



**STUDIO B.6.72 B/I**  
**ATTIVITÀ DI RILEVAMENTO PER IL**  
**MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI PRODOTTI**  
**DALLA COSTRUZIONE DELLE OPERE ALLE**  
**BOCCHIE LAGUNARI**

Contratto prot.n. 31572 si/gce/fbe

**RAPPORTO DI VARIABILITÀ ATTESA**

S. Delforno (DITAG, Politecnico di Torino)

**Area: Suolo**  
**Macroattività: Livelli di falda**

23 Dicembre 2005

**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

**Supervisore macroattività**

**Responsabile d'Area**

**Approvazione**

Ing. Rajandrea Sethi

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta

Ing. Pierpaolo Campostrini

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

**Indice**

1.	INTRODUZIONE.....	3
2.	ACQUISIZIONE DEI DATI.....	5
2.1	Download dei dati.....	5
2.2	Anomalie riscontrate.....	6
3.	ANALISI DEI DATI.....	8
3.1	Misura del carico idraulico mediante trasduttori di livello .....	8
3.2	Descrizione delle forzanti naturali.....	9
3.2.1	Pressione atmosferica - $h_b$ .....	9
3.2.2	Precipitazioni.....	9
3.2.3	Livello del mare.....	11
3.3	Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A) .....	13
3.3.1	Battenti idrici non compensati - $h_{p-nc}$ .....	13
3.3.2	Battenti idrici compensati - $h_p$ .....	13
3.3.3	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ .....	16
3.3.4	Effetti delle precipitazioni.....	18
3.3.5	Effetti mareali .....	20
3.4	Piezometri profondi – secondo livello acquifero (Strato C) .....	22
3.4.1	Battenti idrici non compensati - $h_{p-nc}$ .....	22
3.4.2	Battenti idrici compensati - $h_p$ .....	22
3.4.3	Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_{tl}$ .....	25
3.4.4	Effetti delle precipitazioni.....	27
3.4.5	Effetti mareali .....	29
3.5	Studio piezometrico .....	31
3.5.1	Rilievo manuale.....	32
3.5.2	Rilievo mediante trasduttori di livello.....	33
3.5.2.1	Piezometria superficiale .....	34
3.5.2.2	Piezometria profonda .....	35
4.	DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI AZIONE .....	38
5.	CONCLUSIONI.....	40

## 1. INTRODUZIONE

Il presente documento descrive l'analisi dei dati di Fase A relativi al monitoraggio degli effetti delle attività del cantiere alla Bocca di Lido sulla falda idrica sotterranea, come previsto dal Disciplinare Tecnico (Studio B.6.72 B/I "Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari", Consorzio Venezia Nuova, 2004) ed illustrato nel Rapporto di Pianificazione Operativa.

La Fase A di monitoraggio prevede la valutazione della variabilità attesa nella situazione *ante operam* dei livelli di falda. A tale scopo è stata realizzata ed attrezzata una rete di monitoraggio dei livelli piezometrici, costituita da 11 postazioni doppie di misura (Fig. 1.1, Rapporto di Pianificazione Operativa). Lo schema concettuale adottato si basa sull'analisi delle risposte del sistema dinamico in relazione alle forzanti naturali agenti sullo stesso. Nel contesto specifico dello studio, il sistema è un acquifero multilivello, le forzanti sono quelle naturali, trattandosi della Fase A di monitoraggio, e le risposte sono i dati di livello registrati dai trasduttori automatici.

I dati acquisiti dai trasduttori di livello nel periodo 10 ottobre 2005 - 12 novembre 2005 sono stati, pertanto, elaborati e correlati alle forzanti naturali (pressione atmosferica, livello del mare e precipitazioni) agenti sul sistema.

Sono state, infine, definite alcune soglie di azione nel caso in cui i lavori di cantiere, ed in particolare il prosciugamento della tura (forzanti antropiche di cantiere), modificassero significativamente la piezometria dei due livelli acquiferi monitorati.

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

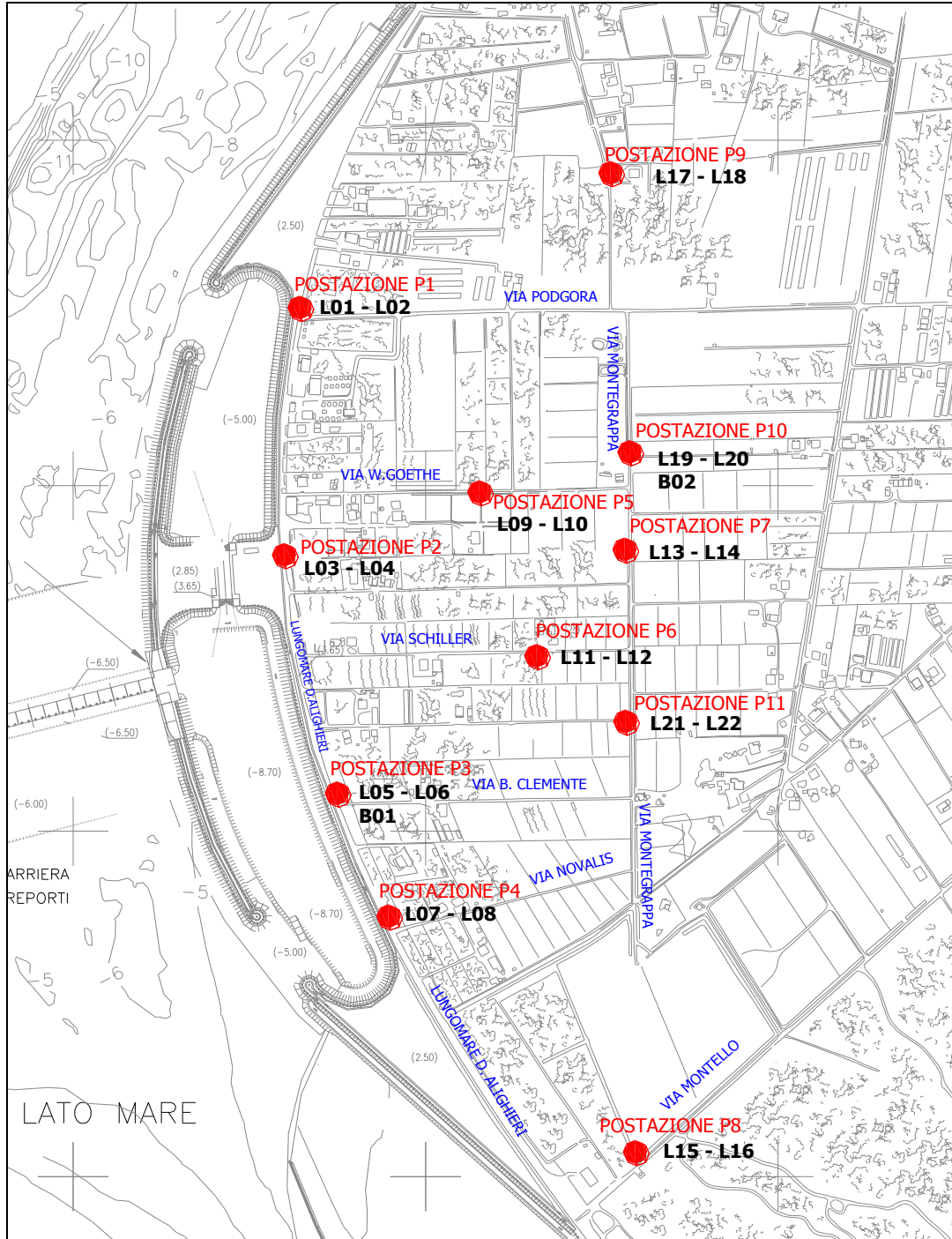


Fig.1.1 - Planimetria dell' Area di Monitoraggio ed ubicazioni delle postazioni di monitoraggio.

## 2. ACQUISIZIONE DEI DATI

Nel presente capitolo vengono descritte le modalità di scaricamento dati dai trasduttori di livello installati in corrispondenza delle 11 postazioni di monitoraggio bilivello, ed alcune anomalie riscontrate durante i sopralluoghi periodici.

### 2.1 Download dei dati

Lo scaricamento dei dati dai trasduttori di livello Levelogger e Barologger della Solinst è stato effettuato mediante le seguenti fasi:

- recupero del trasduttore di livello (Levelogger) dal piezometro mediante rocchetto avvolgicavo (Fig.2.1);
- scaricamento dei dati dal Levelogger al computer o al Leveloader II mediante porta a raggi infrarossi ubicata sulla faccia superiore dello strumento;
- analisi di eventuali anomalie nel tracciato delle misure tramite il “Solinst Levelogger Software v. 2.0.3” (Fig.2.2);
- sincronizzazione dell’orologio del trasduttore all’ora solare (UTC +1 h). Il riferimento temporale è fornito dall’Istituto Elettrotecnico Nazionale (IEN) Galileo Ferraris di Torino;
- reimpostazione del trasduttore;
- posizionamento dello strumento nel piezometro.



Fig.2.1 - Fase di recupero del trasduttore

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

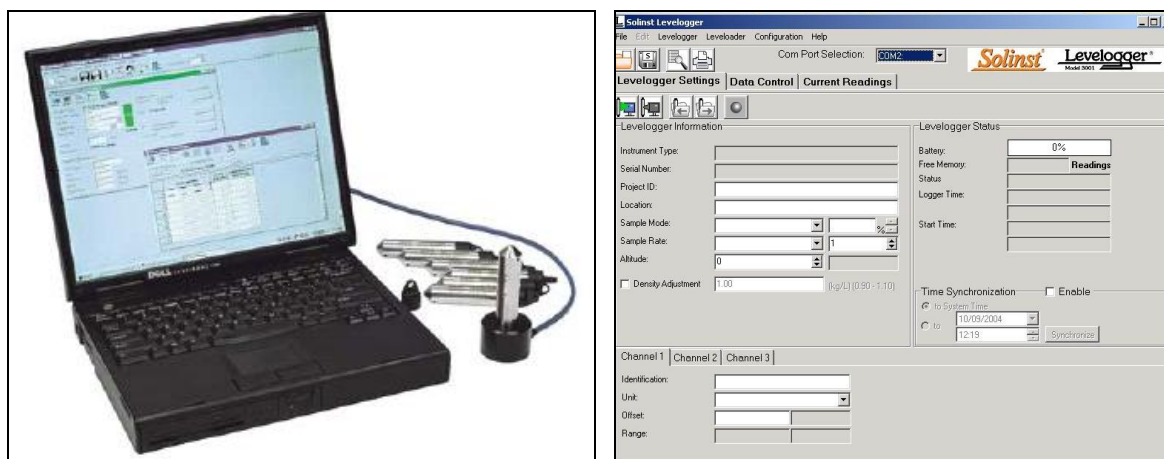


Fig.2.2 - Operazione di download dei dati e schermata del Solinst Levellogger Software v.2.0.3.

## 2.2 Anomalie riscontrate

Durante le fasi di scaricamento dei dati e di recupero dei trasduttori, sono state osservate evidenze di corrosione su alcuni dei cavi di sospensione in acciaio inox AISI 316 forniti dalla Solinst. Il cavo del trasduttore L04, posizionato in corrispondenza del piezometro PS02, è risultato tranciato, con conseguente perdita del Levellogger.

In occasione del rilievo topografico, condotto in data 21-24 novembre 2005, è stato tentato un recupero del trasduttore L04 mediante telecamera da pozzo dotata di uncino di presa (Fig.2.4). Il tentativo non ha avuto successo dal momento che il trasduttore risulta essere infisso al fondo del piezometro e parzialmente ricoperto da sabbia. Nel corso dei prossimi sopralluoghi verranno tentate ulteriori operazioni di recupero mediante aste rigide. Per ovviare a tali inconvenienti si provvederà, in futuro, alla sostituzione dei cavi in acciaio, con cavi in materiali plastici dotati di ridotto modulo elastico quali il Kevlar o il Vectran.

Analoghi fenomeni di corrosione sono stati osservati anche su alcuni trasduttori (Fig.2.3) e sono probabilmente imputabili all'elevata conduttanza specifica e salinità dell'acqua.



Fig.2.3 - Tracce di ossidazione rilevate su alcuni trasduttori

Un'altra anomalia riscontrata è relativa all'accumulo di acqua piovana all'interno dei pozzetti di protezione dei piezometri. Tale accumulo, particolarmente evidente in corrispondenza del

RAPPORTO VARIABILITÀ ATTESA



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

piezometro PP11, è stato eliminato praticando una serie di fori nel basamento dei pozzetti carrabili.

