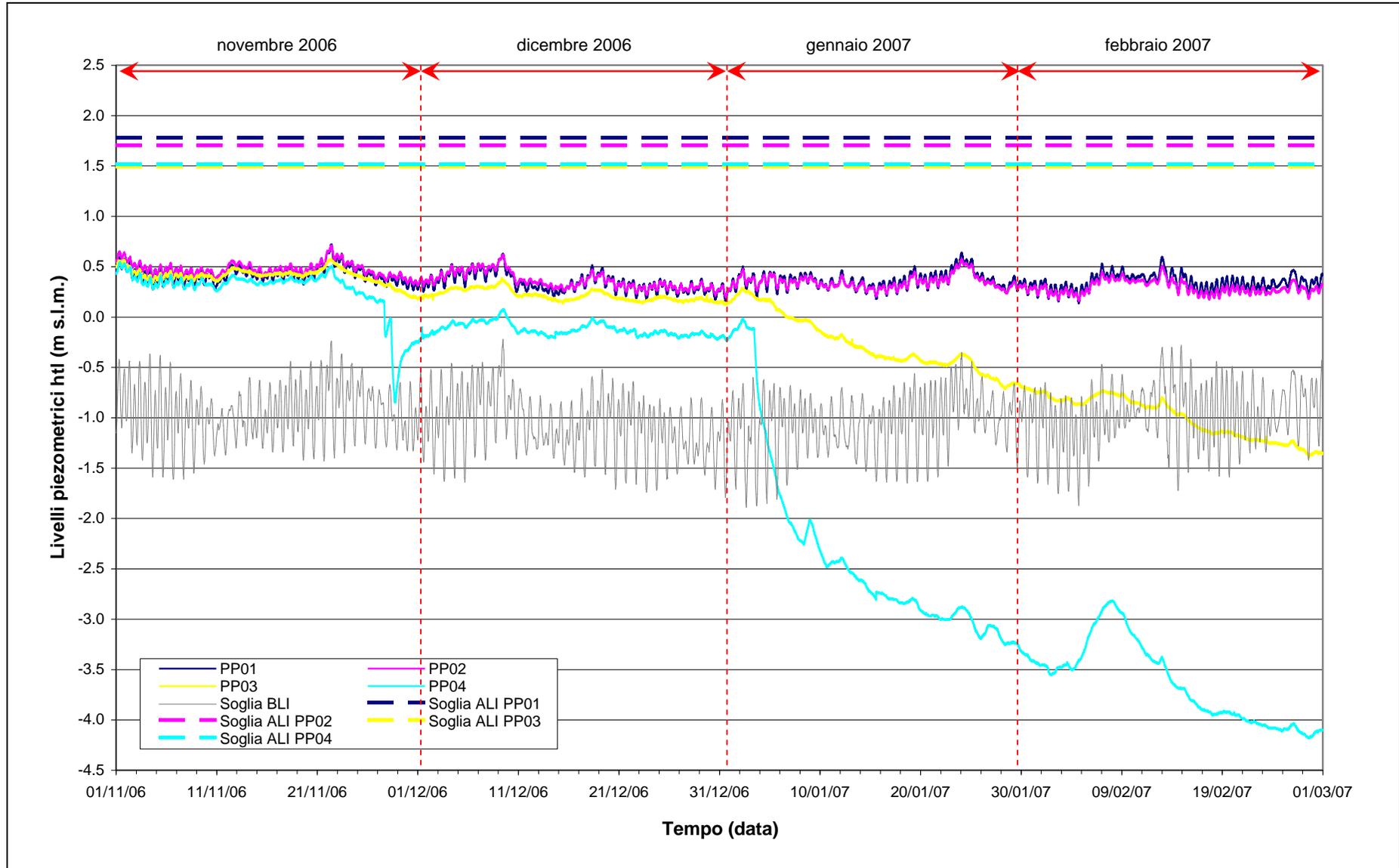


Fig.5.4 – Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP04

