



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 PIANIFICAZIONE OPERATIVA

S. Delforno, A. Lingua, F. Giulio Tonolo, M. Piras (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

Handwritten signature of Rajandrea Sethi in black ink.

Ing. Rajandrea Sethi

Responsabile d'Area

Handwritten signature of Antonio Di Molfetta in blue ink.

Prof. Ing. Antonio Di Molfetta

Approvazione

Handwritten signature of Pierpaolo Campostrini in black ink.

Ing. Pierpaolo Campostrini

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

Indice

1.	INTRODUZIONE.....	4
2.	INQUADRAMENTO DELL'AREA.....	5
2.1	L'Area di Monitoraggio dei livelli piezometrici	5
2.2	Inquadramento geologico e litologico.....	7
2.2.1	Inquadramento geologico e litologico di area vasta	7
2.2.2	Inquadramento geologico e litologico dell'Area di Monitoraggio	9
2.3	Inquadramento idrogeologico.....	13
2.3.1	Inquadramento idrogeologico di area vasta	13
2.3.2	Inquadramento idrogeologico dell'Area di Monitoraggio	14
2.3.3	Caratterizzazione idrodinamica.....	18
2.3.3.1	Censimento pozzi	20
2.4	Acque superficiali.....	22
2.5	Inquadramento climatico	23
2.6	Livelli del mare	25
3.	RETE DI MONITORAGGIO DEI LIVELLI PIEZOMETRICI.....	27
4.	RILIEVO TOPOGRAFICO DELLE POSTAZIONI	32
4.1	Pianificazione del rilievo	33
4.1.1	Materializzazione della rete	33
4.1.2	Livellazione geometrica	33
4.2	Rilievo GPS RTK.....	34
4.3	Esecuzione del Rilievo	35
4.4	Compensazione delle misure.....	40
4.4.1	Rete altimetrica.....	40
4.4.2	Rilievo GPS	40
4.5	Conversione tra sistemi di riferimento.....	41
4.6	Risultati finali.....	42
4.6.1	Ubicazione delle postazioni di monitoraggio	43
5.	MISURA DEL CARICO IDRAULICO.....	44
5.1	Misura del livello piezometrico e del carico idraulico	44
5.1.1	Definizione di carico idraulico.....	44
5.2	Sondino piezometrico (freatimetro).....	45
5.3	Trasduttori di livello-p pressione.....	46
6.	VERIFICA DEL FUNZIONAMENTO E CALIBRAZIONE DEI TRASDUTTORI DI	

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

	PRESSIONE E DI LIVELLO.....	50
6.1	Prima calibrazione.....	50
	6.1.1 Elaborazione statistica dei dati.....	54
6.2	Seconda calibrazione.....	55
	6.2.1 Elaborazione statistica dei dati.....	58
6.3	Valutazione della linearità della strumentazione.....	58
7.	INSTALLAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE.....	69
8.	CONCLUSIONI.....	73

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito degli interventi per la salvaguardia di Venezia, il presente documento descrive la messa a punto della Fase A di 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).

La realizzazione del porto rifugio previsto dagli interventi alla Bocca di Lido, richiede, infatti, la realizzazione di una tura al fine di rendere agibile ai lavori un'area di cantiere posta alla quota - 8.70 m s.l.m. L'agibilità di tale zona sarà garantita da un sistema di dewatering accoppiato ad una barriera perimetrale realizzata mediante diaframmi plastici. Il piano di monitoraggio ha lo scopo di rilevare, nel comparto "suolo", i potenziali fenomeni di alterazione delle direzioni di flusso o del livello della falda indotti dalle operazioni di cantiere e di pompaggio nelle aree esterne e limitrofe al cantiere.

La Fase A di monitoraggio prevede la valutazione della variabilità attesa dei livelli di falda nella situazione *ante operam*. A tale scopo è stata realizzata ed attrezzata una rete di monitoraggio dei livelli piezometrici, costituita da 11 postazioni doppie di misura.

Nel presente documento vengono trattati in dettaglio i seguenti punti:

- inquadramento dell'area oggetto del monitoraggio;
- progettazione e realizzazione della rete di monitoraggio;
- descrizione delle postazioni di monitoraggio;
- descrizione dei parametri da monitorare;
- calibrazione ed installazione della strumentazione di misura;
- analisi e trattamento dei dati.

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA

In questa sezione sono state raccolte ed elaborate informazioni di carattere generale che permettono di inquadrare l'area oggetto di monitoraggio in un più vasto contesto e potrebbero rivelarsi utili nelle successive fasi dello studio.

Nel redigere il presente capitolo, sono state utilizzate informazioni reperite in:

- "Studio geoambientale del territorio provinciale di Venezia - parte centrale", Valentina Bassan e Andrea Vitturi. Provincia di Venezia - Assessorato alla Protezione Civile e Società Italiana di Geologia Ambientale. Anno 2003.
- "L'assetto geomorfologico della Pianura Veneta Centro - Orientale: stato delle conoscenze e nuovi dati", Bondesan A., Calderoni G., Mozzi P.. Anno 2002.
- "Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della Carta geomorfologica della provincia di Venezia", a cura di Aldino Bondesan e Mirco Meneghel. Anno 2004.
- "Controllo di eventuali danni ambientali determinati dagli emungimenti praticati nelle aree di cavallino, Treporti, punta sabbioni e isola di Sant'Erasmus (Provincia di Venezia)", Consiglio Nazionale delle Ricerche - Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche. Regione del Veneto. Segreteria Regionale all'Ambiente - Direzione Regionale Tutela dell'Ambiente. Anno 1999.
- "Indagine idrogeologica del territorio provinciale di venezia", Antonio Dal Prà, Lucia Gobbo, Andrea Vitturi, Pietro Zangheri. Provincia di Venezia - Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio, Ufficio Difesa del Suolo. Anno 2000.
- "Indagini geognostiche per la realizzazione delle postazioni di monitoraggio nell'area di punta sabbioni -comune di cavallino Treporti (Venezia). Relazione tecnica". SELC Soc. Coop., agosto 2005.
- "Nuovi interventi per la salvaguardia di venezia. Interventi alle Bocche Lagunari per la regolazione dei flussi di marea. Progetto esecutivo. Bocca di Lido Treporti - Tura e Porto Rifugio 1° fase. Relazione Geotecnica." Consorzio Venezia Nuova - Technital, gennaio 2004.
- "Nuovi interventi per la salvaguardia di Venezia. Studio B.6.72/A 1ª fase - Controllo degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. rapporto Finale. Lo Stato di Qualità Attuale delle Componenti Ambientali." Consorzio Venezia Nuova - Technital, marzo 2005.

2.1 L'Area di Monitoraggio dei livelli piezometrici

L'Area di Monitoraggio dei livelli piezometrici ricade nel Comune di Cavallino-Treporti, in località Punta Sabbioni, in Provincia di Venezia.

L'area, caratterizzata da una superficie di circa 20 ettari, è ubicata all'estremo occidentale della penisola del Cavallino (Fig. 2.1).

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



Fig. 2.1 - Ubicazione dell'Area di Monitoraggio: località Punta Sabbioni (Penisola del Cavallino).

L'area è delimitata a nord dalla Laguna e ad est dalla Bocca di Lido, in una zona interessata dal cantiere per la realizzazione del bacino rifugio e della conca di navigazione, nell'ambito degli interventi per la protezione di Venezia (Fig. 2.2). È delimitata a nord da via Podgora, a sud da via Montello, ad ovest dal Lungomare Dante Alighieri e ad est da via Montegrappa. L'area ricade all'interno dei fogli CTR 128140, 128100 e 128110.

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

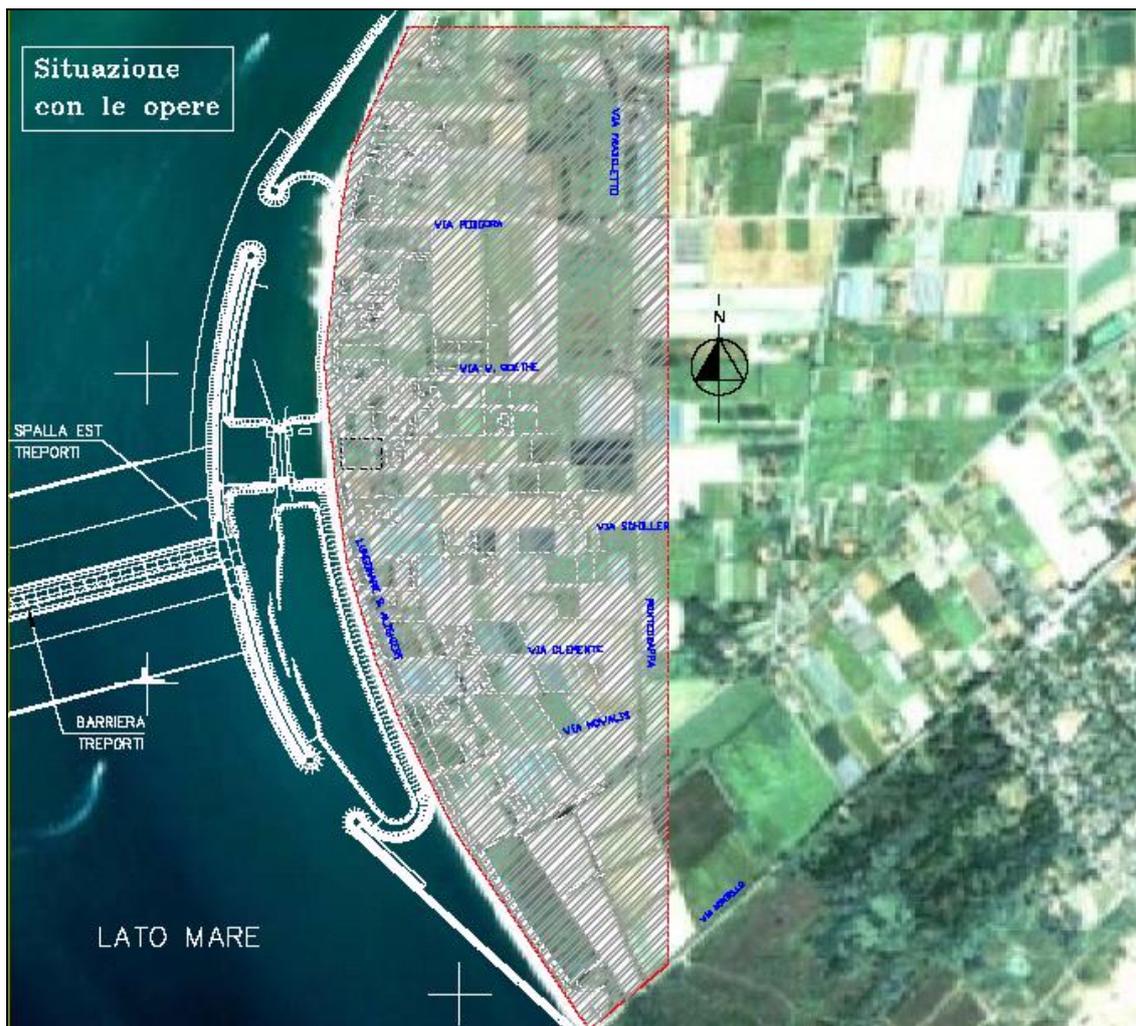


Fig. 2.2 -Area di Monitoraggio e cantiere.

Dal punto di vista morfologico, la porzione di territorio individuata dalle attività di monitoraggio dei livelli piezometrici è pianeggiante.

L'area è caratterizzata dalla presenza di insediamenti sparsi, alcuni dei quali dedicati ad attività turistica e da appezzamenti agricoli di dimensioni variabili.

2.2 Inquadramento geologico e litologico

2.2.1 *Inquadramento geologico e litologico di area vasta*

L'area in studio fa parte della Pianura Veneta, compresa cioè tra il bordo alpino, la dorsale lessinoberic-euganea e la linea di costa tra la foce del Po e dell'Isonzo (Fig. 2.3).

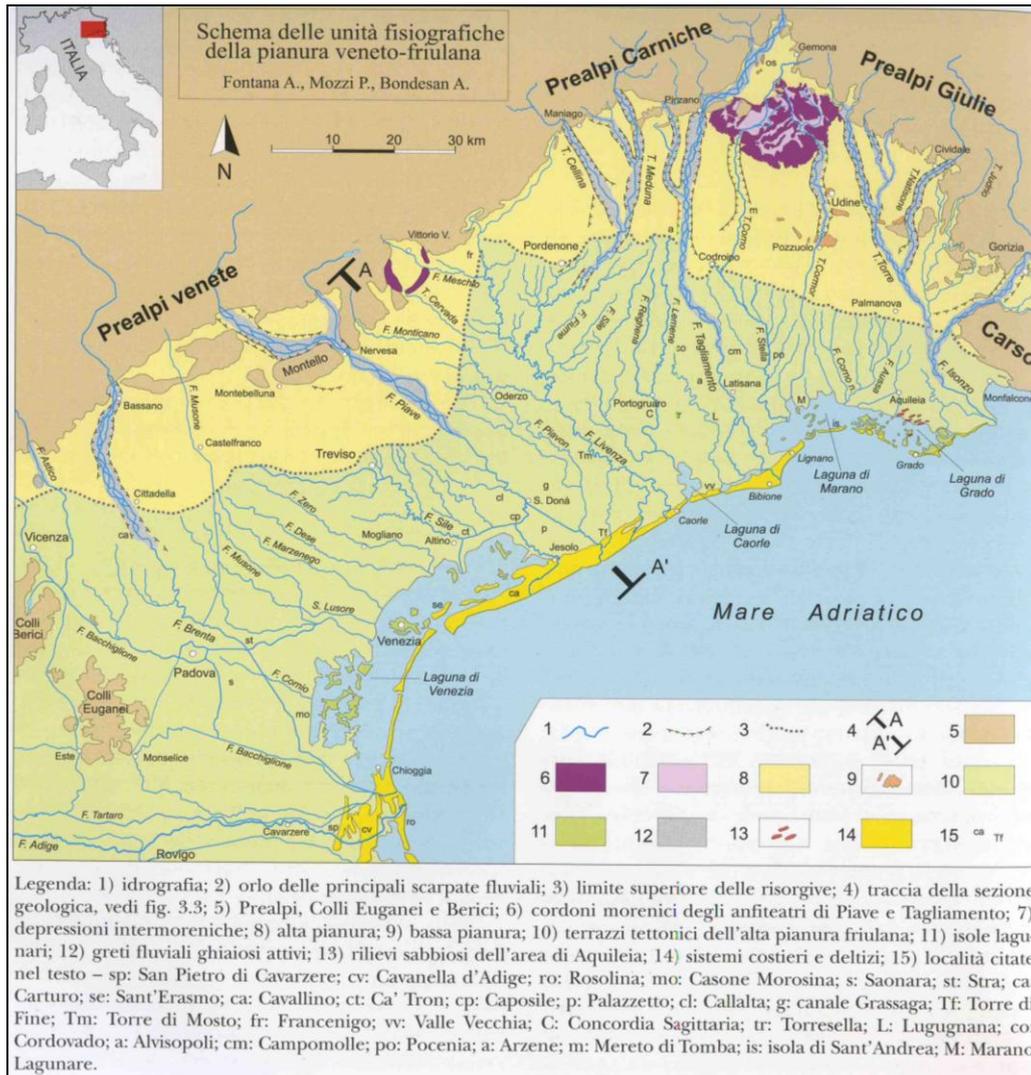


Fig. 2.3 -Schema delle unità fisiografiche della pianura veneto-friulana (Fonte: Provincia di Venezia, 2004).

La serie tipo veneziana è caratterizzata dall'alternanza di orizzonti sabbiosi ed argillosi che rivelano la ciclicità degli ambienti deposizionali continentali e marini, in relazione al succedersi delle fasi glaciali ed interglaciali nel Pleistocene medio superiore.

Le fasi ambientali succedutesi nel tempo possono essere così schematizzate:

- l'attuale ciclo lagunare che definisce l'Olocene nell'area veneziana. Si tratta di un complesso argilloso e limoso nerastro con molto materiale organico e torbe, che si conclude o con limi sabbiosi e sabbie limose, prevalenti verso le aperture a mare, o con potenti complessi organici nelle aree più interne lagunari. Questo complesso ha spessori che variano da 0 m in terraferma, a oltre 13 m lungo il litorale di Malamocco, raggiungendo i 25 m di profondità a Chioggia e nei settori di Pellestrina, Lido e Cavallino;
- alla base di questi depositi continentali si colloca il caranto, paleosuolo che prelude al ciclo lagunare costiero olocenico;
- la fase continentale sottostante (*Wurm*, ultimo episodio glaciale pleistocenico) è estesa fino a 50-60 m di profondità. Si tratta di una struttura sedimentaria caratterizzata da depositi di ambiente fluvio-palustre o lacustre, costituiti prevalentemente da argille e limi, generalmente chiari, talora compatti, e da sabbie più o meno limose. Essi rappresentano gli

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

apporti alluvionali della paleopianura adriatica;

- tra i 60 ed i 300 m circa si individua una alternanza di fasi marine, lagunari e continentali relative al Pleistocene superiore indicative di una ciclicità di condizioni ambientali (sabbie, argille, torbe);
- tra i 300 ed i 950 m i depositi sono solo di origine marina e attribuiti al Pleistocene inferiore.

Dal punto di vista litologico sono prevalenti i termini sabbiosi, con una certa componente fine, ed argillosi. I materiali più grossolani non sono molto frequenti e comunque individuati a profondità consistenti (250-300 m). Anche i livelli torbosi sono limitati sia in termini di potenza sia di diffusione, mentre è più frequente la presenza di livelli coesivi con componente organica e vegetale. La parte sommitale della sequenza è inoltre caratterizzata da orizzonti con sedimenti cementati o sovraconsolidati, testimonianza di paleosuoli originatisi durante le fasi di emersione o cementatisi con processi fisico-chimici (caranto).

2.2.2 Inquadramento geologico e litologico dell'Area di Monitoraggio

Se l'entroterra è stato oggetto di depositi prevalentemente alluvionali, l'area lagunare, perilagunare e litorale rappresentano l'apparato deltizio dei principali corsi d'acqua. Infatti il litorale del Cavallino, almeno fino alla bocca di Porto di Lido, sarebbe costituito da sedimenti di origine plavense, caratterizzati dall'alternanza di orizzonti sabbiosi ed argillosi che rivelano la ciclicità degli ambienti deposizionali continentali e marini (Provincia di Venezia, 2003).

Tali depositi risultano anche caratterizzati da diversi contenuti mineralogici in relazione ai sedimenti di origine: si tratta infatti di depositi portati a mare dai corsi d'acqua e rielaborati e rideposti dall'azione del mare (correnti marine e moto ondoso). Si spiega così la presenza di frustoli torbosi e livelli coesivi con componente organica e vegetale.

La ricostruzione geologica in corrispondenza dell'Area di Monitoraggio è stata effettuata sulla base dei seguenti dati stratigrafici (Fig. 2.4):

11 sondaggi geognostici, a carotaggio continuo e spinti fino ad una profondità di 25.00 m da p.c., specificamente realizzati per questo studio (si veda par. 3 e "Indagini geognostiche per la realizzazione delle postazioni di monitoraggio nell'area di Punta Sabbioni - Comune di Cavallino Preporti (Venezia). Relazione Tecnica". SELC 2005.). Tali sondaggi sono denominati con le sigle PP1- PP11 e le relative stratigrafie sono riportate in Allegato 1;

2 sondaggi geognostici pregressi, denominati con le sigle 1697 e 1656, rispettivamente spinti fino alla profondità di 21 e 30 m (Studio P.R.G., 1990. Provincia di Venezia, Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio - Ufficio Difesa del Suolo), le cui stratigrafie sono riportate in Allegato 2;

10 sondaggi pregressi: I, LSM1, LSM2, LSM6, LST1, LST4, LST5, S1, S2T ed S6, (Ministero alle Infrastrutture e ai Trasporti. Magistrato alle Acque. Nuovi Interventi per la salvaguardia di Venezia. Conv. rep. n°7191 del 04-10-1991. Atto Attuativo Rep. n° 8014/2003. Interventi alle Bocche Lagunari per la regolazione dei flussi di marea. Progetto Esecutivo. Bocca di Lido Treporti - Tura e Porto Rifugio 1ª Fase. Elaborati Geotecnici. Consorzio Venezia Nuova. gennaio 2004), le cui stratigrafie sono riportate in Allegato 3.

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

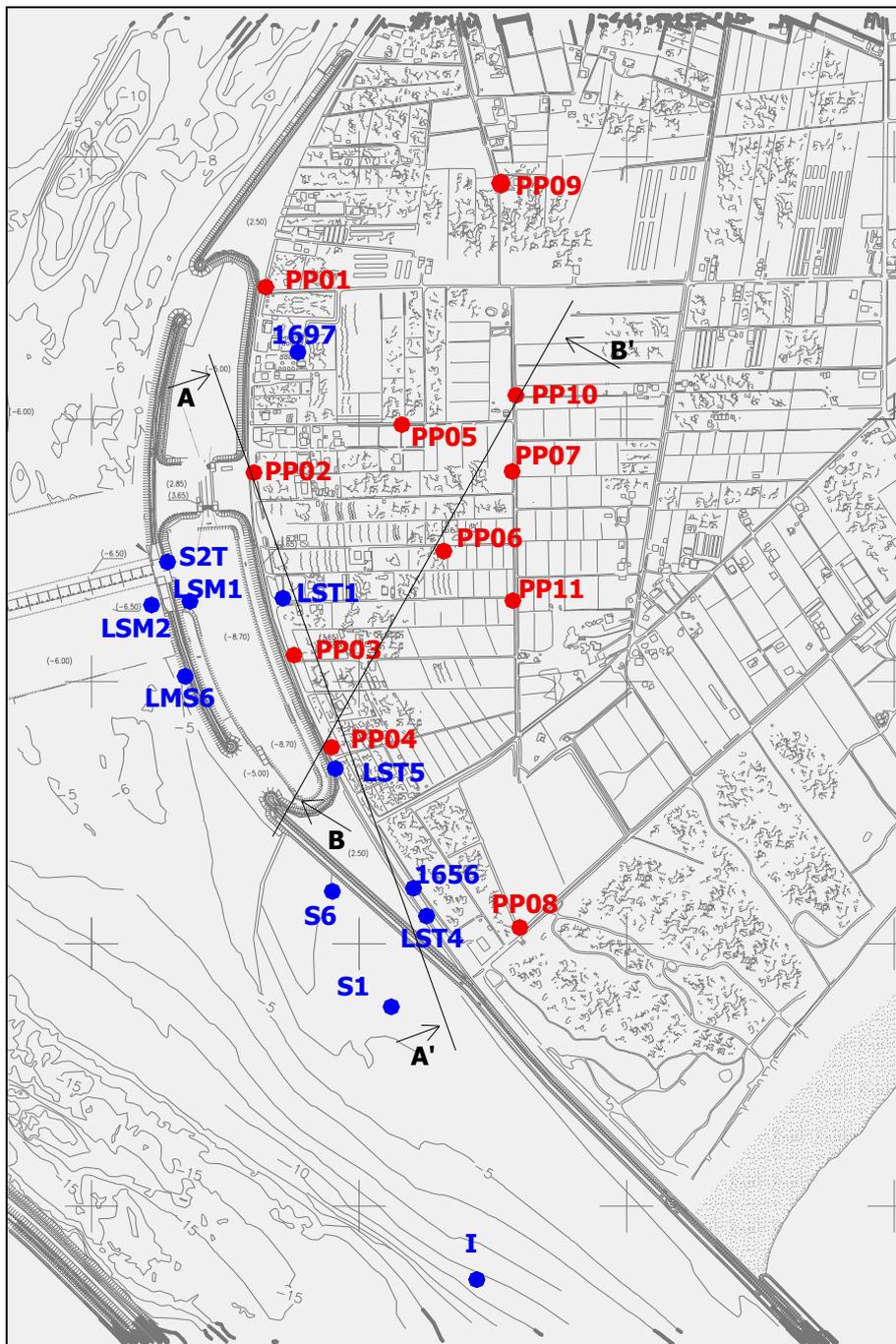


Fig. 2.4 - Ubicazione dei sondaggi e traccia delle sezioni litologiche e dei profili idrogeologici.

Un'analisi comparata delle stratigrafie ha permesso di ricostruire la successione litologica di dettaglio che, nei primi 20-25 m di profondità, a partire dal piano campagna è schematizzabile come segue:

- sabbia fine limosa;
- limo argilloso e argilla limosa;
- sabbia medio fine, localmente limosa;
- limo argilloso-sabbioso.

Si riporta una descrizione di ciascuna unità individuata:

RAPPORTO PIANIFICAZIONE OPERATIVA

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

Depositi di sabbia fine limosa: si tratta generalmente di depositi lagunari e rinvenibili mediamente fino ad una profondità di 12.0 - 15.0 m da p.c.. I depositi sono distribuiti uniformemente sul territorio indagato e sono caratterizzati da sabbia fine limosa a volte intercalata a livelli di argilla debolmente limosa e livelli centimetrici (o lenti) di limo sabbioso. Il colore dei depositi è variabile (dal grigio chiaro al grigio scuro), così come il contenuto mineralogico. Fino a 9.0 m da p.c. sono stati rinvenuti frammenti conchigliari e frustoli vegetali.