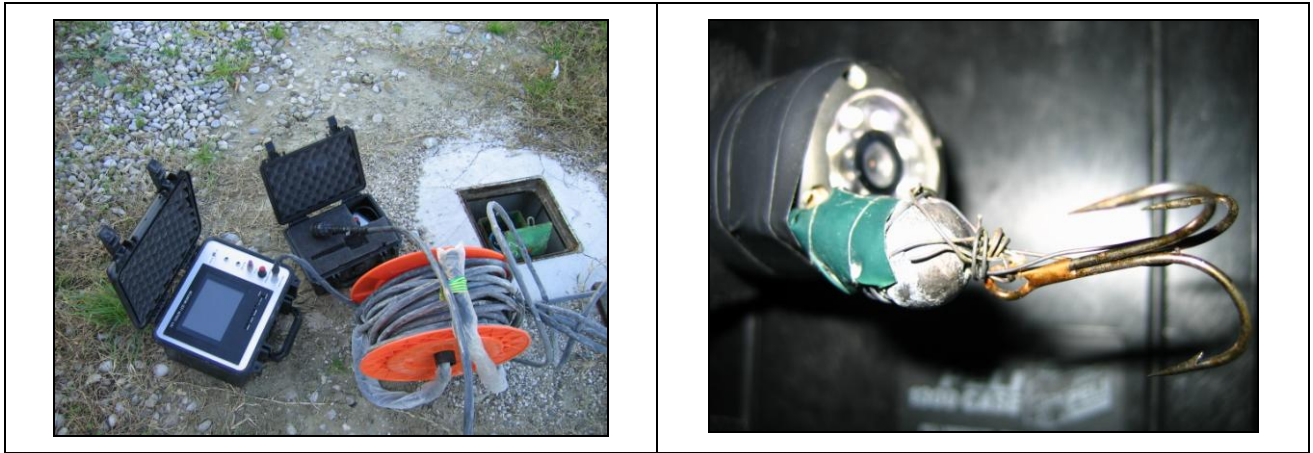


Fig.2.4 - Telecamera da pozzo dotata di uncino di presa.

### 3. ANALISI DEI DATI

In questo capitolo vengono analizzate le risposte del sistema dinamico, registrate dai trasduttori di livello nel periodo compreso tra il 10/10/2005 ed il 12/11/2005, all'azione delle forzanti naturali.

#### 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 e Fig.3.1):

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

dove:

$z_t$  quota ortometrica assoluta del punto di riferimento (si veda il Rapporto di pianificazione operativa);

$l_{cc}$  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.

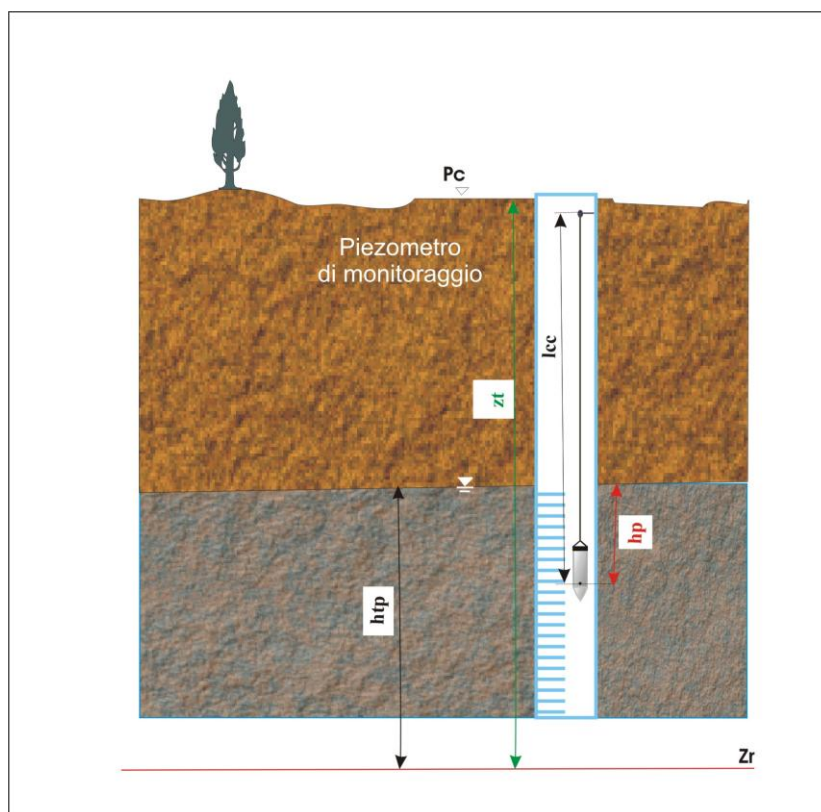


Fig.3.1 - Misura del carico idraulico con trasduttore di pressione.



### 3.2 Descrizione delle forzanti naturali

Di seguito vengono descritti e presentati i dati relativi alle forzanti naturali che concorrono alla determinazione dei livelli piezometrici dei livelli acquiferi:

- pressione atmosferica registrata dai 2 Barologger;
- precipitazioni registrate dalla stazione meteorologica gestita dalla “Matrice Aria - Agenti Chimici”;
- oscillazioni mareali registrate dal mareografo Diga Sud Lido (stazione di monitoraggio meteorologico dell’Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree);
- altro.

#### 3.2.1 Pressione atmosferica - $h_p$

I dati acquisiti dai Barologger B01 e B02, posizionati in corrispondenza dei piezometri PP03 e PP10, sono riportati in Allegato 1 e rappresentati in Fig.3.2.

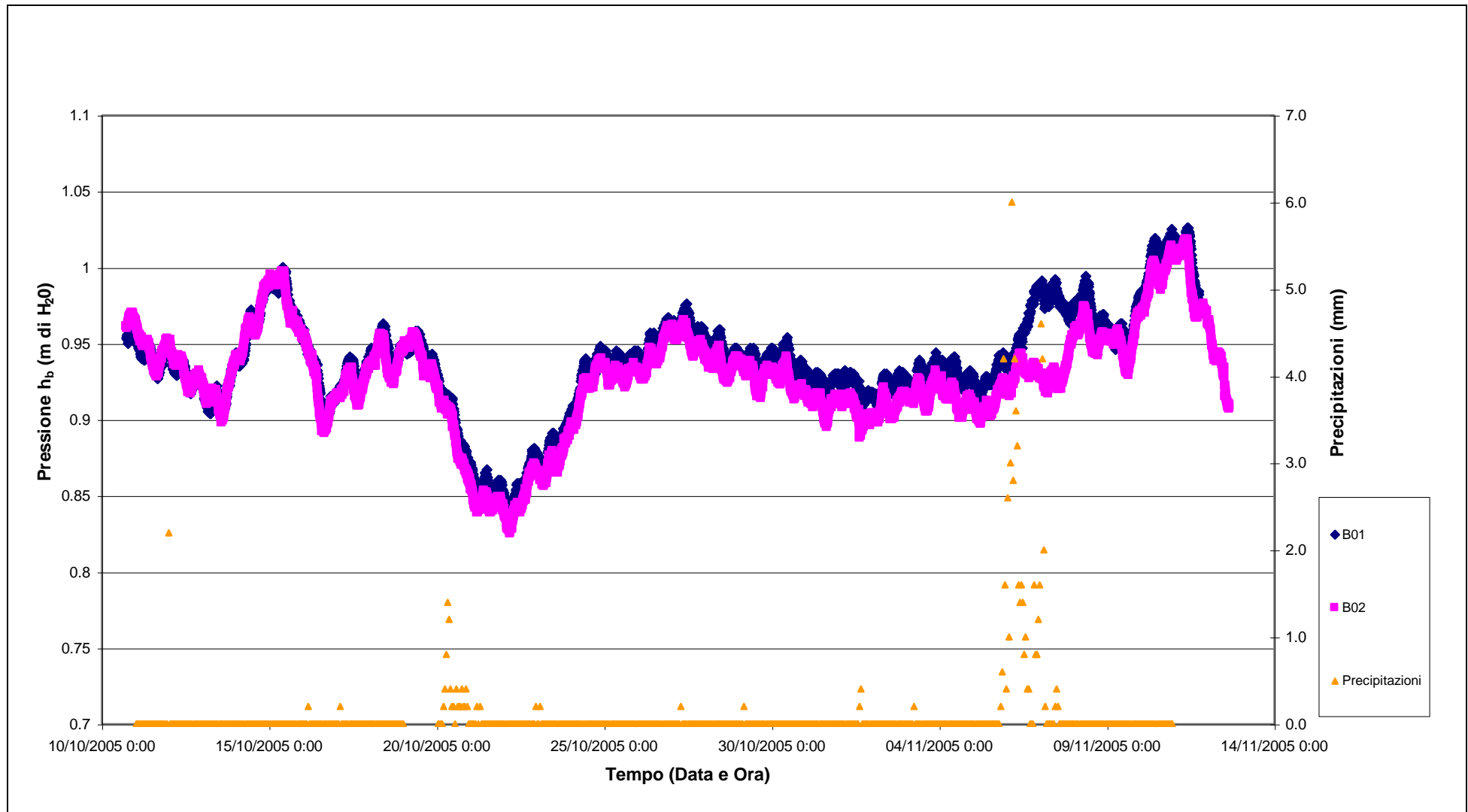
Da un’analisi dei tracciati di misura è possibile osservare come i dati registrati dai due strumenti siano in buon accordo se si eccettua l’intervallo temporale compreso tra il 06/11/05 ed il 07/11/05. In questo lasso di tempo, coincidente con un evento piovoso intenso (si veda il paragrafo successivo), probabilmente il Barologger B01, posto all’interno del pozzetto, è stato sommerso dall’acqua, registrando valori anomali della pressione.

Alla luce di quanto sopra esposto, il tracciato di misura del Barologger B02 è considerato il più attendibile e verrà utilizzato nella successiva fase di compensazione. Per evitare fenomeni analoghi, entrambi i Barologger sono stati alloggiati all’interno della tubazione piezometrica.

#### 3.2.2 Precipitazioni

La stazione di monitoraggio della “Matrice Aria - Agenti Chimici”, ha registrato, nel periodo di monitoraggio di Fase A, due eventi meteorici significativi (Fig.3.2):

- il primo evento piovoso è iniziato il 20 ottobre 2005, è durato 17 ore ed ha totalizzato almeno 7.2 mm di pioggia (i dati delle precipitazioni sono incompleti);
- il secondo evento piovoso è iniziato il 5 novembre 2005, è durato 32 ore ed ha totalizzato 59.8 mm di pioggia.

Fig.3.2- Tracciati di misura dei Barologger B01 e B02 ( $h_b$ ) ed andamento delle precipitazioni.

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

**3.2.3** *Livello del mare*

Il mareografo Diga Sud Lido ha registrato, nel periodo di monitoraggio di Fase A, i livelli del mare riportati in Fig.3.3.

Il tracciato di misura è caratterizzato dalla ciclicità tipica dell'andamento mareale. Si notano, infatti, i periodi di plenilunio (17-18 ottobre 2005) e di novilunio (2-3 novembre 2005).

In Tab.3.1 sono riportate le ampiezze d'onda ed i livelli marini in corrispondenza dei quattro periodi di osservazione ed una media mensile.

Tab. 3.1 - Studio dell'ampiezza d'onda e dei livelli marini.

	<b>10 - 17 ott</b>	<b>17 - 24 ott</b>	<b>24 ott - 01 nov</b>	<b>1 - 8 nov</b>	<b>Intero periodo</b>
<b>Ampiezza</b>	0.776 m	0.764 m	0.702 m	0.845 m	0.805 m
<b>Livello</b>	0.242 m	0.344 m	0.250 m	0.329 m	0.284 m