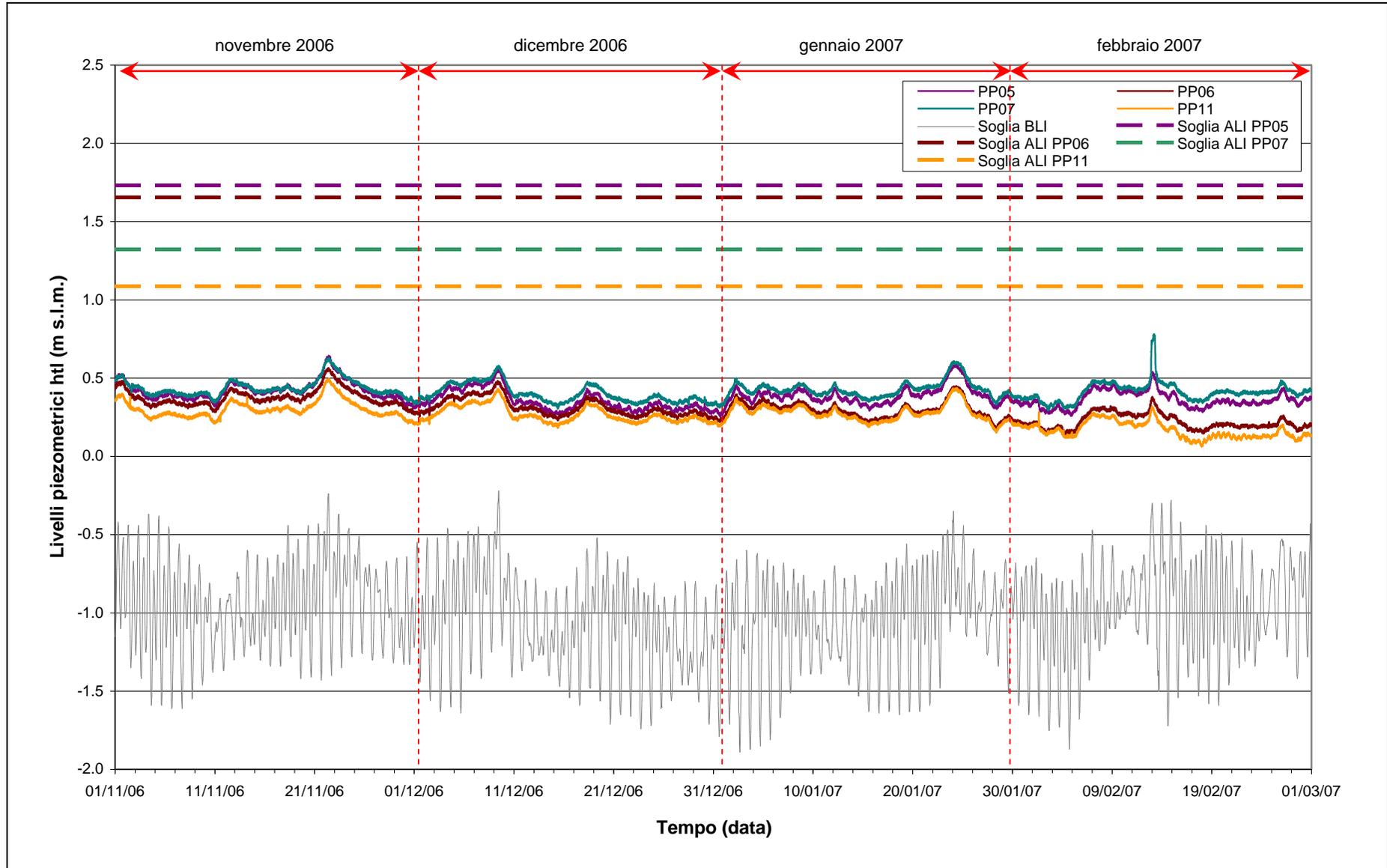


Fig.5.5 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP05, PP06, PP07, PP11