Depositi di limo argilloso e argilla limosa: si tratta generalmente di depositi lagunari costituiti da limo argilloso grigio poco compatto e da argilla limosa sottoforma di lenti compatte color ocra (caranto). Tali depositi sono rinvenibili fino alla profondità di circa 19 m da p.c. e costituiscono il setto di separazione tra i depositi costituenti i due livelli acquiferi. Sono stati rilevati livelli torbosi contenenti frammenti conchigliari e frustoli vegetali. I depositi di limo sono spesso alternati a livelli millimetrici di sabbia e lenti di limo argilloso-sabbioso spesso passante a sabbia fine limosa.

Depositi di sabbia medio-fine localmente limosa: si tratta di depositi rinvenibili a profondità comprese tra 19 m e 23 m da p.c., costituiti da sabbia fine e medio-fine grigio scura, in cui si rilevano localmente sottili livelli di limo. In alcuni casi sono state rintracciate lenti di limo sabbioso e lenti di torba e limo torboso.

Depositi di limo argilloso-sabbioso: sono stati rilevati solamente in alcuni sondaggi, alla profondità media di 23.0-25.0 m da p.c.. Si tratta di depositi di limo e limo argilloso molto spesso passante a limo sabbioso e torboso.

Con l'ausilio del software RockWorks2004, è stato possibile ricostruire l'assetto litologico del sito come riportato nelle sezioni di Fig. 2.5 e Fig. 2.6 elaborate sulla base delle tracce riportate in Fig. 2.4.

La ricostruzione litostratigrafica che ne deriva ha messo in evidenza, almeno fino alla profondità di 25 m da p.c., un'alternanza di orizzonti sabbiosi ed argillosi. Una tale configurazione litologica è somigliante con quanto riportato negli elaborati progettuali dell'opera (Technital 2004) e sintetizzato in Tab. 2.1.

Tab. 2.1 - Stratigrafia di progetto (Fonte: CVN - Technital 2004).

Strato	Descrizione	quota assoluta [m s. l.m.m]		quota relativa al p.c. [m]*	
		Da	a	Da	a
A	Sabbia fine limosa	(Fondale) p.c.	-12.0÷ -13.0	0	-15.0
B	Limo argilloso/argilla limosa	-12.0÷ -13.0	-17.0	-15.0	-19.0
C	Sabbia fine localmente limosa	-17.0	-22.5÷23.0	-19.0	-24.5÷ -25.0
D	Limo argilloso-sabbioso	-22.5÷ -23.0	-38.0÷ -39.0	-24.5÷ -25.0	-40 ÷ -41.0
E-È	Sabbia medio fine localmente limosa	-38.0 ÷ -39.0	>70	-40 ÷ -41.0	>72.0
F	Limo argilloso-sabbioso	>70.0	-	>72.0	-

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

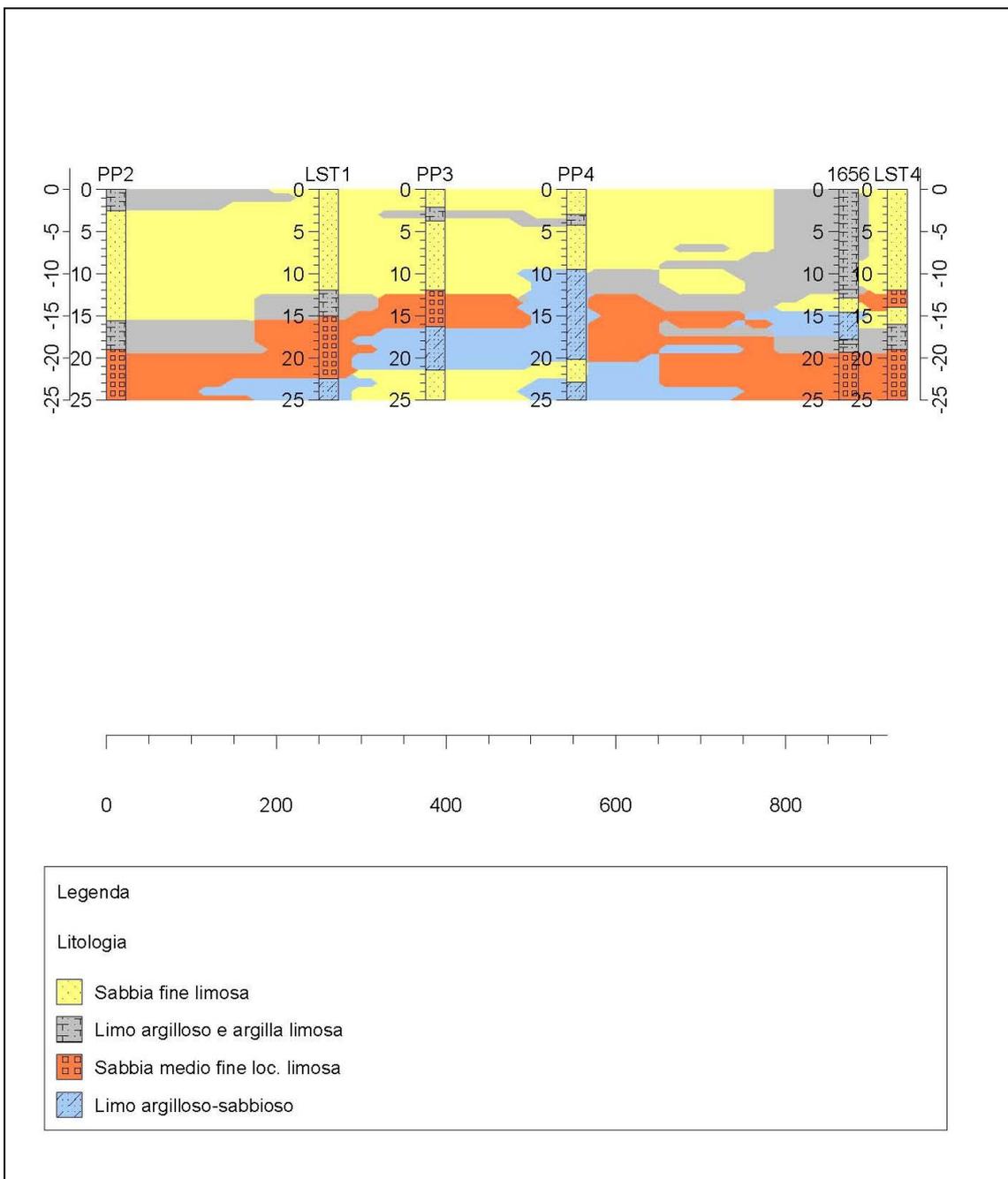


Fig. 2.5 -Sezione litologica A-A'

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

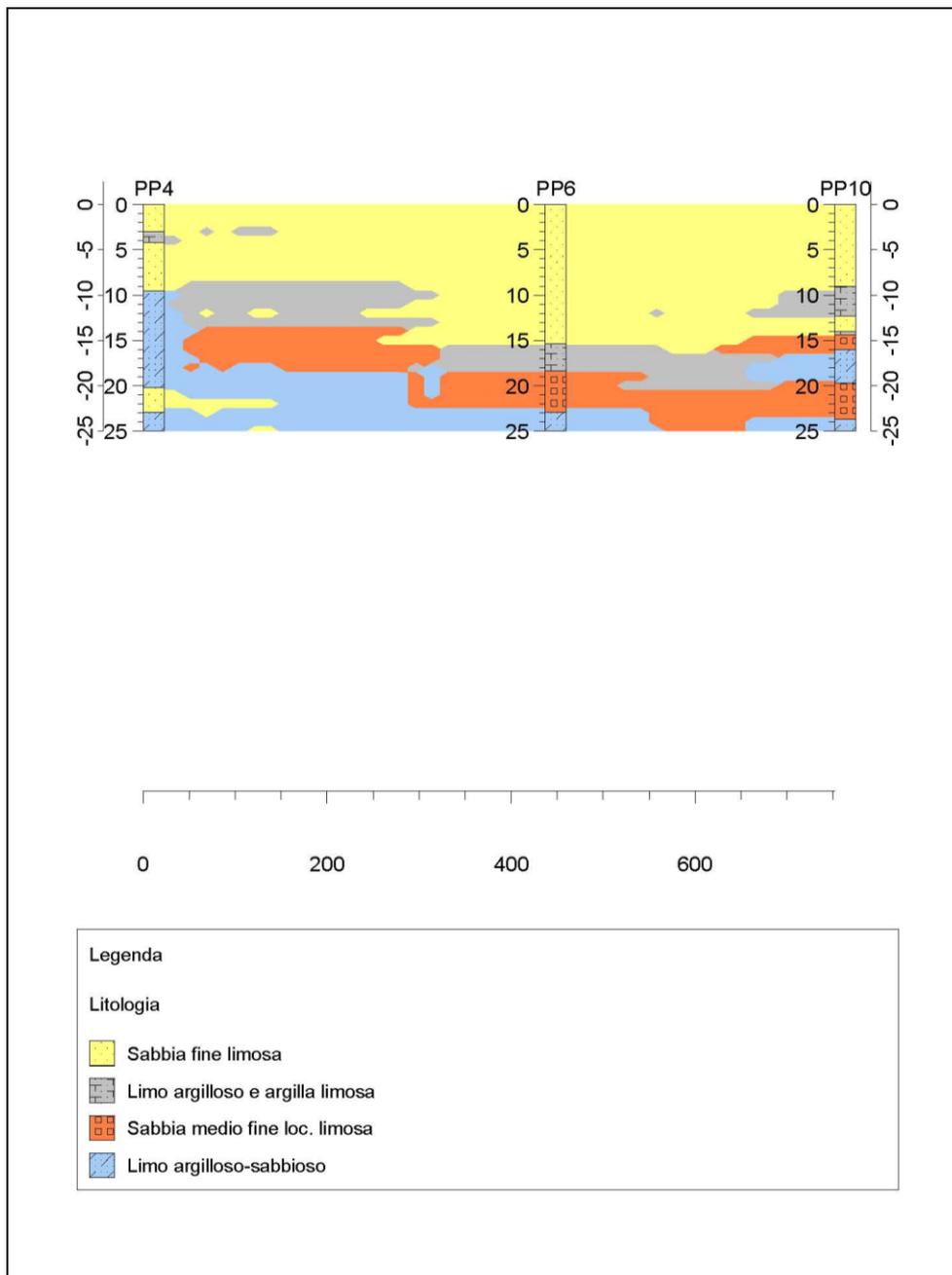


Fig. 2.6 - Sezione litologica B-B'

2.3 Inquadramento idrogeologico

2.3.1 *Inquadramento idrogeologico di area vasta*

In generale l'idrogeologia di questa zona è caratterizzata dalla presenza di una modesta falda freatica e di varie falde profonde confinate, in pressione.

In questa area è sempre presente una falda superficiale di tipo freatico, la cui superficie è appena al di sotto del piano campagna. Essa è alloggiata in orizzonti sabbiosi o limosi nell'immediato sottosuolo ed è caratterizzata da oscillazioni stagionali contenute (dell'ordine di 1-2 m). Molto spesso più che di una singola falda freatica è corretto riferirsi ad un insieme di piccole falde superficiali e talora dotate di debole pressione, dove la litologia di superficie è prevalentemente

argillosa (Provincia di Venezia, 2000).

La falda superficiale ha generalmente una soggiacenza ridotta e compresa tra i 50 cm (e anche meno nelle aree morfologicamente più depresse) e i 4 m (nelle aree più rilevate dei litorali). Questa falda, data la sua debole profondità, è in diretta comunicazione con le acque lagunari e/o marine (nei litorali), presenta un certo grado di salinità ed è condizionata dall'andamento delle maree (Provincia di Venezia, 2000).

Ad elevate profondità si riscontra la presenza di un sistema a più falde sovrapposte alloggiate in materiali permeabili (depositi ghiaioso-sabbioso), separate da lenti di materiali argillosi praticamente impermeabili. Lo schema di massima definisce quindi, un sistema di cinque falde multiple in pressione nei seguenti intervalli di sfruttamento: 60-70 m, 95-125 m, 135-155 m, 165-185 m, 215-240 m. La conducibilità idraulica di questi acquiferi è nel complesso piuttosto bassa e si aggira sui 10^{-5} - 10^{-7} m/s (Provincia di Venezia, 2000). Il deposito superficiale che si estende fino a 60 m di profondità risulta particolarmente complesso ed eterogeneo dal punto di vista litologico; conseguentemente anche le strutture idrogeologiche, sono difficilmente individuabili e correlabili (CNR, 1999).

Le indagini condotte negli anni settanta per individuare le cause della subsidenza hanno permesso di chiarire la situazione idrogeologica della gronda lagunare. È emerso che le acque sotterranee traggono alimentazione dalla fascia pedemontana e defluiscono prevalentemente da NW verso SE con gradiente medio dello 0.2 % (CNR, 1999).

Nell'area centrale della provincia di Venezia il numero totale dei pozzi censiti è di 1837, distribuiti non uniformemente sul territorio, con una maggiore concentrazione nel settore settentrionale (comuni di Noale, Scorzè, Salzano e Martellago) e nel litorale del Cavallino. Le profondità dei pozzi sono variabili e comprese tra 10-80 m, 81-124 m, 125-200 m, 201-260 m, 261-300 m a seconda della falda di sfruttamento. Per l'approvvigionamento idrico autonomo, la profondità dei pozzi sfruttati supera i 300 m; il 43.3% dei pozzi è caratterizzato da erogazione spontanea ed il prelievo misurato è di oltre 2000 l/s, portata che è distribuita tra Acquedotti, pozzi privati e Società delle Acque minerali (Provincia di Venezia, 2000).

2.3.2 Inquadramento idrogeologico dell'Area di Monitoraggio

La ricostruzione litologica, i sondaggi realizzati nell'ambito del presente studio e quelli pregressi hanno confermato la complessa alternanza litologica di sabbie, limi e argille. Localmente è stato possibile individuare due livelli acquiferi: si tratta di un primo livello acquifero, caratterizzato da soggiacenza variabile (compresa tra 0.63 e 1.60 m) e potenza di circa 15 m; ed un secondo livello acquifero, caratterizzato da livelli sabbiosi localmente limosi. I due sistemi risultano separati da un livello limoso argilloso alternato ad argilla limosa, posto alla profondità di circa 14÷20 m da p.c..

Di seguito viene fornita una descrizione di ciascuno dei due livelli acquiferi localmente individuati e del livello di separazione:

- Primo Livello Acquifero (Strato A): caratterizzato da una potenza di circa 15 m costante su tutta l'area indagata; si imposta nei depositi litorali costituiti principalmente da sabbia limosa con lenti limose argillose contenenti frammenti conchigliari. Contiene una falda superficiale, in rapporto diretto di interdipendenza idraulica con le acque lagunari e marine, dal momento che la soggiacenza è compresa tra 0.63 e 1.60 m.
- Livello di separazione a bassa permeabilità (Strato B): è costituito da una alternanza di limo argilloso e argilla limosa con sottili livelli torbosi di colore marrone scuro. Questo orizzonte impermeabile è rinvenibile, in corrispondenza di tutti i sondaggi ed a profondità variabili e comprese tra 10 m e 18÷20 m da p.c.; solo in alcuni casi, come nel PP11, si imposta a partire

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

dai 5 m da p.c. Lo spessore è generalmente compreso tra 10-15 m, con l'eccezione dei sondaggi LST1, LST4, 1656, PP3, PP5, PP6 in corrispondenza dei quali è possibile riscontrare la potenza di tale livello pari a circa 5 m.

- Secondo livello acquifero (Stato C): al di sotto del livello a bassa permeabilità, a profondità in genere superiori a 18 m da p.c. e fino a fine sondaggio, sono rinvenibili depositi di sabbia fine e medio-fine (da debolmente limosa a limosa ed intercalata a livelli centimetrici di argilla limosa) nei quali è ospitata una falda idrica in pressione. La soggiacenza della falda è compresa tra 0.97 e 2.00 m da p.c..

La successione idrogeologica è illustrata nei profili idrogeologici riportati in Fig. 2.7, Fig. 2.8, le cui tracce sono riportate in Fig. 2.4. In Fig. 2.9 è riportato un profilo idrogeologico tridimensionale.

La precedente classificazione ha una validità esclusivamente locale, a scala di dettaglio. Non si dispone di dati sufficienti ad estendere una tale classificazione su vasta scala, nè ad escludere rapporti di connessione idraulica tra i due livelli individuati.

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

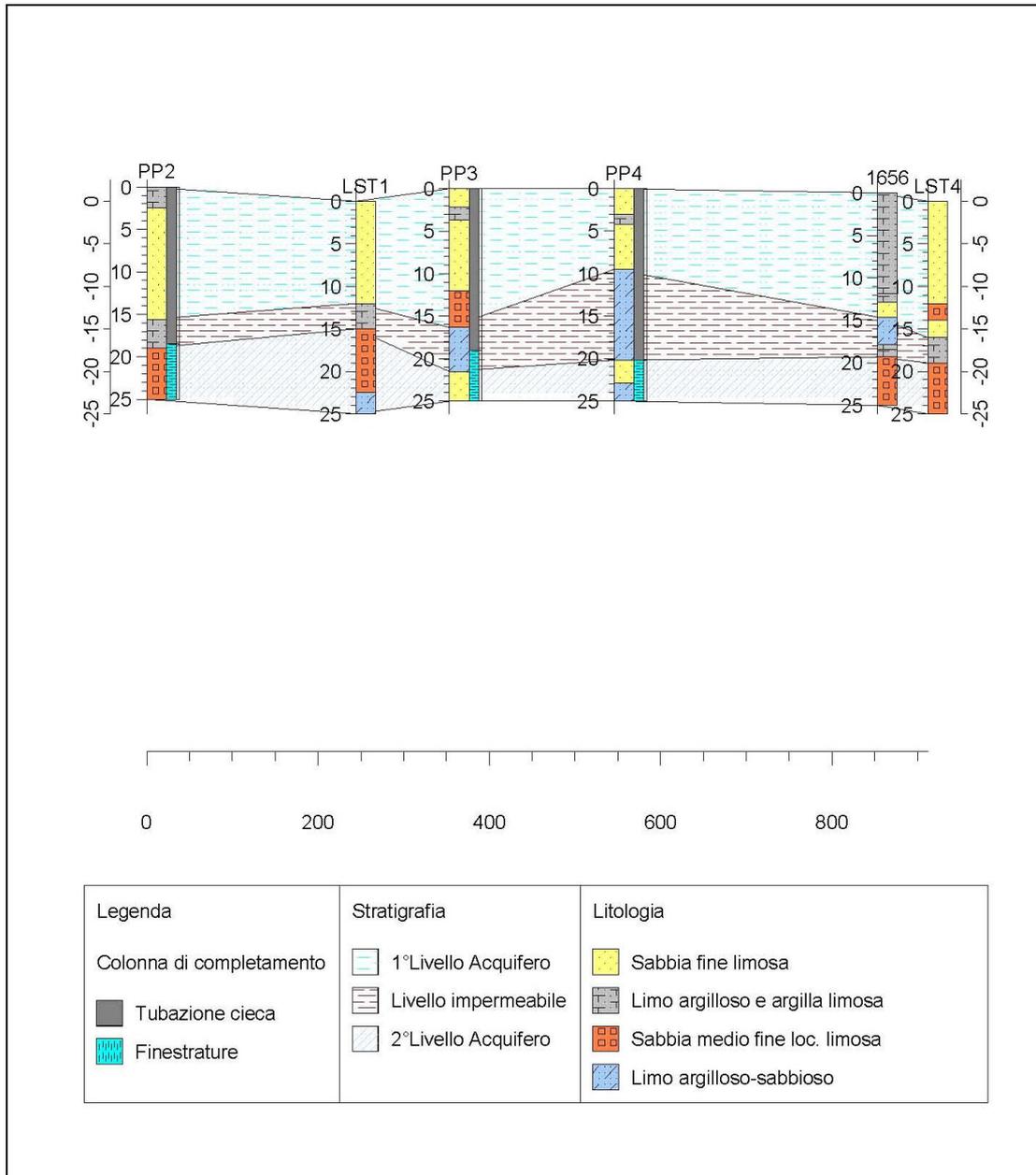


Fig. 2.7- Profilo idrogeologico A-A'.

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

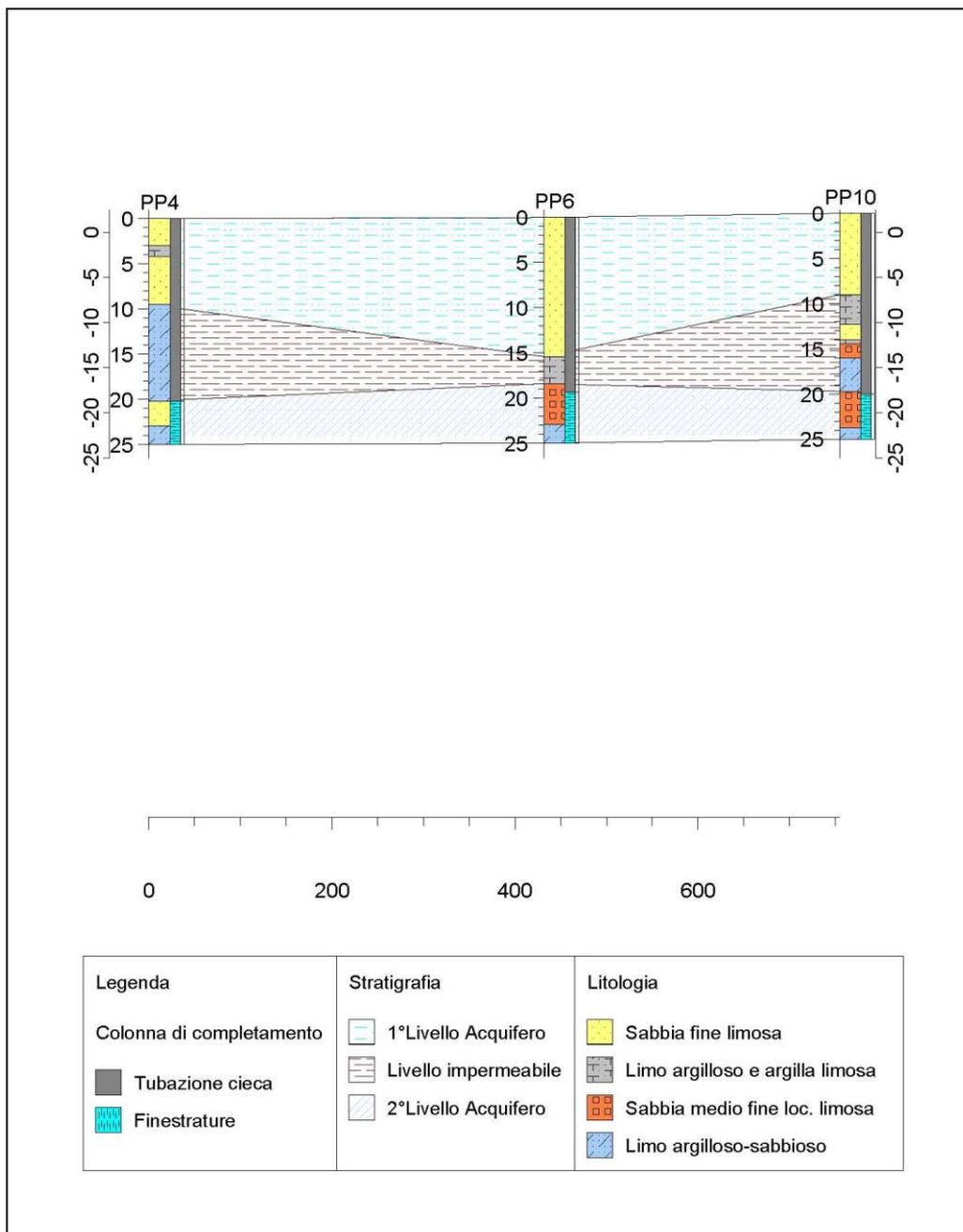


Fig. 2.8 - Profilo idrogeologico B-B'.