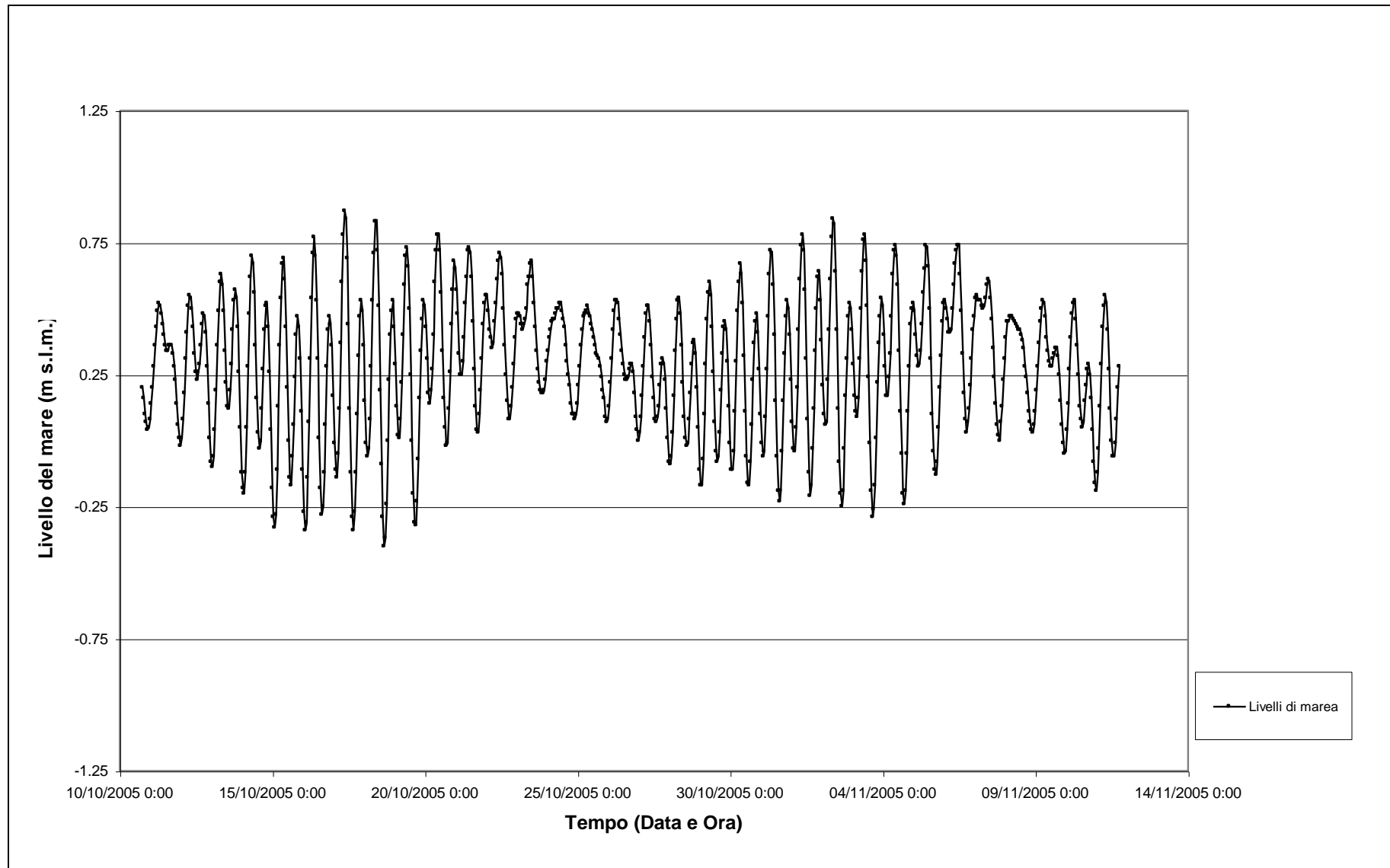


Fig.3.3 - Livello del mare misurato in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido.

### **3.3 Piezometri superficiali – primo livello acquifero (Strato A)**

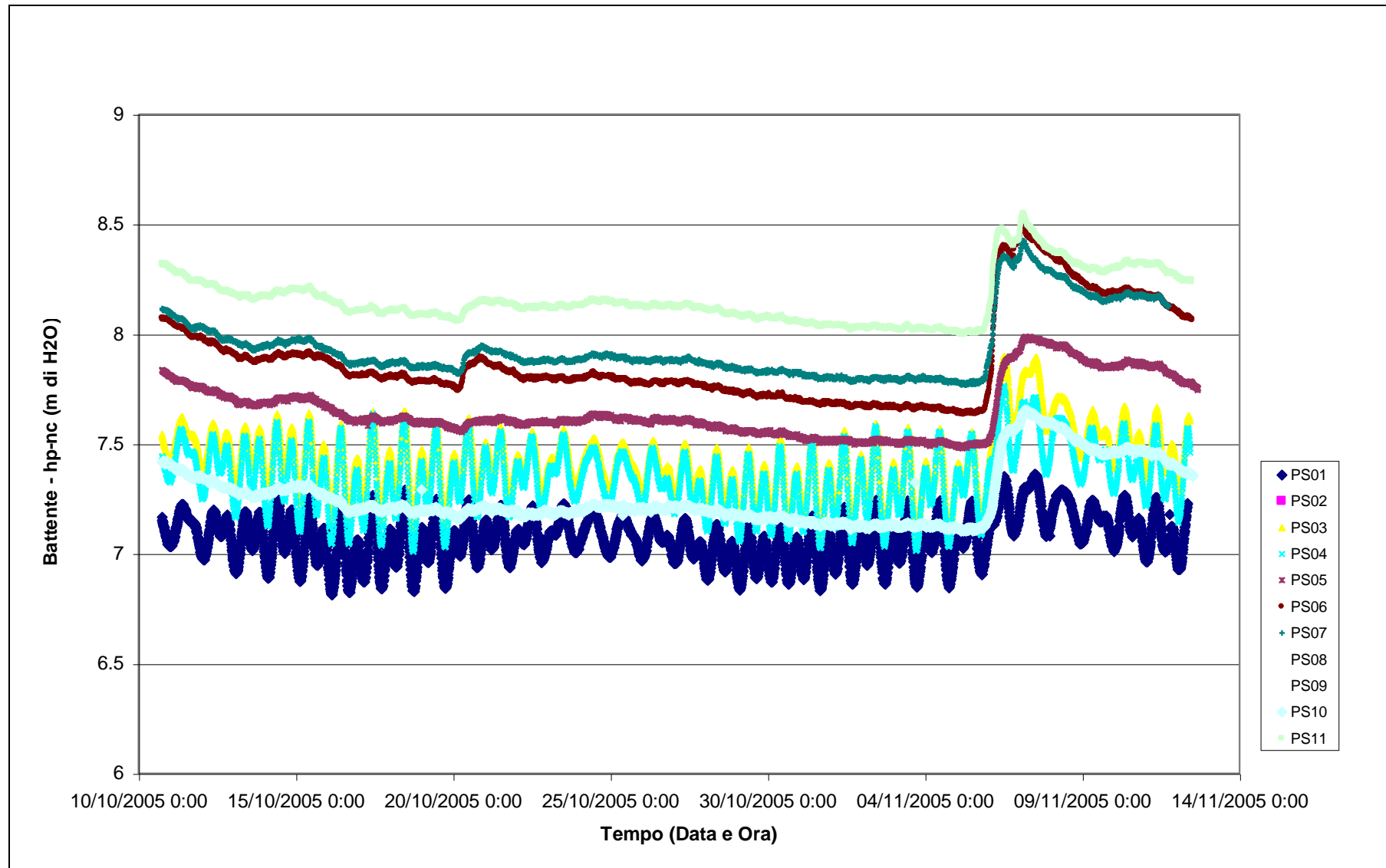
Di seguito vengono descritti gli andamenti in funzione del tempo dei battenti idrici non compensati e dopo compensazione, e dei livelli piezometrici registrati in corrispondenza degli 11 piezometri superficiali (ad eccezione del PS02) finestrati in corrispondenza del primo livello acquifero (strato A).

#### **3.3.1 Battenti idrici non compensati - $h_{p-nc}$**

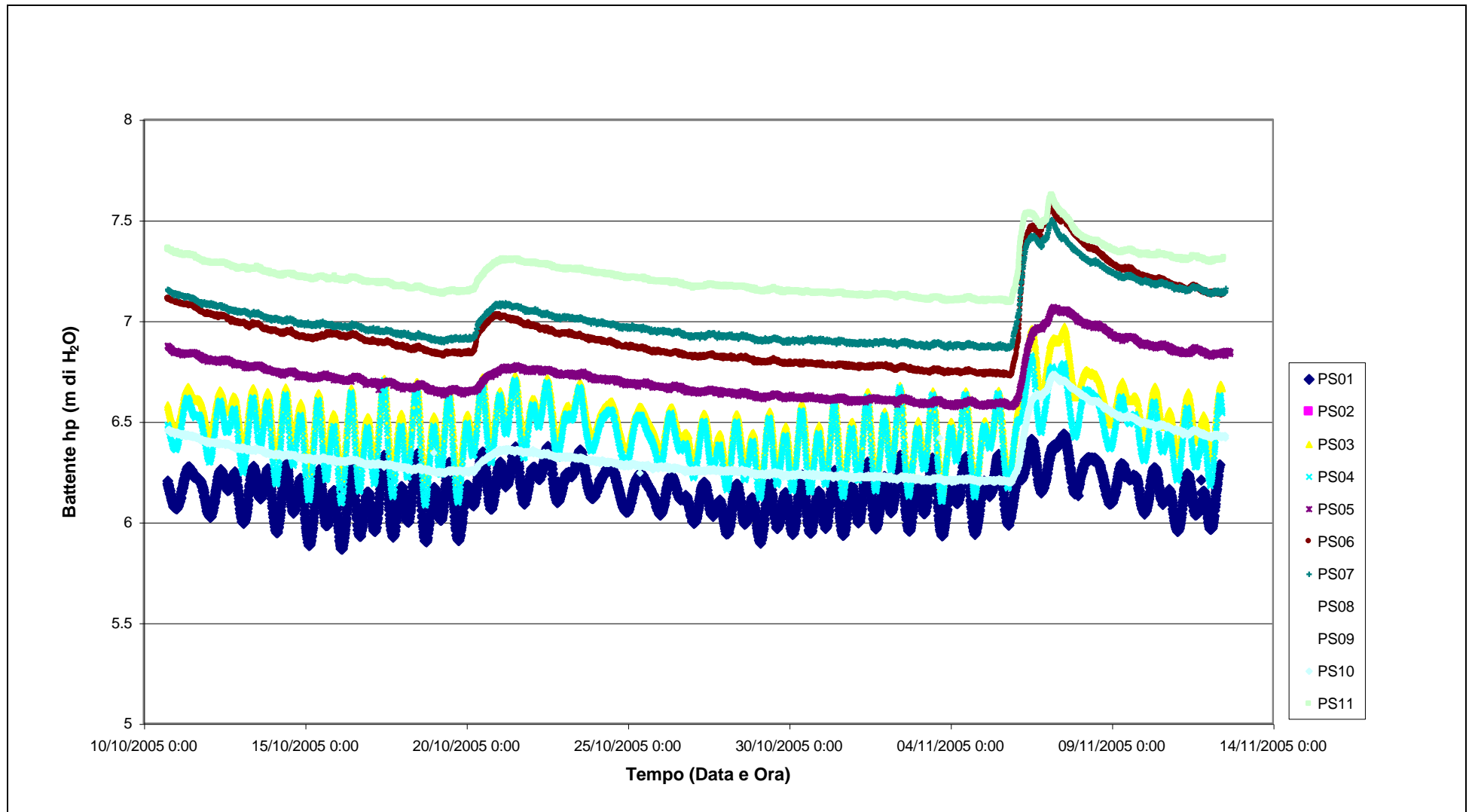
I battenti idrici non compensati registrati dai Levelogger sono riportati in Allegato 2 e rappresentati in Fig.3.4 I dati non presentano andamenti anomali.

#### **3.3.2 Battenti idrici compensati - $h_p$**

I battenti idrici compensati con la pressione atmosferica, espressa in metri di colonna d'acqua, registrata dal Barologger B02 sono riportati in Allegato 3 e rappresentati in Fig.3.5. È possibile notare una regolarizzazione dei tracciati imputabile alla depurazione dalla pressione atmosferica.

Fig.3.4 - Battenti non compensati ( $h_{p-nc}$ ) acquisiti nei piezometri superficiali.



Fig.3.5 - Battenti compensati ( $h_p$ ) acquisiti nei piezometri superficiali.

