



# **LINEE GUIDA**

## **per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in sistemi a media e bassa permeabilità in impianti produttivi e interpretazione preliminare dei dati**

**Lunedì 9 dicembre 2024**

ARPAT – Direzione

Via del Ponte alle Mosse 211 Firenze, Aula A

## **Progettazione di sistemi di monitoraggio della falda superficiale nella zona pisana – casi di studio**

**Relatore: Dr. Geol. Luca Bocini**



## Oggetto della presentazione:

n°2 progetti di sistemi di monitoraggio della falda superficiale in ambito di impianti di gestione rifiuti e di attività industriali.

Si tratta di interventi nella provincia di Pisa, all'interno del bacino dell'Arno.

**Caso a)** Nuova AUA per impianto di trattamento rifiuti ferrosi nei pressi di Pontedera (PI)

**Caso b)** Modifica sostanziale ad AUA di impianto di trattamento rifiuti pericolosi e non pericolosi nel comprensorio del Cuoio;



## Programma delle indagini (per tutti gli impianti)

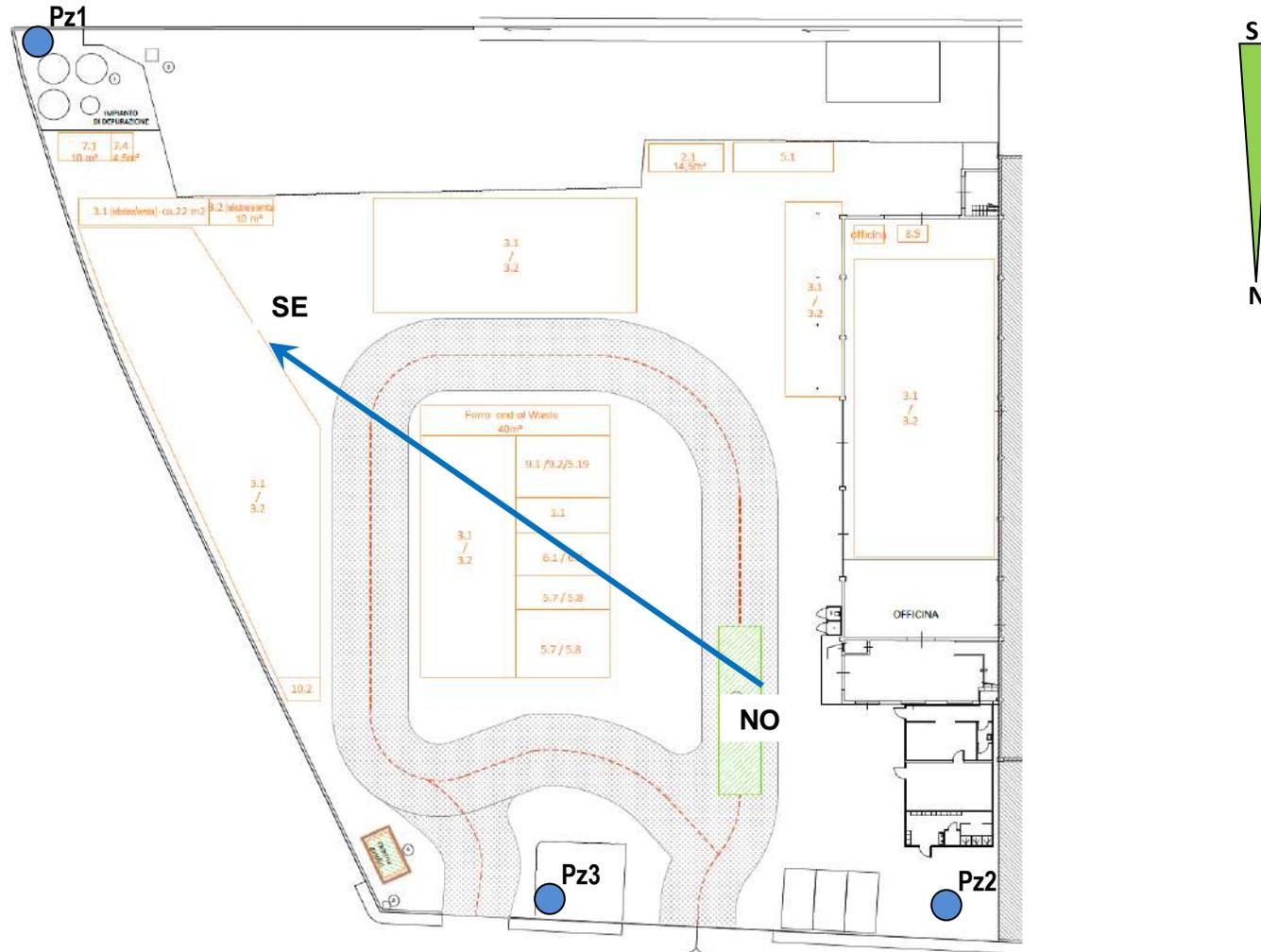
- ✓ **Definizione del modello idrogeologico preliminare (relazione idrogeologica preliminare)**
  - Reperimento dati bibliografici o da banche dati;
  - Rilevazione sul posto dei dati;
- ✓ **Definizione del modello idrogeologico definitivo (relazione idrogeologica definitiva)**
  - Realizzazione dei piezometri;
  - Rilievo topografico dei punti di misura del livello piezometrico;
  - Esecuzione di prove di permeabilità in foro e/o di laboratorio;
  - Esecuzione di prove di portata (prova di risalita);
  - Definizione del modello idrogeologico ed idrochimico;
  - Monitoraggio delle variabili;
  - Definizione della procedura di campionamento dei punti di monitoraggio;