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

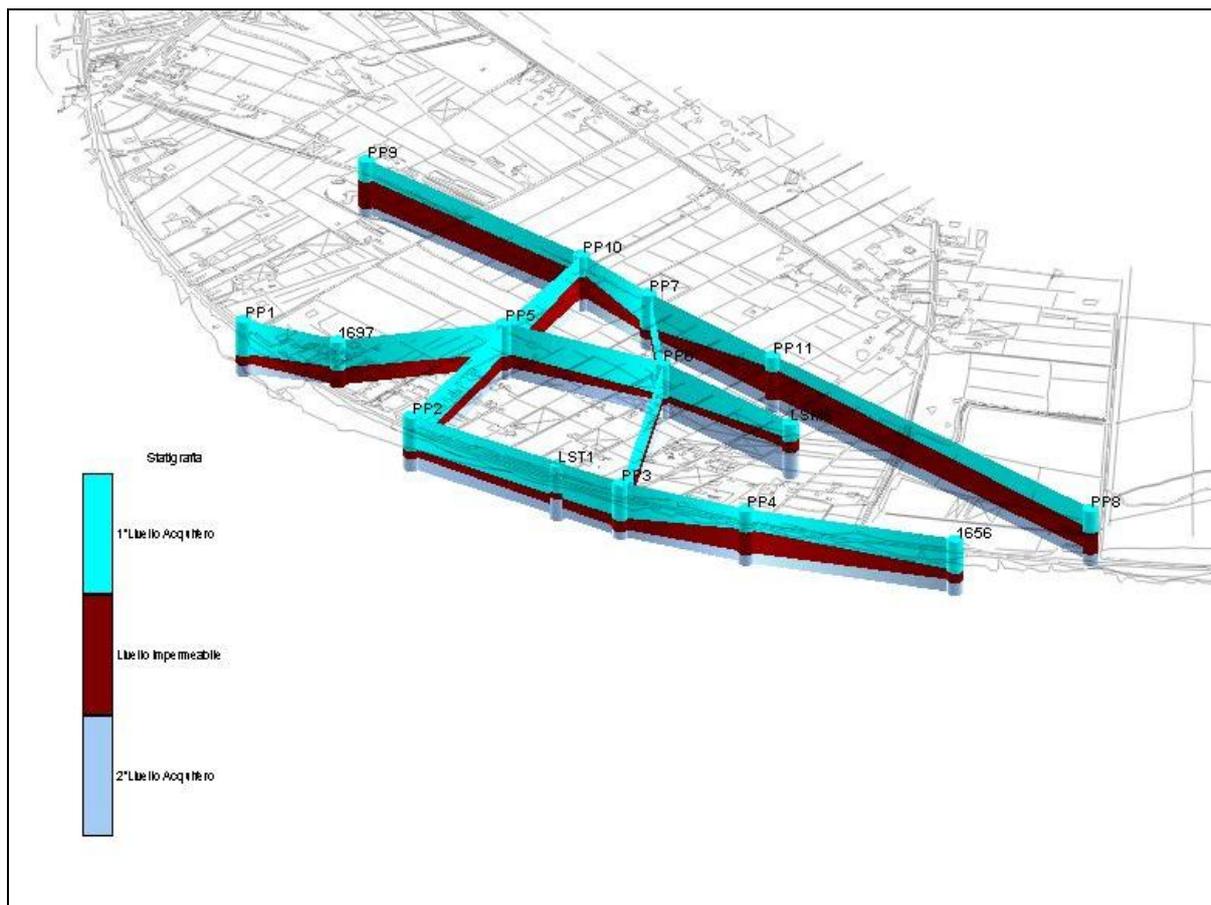


Fig. 2.9 - Profilo idrogeologico tridimensionale in corrispondenza dell' Area di Monitoraggio

2.3.3 Caratterizzazione idrodinamica

Lo studio “Nuovi interventi per la salvaguardia di Venezia. Studio B.6.72/A 1^a fase - Controllo degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Rapporto Finale. Lo Stato di Qualità Attuale delle Componenti Ambientali.” (Consorzio Venezia Nuova - Technital, marzo 2005) riporta una prova di falda volta alla determinazione della conducibilità idraulica dello “Strato C” .

La prova è stata condotta in un'area limitrofa al cantiere, in cui sono stati realizzati un pozzo pilota (profondità di 31.85 m da p.c.) ed alcuni piezometri di osservazione (Fig. 2.10), al fine di registrare le variazioni dei livelli piezometrici durante la prova di falda.

Tab. 2.2 - Ubicazione dei piezometri di osservazione

Piezometro	Livello deposizionale monitorato	distanza dal pozzo	Quota bocca foro (m l.m.m.)	Profondità di perforazione	Coordinate reali (Gauss Boaga)	
					E	N
PZ 1- B	B	3	+1.80	-18.00	2318321.5	5034860.9
PZ 1- C	C	3	+1.80	-23.90	2318323.1	5034861.1
PZ 2- A	A	3	+1.96	-14.10	2318325.4	5034858.9
PZ 2- C	C	3	+1.95	-23.90	2318325.5	5034857.4
PZ 3- B	B	3	+1.87	-18.10	2318323.5	5034854.9
PZ 3- C	C	3	+1.86	-23.90	2318322.0	5034855.0
PZ 4- A	A	3	+1.85	-14.50	2318319.3	5034858.5

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

Piezometro	Livello deposizionale monitorato	distanza dal pozzo	Quota bocca foro (m l.m.m.)	Profondità di perforazione	Coordinate reali (Gauss Boaga)	
					E	N
PZ 4- C	C	3	+1.93	-23.70	2318319.5	5034857.1
PZ 5- C	C	7.5	+2.00	-23.90	2318330.1	5034858.5
PZ 6- C	C	15	+1.96	-23.90	2318337.3	5034859.0
PZ 7- A	A	50	+1.79	-14.50	2318360.1	5034891.5
PZ 7- C	C	50	+1.77	-23.60	2318360.9	5034890.3

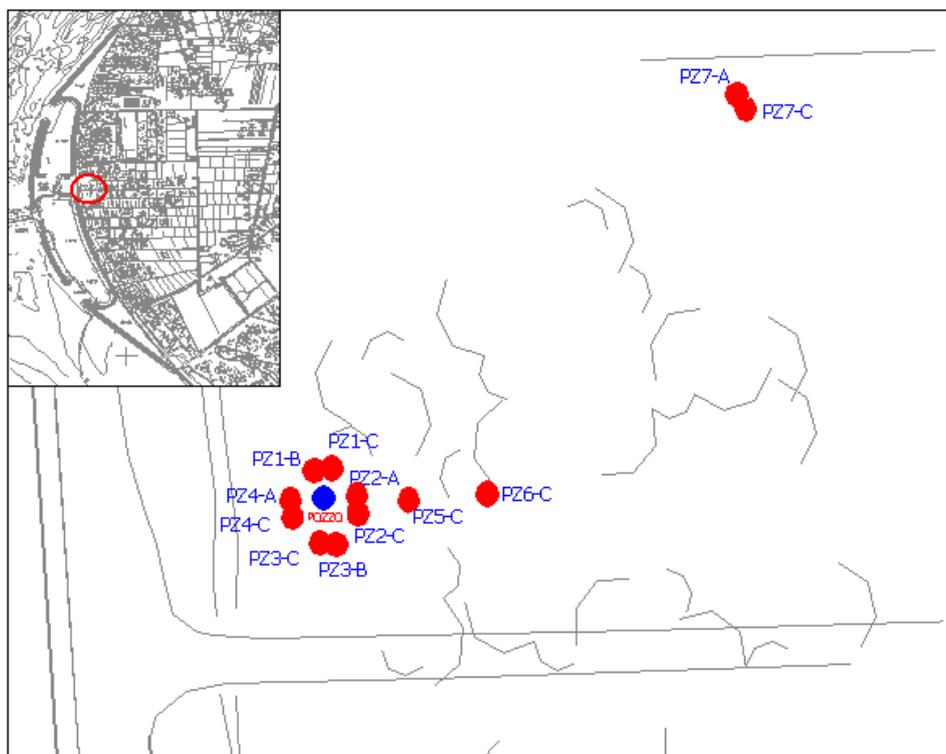


Fig. 2.10 -Ubicazione del campo prove

La prova di falda, per la determinazione della conducibilità idraulica dello strato C (Tab. 2.1), è stata condotta tra il 03/11/2003 ed il 13/11/2003 ed ha fornito i risultati riportati in Tab. 2.3.

Tab. 2.3 - Valori di conducibilità idraulica registrati ai piezometri di controllo durante le prove di emungimento da pozzo.

Piezometro di osservazione	1° STEP		2° STEP		2° STEP		conducibilità media nei singoli piezometri k(m/s)
	k (m/s) Discesa	k (m/s) Risalita	k(m/s) Discesa	k(m/s) Risalita	k(m/s) Discesa	k (m/s) Risalita	
Pz 1C	$3.52 \cdot 10^{-6}$	$2.77 \cdot 10^{-6}$	$3.06 \cdot 10^{-6}$	$2.89 \cdot 10^{-6}$	$2.96 \cdot 10^{-6}$	$2.77 \cdot 10^{-6}$	$3.00 \cdot 10^{-6}$
Pz 2C	$3.67 \cdot 10^{-6}$	$2.78 \cdot 10^{-6}$	$3.19 \cdot 10^{-6}$	$2.88 \cdot 10^{-6}$	$2.96 \cdot 10^{-6}$	$2.76 \cdot 10^{-6}$	$3.04 \cdot 10^{-6}$
Pz 3C	$3.37 \cdot 10^{-6}$	$2.31 \cdot 10^{-6}$	$3.06 \cdot 10^{-6}$	$2.10 \cdot 10^{-6}$	$2.50 \cdot 10^{-6}$	$2.31 \cdot 10^{-6}$	$2.61 \cdot 10^{-6}$
Pz 4C	$3.37 \cdot 10^{-6}$	$2.29 \cdot 10^{-6}$	$3.06 \cdot 10^{-6}$	$1.83 \cdot 10^{-6}$	$2.29 \cdot 10^{-6}$	$2.26 \cdot 10^{-6}$	$2.51 \cdot 10^{-6}$
Pz 5C	$4.95 \cdot 10^{-6}$	$4.46 \cdot 10^{-6}$	$4.90 \cdot 10^{-6}$	$3.73 \cdot 10^{-6}$	$3.83 \cdot 10^{-6}$	$3.34 \cdot 10^{-6}$	$4.20 \cdot 10^{-6}$

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

Piezometro di osservazione	1° STEP		2° STEP		2° STEP		conducibilità media nei singoli piezometri k(m/s)
	k (m/s) Discesa	k (m/s) Risalita	k(m/s) Discesa	k(m/s) Risalita	k(m/s) Discesa	k (m/s) Risalita	
Pz 6C	6.13 ·10 ⁻⁶	5.50 ·10 ⁻⁶	6.06 ·10 ⁻⁶	5.72 ·10 ⁻⁶	5.17 ·10 ⁻⁶	5.11 ·10 ⁻⁶	5.62 ·10 ⁻⁶
Pz 7C	N.D.						

2.3.3.1 Censimento pozzi

Nella Penisola del Cavallino, l'acquifero messo in produzione è quello confinato, compreso tra 95 e 125 m di profondità, e questa area è una delle più intensamente sfruttate della zona. Tale acquifero viene intercettato da circa oltre 200 pozzi per scopi irrigui (Fig. 2.11 e particolare Fig. 2.12), con un prelievo superiore a 0,5 l/s/km².

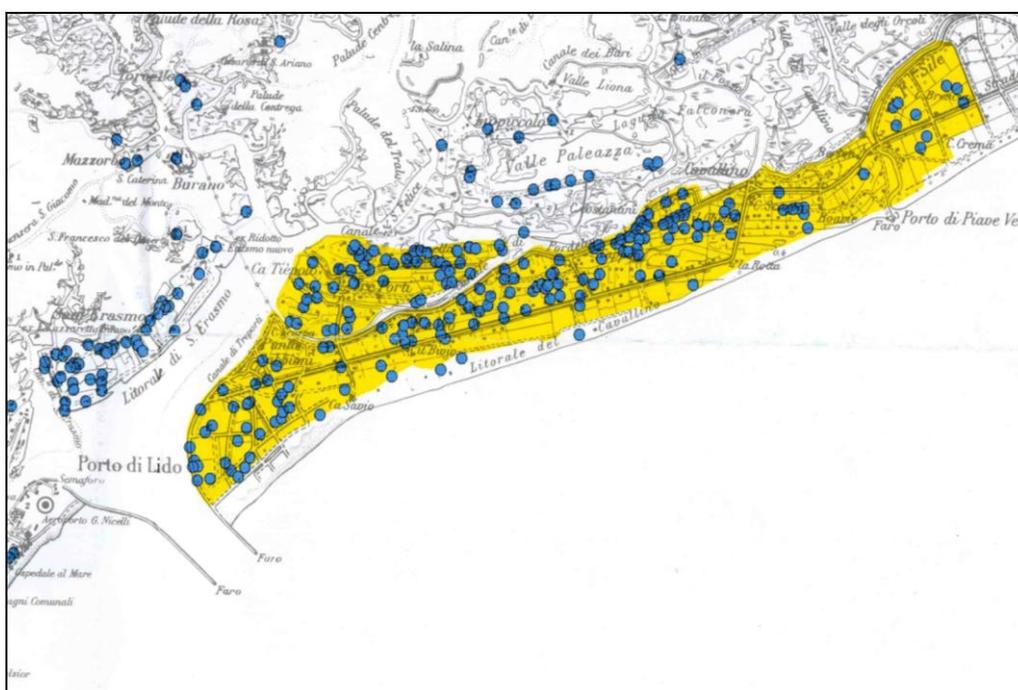


Fig. 2.11 -Risorse idriche sotterranee. Ubicazione pozzi censiti nella penisola del Cavallino (Fonte: Provincia di Venezia, 2000).

Nel periodo compreso tra ottobre 1997 e febbraio 1998, la Provincia di Venezia (Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio - Ufficio Difesa del Suolo - Servizio Geologia) ha eseguito un censimento pozzi nell'area della penisola del Cavallino.

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

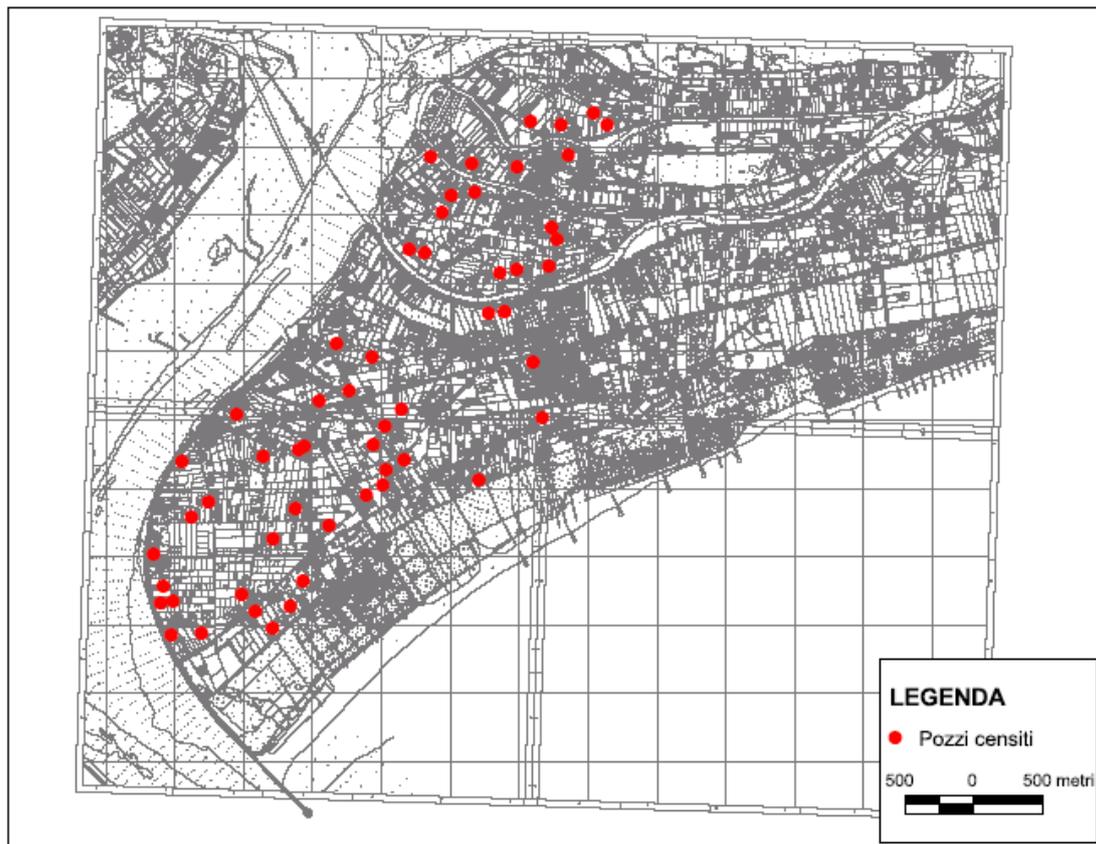


Fig. 2.12 - Ubicazione dei pozzi censiti nell'area della penisola del Cavallino.

Il censimento effettuato dal "Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio, Ufficio Difesa del Suolo, Servizio Geologia" della Provincia di Venezia riporta la presenza di 9 pozzi nell'Area di Monitoraggio (Tab. 2.4, Fig. 2.13).

Tab. 2.4 - Caratteristiche principali dei pozzi presenti nella Località Punta Sabbioni

ID Pozzo	Località	Anno di costruzione	Profondità	Uso	tipo di pompa	Coordinate (Gauss Boaga, Fuso Est)	
						X	Y
9331	Punta Sabbioni	1961	105 m	Irriguo	Pompa manuale + autoclave	2318984.85	5034725.58
9335	Punta Sabbioni	1960	118 m	Irriguo	Pompa esterna	2318345.96	5035018.33
9333	Punta Sabbioni	1973	120 m	Irriguo	Pompa sommersa	2318487.73	5034677.71
9336	Punta Sabbioni	1990	120 m	Irriguo	Pompa sommersa	2318397.51	5034666.66
9337	Punta Sabbioni	1979	118 m	irriguo	Pompa esterna	2318474.84	5034419.95
9332	Punta Sabbioni	1960	118 m	Irriguo	Pompa sommersa	2318695.79	5034442.04
9330	Punta Sabbioni	1988	120 m	Irriguo	Pompa sommersa	2319084.28	5034593.02
9326	Punta Sabbioni	1984	-	Irriguo	Pompa sommersa	2318622.14	5035285.3
9324	Punta Sabbioni	1983	-	Irriguo	Pompa sommersa	2318747.34	5035404.98

Tutti i 9 pozzi sono destinati all'uso irriguo e completati a profondità tali da non influenzare i livelli delle soprastanti falde oggetto del presente monitoraggio.

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

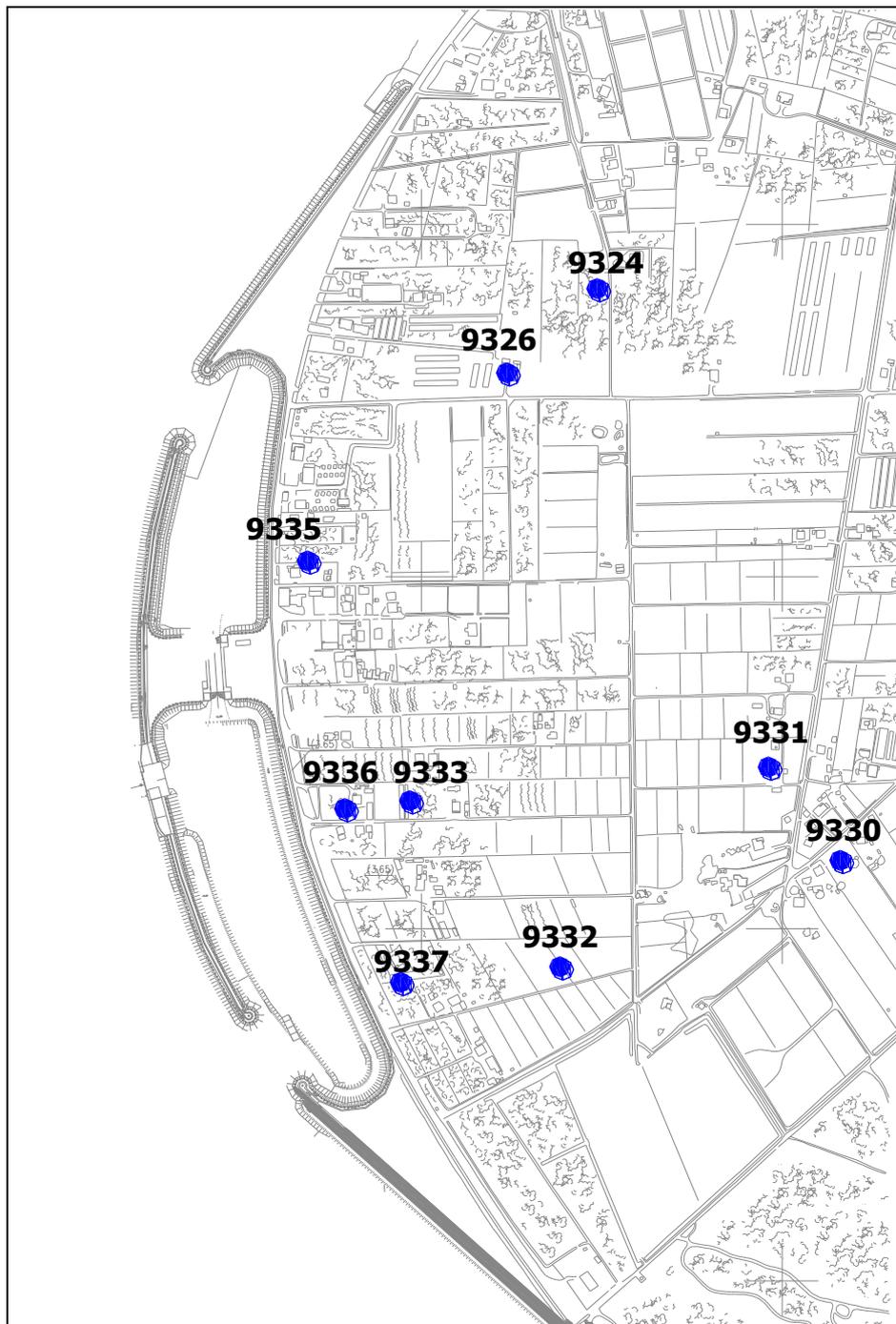


Fig. 2.13 - Ubicazione dei pozzi presenti nell' Area di Monitoraggio

2.4 Acque superficiali

L'area della penisola del Cavallino è assoggettata ad un sistema, a scolo naturale o meccanico, con impianto idrovoro, alternati. Tale sistema è gestito dal Consorzio di Bonifica "Basso Piave". Lo scolo naturale avviene mediante canalizzazioni dotate di paratoie (Fig. 2.14), mentre lo scolo meccanico viene attivato qualora quello naturale risulti essere insufficiente.

Nell'area di Punta Sabbioni non sono stati individuati fiumi, torrenti o canali principali, ma soltanto canali di scolo secondario (non gestiti dal Consorzio) profondi 0.5 m ed adiacenti ai campi agricoli.

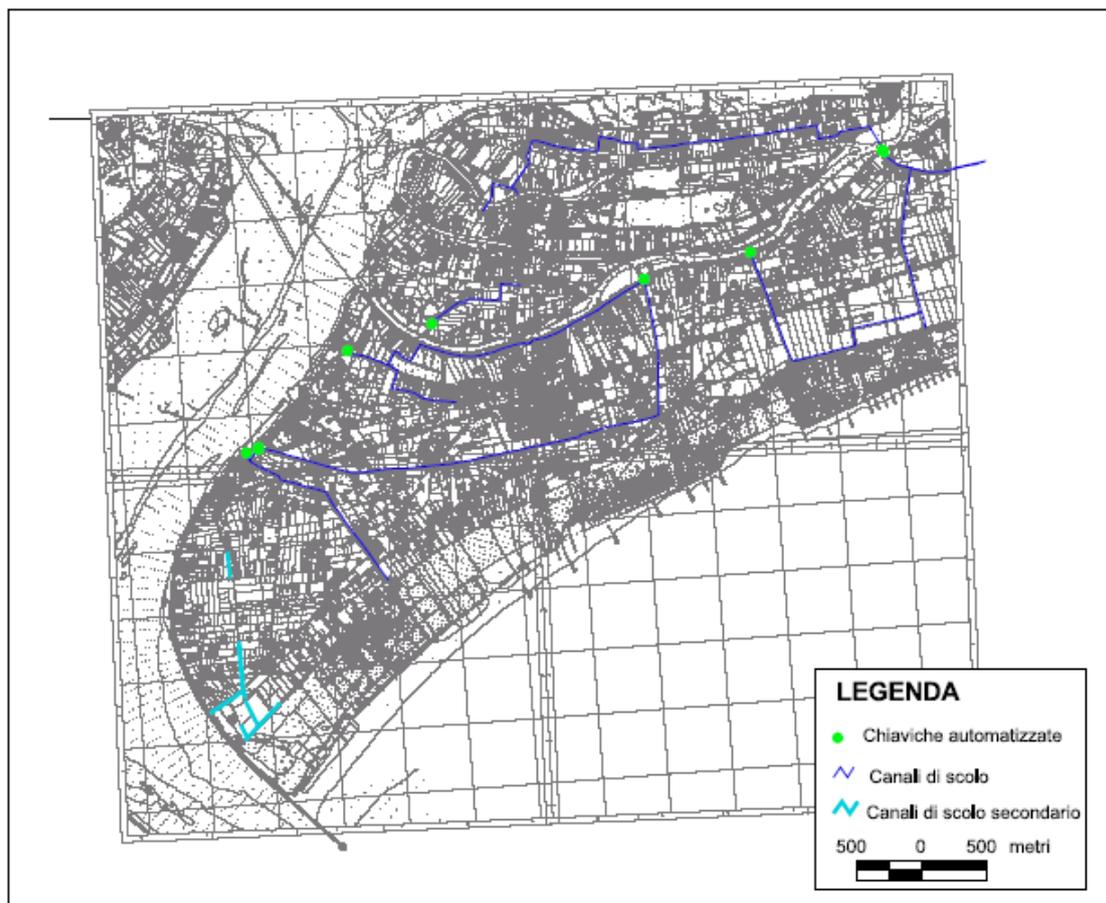


Fig. 2.14 - Rete di bonifica e scolo nelle penisola del Cavallino.

2.5 Inquadramento climatico

Il clima della provincia di Venezia, pur rientrando nella tipologia mediterranea, presenta proprie peculiarità dovute al fatto di trovarsi in una posizione di transizione e di subire quindi varie influenze: l'azione mitigatrice delle acque mediterranee, l'effetto orografico della catena alpina e la continentalità dell'area centro europea.

La precipitazione media annua, nella provincia di Venezia, è di circa 700 mm ed il numero di giorni piovosi annui ha valori compresi tra 70-80 giorni. I mesi mediamente più piovosi sono quelli primaverili ed autunnali; più rare sono le precipitazioni invernali associate a venti sciroccali ed all'incontro di masse d'aria fredda polare e più calda umida, stagnante localmente sul Mediterraneo.