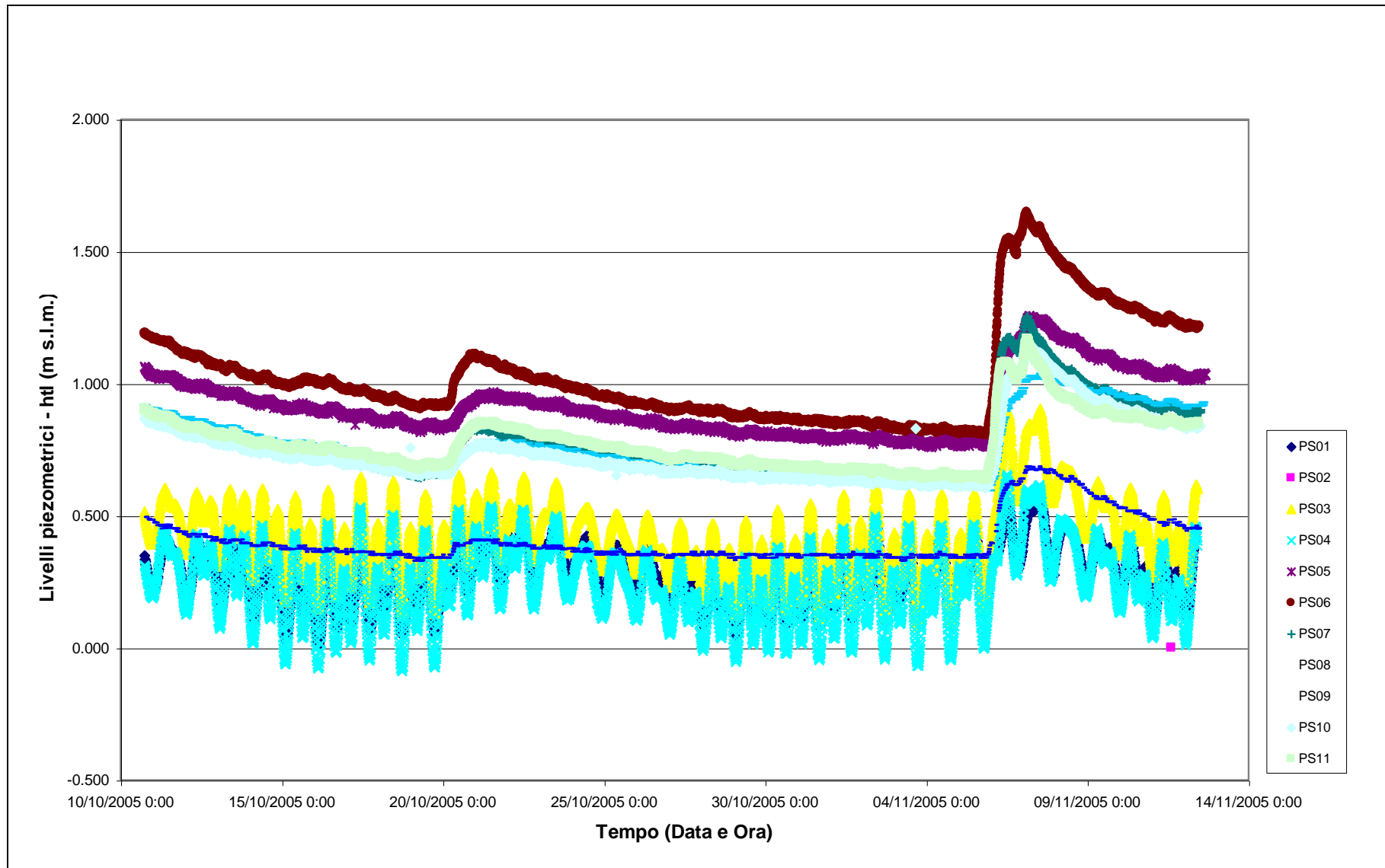
### 3.3.3 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_H$

I livelli piezometrici assoluti sono stati calcolati e riportati in Allegato 4 e rappresentati in Fig.3.6.

Dall'analisi dei tracciati riportati in Fig.3.6 è possibile osservare come i piezometri superficiali siano, in misura diversa, sensibili alle forzanti naturali:

- i piezometri PS01, PS03 e PS04 posti in prossimità del Lungomare Dante Alighieri sono caratterizzati da un andamento sinusoidale correlabile alle evoluzioni mareali ed influenzato dalle fasi lunari;
- 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 che non sono caratterizzati da andamento sinusoidale, ma da un trend regolare influenzato in modo rilevante dai fenomeni meteorologici.

L'influenza di questi fenomeni fisici verrà illustrata separatamente nei paragrafi seguenti.

Fig.3.6 - Livelli piezometrici ( $h_t$ ) relativi ai piezometri superficiali.

### 3.3.4 *Effetti delle precipitazioni*

Nel periodo di monitoraggio costituente la Fase A, si sono verificati due eventi meteorici di diversa intensità che hanno provocato sui piezometri superficiali risposte differenti.

Il primo evento piovoso, caratterizzato da almeno 7.2 mm di pioggia totali in 17 ore, si è verificato il 20 ottobre 2005, ed ha determinato, in corrispondenza dei piezometri PS05, PS06, PS07, PS08, PS09, PS10 e PS11, variazioni di livello comprese tra 0.025 m e 0.16 m. In Fig.3.7 è possibile notare come il ripristino dei livelli iniziali sia avvenuto dopo circa 5 giorni dall'evento meteorico. I livelli dei piezometri PS01, PS03 e PS04 sono influenzati in maniera modesta dall'evento.

Il secondo evento meteorico, verificatosi tra il 5 ed il 7 novembre 2005, è decisamente più intenso del precedente ed è caratterizzato da 59.8 mm di pioggia totali in 32 ore. In corrispondenza di tale evento, tutti i piezometri mostrano una marcata escursione dei livelli: nel caso dei piezometri PS05, PS06, PS07, PS08, PS09, PS10 e PS11, l'andamento lineare è interrotto da una brusca curva di risalita, che registra variazioni di livello più marcate e comprese tra 0.344 m e 0.793 m (Tab.3.2). L'intensità del secondo evento meteorico è tale da modificare anche i livelli registrati dai piezometri PS01, PS03 e PS04.

Tab.3.2 – Statistiche relative all'influenza delle precipitazioni sui livelli registrati nei piezometri superficiali, interni all'Area di Monitoraggio.

Piezometro Superficiale	Primo evento meteorico			Secondo evento meteorico		
	Livello piezometrico medio prima della precipitazione (m s.l.m.)	Max escursione (m)	Rapporto altezza di pioggia/Max escursione	Livello piezometrico medio prima della precipitazione (m s.l.m.)	Max escursione (m)	Rapporto altezza di pioggia/Max escursione
PS05	0.920	0.124	n. d.	0.801	0.456	0.131
PS06	1.015	0.160	n. d.	0.855	0.793	0.075
PS07	0.746	0.146	n. d.	0.649	0.606	0.098
PS08	0.384	0.025	n. d.	0.346	0.344	0.174
PS09	0.783	0.087	n. d.	0.643	0.389	0.153
PS10	0.735	0.100	n. d.	0.639	0.507	0.118
PS11	0.766	0.140	n. d.	0.678	0.490	0.122

n.d.: si ricorda che durante la prima precipitazione si è verificato un malfunzionamento del pluviometro che rende impossibile un calcolo esatto dell'altezza di pioggia.

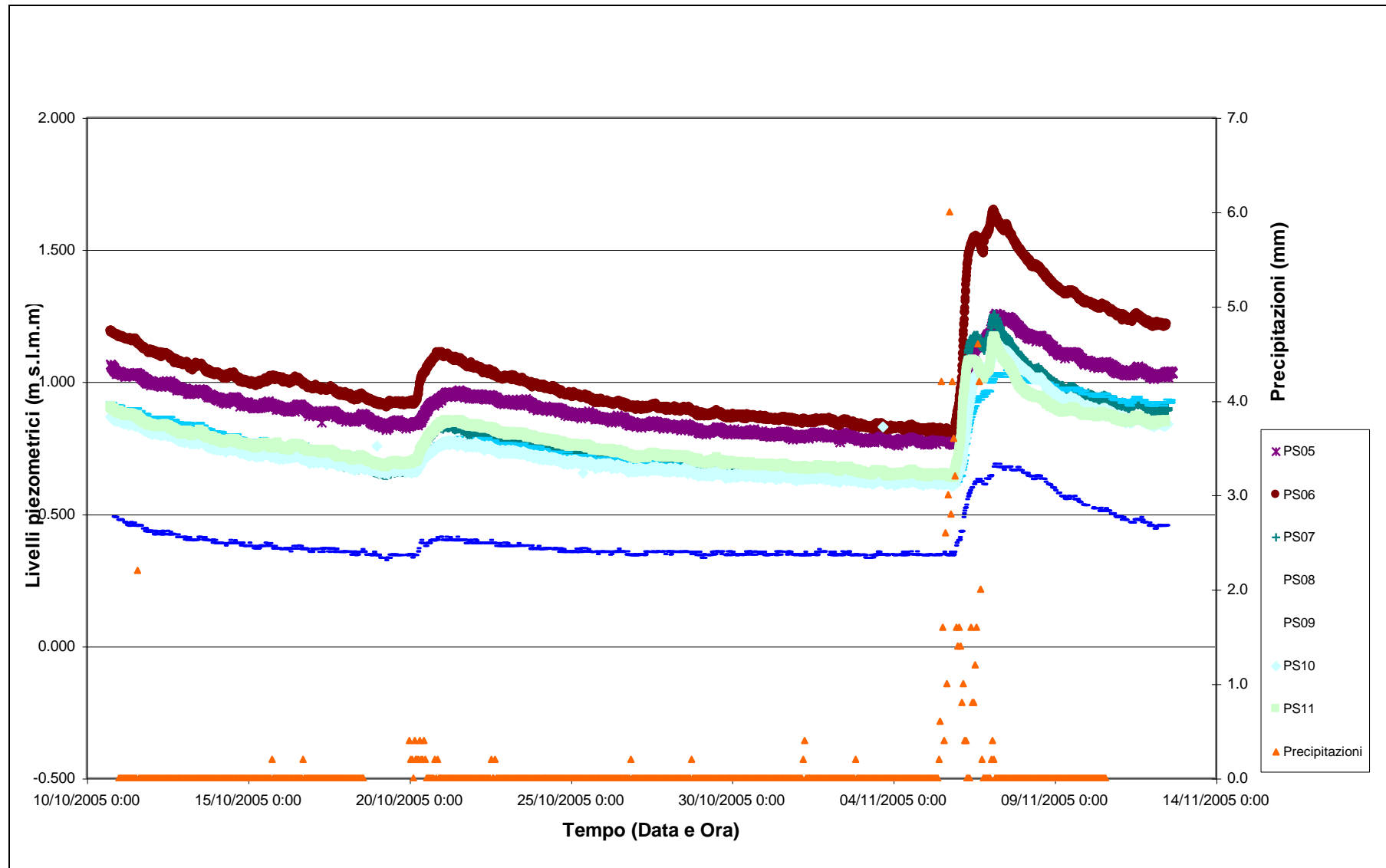


Fig.3.7- Livelli piezometrici dei piezometri superficiali interni all'area e precipitazioni.

### 3.3.5 Effetti mareali

In Fig.3.8, è possibile confrontare i tracciati di misura dei trasduttori posizionati in corrispondenza dei piezometri PS01, PS03 e PS04 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.

Come è possibile osservare in Fig.3.8, i livelli registrati in corrispondenza dei piezometri sono sempre contenuti all'interno delle oscillazioni mareali, tranne durante il secondo evento meteorico. Da un'analisi dei dati si riscontra uno sfasamento di circa due ore tra le oscillazioni mareali e quelle piezometriche.

In Tab.3.3 sono riportate le ampiezze d'onda medie calcolate sull'intero mese di osservazione e le ampiezze calcolate in corrispondenza dei quattro periodi di osservazione, coincidenti con le fasi lunari: l'ampiezza non subisce variazioni significative, se non in corrispondenza dei due eventi piovosi (compresi nei periodi di osservazione: 17-24 ottobre 2005 e 1-8 novembre 2005). In Tab.3.3 è possibile notare come le ampiezze d'onda dei livelli piezometrico siano comprese tra il 37% ed il 49% delle ampiezze di oscillazione del livello marino.

Invece, in Tab.3.4 è riportato il confronto tra i livelli piezometrici medi riscontrati in corrispondenza dei piezometri superficiali PS01, PS03 e PS04 ed i livelli marini medi: è possibile notare come in corrispondenza del piezometro PS04 il livello piezometrico si mantenga costantemente inferiore al livello marino durante l'intero mese di osservazione, mentre differenze meno trascurabili sono osservabili in corrispondenza dei piezometri PS03 e PS01.

Tab.3.3 - Ampiezze d'onda assolute e relative dei livelli piezometrici.

Periodo	10 - 17 ott		17 - 24 ott		24 ott - 01 nov		1 - 8 nov		Intero periodo	
	Ass. (m)	Rel. Mare (%)	Ass. (m)	Rel. Mare (%)	Ass. (m)	Rel. Mare (%)	Ass. (m)	Rel. Mare (%)	Ass. (m)	Rel. Mare (%)
PS01	0.304	39	0.306	40	0.266	38	0.329	39	0.298	37
PS02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PS03	0.319	41	0.351	46	0.329	47	0.439	52	0.352	44
PS04	0.397	51	0.411	54	0.365	52	0.444	53	0.398	49
livello del mare	0.776	100	0.764	100	0.702	100	0.845	100	0.805	100

Tab.3.4 - Confronto tra i livelli piezometrici e marini medi.