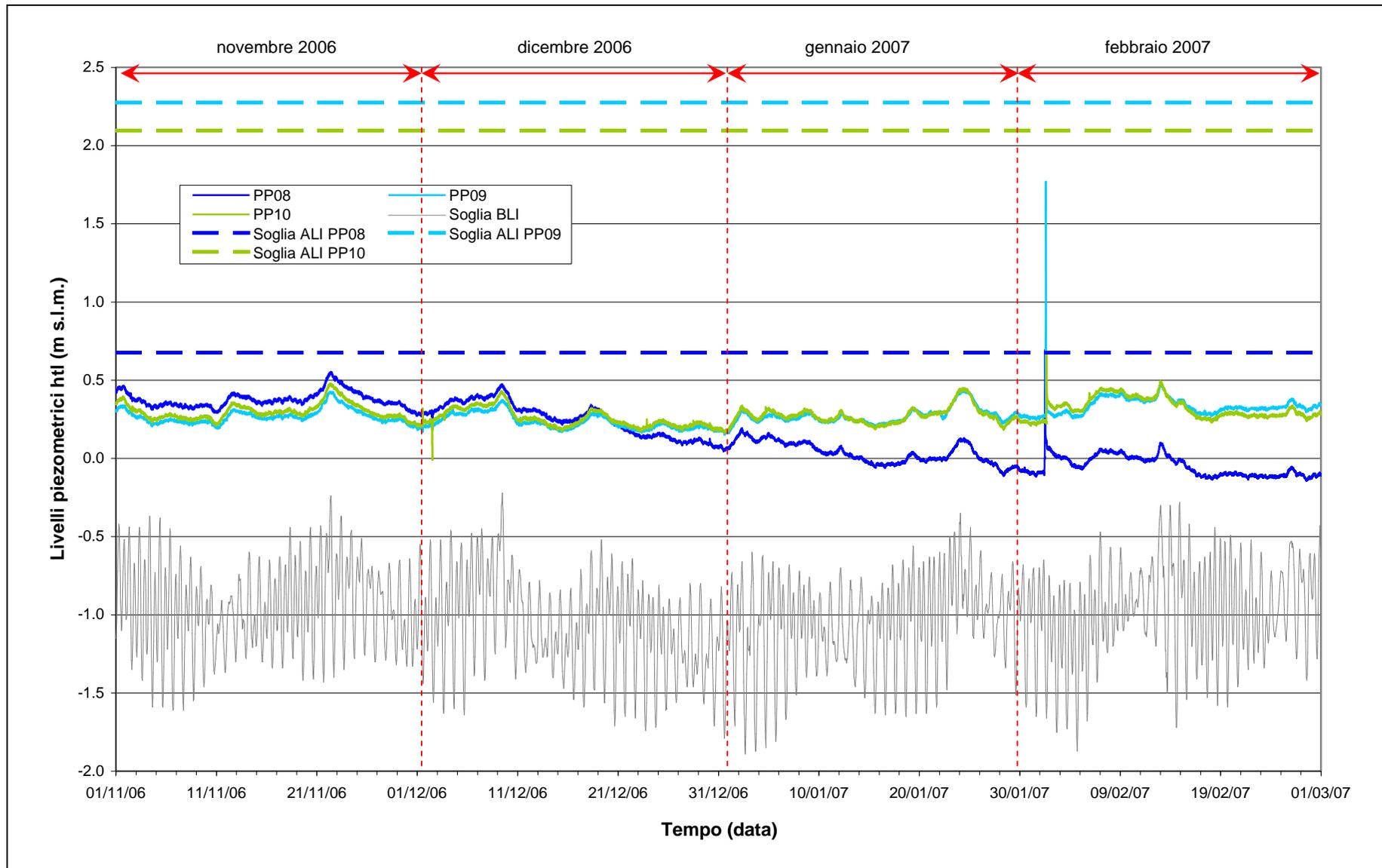


Fig.5.6 - Soglie di Alto e Basso Livello Istantaneo per i piezometri profondi PP08, PP09, PP10

8. CONCLUSIONI

Nell'ambito del Rapporto di Valutazione relativo al periodo di monitoraggio compreso tra il 1 novembre 2006 ed il 28 febbraio 2007 sono stati valutati gli andamenti dei livelli piezometrici all'interno del Primo e Secondo livello acquifero individuati dal Disciplinare Tecnico. Sono, inoltre, state analizzate le influenze delle forzanti naturali ed antropiche agenti sul sistema dinamico ed è stato effettuato uno studio sulla variazione spazio-temporale della densità dell'acqua di falda e della sua influenza sulla determinazione dei carichi idraulici.

Per quanto riguarda le influenze delle forzanti naturali, non si osservano grandi differenze da quanto rilevato durante i precedenti mesi di monitoraggio (III Rapporto di Valutazione, Studio B.6.72 B/1, novembre 2006).

Per quanto riguarda le influenze delle forzanti antropiche, invece, nei quattro mesi oggetto del monitoraggio le variazioni più significative attribuibili ad attività di cantiere sono state rilevate in corrispondenza dei due piezometri profondi PP03 e PP04 ed in maniera minore in corrispondenza di PP08, che hanno risentito dell'influenza del pompaggio per lo svuotamento del bacino lato mare. I livelli dell'acqua all'interno di questi piezometri, a partire dal giorno 03/01/2007 (data di inizio dello svuotamento) sono diminuiti, rispettivamente, di circa 1.6 m (PP03) e 4.0 m (PP04). Ciò ha determinato una variazione della direzione di flusso e del gradiente idraulico: le linee di flusso ora convergono verso il piezometro profondo PP04 ed il gradiente in quella zona è aumentato rispetto a quanto osservato durante la Fase A e nei mesi precedenti. Questa situazione ha, inoltre, causato il mancato rispetto delle soglie di Basso Livello Istantaneo e medio nei mesi di gennaio e febbraio.

Si suggerisce di accertare le cause che determinano gli abbassamenti anomali in corrispondenza dei piezometri profondi e, nell'eventualità il processo non raggiungesse la stazionarietà o coinvolgesse la falda superficiale, di studiare eventuali opere di mitigazione.