I venti predominanti in questo settore geografico sono lo scirocco e la bora. Il primo è quello caldo e umido che molte volte, sommato all'attrazione lunare fa crescere la marea. La bora è invece il vento secco e freddo che proviene dal Carso e spirava dal quadrante settentrionale.

All'interno dell'Area di Monitoraggio del suolo è presente una postazione meteo di recente collocazione ed appositamente installata per valutare le influenze del cantiere Bocca di Lido sulla qualità dell'aria durante le attività dei cantieri del MOSE. La centralina MET 3000R, gestita dal settore "aria e agenti chimici", monitora in continuo i seguenti parametri meteorologici: direzione ed intensità del vento, umidità, pressione, temperatura, pioggia. La strumentazione acquisisce i parametri con frequenza oraria ed è impostata secondo l'ora legale. La stazione è ubicata presso il Circolo della Vela (adiacente a Via Goethe, Lungomare Dante Alighieri - Fig. 2.15), presso la postazione DEP 2, in un punto di coordinate Lat

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

(N) 45° 26' 25" e Long (E) 12° 25' 18.7" ed in coordinate Gauss Boaga (Fuso Est) N:5035117 ed E: 2318372.

Nel presente piano di monitoraggio, saranno quindi prese in considerazione le informazioni meteo derivanti dalla suddetta stazione, con lo scopo di effettuare una correlazione tra i livelli piezometrici acquisiti ed eventi di precipitazione verificatisi nei mesi di monitoraggio.

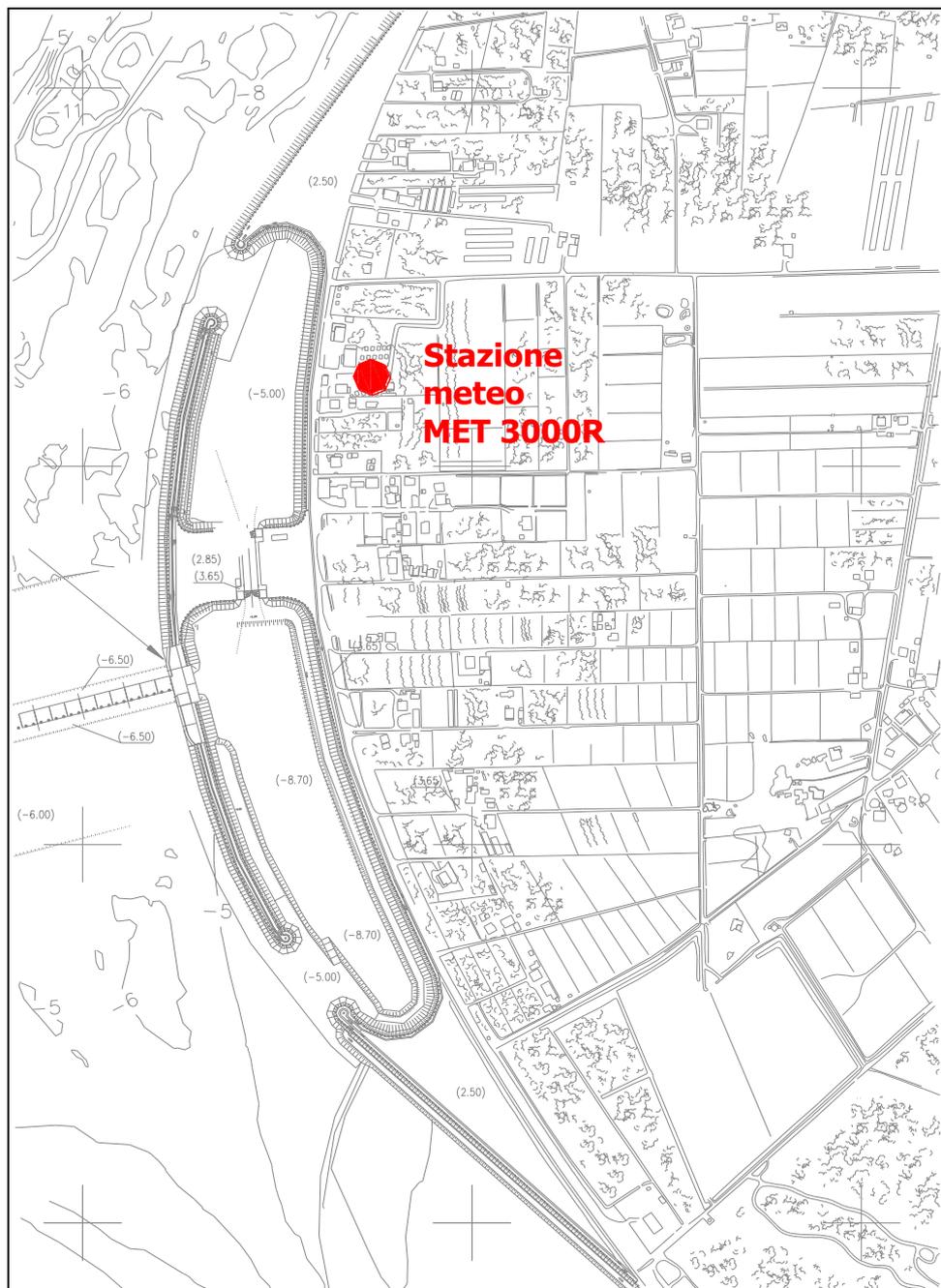


Fig. 2.15 - Ubicazione stazione meteo MET 3000 R predisposta dal gruppo di monitoraggio "aria ed agenti chimici".

2.6 Livelli del mare

Le maree sono generalmente di tipo semidiurno e si ripetono regolarmente seguendo i movimenti apparenti della Luna attorno alla Terra: nell'intervallo di tempo compreso tra due passaggi consecutivi della Luna sul meridiano del luogo (24 ore e 50 minuti) si hanno due basse maree alternate a due alte maree. Le maree sono soggette a variazioni in rapporto a diversi fattori meteorologici, in particolare le maree sono più elevate quando la pressione barometrica subisce un notevole abbassamento e/o in presenza di venti che spirano costantemente verso terra (forte vento di scirocco o di bora). Le più ampie escursioni di marea si verificano di norma nei periodi di novilunio e plenilunio, mentre nei periodi di primo ed ultimo quarto di luna è più difficile il verificarsi del fenomeno dell'acqua alta.

Le quote di marea vengono convenzionalmente riferite ad un livello significativo per i centri lagunari: il cosiddetto l.m.m.1897 (Punta della Salute in bacino di S. Marco)¹, considerato fisso, nonostante i fenomeni di subsidenza.

Quotidianamente il “Centro Previsioni e Segnalazioni Maree” del Comune di Venezia provvede a registrare il livello di marea nelle 10 stazioni automatiche di monitoraggio meteo-marino dislocate sul territorio lagunare (Fig. 2.16); la stazione di monitoraggio più vicina all'Area di Monitoraggio è “Diga sud Lido”.

Le escursioni del livello d'acqua registrate a Venezia (Punta Salute) sono tra le più alte dell'Adriatico e dell'intero Mediterraneo. L'oscillazione di marea varia in genere tra 30 e 110 cm ed è normalmente attorno a 55 cm.

Le quote di marea in bacino di S. Marco non sono le stesse registrate alla medesima ora in altre località della laguna; l'onda di marea subisce in generale un ritardo ed un'attenuazione progressivi nell'avanzare dalle bocche alle località più interne.

I dati mareali verranno correlati, in questo studio, con i livelli registrati in corrispondenza delle postazioni di monitoraggio dei livelli piezometrici.

¹ Il livello medio del mare si trova a circa +23 cm sullo zero della Punta della Salute.

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

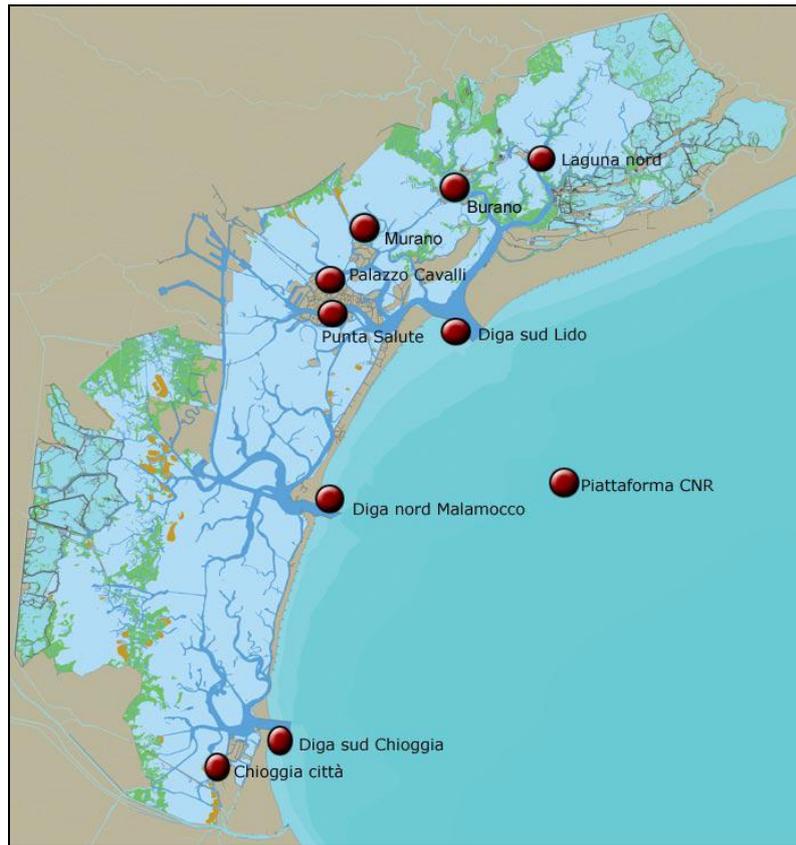


Fig. 2.16 - Stazioni di monitoraggio meteo marino dell'Istituzione "Centro Previsioni e segnalazioni maree di Venezia".

3. RETE DI MONITORAGGIO DEI LIVELLI PIEZOMETRICI

In questo paragrafo viene descritta l'installazione dei piezometri relativi alla rete di monitoraggio dei livelli di falda sulla base di quanto prescritto dai documenti: "Disciplinare Tecnico - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari" (CVN, settembre 2004) e dalle "Specifiche tecniche per la realizzazione delle postazioni di monitoraggio nell'area Punta Sabbioni, Comune di Cavallino Treporti, Venezia, Rev. 1" (CORILA, 2005). La perforazione ed il completamento delle 11 postazioni sono state state condotte dalla SELC Soc. Coop. di Marghera (VE) nei mesi di luglio e di agosto 2005.

La rete di monitoraggio è finalizzata alla misura dei livelli piezometrici in corrispondenza degli strati produttivi A e C individuati dal Disciplinare Tecnico (CVN, 2004), riportati in Tab. 2.1 nel par. 2.2.2 e denominati, nell'ambito del presente studio, "primo livello acquifero" e "secondo livello acquifero".

La rete è costituita, pertanto, da 11 postazioni doppie ciascuna delle quali è costituita da due colonne piezometriche, in PVC del diametro di 3", che si spingono a differenti profondità per intercettare gli strati A oppure C.

L'ubicazione definitiva delle postazioni, in posizioni compatibili all'accessibilità del cantiere ed alla presenza dei sottoservizi, è stata definita, in data 22/07/2005, sulla base di un sopralluogo cui hanno partecipato i tecnici del CORILA, del Politecnico di Torino, del Comune di Cavallino Treporti, della SELC, dell'Italgas e della Vesta (Fig. 3.1).

CORILA

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

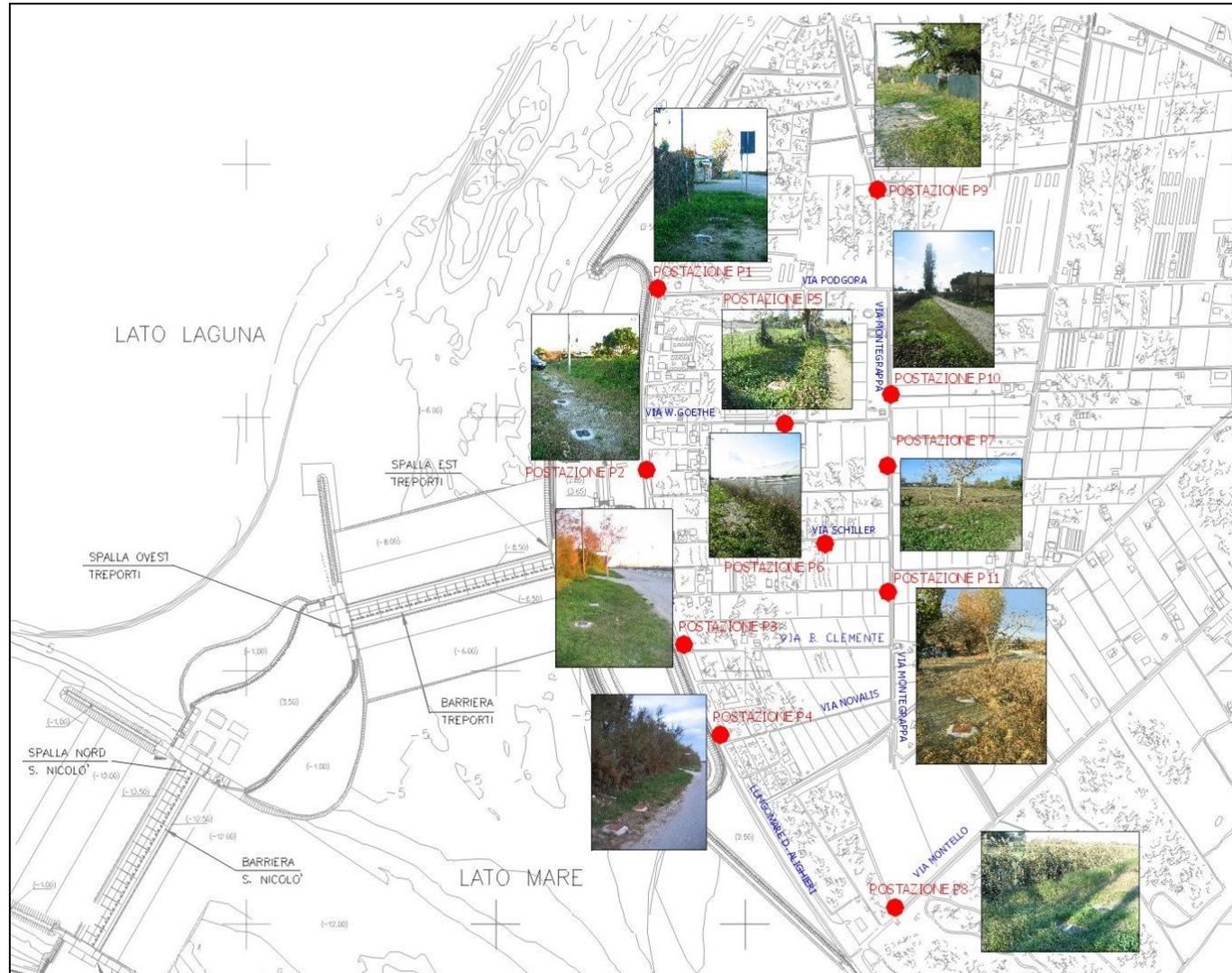


Fig. 3.1 - Planimetria dell'area ed ubicazione delle postazioni di monitoraggio.

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

Per ciascuna postazione sono stati installati, a distanza di 1-2 metri, 2 piezometri: uno superficiale (PS "n") che si spinge fino ad una profondità di circa 15 m da p.c. in modo da intercettare completamente il primo livello acquifero (strato A); ed uno profondo (PP "n"), che si spinge fino ad una profondità di circa 25 m da p.c. in modo da intercettare completamente il secondo livello acquifero (strato C).



Fig. 3.2: Operazioni di perforazione.

Durante la realizzazione di ciascuna postazione si è proceduto alla perforazione (Fig. 3.2) del piezometro profondo, con tecnica a rotazione con carotaggio continuo a mezzo di un carotiere semplice ($\varnothing = 101 \text{ mm}$, $L = 1500 \text{ mm}$ diametro e/o $\varnothing = 127 \text{ mm}$, $L = 1500 \text{ mm}$), in modo da acquisire i dati stratigrafici definitivi e progettare opportunamente il completamento delle colonne piezometriche. Si è, quindi, proceduto alla perforazione del piezometro superficiale con tecnica a rotazione a distruzione di nucleo.

All'interno dei perfori sono stati installati piezometri di tipo "aperto" in PVC pesante, di diametro pari a 3". La parte di tubo microfessurata ha aperture (slot) di dimensioni pari a 1 mm ed interessa, nel caso del piezometro profondo, tutto lo strato di sabbia fine, localmente limosa, a profondità comprese circa tra 19.00 m e 25.00 m da p.c.. Il piezometro superficiale è stato, invece, finestrato da circa un metro al di sotto del piano campagna fino alla quota di fondo foro (15.00 m da p.c.). L'intercapedine foro-piezometro, in corrispondenza del tratto filtrante, è stata riempita con ghiaietto siliceo calibrato. Al di sopra della finestratura, l'intercapedine è stata sigillata mediante bentonite in pellet fino in superficie. Le stratigrafie e le caratteristiche definitive di completamento sono riportate in Allegato 1 e riassunte in Tab. 3.1.

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

Tab. 3.1 - Elenco dei piezometri superficiali e profondi: ubicazione, profondità del piezometro e posizione del tratto finestrato.

Postazione	Piezometro	Livello acquifero	profondità piezometro (m p.c.)	tratto finestrato (m. p.c.)
P1	PS1	Primo (Strato A)	-15.00	-15.00 a -1.00
	PP1	Secondo (Strato C)	-25.00	-25.00 a -19.00
P2	PS2	Primo (Strato A)	-14.50	-15.00 a -0.60
	PP2	Secondo (Strato C)	-25.00	-24.40 a -18.50
P3	PS3	Primo (Strato A)	-25.00	-15.0 a -1.0
	PP3	Secondo (Strato C)	-15.00	-25.00 -19.00
P4	PS4	Primo (Strato A)	-15.00	-15.0 a -1.0
	PP4	Secondo (Strato C)	-25.00	-25.00 a -20.00
P5	PS5	Primo (Strato A)	-15.00	-15.0 a -1.0
	PP5	Secondo (Strato C)	-25.00	-24.35 a -19.35
P6	PS6	Primo (Strato A)	-14.60	-14.60 a -0.60
	PP6	Secondo (Strato C)	-24.35	-24.35 a -19.35
P7	PS7	Primo (Strato A)	-15.00	-15.0 a -1.0
	PP7	Secondo (Strato C)	-25.00	-25.00 a -20.00
P8	PS8	Primo (Strato A)	-14.80	-14.80 a -1.00
	PP8	Secondo (Strato C)	-25.00	-25.00 a -20.00
P9	PS9	Primo (Strato A)	-14.70	-14.70 a -0.70
	PP9	Secondo (Strato C)	-25.00	-25.00 a -19.90
P10	PS10	Primo (Strato A)	-14.60	-14.60 a -0.60
	PP10	Secondo (Strato C)	-25.00	-25.00 a -20.00
P11	PS11	Primo (Strato A)	-15.00	-15.0 a -1.0
	PP11	Secondo (Strato C)	-25.00	-25.00 a -19.00

La porzione sommitale della tubazione piezometrica è stata dotata di un bullone di ancoraggio per il trasduttore di pressione ed è stata protetta, come richiesto dal Comune di Cavallino Treporti - Servizio di Edilizia Privata (rif. Pratica Edilizia n°2005/0099 - Anteatto 7044 del 02/03/2005, Autorizzazione Ambientale del 02/05/2005) da un pozzetto carrabile interrato con chiusino munito di lucchetto (Fig. 3.3).

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



Fig. 3.3 -Dettaglio del pozzetto e del boccaforo.

4. RILIEVO TOPOGRAFICO DELLE POSTAZIONI

Come richiesto dal Disciplinare Tecnico (Magistrato delle Acque, Nuovi Interventi per la Salvaguardia di Venezia, Studio B.6.72 B/I, 2004) è stato eseguito un rilievo topografico finalizzato alla determinazione della posizione piano - altimetrica della rete di piezometri ubicati in corrispondenza dell'Area di Monitoraggio.

Il rilievo è stato eseguito dal DITAG del Politecnico di Torino in data 21-24 novembre 2005.

Per ogni postazione i-esima, costituita da due piezometri denominati rispettivamente PS"n" (piezometro superficiale) e PP"n", (piezometro profondo) è stata effettuata la misura della quota ortometrica (s.l.m.) e della posizione planimetrica del punto individuato dalla parte terminale della vite evidenziata in Fig. 4.1.

Vista la disponibilità di monografie relative a caposaldi rilevati per altre esigenze cantieristiche, è stato inoltre richiesto di verificare nuovamente la quota di alcuni di vertici:

- CDV4_8RIP , CDV4_7 descritti in CARBOGNIN L. and TOSI L , 2003. "Il Progetto ISES per l'analisi dei processi di intrusione salina e subsidenza nei territori meridionali delle Province di Padova e Venezia", © Ed. Progetto ISES, 95 p, 12 Tav. f.t., Grafiche Erredici, Padova (Italy);
- Punti di livellazione: 12D1, 12D2, 12D3, 12D4, 12D5, 12D6, 12D7 descritti in Progetto esecutivo Technital, Bocca di Lido Treporti tura e porto rifugio 1ª Fase. Inquadramento topografico. Elaborato MV050P-PE-TDD-1004-C3.

Le specifiche tecniche richieste sono le seguenti:

- sistema di riferimento planimetrico: Gauss Boaga - Fuso Est - Datum: Roma40
- precisione di posizionamento planimetrico: 0.30 m
- sistema di riferimento altimetrico: geoide
- precisione di posizionamento altimetrico: 0.005 m in relativo e 0.10 m in assoluto.

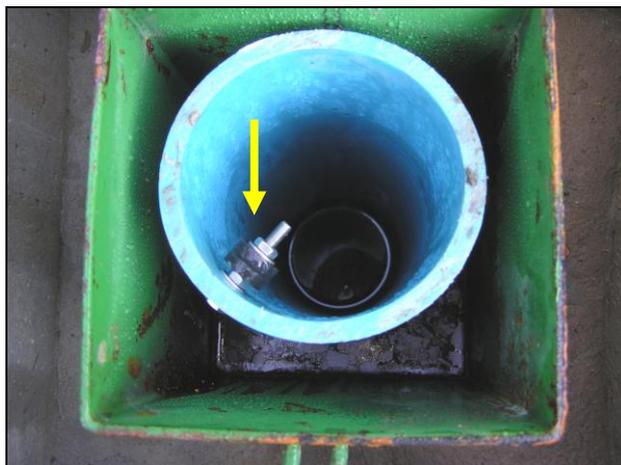


Fig. 4.1 - Immagine piezometro con vite

4.1 Pianificazione del rilievo

In funzione delle specifiche richieste, del numero di punti da rilevare e dell'estensione dell'area di indagine si è deciso di utilizzare le seguenti tecniche topografiche:

- livellazione geometrica di precisione per la determinazione dei dislivelli;
- rilievo GPS differenziale per la misura delle coordinate tridimensionali in un sistema di riferimento assoluto.

4.1.1 Materializzazione della rete

Per l'esecuzione del rilievo al fine di garantire le precisioni richieste, sono stati materializzati un insieme di vertici legati alla posizione dei piezometri e direttamente accessibili all'esterno di ciascuna postazione, senza la necessità di aprire il pozzetto. In particolare, è stato materializzato un vertice plano-altimetrico in prossimità di uno dei due chiusini presenti in ogni postazione piezometrica, mediante un cilindro d'ottone a testa punzonata semisferica, fissato per mezzo colla bicomponente alla struttura in cemento adiacente al chiusino (vedasi Fig. 4.2).

Ciò consente di disporre di un riferimento univocamente identificabile e stabile nel tempo che potrà eventualmente essere utilizzato per futuri rilievi topografici.



Fig. 4.2 - Esempio di posizione di vertice esterno e sua materializzazione

4.1.2 Livellazione geometrica

La livellazione geometrica consente di misurare i dislivelli tra i vertici da posizionare con precisione in funzione della strumentazione utilizzata e della distanza tra i punti stessi.

E' stato utilizzato il livello elettronico autolivellante Leica NA2002 (Fig. 4.3) con stadia codificata a lettura automatica che permette di ottenere precisioni dell'ordine di 1 mm/km.

Tale strumento è dotato di registrazione automatica delle misure in modo da prevenire eventuali errori grossolani dovuti alla scrittura manuale delle letture alla stadia. Inoltre, permette di effettuare i calcoli relativi a semplici linee di livellazione consentendo una immediata verifica in campagna delle misurazioni effettuate a condizione di utilizzare schemi di misura controllabili.



Fig. 4.3 -Livello Leica NA 2002 e la stadia codificata

4.2 Rilievo GPS RTK

La tecnologia GPS differenziale viene utilizzata per ottenere un posizionamento di precisione centimetrica, in tempo reale, riducendo così i tempi di occupazione dei singoli vertici. Questo tipo di tecnica richiede l'impiego di due ricevitori GPS: "master" e "rover". Il ricevitore *master* staziona su un punto di coordinate note e calcola, istante per istante, le correzioni da applicare alle misure di codice e di fase, in maniera tale da eliminare o ridurre gli effetti di errori sistematici presenti nelle misure GPS. Oltre a calcolare queste correzioni, chiamate "correzioni differenziali", il *master* le trasmette mediante impiego di *modem* GSM. Il ricevitore GPS mobile (*rover*), invece, attraverso un *modem* GSM si collega al ricevitore *master* e riceve le "correzioni" che vengono inviate. Si ritiene valido questo tipo di approccio sino a quando la distanza tra *master* e ricevitore è inferiore a 15-20 km, oltre la quale le correzioni calcolate dalla stazione *master* non possono essere più ritenute valide per il ricevitore *rover*. Nel rilievo in esame è stata pianificata la misurazione di basi *master-rover* sempre minori di 2 Km.