Periodo	10 - 17 ott		17 - 24 ott		24 ott - 01 nov		1 - 8 nov		Intero periodo	
	$\bar{h}_{tp}$ (m)	Diff. (m)	$\bar{h}_{tp}$ (m)	Diff. (m)	$\bar{h}_{tp}$ (m)	Diff. (m)	$\bar{h}_{tp}$ (m)	Diff. (m)	$\bar{h}_{tp}$ (m)	Diff. (m)
PS01	0.264	0.022	0.325	- 0.019	0.238	- 0.012	0.338	0.051	0.289	0.005
PS02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PS03	0.428	0.186	0.441	0.097	0.337	0.087	0.485	0.156	0.424	0.14
PS04	0.237	- 0.005	0.278	- 0.066	0.180	- 0.07	0.301	- 0.028	0.248	-0.036
livello del mare	0.242	0	0.344	0	0.250	0	0.329	0	0.284	0



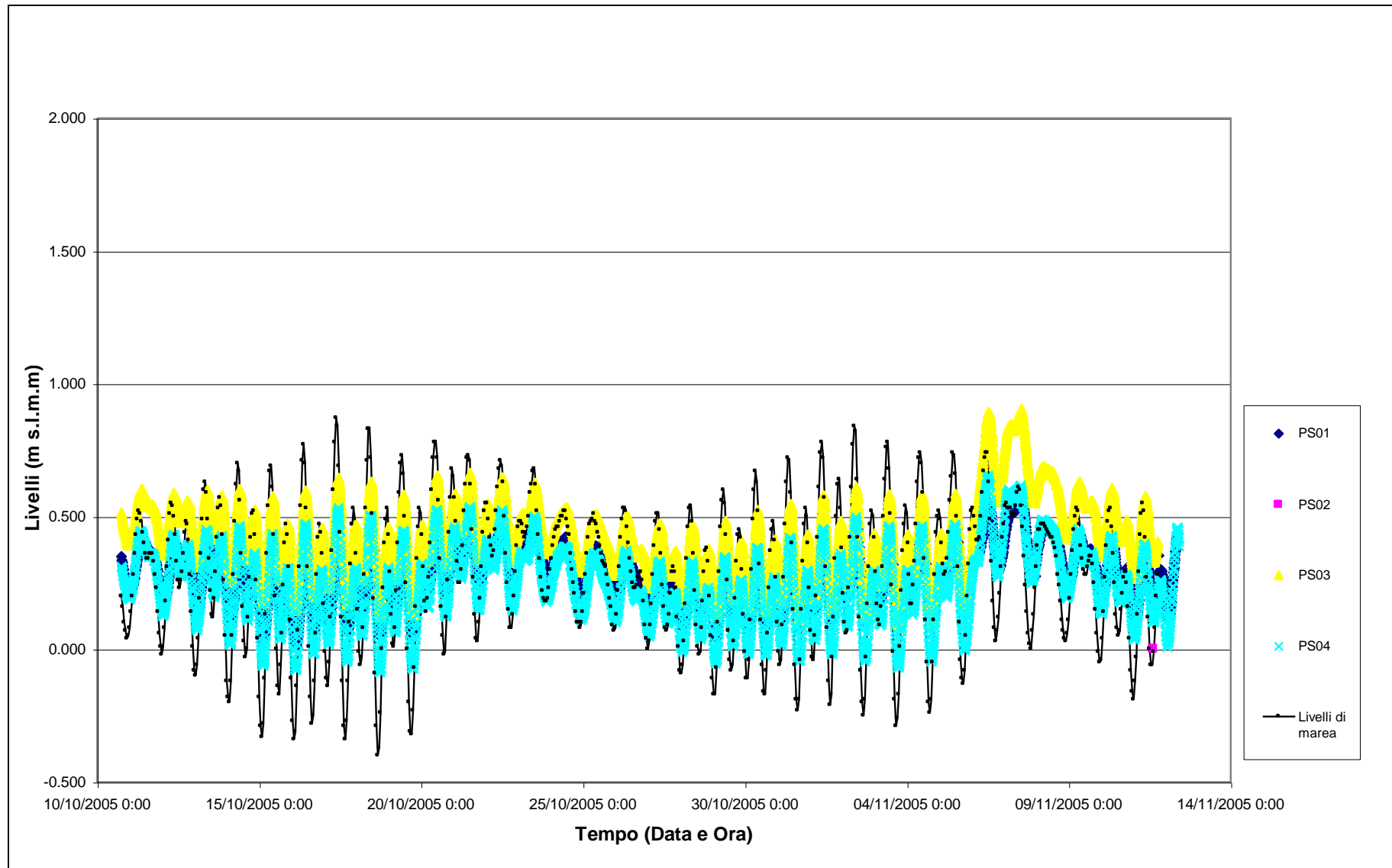


Fig.3.8 - Livelli piezometrici dei piezometri superficiali PS01, PS03 e PS04 e livelli di marea.

### **3.4 Piezometri profondi - secondo livello acquifero (Strato C)**

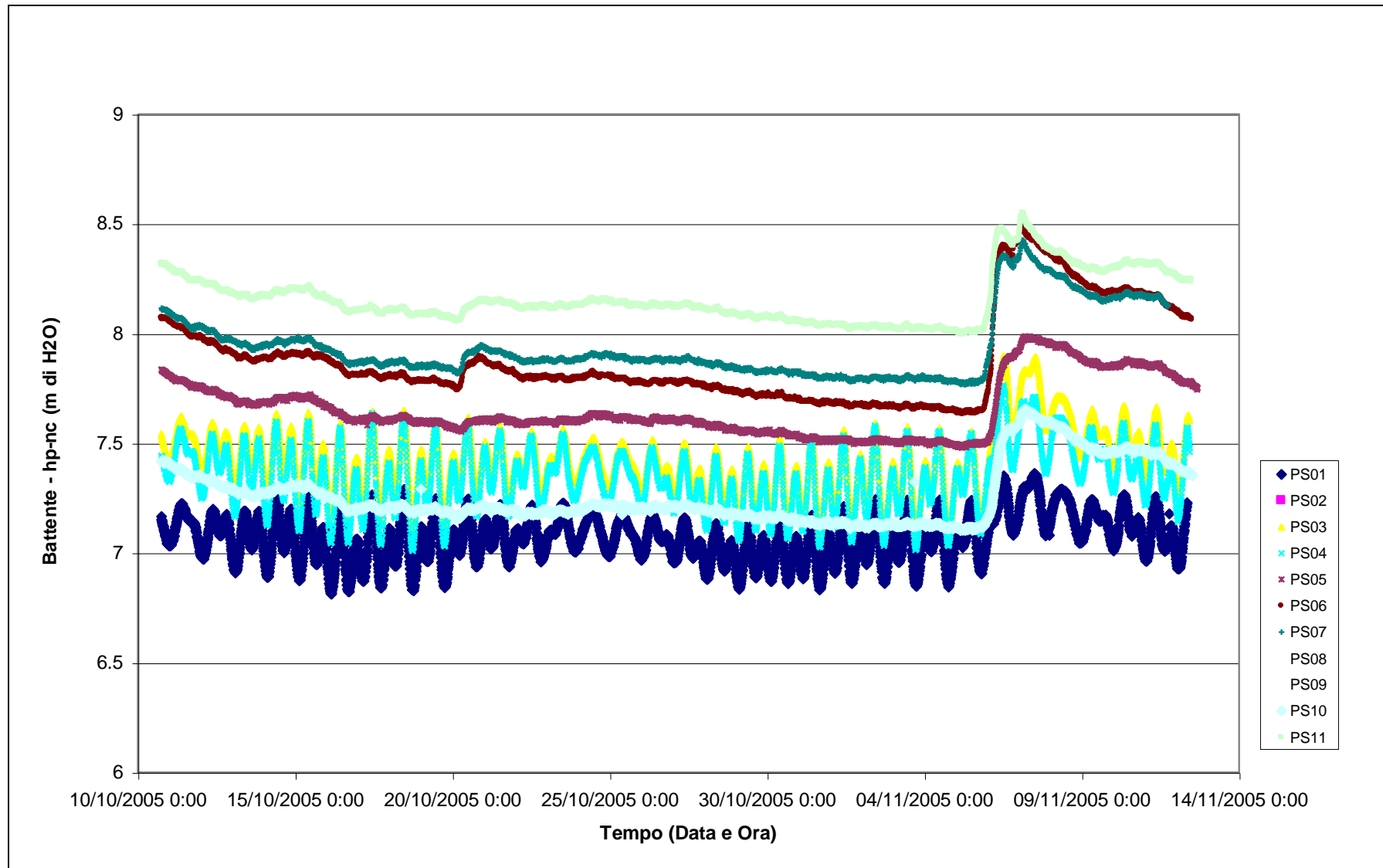
Di seguito vengono descritti gli andamenti in funzione del tempo dei battenti idrici non compensati e dopo compensazione, e dei livelli piezometrici registrati in corrispondenza degli 11 piezometri profondi (ad eccezione del PS02) finestrati in corrispondenza del secondo livello acquifero (strato C).

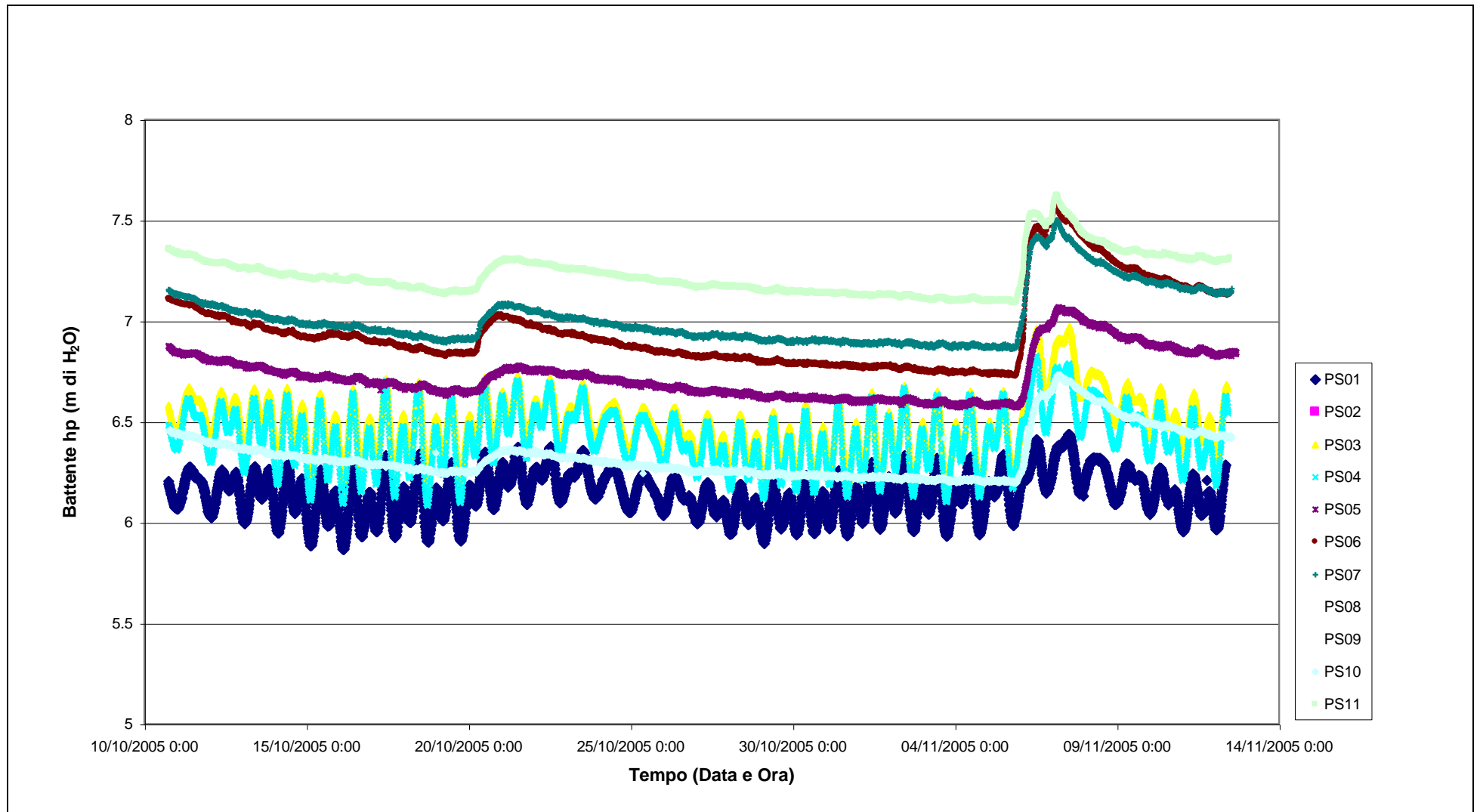
#### **3.4.1 Battenti idrici non compensati - $h_{p-nc}$**

I battenti idrici non compensati registrati dai Levelogger sono riportati in Allegato 5 e rappresentati in Fig.3.9. I dati non presentano andamenti anomali.

#### **3.4.2 Battenti idrici compensati - $h_p$**

I battenti idrici compensati con la pressione atmosferica, espressa in metri di colonna d'acqua, registrata dal Barologger B02 sono riportati in Allegato 6 e rappresentati in Fig.3.10. È possibile notare una regolarizzazione dei tracciati imputabile alla depurazione dalla pressione atmosferica.