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



Fig. 4.4 - Ricevitore GPS doppia frequenza Leica 1200

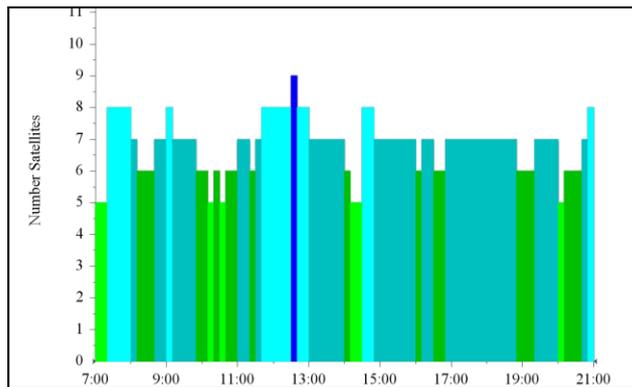


Fig. 4.5 -Planning: visibilità satellitare

Questa tecnica consente di misurare la posizione tridimensionale dei punti rilevati relativamente alla stazione master con una precisione centimetrica. La precisione di posizionamento dipende sia dal tipo di metodo impiegato per rilevare i punti (RTK) sia dalla precisione con la quale viene stimata la posizione del *master*. Quest'ultima è infatti, in tempo reale, dell'ordine di alcuni metri (classico errore di posizionamento assoluto GPS), ma viene successivamente ristimata in post-processamento con precisione millimetrica, mediante un'elaborazione dei dati GPS raccolti dal ricevitore master e 4 nelle stazioni permanenti presenti nel territorio adiacente. Possiamo quindi affermare che la precisione dei punti rilevati in RTK è dell'ordine di grandezza di qualche cm in accordo con quanto rilevato durante le operazioni in campagna.

Nel corso della campagna di misura, sono stati utilizzati due ricevitori a doppia frequenza Leica 1200 (Fig. 4.4).

Per agevolare le operazioni di campagna ed ottimizzare i tempi necessari per il rilievo è stata eseguita un *planning* mirato all'individuazione delle finestre temporali ottimali, in funzione della visibilità dei satelliti e della relativa geometria.

In Fig. 4.5 viene riportato lo schema di visibilità satellitare relativa alla finestra temporale d'interesse (22 novembre 2005 - ore 7.00-21.00 - Venezia - *Cut off angle*: 15°).

4.3 Esecuzione del Rilievo

La livellazione geometrica è stata condotta secondo uno schema classico di linee di livellazione chiuse sui caposaldi altimetrici materializzati, in modo da poter sempre verificare in fase di rilievo l'errore di chiusura (evidenziando quindi la presenza di eventuali errori grossolani).

In Fig. 4.6 sono riportate le cinque linee di livellazione battute, di lunghezza sempre inferiore ai 3 km in modo da poter controllare le operazioni di livellazione direttamente in campagna.

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

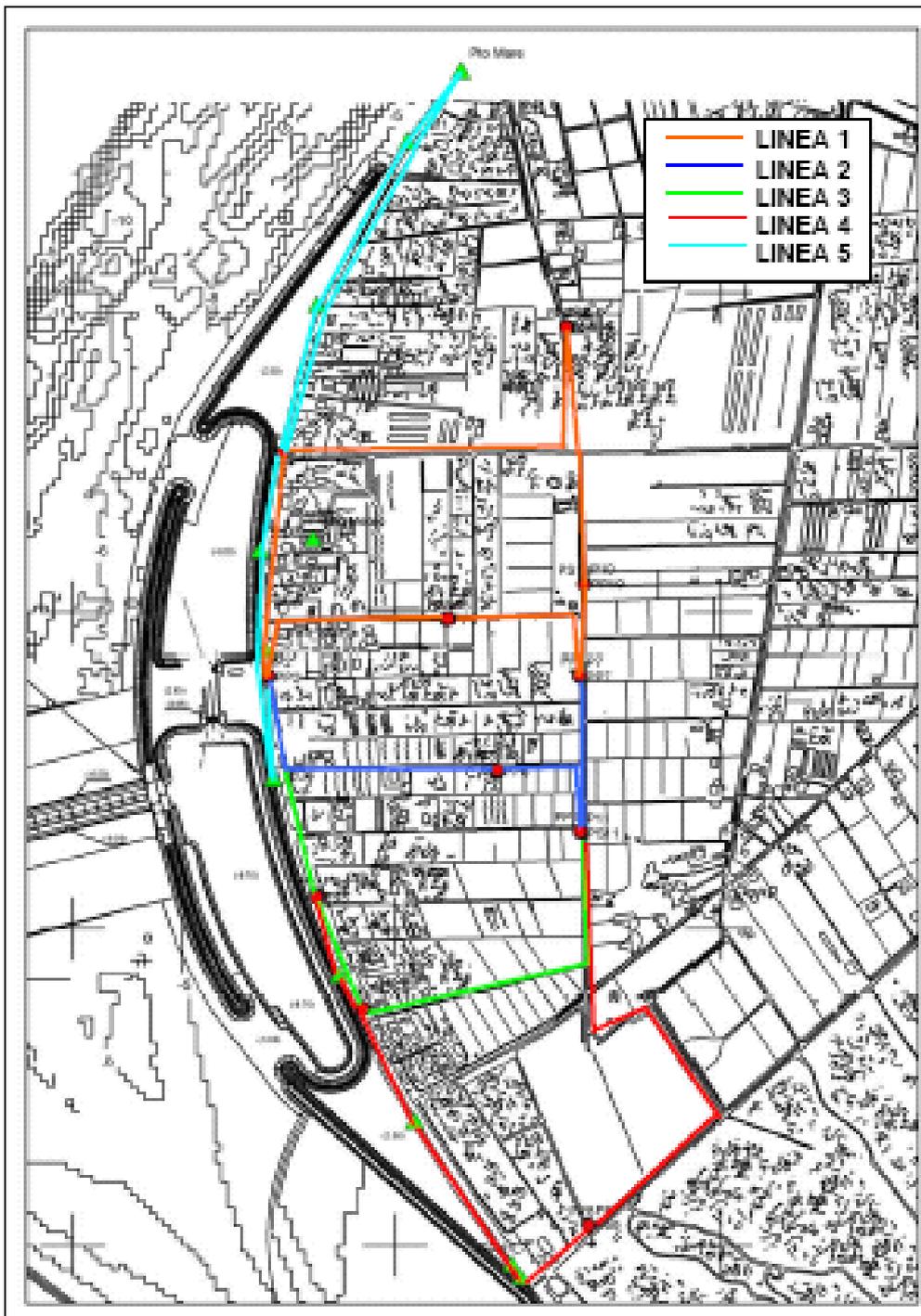


Fig. 4.6 - Linee di livellazione.

Dopo aver individuato i dislivelli relativi ai caposaldi materializzati sono state effettuate delle battute di livellazione sul punto di riferimento (vite) dei piezometri superficiali (PSi) e profondi (PPi) di ogni postazione piezometrica, secondo lo schema ad anello illustrato in

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

Fig. 4.7.

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

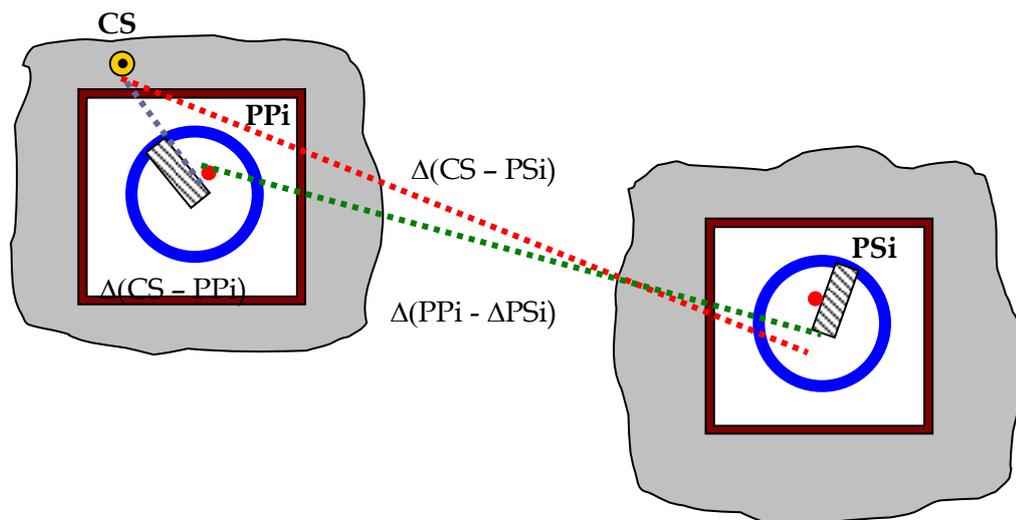


Fig. 4.7 - Schema della battuta di livellazione dei piezometri superficiali e profondi (in pianta).

La Fig. 4.8 mostra alcune fotografie delle operazioni di livellazione.

Il rilievo delle coordinate planimetriche sia dei caposaldi, sia dei piezometri, è stato effettuato, come pianificato, mediante un rilievo GPS RTK (Fig. 4.9). La stazione *master* è stata posizionata in coincidenza del caposaldo P10 in modo da poter disporre di un punto nuovamente stazionabile ottimizzando la geometria della rete (riportata in Fig. 4.10). Mediante l'utilizzo del ricevitore *rover* sono stati rilevati i tre punti (caposaldo, piezometro superficiale e piezometro profondo) di ogni singola stazione piezometrica. In ogni postazione sono state eseguite due sessioni di misura, vale a dire ogni punto è stato stazionato due volte. Questo tipo di operazione è stata eseguita per controllare se l'ambiguità di fase fosse determinata in maniera corretta oppure si fosse presentata una situazione di falsa ambiguità. Questo fenomeno si riscontra solo effettuando il confronto delle coordinate tra due sessioni distinte. Nel nostro caso non si sono verificati casi di falsa ambiguità. Le coordinate di ogni singolo punto sono state ricavate mediando le coordinate registrate per ogni singola sessione.



Fig. 4.8 - Operazioni di livellazione

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

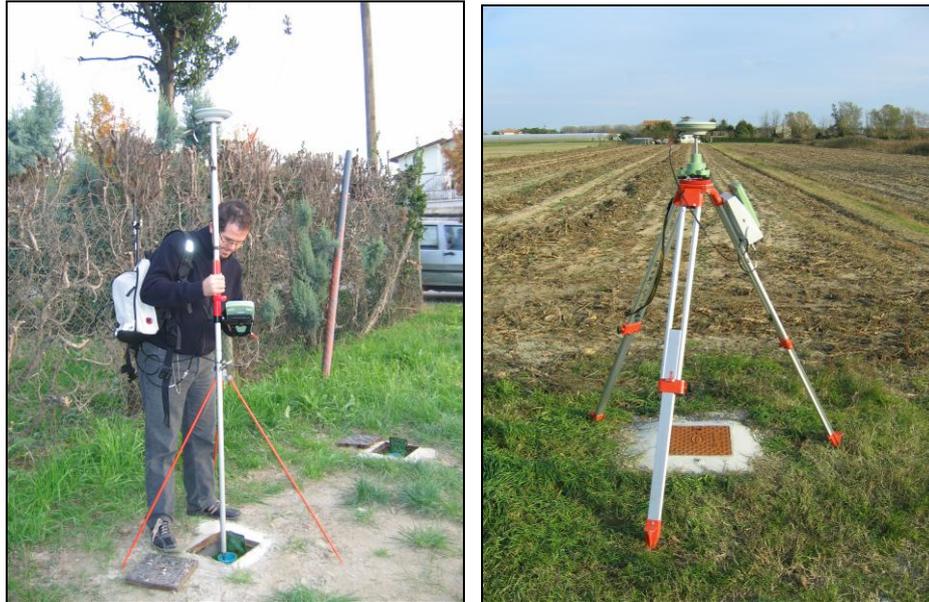


Fig. 4.9 - Operazioni di rilievo GPS

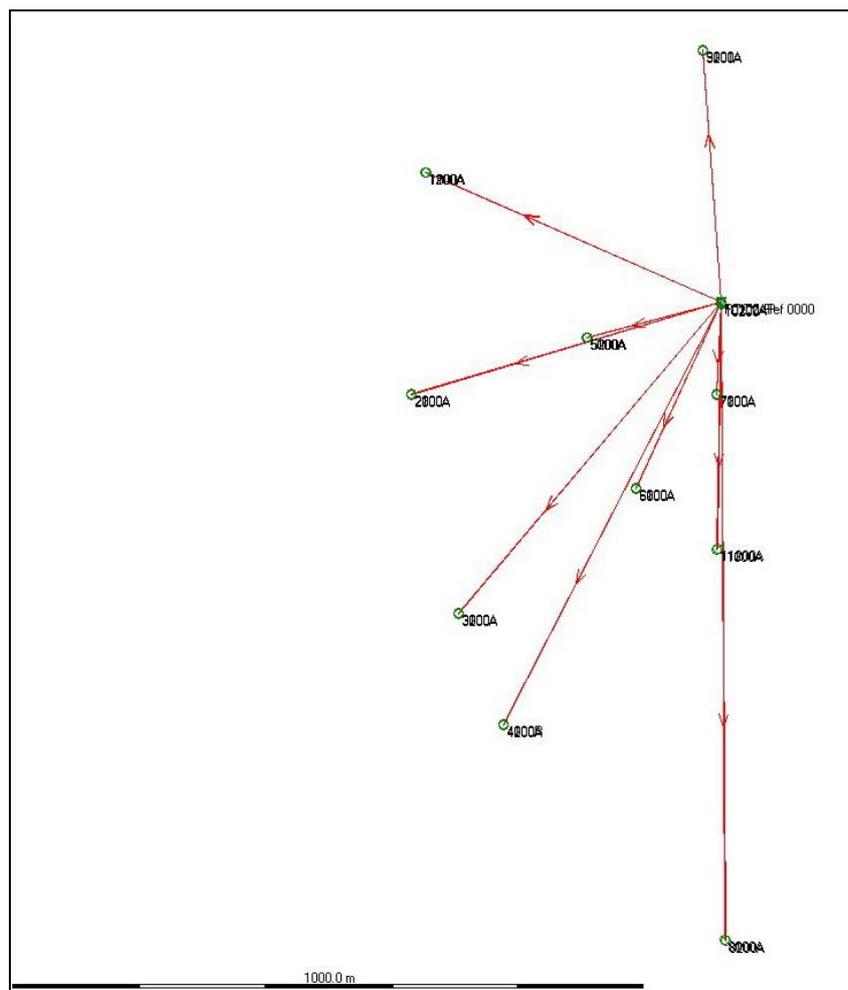


Fig. 4.10 - Schema della rete di punti GPS RTK

4.4 Compensazione delle misure

4.4.1 Rete altimetrica

Le quote ortometriche sono state determinate in base ai dislivelli misurati mediante una compensazione rigorosa ai minimi quadrati della rete di livellazione definita in Fig. 4.6, per mezzo del *software* CALGE. Il sistema di riferimento ortometrico è stato definito fissando come valore di quota nota quella del caposaldo CDV4_8RIP² (indicato nei tabulati di calcolo con il numero 1 e riportato in Allegato 4).

I tabulati di calcolo della compensazione sono contenuti nell'Allegato 4. Da essi si nota che:

sono state utilizzate 60 misure (equazioni) per stimare 42 quote (incognite) con una ridondanza pari a 18;

la σ_0 a posteriori pari a 1.30 comprova una corretta operazione di compensazione;

gli s.q.m. delle quote così definite sono sempre minori di 2 mm.

Il software CALGE identifica i vertici mediante un numero, pertanto, per una corretta lettura dei tabulati occorre riferirsi alla tabella di conversione dei nomi indicata in testa all'Allegato 4.

4.4.2 Rilievo GPS

La posizione della stazione *master* GPS, utilizzata per il rilievo RTK e posta in corrispondenza del punto P10, è stata determinata mediante il classico approccio di posizionamento relativo. Definite una serie di stazioni permanenti GPS (SPGPS), idonee al nostro tipo di rilievo (e.g. dati in continuo, qualità dei dati, precisione delle coordinate delle SP) nel territorio adiacente a quello di nostro interesse, si è proceduto come segue.

Si è utilizzato come software di trattamento dati il programma dedicato LGO (Leica Geomatic Office). La prima operazione ha previsto la creazione dei vettori-base tra le singole stazioni, mediante una combinazione di misure di codice e fase delle misure GPS. In questo modo si è potuto fare anche un'analisi dei dati disponibili, selezionando solo quelli di qualità maggiore.

Avendo, poi, a disposizione le basi è stata effettuata la loro compensazione, a minimi quadrati, ponendo le minime condizioni di vincolo, vale a dire vincolando solo la posizione di una delle stazioni permanenti GPS, in maniera tale da attribuire un sistema di riferimento alla rete così definita.

Le stazioni permanenti impiegate per il calcolo sono state:

Stazione	Appartenenza	Tipo di file
PADOVA (PADO)	Università	RINEX
CANEVA (CANV)	FredNet	RINEX
UDINE (UDIN)	FredNet	RINEX
MEDEA (MDEA)	FredNet	RINEX

Le coordinate della stazione di CANEVA sono state fissate come vincolo ai fini della compensazione della rete.

² Fonte: CARBOGNIN L. and TOSI L., 2003. "Il Progetto ISES per l'analisi dei processi di intrusione salina e subsidenza nei territori meridionali delle Province di Padova e Venezia", © Ed. Progetto ISES, 95 p, 12 Tav. f.t., Grafiche Erredici, Padova (Italy).

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

Questo tipo di processamento ha consentito di raggiungere una precisione sul caposaldo P10, scelto come sede per la stazione master, di pochi millimetri.

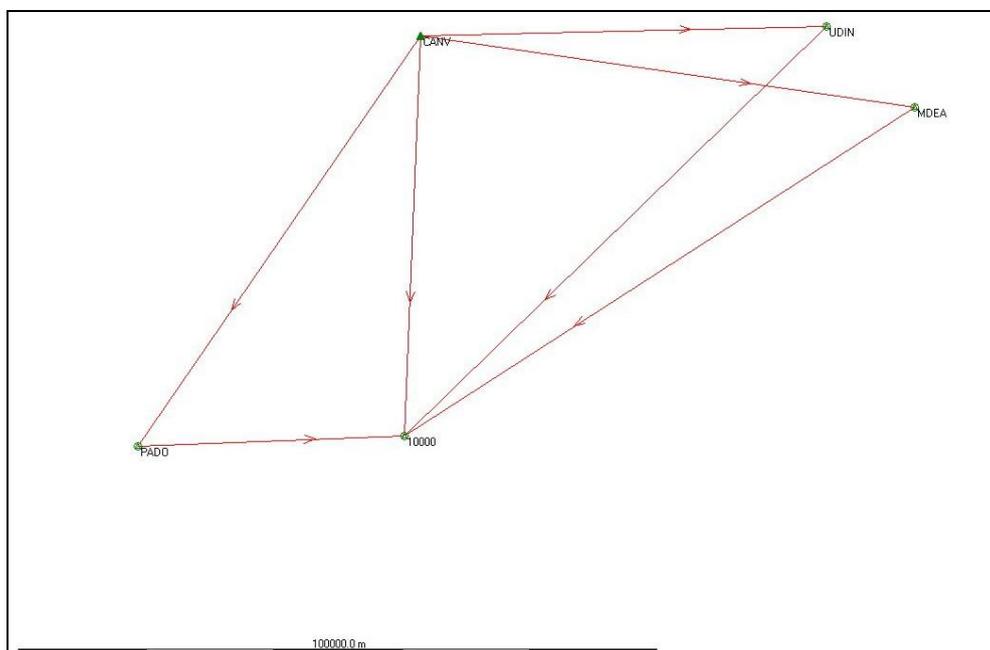


Fig. 4.11 - Rete costituita dalla stazione Master (P10 in figura con il nome 10000) e dalle stazioni permanenti utilizzate in fase di compensazione

Definite le coordinate della stazione master (P10) come descritto in precedenza, si sono calcolati valori delle traslazioni (ΔE , ΔN , Δu) da applicare ai punti rilevati in RTK. Essi, infatti, sono riferiti ad una posizione master approssimata. Queste correzioni sono state stimate definendo la differenza tra le coordinate compensate (E, N, u) del punto P10 e quelle approssimate.

In Allegato 5 sono contenuti i tabulati di calcolo relativi alle elaborazioni effettuate sulle misurazioni GPS, con i relativi valori delle correzioni.

I tabulati di calcolo della compensazione sono contenuti nell'Allegato 4. Da essi si nota che:

- sono state utilizzate 7 vettori-base per stimare le coordinate dei vertici delle stazioni permanenti di controllo e del P10, con una ridondanza pari a 9;
- gli s.q.m. delle coordinate del punto P10 minori di 2 mm.

4.5 Conversione tra sistemi di riferimento

Come noto il *Datum* utilizzato dal sistema di posizionamento satellitare GPS è il WGS84, al quale vengono riferite sia le misure planimetriche sia quelle altimetriche. In funzione delle specifiche richieste è stato necessario la conversione delle coordinate planimetriche compensate nel sistema di riferimento Gauss Boaga Fuso Est (Datum Roma40) e trasformare le quote ellissoidiche in geoidiche (o ortometriche).

A tal fine è stato utilizzato il software ufficiale dell'IGM (Istituto Geografico Militare) "Verto2" che consente, attraverso operazioni locali di rototraslazione spaziale con variazioni di scala, di ottenere precisioni centimetriche sia in planimetria sia in altimetria (rispetto all'ellissoide). La quota assoluta ortometrica è stata invece ottenuta fissando come valore di quota nota quella del caposaldo CDV4_8RIP.

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

Le coordinate finali sono state inserite nelle monografie dei vertici rilevati contenute in Tab.4.1 ed in Allegato 6.

4.6 Risultati finali

Le operazioni di rilievo e successive elaborazioni hanno permesso di:

- determinare le quote ortometriche dei piezometri con precisione circa 2 mm in termini relativi, qualche cm in termini assoluti;
- durante le fasi di calcolo delle quote ortometriche dei piezometri, sono state ricalcolate le quote dei seguenti caposaldi: CDV4_7, 12D1, 12D2, 12D3, 12D4, 12D5, 12D6, 12D7. Su alcuni di essi (in particolare 3) si sono rilevate differenze tra le quote calcolate e quelle note, variabili tra 2 e 6 cm.
- determinare la posizione planimetrica dei piezometri con precisione di qualche cm;
- inserire l'intero rilievo nel sistema di riferimento cartografico nazionale Gauss-Boaga (Roma 40) fuso est.

La posizione plano-altimetrica di ciascun piezometro è riportata in Tab. 4.1, in cui sono indicati i tre sistemi di riferimento: WGS84, Gauss Boaga ed ED50.