Fig.3.9 – Battenti non compensati ( $h_{p-nc}$ ) acquisiti dai piezometri profondi

Fig.3.10 - Battenti compensati ( $h_{pc}$ ) acquisiti dai piezometri profondi

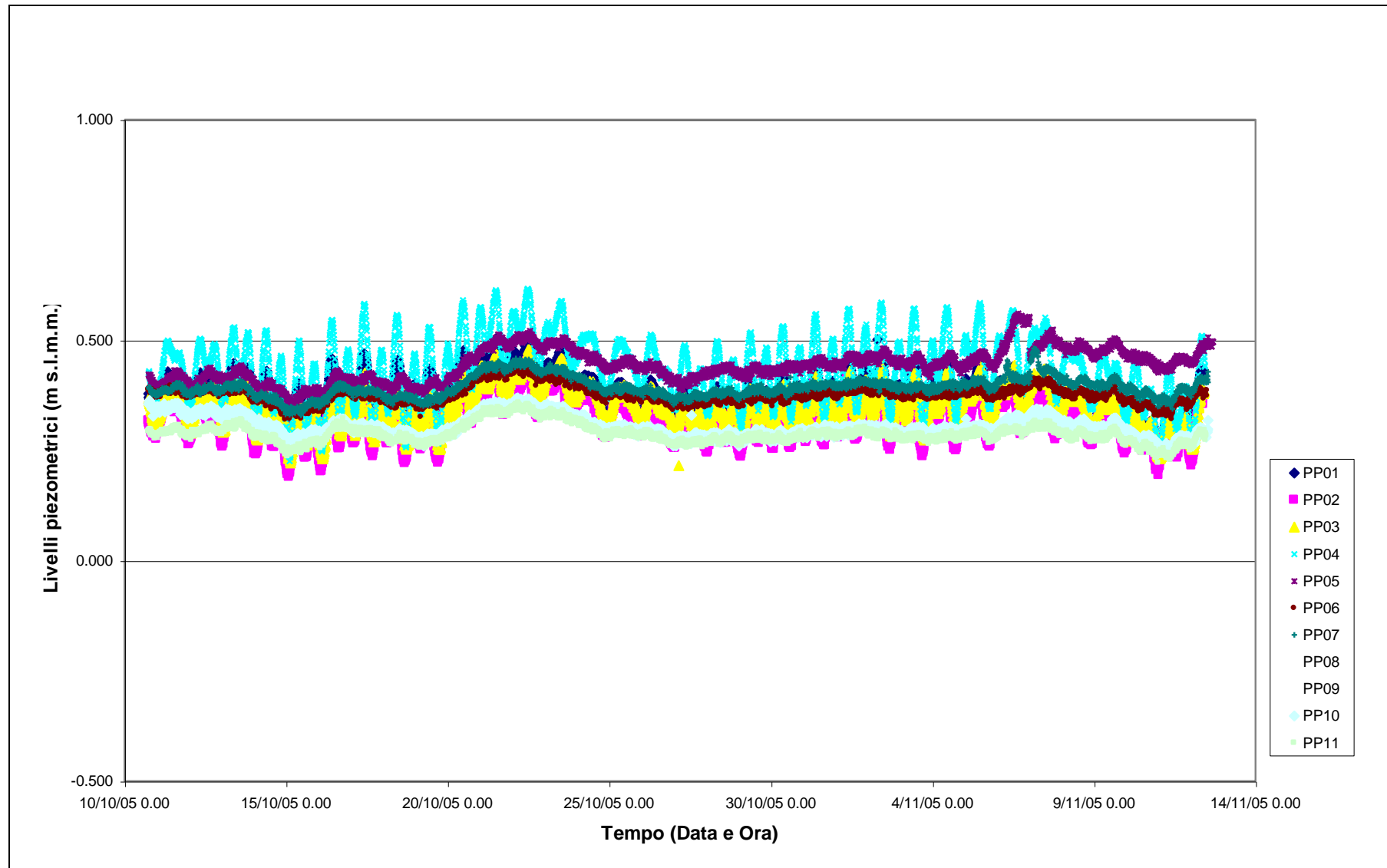
### 3.4.3 Livelli piezometrici (carichi idraulici) - $h_H$

I livelli piezometrici assoluti relativi ai piezometri profondi sono stati calcolati e riportati in Allegato 7 e rappresentati in Fig.3.11.

Dall'analisi dei tracciati riportati Fig.3.11 è possibile osservare come i piezometri superficiali siano, in misura diversa, sensibili ai fenomeni fisici esterni: fenomeni meteorologici e mareali:

- i piezometri PP01, PP02, PP03 e PP04 posti in prossimità del Lungomare Dante Alighieri sono caratterizzati, al pari di quelli superficiali, da un andamento sinusoidale correlabile alle evoluzioni mareali ed influenzato dalle fasi lunari;
- i piezometri PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10 e PP11, collocati nella porzione più interna della Area di Monitoraggio e quindi più distanti dal mare, presentano tracciati di misura che non sono caratterizzati da andamento sinusoidale, ma da andamento influenzato in maniera ridotta dai fenomeni meteorologici.

L'influenza di questi fenomeni fisici verrà illustrata separatamente nei paragrafi seguenti.

Fig.3.11 - Livelli piezometrici (h<sub>it</sub>) relativi ai piezometri profondi



### 3.4.4 *Effetti delle precipitazioni*

A differenza di quanto riscontrato in corrispondenza dei piezometri superficiali, nel caso dei piezometri profondi, la risposta ai fenomeni meteorologici risulta decisamente meno marcata. È possibile comunque osservare delle deboli variazioni dal livello medio in corrispondenza dei due eventi piovosi intercorsi durante il mese di monitoraggio.

Durante il primo evento piovoso soltanto in corrispondenza dei piezometri PP05, PP06, PP07, PP08, PP09, PP10 e PP11 sono riscontrabili deboli variazioni di livello comprese tra 0.013 m e 0.065 m. In Fig.3.12 è possibile notare come i piezometri, dopo un periodo pari a circa 4 giorni, tendano a recuperare il livello iniziale. Invece, in corrispondenza dei piezometri PP01, PP02, PP03 e PP04 gli eventi meteorici non sembrano influenzare significativamente i livelli.

In corrispondenza del secondo evento meteorico sono state misurate variazioni di livello comprese tra 0.036 e 0.119 m (Tab.3.5).

Tab.3.5- Statistiche relative all'influenza delle precipitazioni sui livelli registrati nei piezometri profondi, interni all'Area di Monitoraggio.

Piezometro Superficiale	Primo evento meteorico			Secondo evento meteorico		
	Livello piezometrico medio prima della precipitazione (m)	Max escursione (m)	Rapporto altezza di pioggia/Max escursione	Livello piezometrico medio prima della precipitazione (m)	Max escursione (m)	Rapporto altezza di pioggia/Max escursione
PP05	0.467	0.065	0.111	0.440	0.119	0.502
PP06	0.411	0.044	0.164	0.371	0.041	1.459
PP07	0.426	0.049	0.147	0.390	0.092	0.650
PP08	0.298	0.013	0.554	0.255	0.043	1.391
PP09	0.379	0.043	0.167	0.339	0.082	0.729
PP10	0.338	0.029	0.248	0.289	0.054	1.107
PP11	0.328	0.045	0.160	0.279	0.036	1.661

n.d.: si ricorda che durante la prima precipitazione si è verificato un malfunzionamento del pluviometro che rende impossibile un calcolo esatto dell'altezza di pioggia.

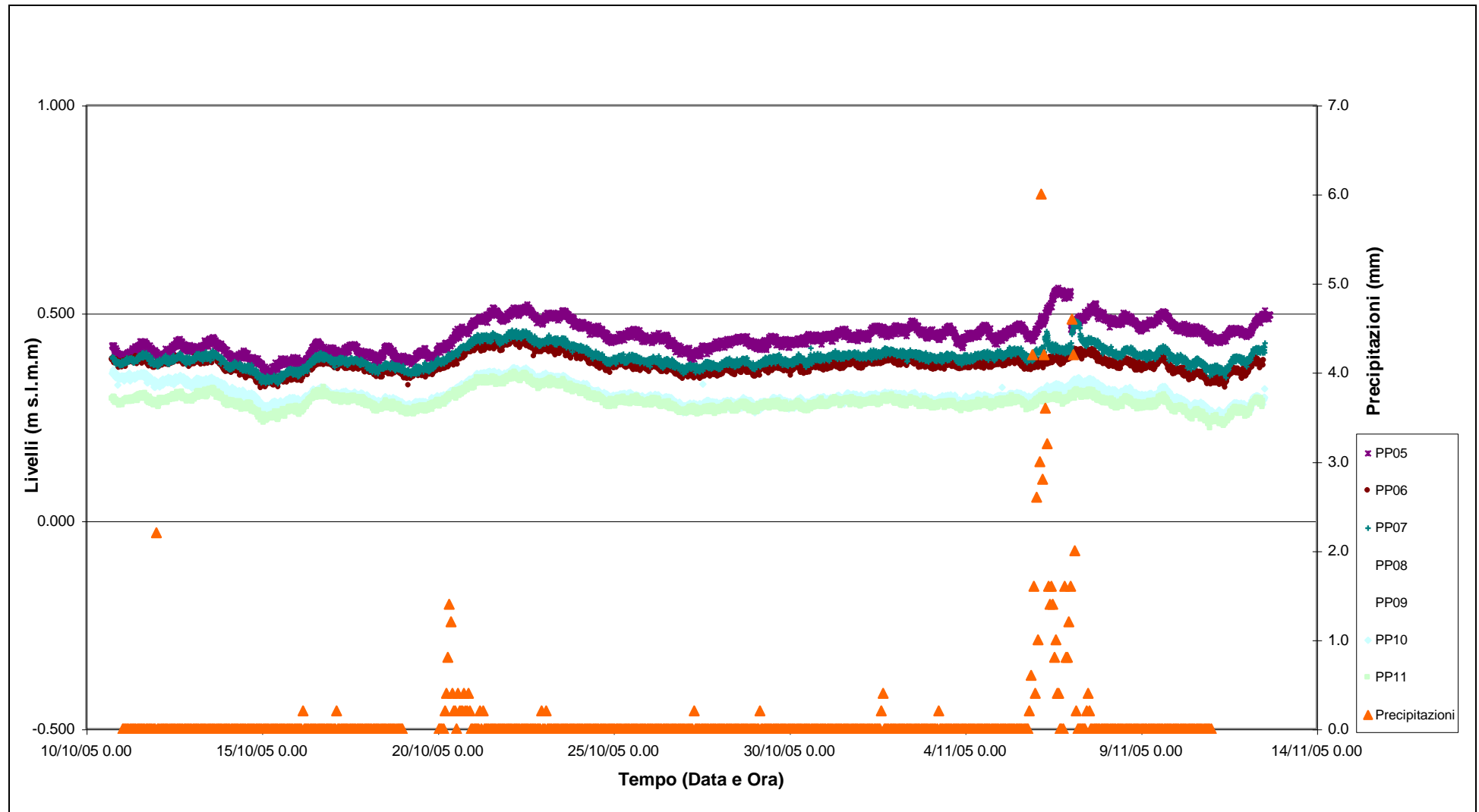


Fig.3.12 - Livelli piezometrici dei piezometri interni all'area e andamento delle precipitazioni.

#### **3.4.5** *Effetti mareali*

In Fig.3.13, è possibile confrontare i tracciati di misura dei trasduttori posizionati in corrispondenza dei piezometri PP01, PP02, PP03 e PP04 disposti su Lungomare Dante Alighieri e le escursioni mareali registrate in corrispondenza del mareografo Diga Sud Lido. I tracciati di misura seguono andamenti caratterizzati da una ciclicità che è tipica delle evoluzioni mareali influenzate dalle fasi lunari.

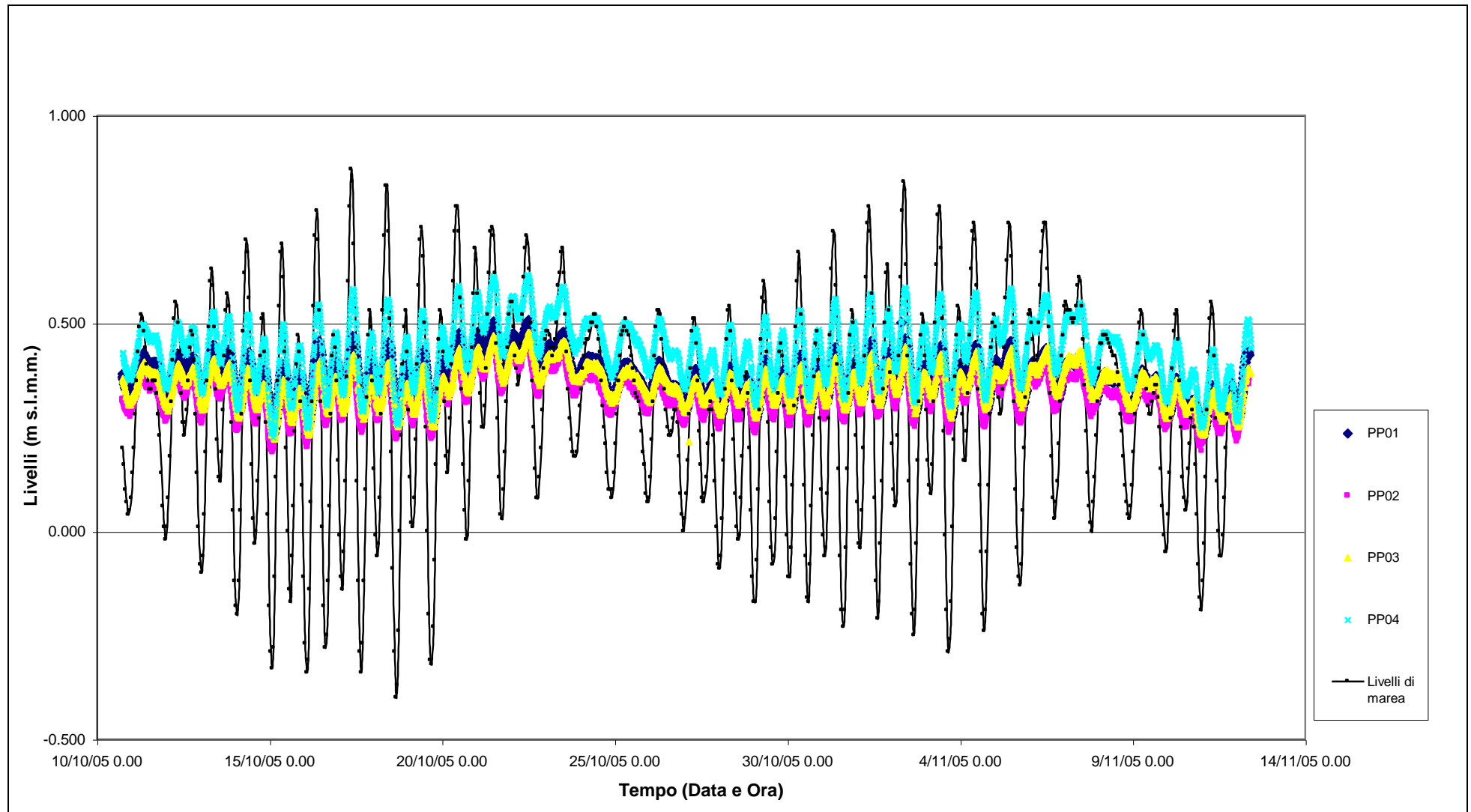


Fig.3.13 - Livelli piezometrici dei piezometri profondi PP01, PP02, PP03, PP04 e livelli di marea

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

Come è possibile osservare in figura i livelli registrati in corrispondenza dei piezometri sono sempre contenuti all'interno delle oscillazioni mareali. Da un'analisi dei dati si riscontra uno sfasamento di circa di circa due ore tra le oscillazioni mareali e quelle piezometriche. In Tab.3.6 sono riportate le ampiezze d'onda medie calcolate sull'intero mese di osservazione e le ampiezze calcolate in corrispondenza di quattro periodi di osservazione, coincidenti con le fasi lunari: l'ampiezza non subisce variazioni significative, se non in corrispondenza dei due eventi piovosi. In Tab.3.6 è possibile notare come le ampiezze d'onda dei livelli piezometrico siano comprese tra il 21% ed il 31% delle ampiezze di oscillazione del livello marino.

Tab.3.6 - Ampiezze d'onda assolute e relative dei livelli piezometrici.

Periodo	10 - 17 ott		17 - 24 ott		24 ott - 01 nov		1 - 8 nov		Intero periodo	
	Ass. (m)	Rel. mare (%)	Ass. (m)	Rel. mare (%)	Ass. (m)	Rel. mare (%)	Ass. (m)	Rel. mare (%)	Ass. (m)	Rel. mare (%)
PP01	0.37	48	0.141	18	0.127	18	0.132	16	0.19	24
PP02	0.356	46	0.133	17	0.12	17	0.12	14	0.18	22
PP03	0.314	40	0.123	16	0.115	16	0.118	14	0.166	21
PP04	0.396	51	0.211	28	0.19	27	0.234	28	0.253	31
livello del mare	0.776	100	0.764	100	0.702	100	0.845	100	0.805	100

In Tab.3.7 è invece riportato il confronto tra i livelli piezometrici medi riscontrati in corrispondenza dei piezometri profondi PP01, PP02, PP03 e PP04 ed il livello medio del mare. È possibile osservare come i livelli piezometri siano tutti al disopra del livello medio del mare e differenze marcate siano osservabili in corrispondenza del piezometro PP04 che registra durante tutto il mese di osservazione livelli piezometrici superiori mediamente di circa 0.090 m rispetto agli altri tre piezometri.

Tab.3.7 - Confronto tra i livelli piezometrici e marini medi.

Periodo	10 - 17 ott		17 - 24 ott		24 ott - 01 nov		1 - 8 nov		Intero periodo	
	$\bar{h}_{tp}$ (m)	Diff. (m)	$\bar{h}_{tp}$ (m)	Diff. (m)	$\bar{h}_{tp}$ (m)	Diff. (m)	$\bar{h}_{tp}$ (m)	Diff. (m)	$\bar{h}_{tp}$ (m)	Diff. (m)
PP01	0.364	0.122	0.400	0.056	0.352	0.102	0.368	0.039	0.365	0.081
PP02	0.312	0.07	0.353	0.009	0.316	0.066	0.334	0.005	0.325	0.041
PP03	0.338	0.096	0.377	0.033	0.343	0.093	0.368	0.039	0.352	0.068
PP04	0.414	0.172	0.472	0.128	0.426	0.176	0.454	0.125	0.435	0.151
livello del mare	0.242	0	0.344	0	0.250	0	0.329	0	0.284	0

### 3.5 Studio piezometrico

Nei seguenti paragrafi vengono riportate le elaborazioni piezometriche relative al Primo livello acquifero (Strato A) ed al Secondo livello acquifero (Strato C).

Le misure piezometriche sono state effettuate sia manualmente, mediante sonda, sia automaticamente, mediante i trasduttori di livello Levellogger. Le ricostruzioni piezometriche sono state, tuttavia, effettuate unicamente sulla base dei dati acquisiti dai trasduttori, gli unici ad essere sincroni.

### 3.5.1 *Rilievo manuale*

Al fine di determinate le quote piezometriche in corrispondenza dei due livelli acquiferi, il 12 novembre 2005, è stato effettuato un rilievo manuale delle soggiacenze, mediante sondino piezometrico (Fig.3.14).

La misura del carico idraulico è ottenuta come differenza fra la quota geodetica del piano campagna  $z_t$  e la soggiacenza  $h_w$ , secondo lo schema di Fig.3.15 e l'espressione:

$$h = z_t - h_w$$



Fig.3.14 - Sondino piezometrico (freatimetro), Solinst Model 101 WL Meter 80 ed operazione di misura manuale della soggiacenza.

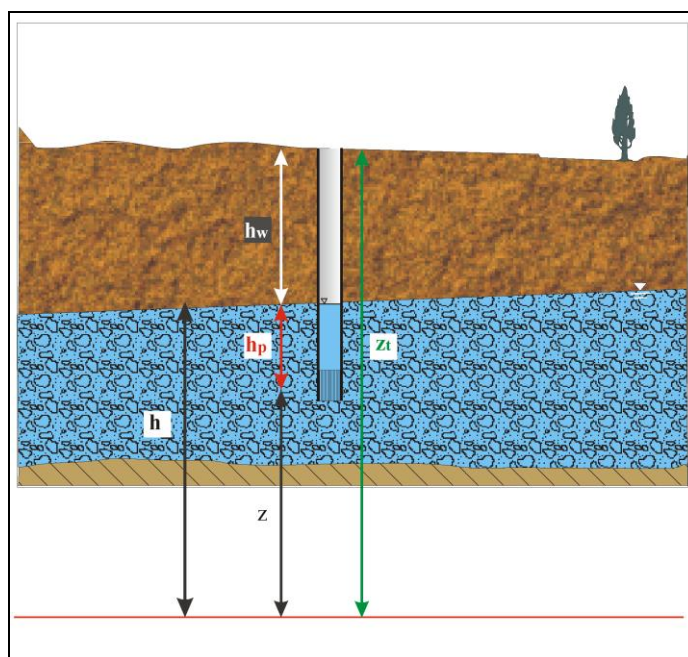


Fig.3.15: Misura del carico idraulico.

In Tab.3.8 e Tab.3.9 sono riportati, per i piezometri superficiali (Primo livello acquifero, Strato A) e profondi (Secondo livello acquifero, Strato C), i valori di soggiacenza  $h_w$ , di carico idraulico  $h$



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

determinati manualmente. È stato deciso di non ricostruire le piezometrie dei due livelli acquiferi utilizzando i dati manuali in quanto non sincroni e soggetti a forti oscillazioni diurne.

Tab.3.8 - Carichi idraulici misurati manualmente nei piezometri superficiali - Primo livello acquifero, Strato A.

Piezometro	data e ora	z <sub>t</sub> (m s.l.m.)	h <sub>w</sub> (m)*	h (m s.l.m.)
PS01	12/11/05 - 8.20	1.778 m	1.34	0.438
PS02	12/11/05 - 9.00	1.713	1.27	0.443
PS03	12/11/05 - 9.40	1.545	0.925	0.62
PS04	12/11/05 - 10.35	1.453	1.13	0.323
PS05	12/11/05 - 16.30	1.816	0.75	1.066
PS06	12/11/05 - 12.08	1.688	0.45	1.238
PS07	12/11/05 - 13.00	1.403	0.48	0.923
PS08	12/11/05 - 11.15	0.663	0.34	0.323
PS09	12/11/05 - 15.42	2.259	1.31	0.949
PS10	12/11/05 - 12.27	2.023	1.16	0.863
PS11	12/11/05 - 11.53	1.169	0.27	0.899

(\*) le misure sono riferite alla vite di aggancio del cavo del trasduttore

Tab.3.9 - Carichi idraulici misurati manualmente nei piezometri profondi - Secondo livello acquifero, Strato C.

Piezometro	data e ora	z <sub>t</sub> (m s.l.m.)	h <sub>w</sub> (m)*	h (m s.l.m.)
PP01	12/11/05 - 8.30	1.781	1.36	0.421
PP02	12/11/05 - 9.25	1.706	1.30	0.406
PP03	12/11/05 - 9.55	1.492	1.10	0.392
PP04	12/11/05 - 10.20	1.515	1.07	0.445
PP05	12/11/05 - 16.21	1.730	1.20	0.53
PP06	12/11/05 - 12.07	1.652	1.22	0.432
PP07	12/11/05 - 13.06	1.323	0.88	0.443
PP08	12/11/05 - 10.55	0.675	0.50	0.175
PP09	12/11/05 - 15.48	2.274	1.85	0.424
PP10	12/11/05 - 12.34	2.098	1.78	0.318
PP11	12/11/05 - 11.41	1.087	0.77	0.317

(\*) le misure sono riferite alla vite di aggancio del cavo del trasduttore

### 3.5.2 Rilievo mediante trasduttori di livello

La ricostruzione sincrona delle piezometrie dei due livelli acquiferi è stata effettuata utilizzando i dati acquisiti dai Levellogger in data 2 novembre 2005 alle ore 14.00. Si tratta di una situazione antecedente l'evento piovoso di maggiore intensità, ad un'ora lontana da estremi mareali.

Di seguito verranno descritte le piezometrie relative al Primo e Secondo livello derivanti rispettivamente dai dati acquisiti in corrispondenza dei piezometri superficiali e profondi.

### 3.5.2.1 Piezometria superficiale

La piezometria del Primo livello acquifero (Strato A) è stata desunta a partire dai valori di battente idrico misurati dai Levellogger posizionati in corrispondenza dei piezometri superficiali. In Tab.3.10 sono riportati i livelli piezometrici ed in Fig.3.16 la piezometria, elaborata mediante il software Surfer.

Tab.3.10 - Livelli piezometrici  $h_u$  relativi al Primo livello acquifero (Strato A), 02/11/05 ore 14.00.

<b>Piezometro</b>	<b>Levellogger</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b><math>z_t</math> (m s.l.m.)</b>	<b><math>h_u</math> (m s.l.m.)</b>
PS01	L02	2318325.88	5035253.68	1.778	0.271
PS02	L04	2318303.30	5034900.48	1.713	n.d.
PS03	L06	2318377.62	5034552.61	1.545	0.331
PS04	L08	2318449.34	5034373.27	1.453	0.147
PS05	L10	2318582.01	5034989.80	1.816	0.799
PS06	L12	2318658.27	5034750.84	1.688	0.843
PS07	L14	2318785.95	5034898.62	1.403	0.654
PS08	L16	2318799.69	5034032.43	0.663	0.345
PS09	L18	2318764.67	5035448.00	2.259	0.638
PS10	L20	2318792.99	5035043.94	2.023	0.634
PS11	L22	2318787.28	5034652.23	1.169	0.673

La superficie piezometrica di Fig.3.16 mostra una anomalia in corrispondenza dei piezometri PS05 e PS06 che sono caratterizzati dai carichi idraulici più elevati. La direzione di deflusso si irradia, pertanto, da questi punti verso la zona circostante. In prossimità della bocca di porto, la falda ospitata nel Primo livello alimenta il mare ed è caratterizzata da un gradiente idraulico medio pari a 0.14%.