Tab.4.1 - Quote ortometriche e posizione planimetrica dei piezometri

NOME	N WGS84 33N	E WGS84 33N	z _t ellissoidica	N GB Fuso Est	E GB Fuso Est	z _t geoid	N ED50 33N	E ED50 33N	z _t geoid
P1	5035233.21	298321.82	45.100	5035253.52	2318325.95	1.861	5035425.27	298390.52	1.861
P2	5034878.10	298299.09	45.011	5034898.40	2318303.23	1.778	5035070.16	298367.79	1.778
P3	5034532.43	298373.61	44.827	5034552.72	2318377.74	1.611	5034724.49	298442.30	1.611
P4	5034354.53	298444.58	44.858	5034374.82	2318448.72	1.632	5034546.59	298513.27	1.632
P5	5034969.20	298575.64	45.143	5034989.50	2318579.78	1.916	5035161.26	298644.34	1.916
P6	5034728.51	298653.94	44.987	5034748.81	2318658.09	1.768	5034920.57	298722.64	1.768
P7	5034878.28	298781.62	44.789	5034898.58	2318785.76	1.567	5035070.33	298850.32	1.567
P8	5034012.07	298795.41	43.944	5034032.36	2318799.56	0.729	5034204.13	298864.11	0.729
P9	5035427.42	298760.60	45.597	5035447.73	2318764.73	2.357	5035619.47	298829.30	2.357
P10	5035025.51	298788.73	45.446	5035045.81	2318792.87	2.219	5035217.56	298857.44	2.219
P11	5034631.75	298783.13	44.486	5034652.04	2318787.27	1.265	5034823.80	298851.83	1.265
PS1	5035233.37	298321.74	45.023	5035253.68	2318325.88	1.778	5035425.43	298390.44	1.778
PP1	5035231.79	298321.30	45.009	5035252.10	2318325.44	1.781	5035423.85	298390.00	1.781
PP2	5034878.06	298299.27	44.933	5034898.36	2318303.40	1.706	5035070.12	298367.97	1.706
PS2	5034880.18	298299.17	44.943	5034900.48	2318303.30	1.713	5035072.24	298367.86	1.713
PS3	5034532.32	298373.48	44.762	5034552.61	2318377.62	1.545	5034724.38	298442.18	1.545
PP3	5034530.20	298374.23	44.711	5034550.49	2318378.37	1.492	5034722.26	298442.93	1.492
PP4	5034354.38	298444.40	44.734	5034374.67	2318448.54	1.515	5034546.44	298513.10	1.515
PS4	5034352.98	298445.20	44.687	5034373.27	2318449.34	1.453	5034545.04	298513.89	1.453
PP5	5034969.37	298575.67	44.978	5034989.68	2318579.81	1.730	5035161.43	298644.37	1.730
PS5	5034969.49	298577.87	45.067	5034989.80	2318582.01	1.816	5035161.55	298646.57	1.816
PP6	5034728.50	298654.15	44.873	5034748.80	2318658.29	1.652	5034920.56	298722.85	1.652
PS6	5034730.54	298654.13	44.906	5034750.84	2318658.27	1.688	5034922.60	298722.83	1.688
PS7	5034878.32	298781.81	44.628	5034898.62	2318785.95	1.403	5035070.37	298850.51	1.403
PP7	5034880.19	298781.97	44.562	5034900.50	2318786.12	1.323	5035072.25	298850.68	1.323
PS8	5034012.15	298795.55	43.882	5034032.43	2318799.69	0.663	5034204.20	298864.24	0.663
PP8	5034010.85	298796.11	43.894	5034031.14	2318800.26	0.675	5034202.91	298864.81	0.675
PS9	5035427.68	298760.53	45.493	5035448.00	2318764.67	2.259	5035619.73	298829.24	2.259

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

NOME	N WGS84 33N	E WGS84 33N	z_t ellissoidica	N GB Fuso Est	E GB Fuso Est	z_t geoid	N ED50 33N	E ED50 33N	z_t geoid
PP9	5035425.62	298760.93	45.366	5035445.93	2318765.07	2.274	5035617.67	298829.64	2.274
PP10	5035025.53	298788.93	45.328	5035045.83	2318793.08	2.098	5035217.58	298857.64	2.098
PS10	5035023.63	298788.85	45.249	5035043.94	2318792.99	2.023	5035215.69	298857.55	2.023
PS11	5034631.93	298783.14	44.388	5034652.23	2318787.28	1.169	5034823.99	298851.84	1.169
PP11	5034634.01	298783.26	44.310	5034654.31	2318787.40	1.087	5034826.06	298851.96	1.087

4.6.1 *Ubicazione delle postazioni di monitoraggio*

L'ubicazione definitiva delle 11 postazioni di monitoraggio è riportata in Tab. 4.2 e nell'Allegato 6 contenente le monografie delle stesse.

Tab. 4.2 - Ubicazione delle 11 postazioni di monitoraggio.

Denominazione	Ubicazione
P1	Lungomare Dante Alighieri angolo via Podgora
P2	Lungomare Dante Alighieri
P3	Lungomare Dante Alighieri, angolo via B.Clemente
P4	Lungomare Dante Alighieri, angolo via Novalis
P5	via Goethe
P6	via Schiller
P7	via Montegrappa
P8	via Montello
P9	via Fradeletto
P10	via Montegrappa
P11	via Montegrappa (quasi angolo via Wagner)

5. MISURA DEL CARICO IDRAULICO

Il Disciplinare Tecnico (Magistrato delle Acque, Nuovi Interventi per la Salvaguardia di Venezia, Studio B.6.72 B/I, CVN 2004) prevede il monitoraggio dei livelli di falda in corrispondenza dell'Area di Monitoraggio in funzione del tempo.

In questo capitolo vengono descritte le modalità di misura del livello idrico e del carico idraulico facendo uso della strumentazione manuale (sondino piezometrico) ed automatizzata (trasduttori di livello-pressione), acquisita dal CORILA.

5.1 Misura del livello piezometrico e del carico idraulico

5.1.1 *Definizione di carico idraulico.*

La misura del carico idraulico può essere effettuata misurando, manualmente o automaticamente, il livello dell'acqua in un pozzo o in un piezometro. La misura avviene utilizzando una sonda piezometrica (vedasi Fig. 5.2) che emette un segnale sonoro nel momento in cui il sensore tocca il livello dell'acqua.

La misura del carico idraulico di una falda idrica è data dal livello piezometrico H , ottenuto come differenza fra la quota geodetica del piano campagna z_t e la profondità alla quale si ritrova l'acqua nel piezometro h_w (soggiacenza), vedasi Fig. 5.1.

$$H = z_t - h_w = h = z + h_p \quad (5.1)$$

Il livello piezometrico rappresenta pertanto la misura del carico idraulico in un punto dell'acquifero. Questa relazione risulta essere valida in un sistema in cui la densità dell'acqua sia costante lungo la verticale, mentre è una espressione approssimata nel caso di acquiferi soggetti, ad esempio, ad intrusione del cuneo salino, quale, verosimilmente, è quello oggetto del monitoraggio.

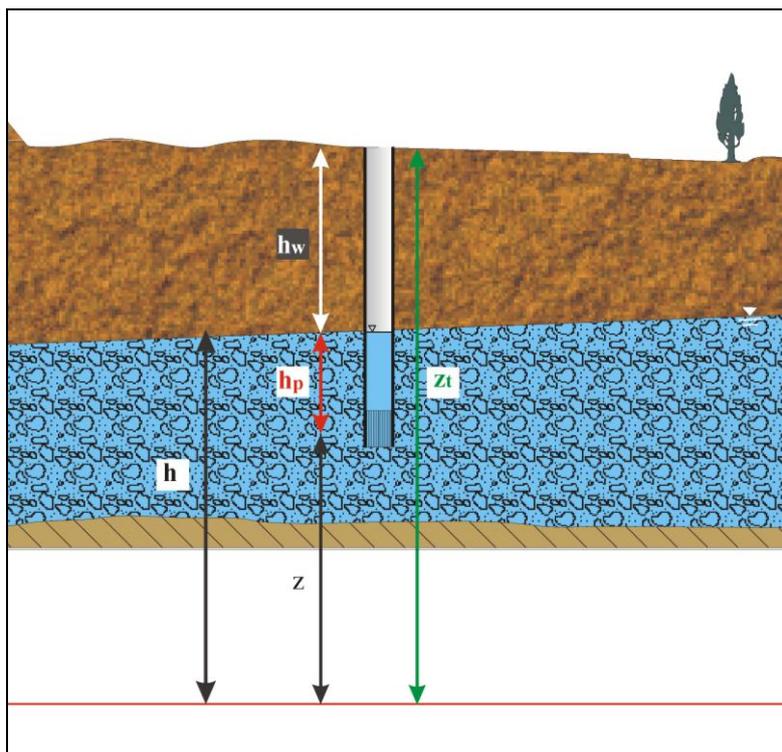


Fig. 5.1 - Misura del carico idraulico.

Al fine di monitorare i livelli piezometrici in corrispondenza delle 11 postazioni di monitoraggio è stata acquisita, dal CORILA, la seguente strumentazione:

- n. 1 sondino piezometrico (freatimetro), Solinst Model 101 WL Meter 80;
- n. 22 trasduttori di livello, Solinst Model 3001 Levelogger Mini LT F30/M10;
- n. 2 trasduttori di pressione per compensazione barometrica, Solinst Model 3001 Barologger Mini F5/M1.5;
- n. 1 palmare per lo scaricamento dei dati, Solinst Model 3001 Leveloader (RS232);
- n. 1 palmare per lo scaricamento dei dati, Solinst Model 3001 Leveloader II;

accessori vari.

5.2 Sondino piezometrico (freatimetro)

La determinazione del livello piezometrico viene effettuata manualmente mediante l'utilizzo di una sonda piezometrica o freatimetro Solinst Model 101 WL Meter 80 (Fig. 5.2) che misura la soggiacenza del livello idrico (h_w) rispetto ad un punto di riferimento del quale è nota la quota assoluta.

Il sondino portatile è costituito da un cavo plastico della lunghezza di 80 m e dotato di un sensore che emette un segnale acustico e luminoso nel momento in cui tocca il livello dell'acqua. La profondità della superficie piezometrica viene letta direttamente sul nastro graduato.



Fig. 5.2 - Sondino piezometrico (freatimetro), Solinst Model 101 WL Meter 80

5.3 Trasduttori di livello-pressione

La misura in continuo del livello piezometrico è affidata a 22 trasduttori di pressione/livello Solinst Model 3001 Levelogger Mini LT F30/M10 (Fig. 5.4), ciascuno dei quali è collocato all'interno di una diversa tubazione piezometrica.

Il trasduttore di livello, calato in profondità e collegato alla superficie mediante un cavo di sospensione permette di misurare e registrare il livello di acqua che insiste al di sopra della cella di misura (h_p , Fig. 5.3) depurato dalla pressione atmosferica (h_b). La misura del carico idraulico h_{tp} , ottenuta mediante trasduttore di livello sarà esprimibile con la relazione::

$$h_{tp} = z_t - l_{cc} + h_p = z_t - l_{cc} + (h_{p-nc} - h_{cp}) - (h_b - h_{cb}) \quad (5.2)$$

dove:

z_t quota ortometrica assoluta del punto di riferimento (si veda il Rilievo topografico, Tab.4.1);

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 Levelogger);

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

h_{cp}, h_{cb} coefficienti correttivi relativi al Levelogger ed al Barologger calcolati in fase di calibrazione (si veda Tab. 6.2).

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

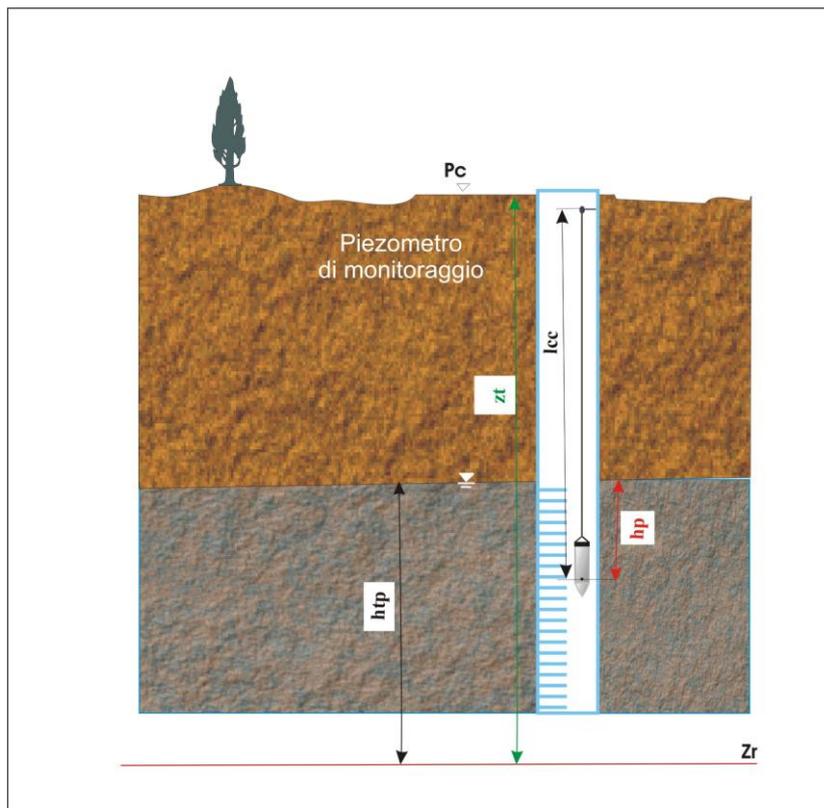


Fig. 5.3 - Misura del carico idraulico con trasduttore di pressione installato in un piezometro.

Il carico idraulico valutato con l'equazione (5.1) sarà prossimo a quello stimato con la relazione (5.2), a meno di eventuali errori di misura e correzioni sulla densità dell'acqua.

Il valore della pressione atmosferica (h_b) viene registrato mediante l'utilizzo di n. 2 trasduttori (Solinst Model 3001 Barologger Mini F5/M1.5) posizionati in corrispondenza di altrettante postazioni di monitoraggio.

I Levelogger ed i Barologger sono costituiti da trasduttori di pressione ceramici (Fig. 5.4) e caratterizzati dalle specifiche riportate in Tab. 5.1 ed in Allegato 7. I trasduttori sono dotati di un termometro interno che permette una compensazione delle letture con la temperatura.

Tab. 5.1 - Caratteristiche dei trasduttori di livello-pressione.

	Levelogger	Barologger
Modello	F30/M10	F5/M1.5
Materiale	Acciaio inossidabile, materiali ceramici, Akulon e Viton	
Vita della batteria	10 anni	
Dimensioni	22 mm x 125 mm	
Peso	160 g	
Temperatura di esposizione	-20 °C ÷ 80 °C	
N. max dati memorizzabili	2 x 24.000	
Intervallo di misura	0.5 s ÷ 99 h	
Normalizzazione	Compensazione automatica con la temperatura	
Accuratezza	0.1 % del FS (-10 °C ÷ 40 °C)	
Fondo scala	9 m	1.5 m
Sensore di temperatura	Spreading Resistance Silicon	

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



Fig. 5.4 - Model 3001 Levelogger Mini LT.

Lo scaricamento dei dati dai trasduttori viene effettuata per mezzo di una porta a raggi infrarossi posta nella parte superiore dello strumento (Fig. 5.4) che può essere collegata ad un computer (Fig. 5.5) oppure ad una unità palmare tipo Solinst Model 3001 Leveloader I, oppure con la versione più sofisticata Leveloader II (Fig. 5.6) in grado di contenere oltre 380.000 dati, se associato ad una opportuna espansione di memoria RAM.



Fig. 5.5 - Operazione di download dei dati, collegamento diretto PC - trasduttore.

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



Fig. 5.6 - Model 3001 Levelloader I (RS232) e Model 3001 Levelloader II.

6. VERIFICA DEL FUNZIONAMENTO E CALIBRAZIONE DEI TRASDUTTORI DI PRESSIONE E DI LIVELLO

I trasduttori di livello e pressione (Levellogger e Barologger) sono stati sottoposti ad una serie di prove per verificarne il corretto funzionamento, la linearità e calcolare eventuali coefficienti correttivi cui sottoporre i dati acquisiti.

6.1 Prima calibrazione

La verifica del funzionamento della strumentazione (Fig. 6.1) è stata condotta disponendo i 24 trasduttori (Levellogger e Barologger) all'interno di una vasca in plexiglass trasparente e sotto un battente di acqua di alcuni centimetri (Fig. 6.2). I trasduttori sono stati preventivamente impostati e sincronizzati, tramite la porta ad infrarossi, al clock di un computer. La prova è stata protratta per circa 60 ore utilizzando un intervallo di acquisizione pari a 10 min. Dopo 22 ore il livello dell'acqua è stato incrementato per valutare la risposta della strumentazione.



Fig. 6.1 - Disposizione dei trasduttori durante la verifica di funzionamento.

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



Fig. 6.2 - Vasca di calibrazione e disposizione dei trasduttori.

I dati acquisiti (pressione e temperatura, in funzione del tempo) dai 24 trasduttori sono riportati in Allegato 8 (Tab.8A e Tab.8B) e i rispettivi tracciati di misura in Fig. 6.3 ed in Fig. 6.4.

L'analisi dei dati acquisiti durante la prima calibrazione ha messo in luce come i trasduttori L04, L17 ed L22 non fossero perfettamente funzionanti, in quanto presentavano valori anomali e picchi nel tracciato di misura della pressione e della temperatura. In Fig. 6.3 è riportato l'andamento del valore medio di pressione (m di H₂O) dove è, anche, possibile osservare come i tracciati di misura dei trasduttori L01, L04, L06, L16, L17, L22 e B02 si discostino significativamente dal valore medio.

In Fig. 6.4 è riportato il tracciato di misura della temperatura acquisita dai trasduttori. In questo caso i trasduttori L04, L17 ed L22 presentano maggiore scostamento dal valore medio: in particolare per il trasduttore L22 è stato riscontrato la differenza massima pari a 5.01°C dal valore medio.

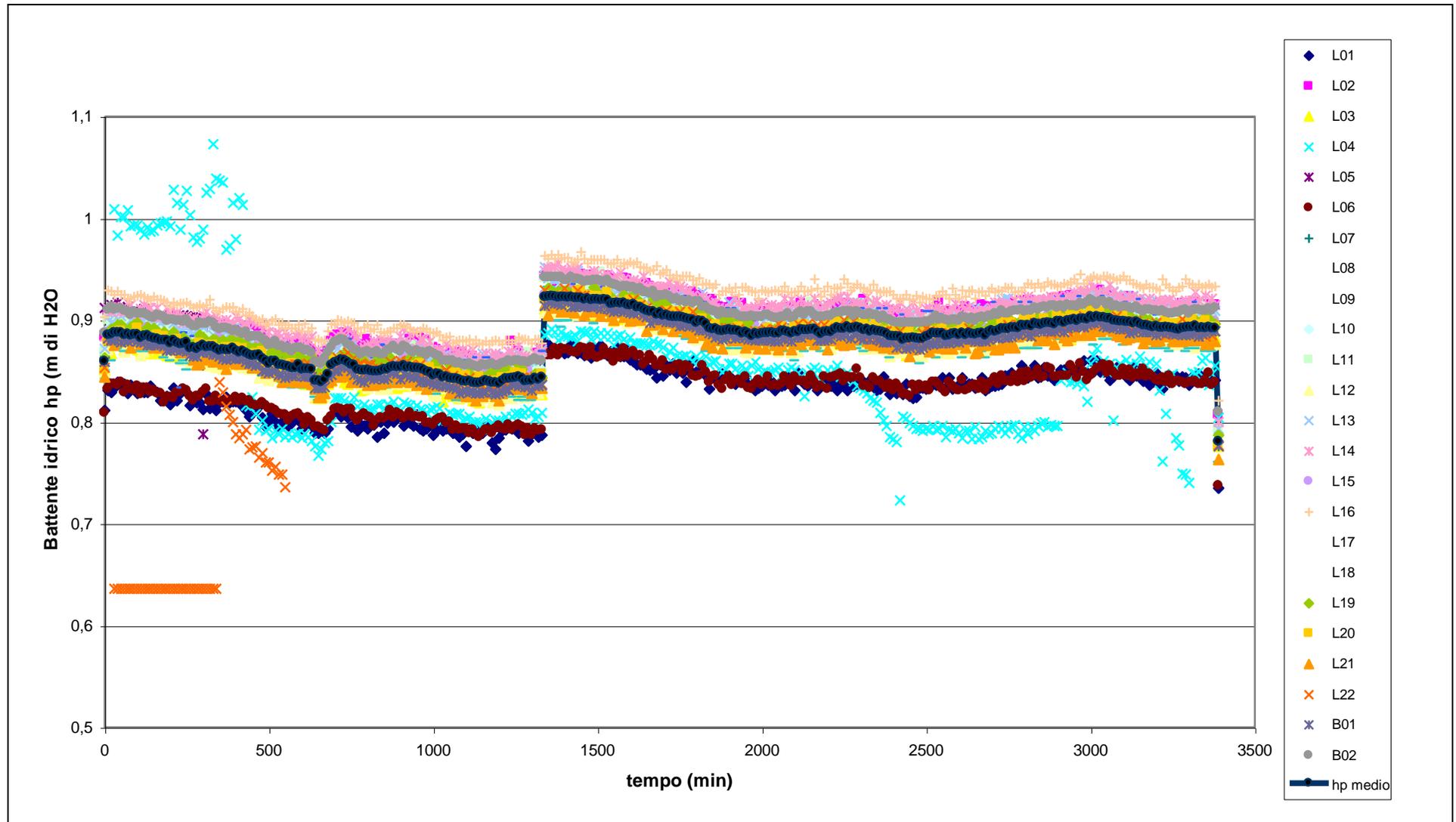


Fig. 6.3 - Prima calibrazione. Tracciato di misura dei 24 trasduttori.

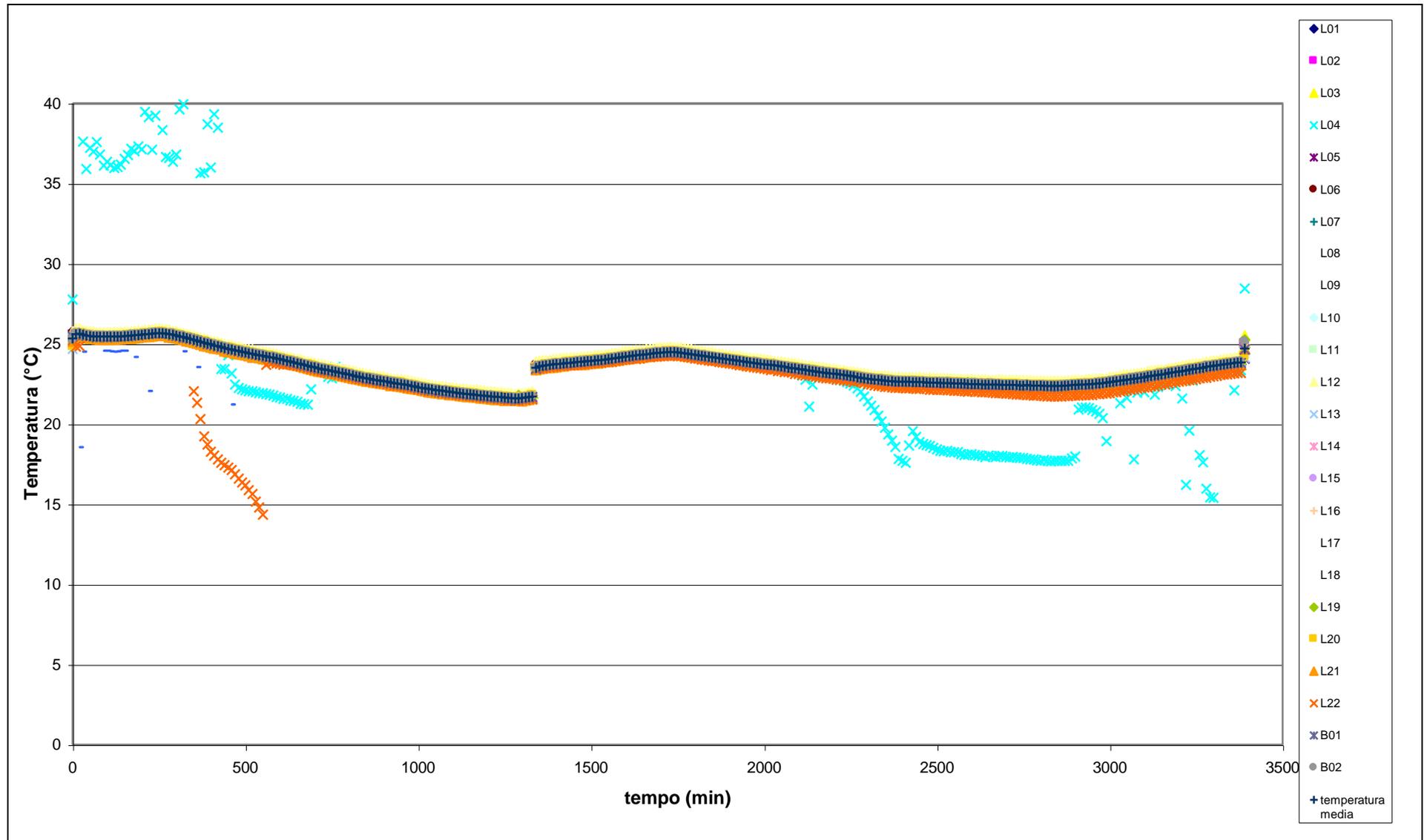


Fig. 6.4 - Prima calibrazione. Tracciato di misura dei 24 trasduttori.

6.1.1 Elaborazione statistica dei dati

I dati acquisiti da ciascun trasduttore durante la fase di calibrazione sono stati sottoposti ad una analisi statistica.

Per ogni acquisizione è stato calcolato un valore medio, per ciascuna delle 2 variabili acquisite (pressione e temperatura), estesa al numero dei trasduttori (24):

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^{24} x_{i,j}}{24}$$

è stato quindi calcolato lo scarto quadratico medio o deviazione standard esteso al numero N di acquisizioni effettuate nel tempo:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_{i,j} - \bar{x}_i)^2}{N}} \quad (6.1)$$

Tale grandezza ha permesso di stimare l'errore associato a ciascun trasduttore.

È stata poi calcolata una seconda grandezza Δx , definita come:

$$\Delta x_j = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{i,j} - \bar{x}_i)}{N} \quad (6.2)$$

Tale parametro permette di quantificare un coefficiente correttivo (con segno), da associare a ciascun valore di pressione e temperatura acquisita da ciascun trasduttore.

L'elaborazione statistica dei dati acquisiti (N = 340) durante la prima calibrazione ha messo in evidenza come i trasduttori L01, L04, L06, L16, L22 presentassero scostamenti superiori a 3 cm, dal valore medio di pressione (vedasi Tab. 6.1) e che il Barologger B02, che dovrebbe avere una elevata accuratezza, presentava scostamenti superiori ad 1 cm dal valore medio di pressione. Per quanto riguarda gli scarti quadratici medi riferiti ai valori di temperatura acquisiti (Tab. 6.1), sono emersi valori di sqm superiori ad 1 °C per i trasduttori L04, L17 ed L22, a conferma del loro funzionamento anomalo.

Pertanto i 7 trasduttori (L01, L04, L06, L16, L17, L22 e B02) sono stati spediti in manutenzione alla Solinst che ha proceduto alla loro sostituzione.

Tab. 6.1 - Elaborazione statistica dei dati (battente idrico e temperatura) acquisiti durante la prima calibrazione.