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

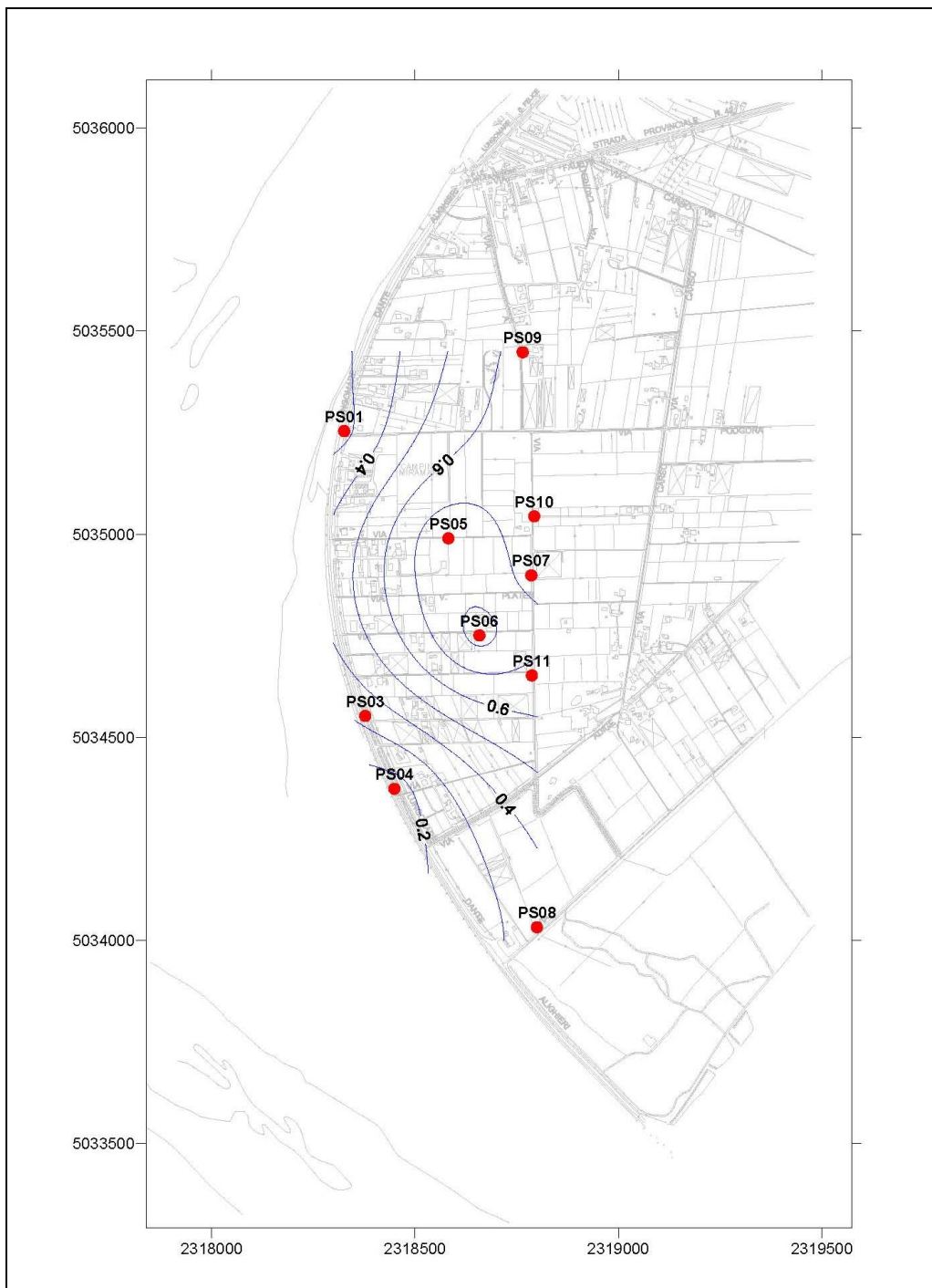


Fig.3.16 - Piezometria superficiale (2 novembre 2005, ore 14.00)

### 3.5.2.2 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 dei piezometri profondi. In Tab.3.11 sono riportati i livelli piezometrici ed in Fig.3.17 la piezometria, elaborata mediante il software Surfer.

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

Tab.3.11 - Livelli piezometrici  $h_H$  relativi al Secondo livello acquifero (Strato C), 02/11/05 ore 14.00.

Piezometro	Levellogger	X	Y	$z_t$ (m s.l.m.)	$h_H$ (m s.l.m.)
PP01	L01	2318325.44	5035252.10	1.781	0.337
PP02	L03	2318303.40	5034898.36	1.706	0.298
PP03	L05	2318378.37	5034550.49	1.492	0.353
PP04	L07	2318448.54	5034374.67	1.515	0.394
PP05	L09	2318579.81	5034989.68	1.730	0.469
PP06	L11	2318658.29	5034748.80	1.652	0.375
PP07	L13	2318786.12	5034900.50	1.323	0.401
PP08	L15	2318800.26	5034031.14	0.675	0.260
PP09	L17	2318765.07	5035445.93	2.274	0.339
PP10	L19	2318793.08	5035045.83	2.098	0.302
PP11	L21	2318787.40	5034654.31	1.087	0.288

Anche in questo caso, la superficie piezometrica di Fig.3.17, mostra una anomalia in corrispondenza del piezometro PP05 caratterizzato da un carico più elevato degli altri. La falda ospitata nel Secondo livello risulta, però, essere quasi completamente immobile essendo il gradiente medio della superficie piezometrica pari a allo 0.02%.

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

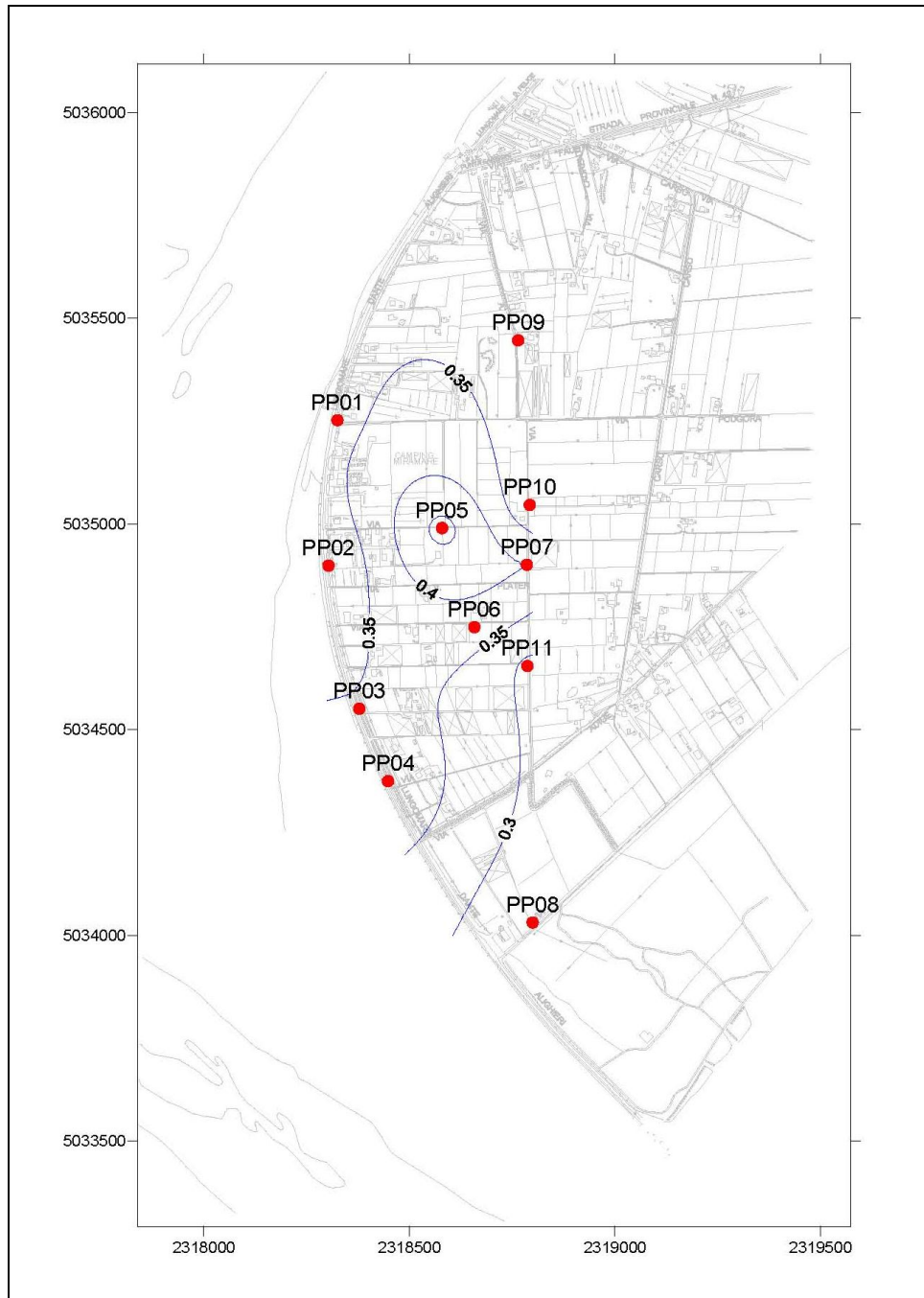


Fig.3.17 - Piezometria profonda (2 novembre 2005, ore 14.00)

## 4. DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI AZIONE

In questo capitolo vengono definite, in via preliminare, alcune soglie di azione relative ai livelli piezometrici in corrispondenza delle postazioni della rete di monitoraggio.

A questo proposito è necessario ricordare il significato o definire alcune grandezze che verranno utilizzate per la formulazione delle soglie:

- carico idraulico o livello piezometrico istantaneo misurato dai trasduttori di pressione:  $h_{il}$  (m s.l.m.);
- livello istantaneo del mare:  $h_M$  (m s.l.m.);
- carico idraulico o livello piezometrico istantaneo mediato su 24 ore di misura:  
$$\bar{h}_{il,24} = \frac{1}{24} \int_{t-12}^{t+12} h_{il} dt \text{ (m s.l.m.)};$$
- livello del mare mediato su 24 h:  $\bar{h}_M = \frac{1}{24} \int_{t-12}^{t+12} h_M dt \text{ (m s.l.m.)}.$

Le soglie prendono in considerazione eventi quali il basso o l'alto livello piezometrico valutati sui carichi idraulici istantanei o su una media di 24 ore, e sono definite dalle seguenti relazioni:

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

Le azioni correttive vengono distinte a seconda che la causa, ovvero la forzante, che determina l'anomalia di livello sia:

- naturale: imputabile ad esempio al livello del mare, alle precipitazioni, all'evapotraspirazione, al ruscellamento superficiale, ecc;
- antropica: in questo caso si distingue tra effetti del cantiere, quali pompaggio o sbarramento del deflusso idrico sotterraneo, oppure antropici di altra natura, quali messa in emungimento di pozzi per fini agricoli, irrigazione dei campi, ecc.

In Tab.4.1 sono riportate schematicamente le soglie individuate, le cause scatenanti oltre ad essere proposte alcune azioni correttive. Tale argomento potrà essere oggetto di future revisioni e modifiche.

Tab.4.1: Identificazione preliminare delle soglie ed azioni correttive

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

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

## 5. CONCLUSIONI

La Fase A di monitoraggio, che si è svolta nel periodo compreso tra il 10 ottobre 2005 e l'11 novembre 2005, ha permesso di valutare la situazione *ante operam* dei carichi idraulici in corrispondenza dei due livelli acquiferi individuati dal Disciplinare Tecnico (CVN, 2004).

Sono state valutate le influenze delle forzanti naturali agenti sul sistema dinamico considerando in particolare gli effetti prodotti dalla pressione atmosferica, dai livelli del mare e dalle precipitazioni. In corrispondenza dei piezometri superficiali e profondi ubicati in prossimità del Lungomare è stata notata una marcata influenza degli effetti mareali: l'andamento dei carichi idraulici è sinusoidale e caratterizzato da periodi variabili con le fasi lunari. I livelli piezometrici rilevati nelle postazioni disposte all'interno dell'Area di Monitoraggio mostrano, invece, andamenti regolari che vengono modificati sensibilmente per effetto delle precipitazioni.

Sono state, infine, definite alcune soglie e valutate azioni correttive, nel caso in cui i lavori di cantiere, ed in particolare il prosciugamento della tura o lo sbarramento del deflusso idrico sotterraneo (forzanti antropiche di cantiere), modificassero significativamente la piezometria dei due livelli acquiferi monitorati.