Trasduttore		Battente idrico h_p (m di H ₂ O)		Temperatura (°C)	
Nome	ID	sqm	Δx	sqm	Δx
B01	62043	0.007	-0.007	0.027	-0.022
B02	62639	0.018	0.017	0.027	0.009
L01	63263	0.052	-0.052	0.095	-0.089
L02	63561	0.022	0.022	0.044	-0.037
L03	63506	0.012	-0.011	0.179	0.174
L04	63532	0.082	-0.036	5.945	-0.034
L05	63281	0.011	0.010	0.141	-0.135
L06	63496	0.050	-0.050	0.096	0.093

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

Trasduttore		Battente idrico h_p (m di H ₂ O)		Temperatura (°C)	
Nome	ID	sqm	Δx	sqm	Δx
L07	63499	0.004	0.001	0.052	0.041
L08	63514	0.005	-0.004	0.132	-0.125
L09	63274	0.009	0.007	0.099	-0.095
L10	63498	0.006	0.004	0.155	0.151
L11	63269	0.015	0.015	0.116	-0.114
L12	63536	0.014	-0.013	0.278	0.277
L13	63495	0.019	0.019	0.056	0.024
L14	63540	0.026	0.026	0.034	-0.029
L15	63515	0.004	0.002	0.035	0.032
L16	63503	0.040	0.040	0.070	0.066
L17	63545	0.071	0.008	3.655	-0.587
L18	63553	0.019	-0.019	0.119	-0.117
L19	63502	0.007	0.005	0.045	0.031
L20	63511	0.004	-0.001	0.042	0.015
L21	63490	0.012	-0.011	0.151	-0.150
L22	63548	0.092	-0.031	14.088	-5.017

6.2 Seconda calibrazione

In seguito alla sostituzione dei trasduttori non perfettamente funzionanti, è stata eseguita una seconda verifica del funzionamento della strumentazione. I 24 trasduttori sono stati sottoposti ad una nuova calibrazione. La prova è stata protratta per circa 46 ore utilizzando un intervallo di acquisizione pari a 10 min.

I dati acquisiti (pressione e temperatura) dai 24 trasduttori sono riportati in Allegato 9 (Tab.9A e Tab.9B) mentre in Fig. 6.5 e Fig. 6.6 sono riportati i rispettivi tracciati di misura. L'analisi dei dati acquisiti durante la seconda calibrazione non ha messo in evidenza alcuna anomalia di funzionamento.

In Fig. 6.5 è riportato l'andamento del valore medio di battente idrico (m di H₂O), mentre in Fig. 6.6 è riportato il tracciato di misura della temperatura acquisita dai trasduttori durante la calibrazione.

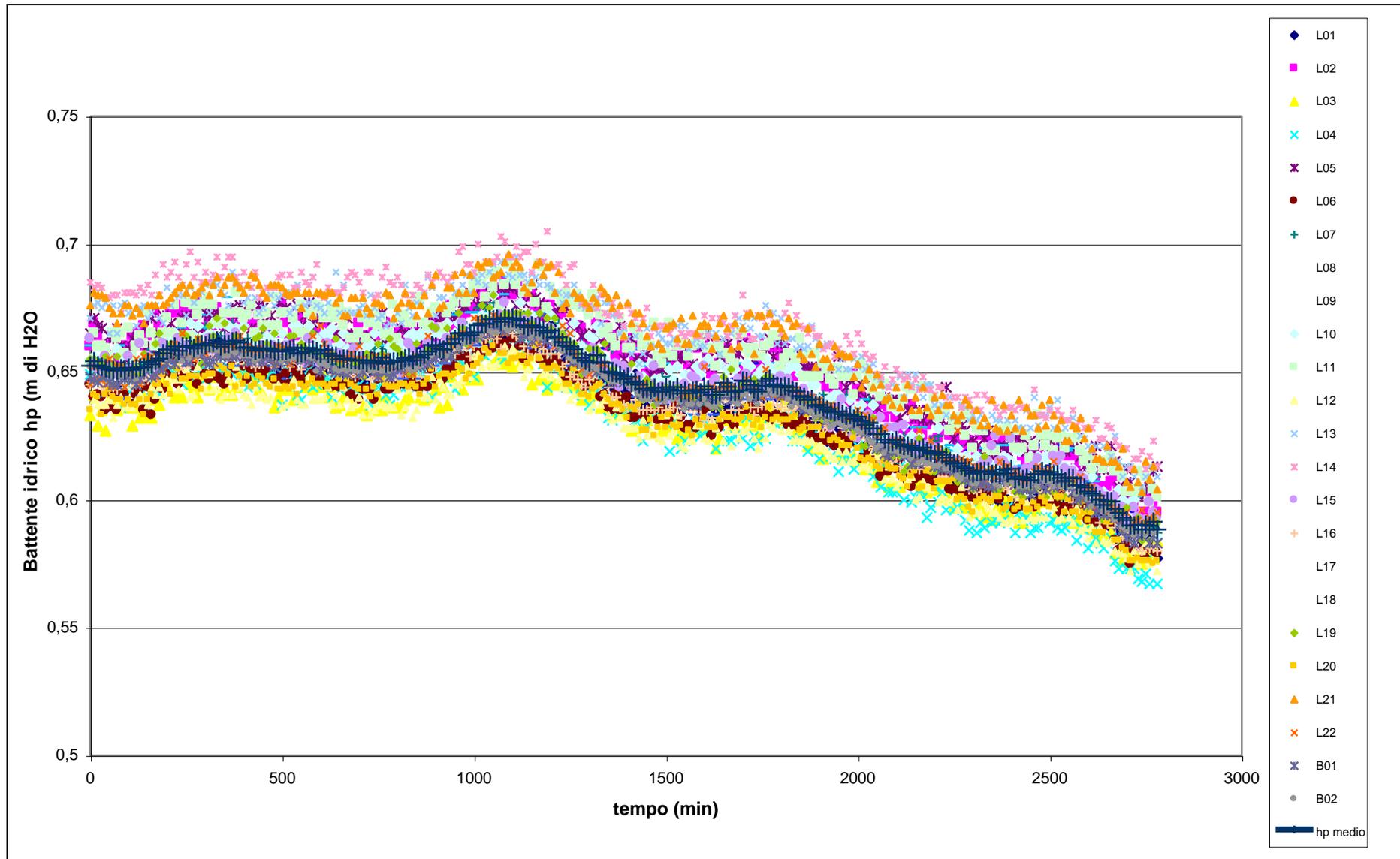


Fig. 6.5 - Seconda calibrazione. Tracciato di misura dei 24 trasduttori.

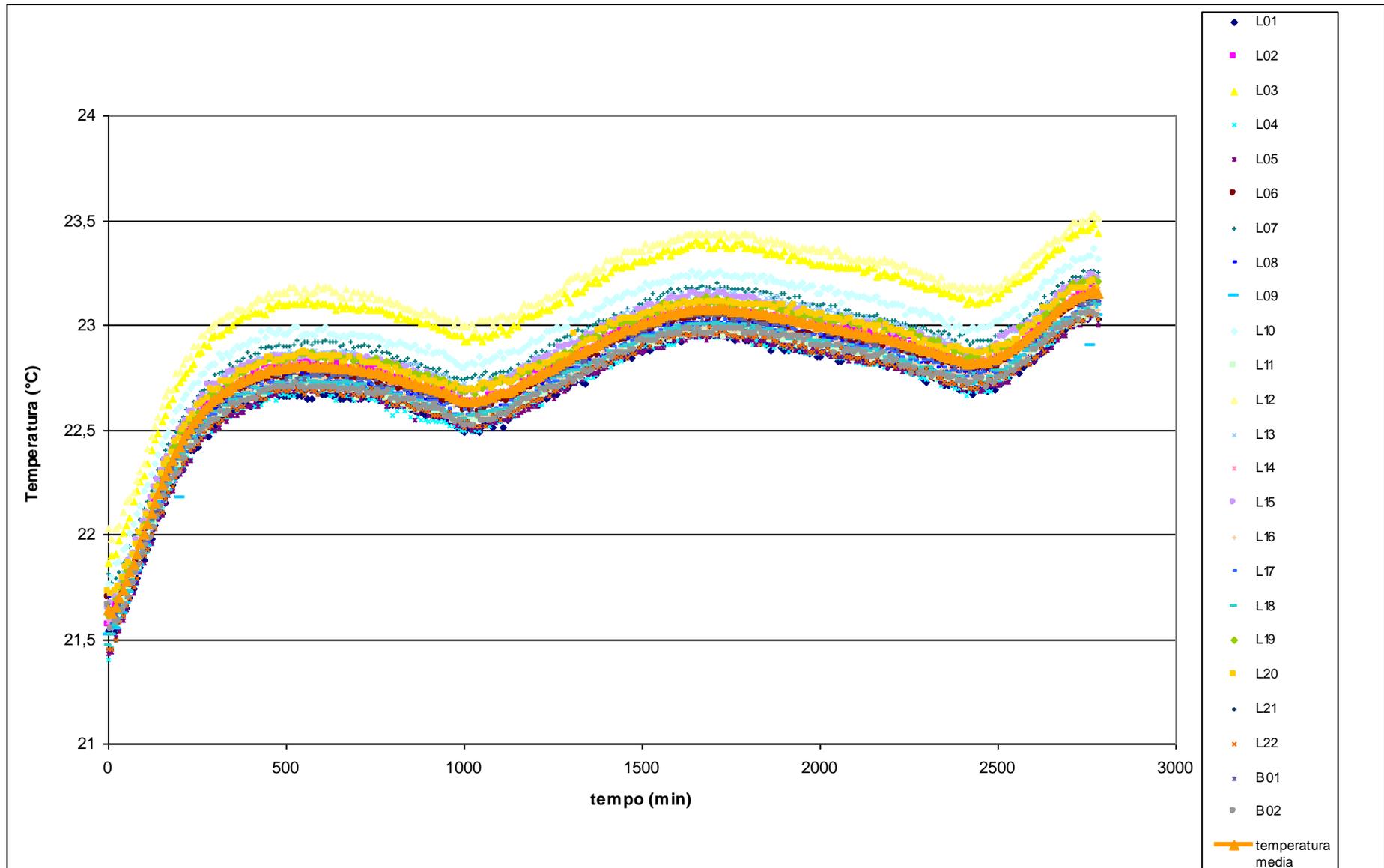


Fig. 6.6 - Seconda calibrazione. Tracciato di misura dei 24 trasduttori.

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

6.2.1 *Elaborazione statistica dei dati*

I dati acquisiti da ciascun trasduttore, sono stati sottoposti ad una analisi statistica secondo quanto riportato nel paragrafo 6.1.1. I risultati delle elaborazioni ed i coefficienti correttivi delle misure h_c sono riportati in Tab. 6.2.

Tab. 6.2 - Elaborazione statistica dei dati (battente idrico e temperatura) acquisiti durante la seconda calibrazione.

Trasduttore		Battente idrico h_p (m di H ₂ O)		Temperatura (°C)	
Nome	ID	sqm	$h_c = \Delta x$	sqm	Δx
B01	62043	0.004	-0.004	0.027	-0.023
B02	67601	0.004	-0.004	0.101	-0.100
L01	71765	0.006	-0.005	0.124	-0.123
L02	63561	0.010	0.010	0.013	0.000
L03	63506	0.015	-0.015	0.300	0.300
L04	71757	0.015	-0.014	0.130	-0.129
L05	63281	0.013	0.012	0.126	-0.125
L06	70325	0.011	-0.011	0.044	-0.042
L07	63499	0.003	0.001	0.106	0.105
L08	63514	0.004	0.001	0.065	-0.063
L09	63274	0.007	0.004	0.095	-0.093
L10	63498	0.005	0.004	0.175	0.174
L11	63269	0.015	0.015	0.103	-0.102
L12	63536	0.016	-0.016	0.358	0.358
L13	63495	0.021	0.021	0.075	0.074
L14	63540	0.027	0.027	0.016	0.005
L15	63515	0.003	0.000	0.057	0.056
L16	71378	0.007	-0.006	0.071	-0.069
L17	71766	0.007	-0.006	0.068	-0.067
L18	63553	0.021	-0.021	0.080	-0.079
L19	63502	0.004	-0.001	0.049	0.047
L20	63511	0.012	-0.012	0.044	0.042
L21	63535	0.022	0.022	0.035	-0.032
L22	71753	0.003	-0.001	0.113	-0.112

6.3 Valutazione della linearità della strumentazione

Al fine di valutare la linearità della risposta della strumentazione di misura, è stata effettuata una serie di prove in laboratorio simulanti il comportamento di un trasduttore installato all'interno di un piezometro.

A questo proposito è stata predisposta, e riempita d'acqua, una tubazione in PVC trasparente del diametro di 6.5 cm e della lunghezza di 10 m (Fig. 6.7). Le prove sono state condotte in due fasi:

inizialmente è stato posizionato un Levellogger (L20, ID: 63511) ad una profondità nota e posto in acquisizione per un tempo di 94 h;

successivamente il Levellogger è stato calato ad intervalli crescenti di 1 m all'interno della colonna e registrati i livelli in funzione del tempo.

Entrambe le prove sono state condotte registrando mediante un Barologger (B01, ID: 62043) la

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

pressione atmosferica.

La prima prova, schematizzata in Fig. 6.8, condotta impostando una frequenza di acquisizione pari a 10 min e protrattasi per 94 h, ha permesso di ricavare un valore di $l_{cc} = 7.627$ m da utilizzarsi all'interno della formula (5.2). I dati della prova sono riassunti nel grafico di e riportati in

Tab. 6.3.



Fig. 6.7 -Tubo in PVC e dettaglio della testa del tubo.

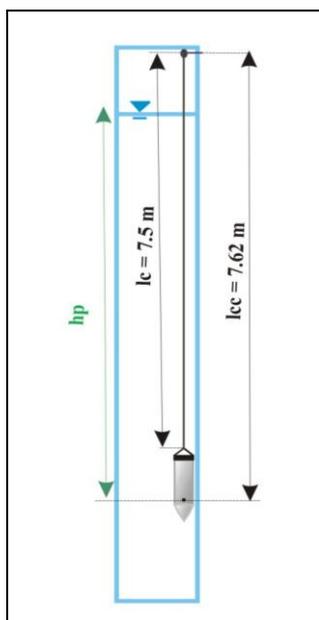


Fig. 6.8 - Schema di posizionamento del trasduttore nel tubo in PVC.

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

Tab. 6.3 - Dati di h_p , h_{p-nc} e h_b ottenuti durante la prova per la determinazione di l_{cc} .

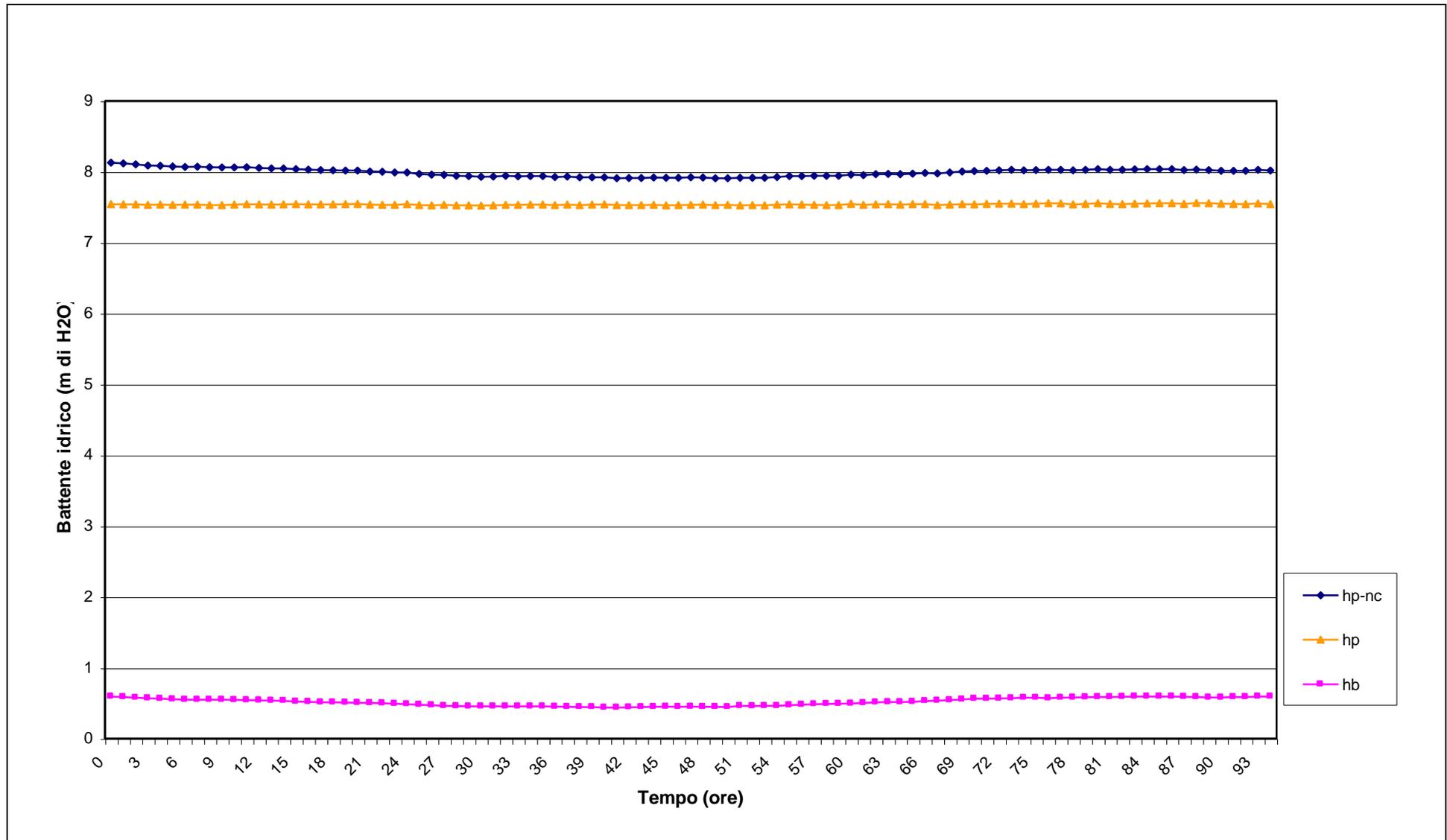
Data	Ora	tempo (ore)	DATI LEVELLOGGER		DATI BAROLOGGER		COMPENSAZION E				
			h_{p-nc} (m)	T (°C)	h_b (m)	T(°C)	tempo (ore)	h_p (m)			
15/09/2005	13:00:00	0	8.128	22.45	0.594	25.83	0	7.542	Misura manuale del battente idraulico		
15/09/2005	14:00:00	1	8.115	22.49	0.586	25.9	1	7.538	Data	Ora	Livello misurato (m)
15/09/2005	15:00:00	2	8.103	22.6	0.576	26.24	2	7.537	15/09/2005	13:00:00	7.53
15/09/2005	16:00:00	3	8.087	22.78	0.567	26.84	3	7.532			
15/09/2005	17:00:00	4	8.083	22.9	0.563	27.16	4	7.533			
15/09/2005	18:00:00	5	8.071	23.03	0.555	27.01	5	7.530			
15/09/2005	19:00:00	6	8.067	23.02	0.549	26.69	6	7.533			
15/09/2005	20:00:00	7	8.068	22.92	0.549	26.16	7	7.535			
15/09/2005	21:00:00	8	8.061	22.89	0.55	25.62	8	7.529			
15/09/2005	22:00:00	9	8.059	22.73	0.549	25.07	9	7.529			
15/09/2005	23:00:00	10	8.059	22.59	0.544	24.64	10	7.535			
16/09/2005	0:00:00	11	8.061	22.47	0.542	24.48	11	7.540			
16/09/2005	1:00:00	12	8.051	22.33	0.537	24.53	12	7.536			
16/09/2005	2:00:00	13	8.047	22.15	0.535	24.38	13	7.536			
16/09/2005	3:00:00	14	8.044	22.05	0.531	24.28	14	7.538			
16/09/2005	4:00:00	15	8.036	22.01	0.52	24.15	15	7.542			
16/09/2005	5:00:00	16	8.029	21.91	0.518	24.06	16	7.538			
16/09/2005	6:00:00	17	8.023	21.87	0.512	23.92	17	7.539			
16/09/2005	7:00:00	18	8.019	21.69	0.512	23.29	18	7.537			
16/09/2005	8:00:00	19	8.016	21.76	0.507	23.41	19	7.540			
16/09/2005	9:00:00	20	8.016	21.8	0.505	23.62	20	7.543			
16/09/2005	10:00:00	21	8.001	22.03	0.501	23.85	21	7.533			
16/09/2005	11:00:00	22	7.997	22.17	0.499	24.14	22	7.532			
16/09/2005	12:00:00	23	7.988	22.25	0.492	24.21	23	7.532			
16/09/2005	13:00:00	24	7.987	22.38	0.484	24.72	24	7.540			
16/09/2005	14:00:00	25	7.969	22.43	0.478	24.99	25	7.529			
16/09/2005	15:00:00	26	7.957	22.55	0.471	25.11	26	7.525			
16/09/2005	16:00:00	27	7.953	22.61	0.462	25.02	27	7.531			
16/09/2005	17:00:00	28	7.94	22.62	0.458	24.98	28	7.524			
16/09/2005	18:00:00	29	7.937	22.65	0.454	25.14	29	7.526			
16/09/2005	19:00:00	30	7.928	22.62	0.452	25.02	30	7.520			
16/09/2005	20:00:00	31	7.931	22.55	0.452	24.82	31	7.524			
16/09/2005	21:00:00	32	7.939	22.49	0.455	24.58	32	7.530			
16/09/2005	22:00:00	33	7.935	22.37	0.453	24.38	33	7.530			
16/09/2005	23:00:00	34	7.937	22.27	0.453	24.22	34	7.533			
17/09/2005	0:00:00	35	7.937	22.22	0.453	24.07	35	7.534			
17/09/2005	1:00:00	36	7.924	22.17	0.449	23.96	36	7.526			
17/09/2005	2:00:00	37	7.929	22.16	0.447	23.84	37	7.534			
17/09/2005	3:00:00	38	7.919	22.08	0.445	23.7	38	7.528			
17/09/2005	4:00:00	39	7.92	22.05	0.442	23.6	39	7.533			
17/09/2005	5:00:00	40	7.919	22.02	0.438	23.49	40	7.537			
17/09/2005	6:00:00	41	7.907	21.94	0.437	23.41	41	7.527			
17/09/2005	7:00:00	42	7.909	21.87	0.439	23.3	42	7.528			

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

Data	Ora	tempo (ore)	DATI LEVELLOGGER		DATI BAROLOGGER		COMPENSAZION E	
			h _{p-nc} (m)	T (°C)	h _b (m)	T(°C)	tempo (ore)	h _p (m)
17/09/2005	8:00:00	43	7.909	21.81	0.442	23.28	43	7.527
17/09/2005	9:00:00	44	7.917	21.82	0.447	23.39	44	7.531
17/09/2005	10:00:00	45	7.912	21.86	0.451	24.18	45	7.523
17/09/2005	11:00:00	46	7.913	21.99	0.447	24.59	46	7.529
17/09/2005	12:00:00	47	7.919	22.14	0.451	24.83	47	7.532
17/09/2005	13:00:00	48	7.917	22.24	0.447	24.44	48	7.536
17/09/2005	14:00:00	49	7.908	22.37	0.446	24.58	49	7.529
17/09/2005	15:00:00	50	7.907	22.46	0.444	24.54	50	7.531
17/09/2005	16:00:00	51	7.913	22.33	0.459	23.58	51	7.523
17/09/2005	17:00:00	52	7.913	22.21	0.457	23.44	52	7.526
17/09/2005	18:00:00	53	7.913	22.13	0.461	23.3	53	7.524
17/09/2005	19:00:00	54	7.925	22.04	0.462	23.24	54	7.536
17/09/2005	20:00:00	55	7.936	21.98	0.471	23.14	55	7.539
17/09/2005	21:00:00	56	7.937	21.92	0.478	23.08	56	7.534
17/09/2005	22:00:00	57	7.941	21.85	0.485	23	57	7.532
17/09/2005	23:00:00	58	7.939	21.81	0.488	22.94	58	7.529
18/09/2005	0:00:00	59	7.939	21.77	0.49	22.9	59	7.528
18/09/2005	1:00:00	60	7.957	21.72	0.493	22.85	60	7.544
18/09/2005	2:00:00	61	7.952	21.67	0.501	22.8	61	7.532
18/09/2005	3:00:00	62	7.964	21.62	0.51	22.74	62	7.536
18/09/2005	4:00:00	63	7.969	21.6	0.513	22.62	63	7.540
18/09/2005	5:00:00	64	7.964	21.52	0.515	22.51	64	7.534
18/09/2005	6:00:00	65	7.972	21.45	0.518	22.4	65	7.540
18/09/2005	7:00:00	66	7.981	21.4	0.528	22.31	66	7.540
18/09/2005	8:00:00	67	7.975	21.31	0.536	22.2	67	7.527
18/09/2005	9:00:00	68	7.987	21.21	0.541	22.11	68	7.536
18/09/2005	10:00:00	69	8.001	21.08	0.552	22.05	69	7.540
18/09/2005	11:00:00	70	8.007	21.02	0.562	22.02	70	7.537
18/09/2005	12:00:00	71	8.012	20.93	0.562	21.98	71	7.543
18/09/2005	13:00:00	72	8.02	20.86	0.565	21.98	72	7.549
18/09/2005	14:00:00	73	8.024	20.81	0.57	21.91	73	7.550
18/09/2005	15:00:00	74	8.019	20.76	0.574	21.9	74	7.542
18/09/2005	16:00:00	75	8.023	20.76	0.574	21.91	75	7.547
18/09/2005	17:00:00	76	8.025	20.71	0.569	21.91	76	7.555
18/09/2005	18:00:00	77	8.024	20.64	0.574	21.79	77	7.550
18/09/2005	19:00:00	78	8.017	20.59	0.58	21.64	78	7.539
18/09/2005	20:00:00	79	8.024	20.52	0.582	21.58	79	7.545
18/09/2005	21:00:00	80	8.035	20.46	0.585	21.47	80	7.554
18/09/2005	22:00:00	81	8.025	20.43	0.587	21.38	81	7.543
18/09/2005	23:00:00	82	8.024	20.38	0.59	21.3	82	7.540
19/09/2005	0:00:00	83	8.033	20.32	0.593	21.22	83	7.548
19/09/2005	1:00:00	84	8.036	20.26	0.593	21.18	84	7.552
19/09/2005	2:00:00	85	8.036	20.19	0.591	21.11	85	7.555
19/09/2005	3:00:00	86	8.036	20.14	0.591	21.04	86	7.556
19/09/2005	4:00:00	87	8.021	20.07	0.588	20.96	87	7.545
19/09/2005	5:00:00	88	8.027	20.05	0.584	20.91	88	7.557
19/09/2005	6:00:00	89	8.021	20.02	0.58	20.84	89	7.556
19/09/2005	7:00:00	90	8.011	19.97	0.58	20.8	90	7.547

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

Data	Ora	tempo (ore)	DATI LEVELOGGER		DATI BAROLOGGER		COMPENSAZION E				
			h _{p-nc} (m)	T (°C)	h _b (m)	T(°C)	tempo (ore)	h _p (m)			
19/09/2005	8:00:00	91	8.013	19.93	0.584	20.74	91	7.546			
19/09/2005	9:00:00	92	8.011	19.98	0.587	20.78	92	7.542	Misura manuale del battente idraulico		
19/09/2005	10:00:00	93	8.024	20.08	0.592	20.75	93	7.552	Data	Ora	Livello misurato (m)
19/09/2005	11:00:00	94	8.016	20.17	0.594	20.88	94	7.543	19/09/2005	11:00:00	7.53

Fig. 6.9: Grafico relativo ai valori di h_p , h_{p-nc} e h_b ricavati durante la prova per la determinazione di l_{cc} .

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

Nel corso della seconda prova, per la verifica della linearità della risposta della strumentazione, il trasduttore è stato sottoposto a battenti idrici decrescenti all'interno della tubazione. In totale sono stati effettuati 9 step di misura, della durata di 40 min ciascuno, variando la profondità del trasduttore di 1 m alla volta.

I dati ottenuti durante la prova sono riportati in Tab. 6.4 e rappresentati nei grafici di

Fig. 6.10. I dati acquisiti sono stati confrontati con quelli misurati manualmente diagrammandoli in Fig. 6.11. La retta che approssima i punti nel senso dei minimi quadrati è caratterizzata da una pendenza pari a 1.0016 ed un termine noto 0.002 m. Se ne desume un comportamento pressoché lineare ideale della strumentazione di misura.

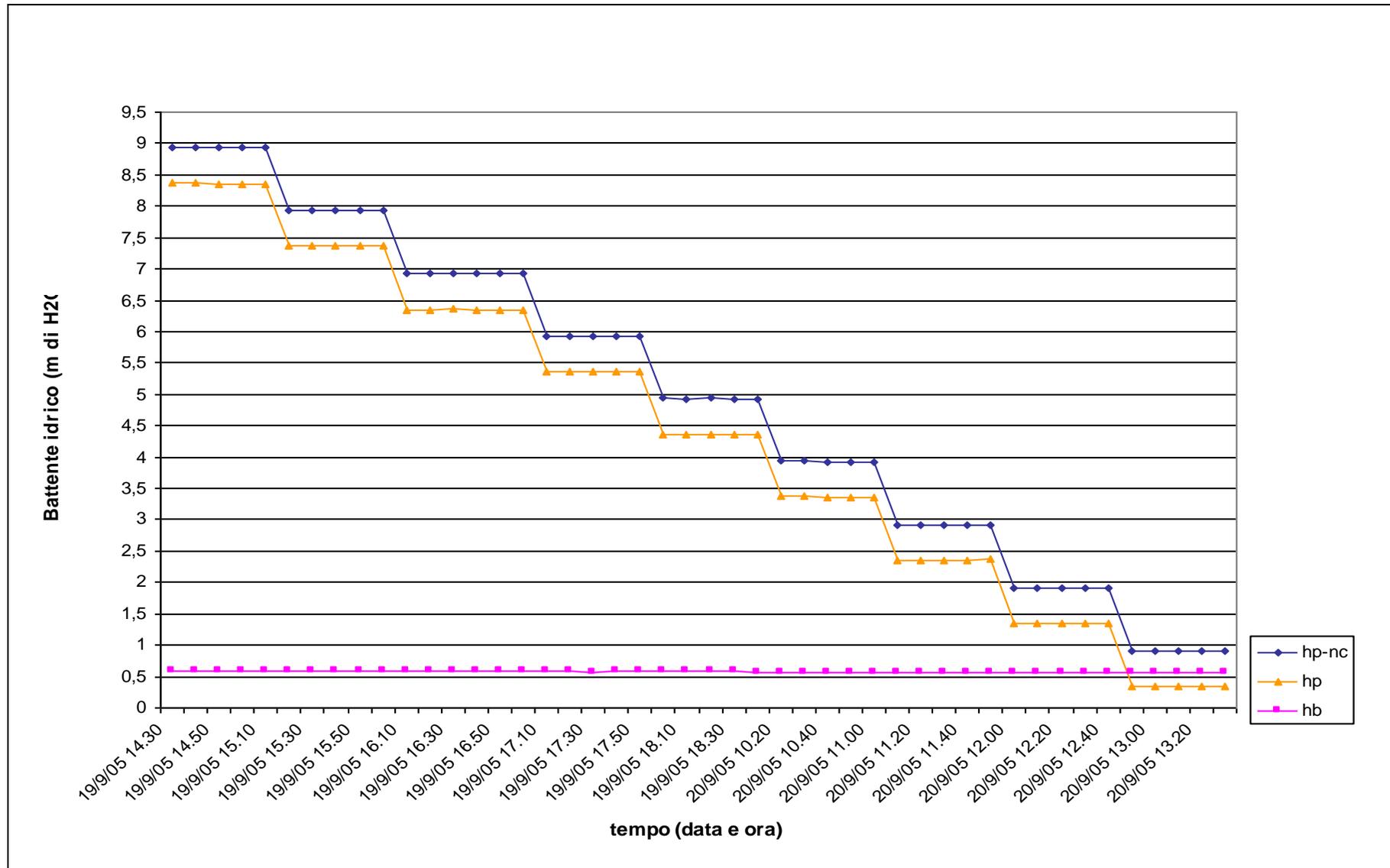


Fig. 6.10: Tracciato di misura del Levellogger e del Barologger durante i 9 step di misura

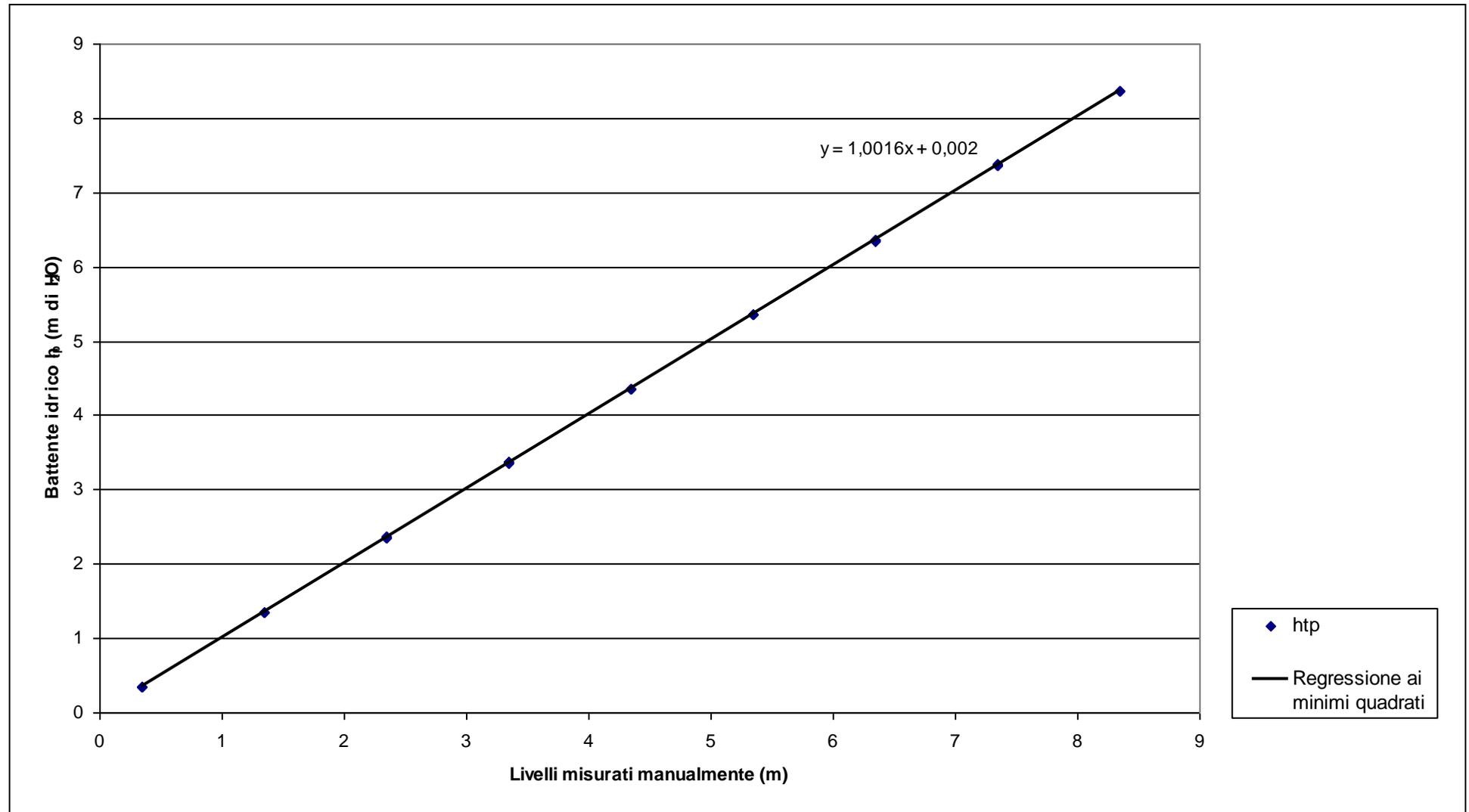


Fig. 6.11: Regressione ai minimi quadrati effettuata sui 9 step di misura.

CORILA

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

Tab. 6.4: Dati di h_{p-nc} , h_b , h_p , h_{tp} e ricavati durante la prova.

n. step	Data	Ora	Dati LEVELLOGGER		Dati BAROLOGGER		Dati COMPENSATI	carico idraulico $h_{tp}(m)$	valor medio di h_{tp} (m di H_2O)	livello misurato (m di H_2O)	incertezza misura Δx
			h_{p-nc} (m di H_2O)	T (°C)	h_b (m di H_2O)	T (°C)	h_p (m di H_2O)	h_{tp} (m di H_2O)			
1°	19/09/2005	14:30:00	8.948	20.33	0.584	21.25	8.364	8.372	8.359	8.35	0.0045
	19/09/2005	14:40:00	8.939	20.36	0.582	21.25	8.357	8.365			
	19/09/2005	14:50:00	8.931	20.39	0.582	21.28	8.349	8.357			
	19/09/2005	15:00:00	8.933	20.39	0.585	21.24	8.348	8.356			
	19/09/2005	15:10:00	8.932	20.39	0.583	21.24	8.349	8.357			
2°	19/09/2005	15:20:00	7.943	20.55	0.581	21.28	7.362	7.37	7.36875	7.35	0.0045
	19/09/2005	15:30:00	7.941	20.61	0.58	21.23	7.361	7.369			
	19/09/2005	15:40:00	7.945	20.6	0.579	21.21	7.366	7.374			
	19/09/2005	15:50:00	7.937	20.61	0.58	21.21	7.357	7.365			
	19/09/2005	16:00:00	7.939	20.59	0.58	21.21	7.359	7.367			
3°	19/09/2005	16:10:00	6.928	20.69	0.581	21.23	6.347	6.355	6.355	6.35	0.006
	19/09/2005	16:20:00	6.929	20.72	0.582	21.24	6.347	6.355			
	19/09/2005	16:30:00	6.932	20.71	0.578	21.16	6.354	6.362			
	19/09/2005	16:40:00	6.924	20.7	0.582	21.16	6.342	6.35			
	19/09/2005	16:50:00	6.929	20.7	0.582	21.14	6.347	6.355			
	19/09/2005	17:00:00	6.923	20.7	0.579	21.15	6.344	6.352			
4°	19/09/2005	17:10:00	5.931	20.75	0.578	21.18	5.353	5.361	5.361	5.35	0.0055
	19/09/2005	17:20:00	5.928	20.78	0.577	21.19	5.351	5.359			
	19/09/2005	17:30:00	5.935	20.75	0.575	21.19	5.36	5.368			
	19/09/2005	17:40:00	5.928	20.75	0.579	21.19	5.349	5.357			
	19/09/2005	17:50:00	5.928	20.75	0.577	21.22	5.351	5.359			
5°	19/09/2005	18:00:00	4.935	20.87	0.577	21.23	4.358	4.366	4.364	4.35	0.002
	19/09/2005	18:10:00	4.932	20.92	0.577	21.24	4.355	4.363			
	19/09/2005	18:20:00	4.935	20.91	0.578	21.22	4.357	4.365			
	19/09/2005	18:30:00	4.932	20.93	0.578	21.2	4.354	4.362			
	19/09/2005	18:40:00	4.931	20.93	0.573	21.17	4.358	4.366			

CORILA

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

n. step	Data	Ora	Dati LEVELLOGGER		Dati BAROLOGGER		Dati COMPENSATI	carico idraulico $h_{tp}(m)$	valor medio di h_{tp} (m di H ₂ O)	livello misurato (m di H ₂ O)	incertezza misura Δx
			h_{p-nc} (m di H ₂ O)	T (°C)	h_b (m di H ₂ O)	T (°C)	h_p (m di H ₂ O)	h_{tp} (m di H ₂ O)			
6°	20/09/2005	10:20:00	3.931	21.39	0.569	21.76	3.362	3.37	3.366	3.35	0.003
	20/09/2005	10:30:00	3.931	21.55	0.57	21.86	3.361	3.369			
	20/09/2005	10:40:00	3.927	21.65	0.572	21.96	3.355	3.363			
	20/09/2005	10:50:00	3.927	21.75	0.569	22	3.358	3.366			
	20/09/2005	11:00:00	3.924	21.83	0.568	21.99	3.356	3.364			
7°	20/09/2005	11:10:00	2.921	22.41	0.571	22	2.35	2.358	2.362	2.35	0.003
	20/09/2005	11:20:00	2.919	22.55	0.567	22	2.352	2.36			
	20/09/2005	11:30:00	2.924	22.63	0.57	22.01	2.354	2.362			
	20/09/2005	11:40:00	2.92	22.63	0.568	22	2.352	2.36			
	20/09/2005	11:50:00	2.924	22.61	0.566	22.07	2.358	2.366			
8°	20/09/2005	12:00:00	1.907	22.73	0.566	22.09	1.341	1.349	1.35025	1.35	0.0025
	20/09/2005	12:10:00	1.908	22.7	0.562	22.13	1.346	1.354			
	20/09/2005	12:20:00	1.904	22.68	0.563	22.12	1.341	1.349			
	20/09/2005	12:30:00	1.905	22.68	0.564	22.1	1.341	1.349			
	20/09/2005	12:40:00	1.904	22.66	0.563	22.09	1.341	1.349			
9°	20/09/2005	12:50:00	0.901	22.73	0.563	22.12	0.338	0.346	0.346	0.35	0.0045
	20/09/2005	13:00:00	0.903	22.73	0.561	22.08	0.342	0.35			
	20/09/2005	13:10:00	0.9	22.72	0.561	22.1	0.339	0.347			
	20/09/2005	13:20:00	0.896	22.69	0.563	22.14	0.333	0.341			
	20/09/2005	13:30:00	0.895	22.69	0.559	22.16	0.336	0.344			

7. INSTALLAZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

Terminata la fase di calibrazione, si è proceduto all'installazione dei trasduttori in corrispondenza delle postazioni di monitoraggio, tra il 9 ed il 10 ottobre 2005.

I trasduttori sono stati predisposti ed impostati come di seguito indicato:

frequenza di acquisizione: 10 min;

orologio: ora solare (UTC +1 h), sincronizzato mediante porta infrarossi al clock del computer a sua volta sincronizzato, mediante protocollo SNTP, al segnale orario generato dall'Istituto Elettrotecnico Nazionale (IEN) Galileo Ferraris di Torino;

cavo di sospensione: in acciaio inox AISI 316, spessore pari a 2 mm (Fig. 7.1), con asole di aggancio realizzate mediante morsetti in ottone e piombini. La lunghezza del cavo è pari a $l_c=7.5$ m per i Levellogger (lunghezza effettiva al di sopra del punto di misura del trasduttore pari a $l_{cc}=7.627$ m) e 0.025 cm per i Barologger.



Fig. 7.1: Levellogger e cavo in acciaio di sospensione.

L'installazione è stata realizzata nelle seguenti fasi:

- misura della soggiacenza del livello idrico, mediante sonda piezometrica manuale (Fig. 5.2), considerando come punto di riferimento la vite di aggancio del cavo di sospensione;

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



Fig. 7.2 -Vite di aggancio del cavo di sospensione del trasduttore

- fissaggio di un estremo del cavo di sospensione del trasduttore alla testa del tubo piezometrico (Fig. 7.3);



Fig. 7.3 - Postazione di monitoraggio e installazione di un Levellogger.

- ancoraggio del Levellogger al cavo di sospensione ed identificazione univoca dello strumento mediante numero di serie e sigla del tipo L"n" (vedasi
- Tab. 7.1 e Fig. 7.4);

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

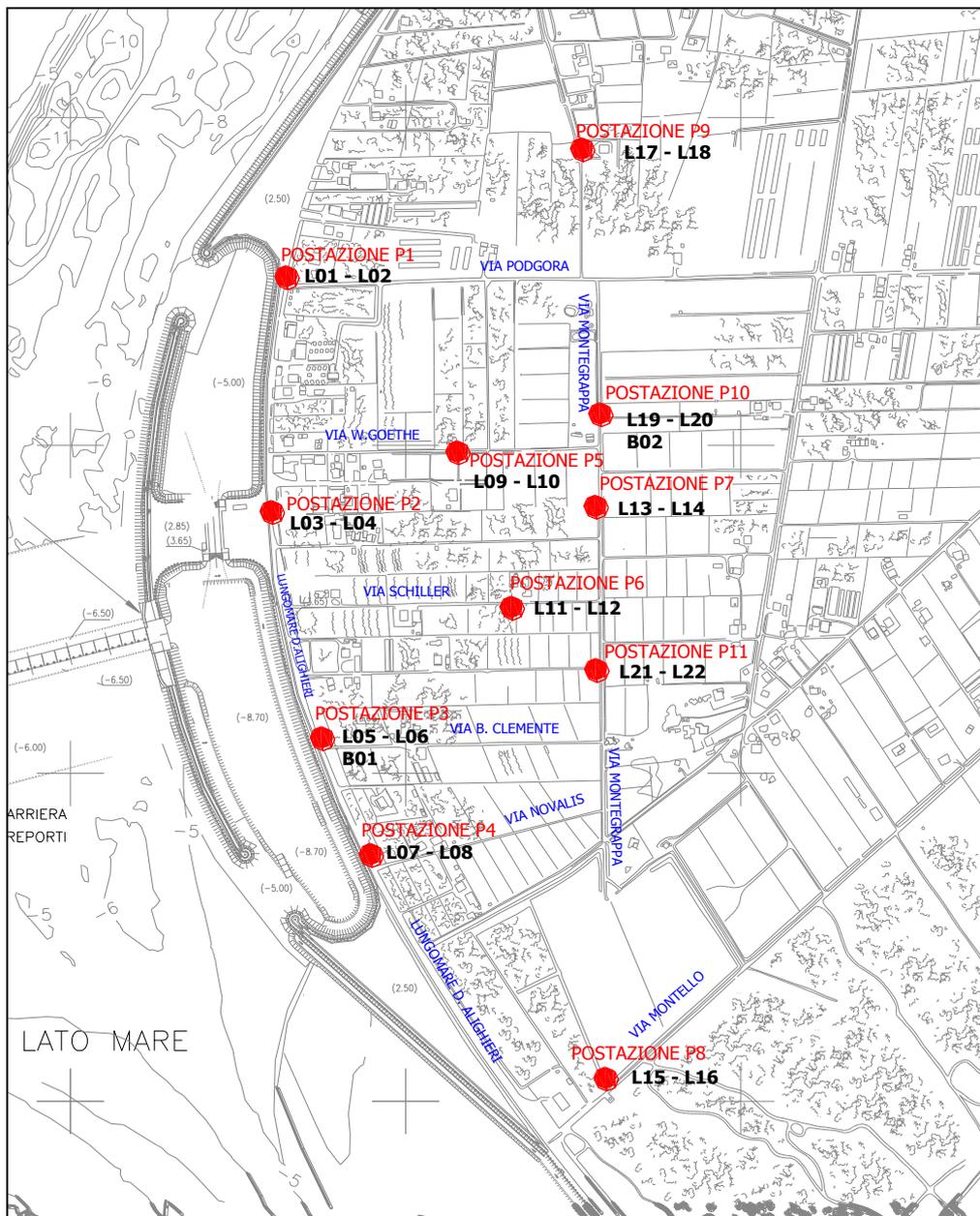


Fig. 7.4: Ubicazione delle postazioni di monitoraggio, dei Levelogger e dei Barologger

Tab. 7.1: Valori di soggiacenza misurati subito prima dell'installazione dei Levelogger.

Postazione	Piezometro	Levelogger		Data	Ora (solare)	Soggiacenza (m)
		Serial Number	ID			
Postazione P1	PP1	71765	L01	09/10/05	17:25	1.475
	PS1	63561	L02	09/10/05	16:45	1.405
Postazione P2	PP2	63506	L03	09/10/05	18:30	1.42
	PS2	71757	L04	09/10/05	18:05	1.67
Postazione P3	PP3	63281	L05	10/10/05	14:00	1.11
	PS3	70325	L06	10/10/05	14:15	0.94
Postazione P4	PP4	63499	L07	10/10/05	14:45	1.06
	PS4	63514	L08	10/10/05	14:35	1.09

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

Postazione	Piezometro	Levelogger		Data	Ora (solare)	Soggiacenza (m)
		Serial Number	ID			
Postazione P5	PP5	63274	L09	10/10/05	15:25	1.32
	PS5	63498	L10	10/10/05	15:40	0.77
Postazione P6	PP6	63269	L11	10/10/05	10:05	1.27
	PS6	63536	L12	10/10/05	10:15	0.49
Postazione P7	PP7	63495	L13	10/10/05	9:15	0.96
	PS7	63540	L14	10/10/05	9:08	0.485
Postazione P8	PP8	63515	L15	10/10/05	11:40	0.35
	PS8	71378	L16	10/10/05	11:55	0.28
Postazione P9	PP9	71766	L17	10/10/05	8:10	1.93
	PS9	63553	L18	10/10/05	7:55	1.35
Postazione P10	PP10	63502	L19	10/10/05	8:37	1.755
	PS10	63511	L20	10/10/05	8:45	1.155
Postazione P11	PP11	63535	L21	10/10/05	10:35	0.805
	PS11	71753	L22	10/10/05	10:50	0.285

- collocazione dei 2 Barologger in corrispondenza dei piezometri PP03 e PP10 ed identificazione univoca degli strumenti mediante numero di serie e sigla del tipo B"n"). L'ubicazione dei due Barologger è stata scelta in modo da monitorare la pressione atmosferica in corrispondenza di due subaree, una posta in prossimità del Lungomare Dante Alighieri e l'altra più interna (Fig. 7.4).
- perforazione del tappo di plastica a protezione del piezometro per permettere la ventilazione della colonna d'acqua e compensazione con la pressione atmosferica (Fig. 7.5);



Fig. 7.5: Foro di ventilazione del piezometro.

8. CONCLUSIONI

Nel presente documento sono state descritte le attività che hanno permesso di installare le 11 postazioni bilivello di monitoraggio dei livelli piezometrici in corrispondenza del Area di Monitoraggio prospiciente il cantiere sito in Bocca di Lido.

Sono state raccolte le informazioni che hanno permesso un inquadramento dell'area oggetto del monitoraggio e descritte le fasi progettuali e realizzative della rete di monitoraggio del comparto "suolo". Si è, quindi, proceduto alla trattazione dei parametri da monitorare, al rilievo plano-altimetrico delle postazioni, alla calibrazione ed installazione della strumentazione di misura.

Nel Rapporto di Variabilità Attesa verrà valutata la situazione di variabilità dei livelli e delle direzioni piezometriche nella situazione ante operam corrispondente alla Fase A. Sarà, quindi, possibile procedere alla valutazione degli effetti prodotti dal cantiere sui livelli piezometrici come previsto dalla Fase B dello studio.