## Caso a)

- ✓ **Impianto di trattamento rifiuti ferrosi;**
- ✓ **Siamo stati coinvolti nel progetto di realizzazione del sistema di monitoraggio dopo che era stata fatta la presentazione della richiesta di autorizzazione ambientale;**
- ✓ **La domanda di autorizzazione era corredata da una proposta di realizzazione del sistema di monitoraggio redatta dai tecnici (non geologi) consulenti della proprietà.**

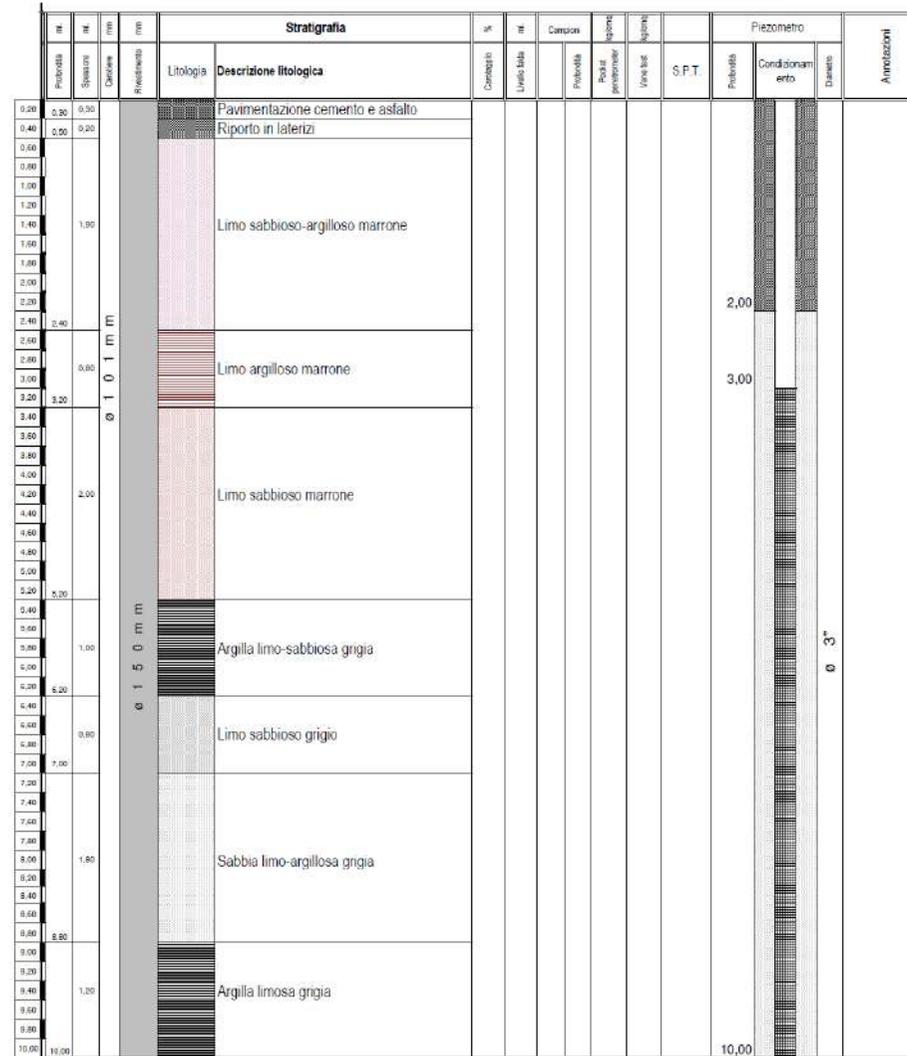
## Planimetria dell'impianto



## Progettazione dei piezometri:

- ✓ **Profondità 10 m;**
- ✓ **Realizzazione mediante sondaggio a carotaggio continuo, alesati a 150mm;**
- ✓ **Installazione di tubazione in PVC atossico del  $\varnothing$  3", filtrato da fondo foro fino a -3,00 m di profondità; i filtri sono del tipo micro fessurato con slot 0,5 mm;**
- ✓ **il perforo è stato condizionato con ghiaietto siliceo pezzatura 3-5mm fino alla profondità di -2,50 m e la parte più superficiale con bentonite (compactonite) e cementazione;**

## Ricostruzione stratigrafica (Pz2)

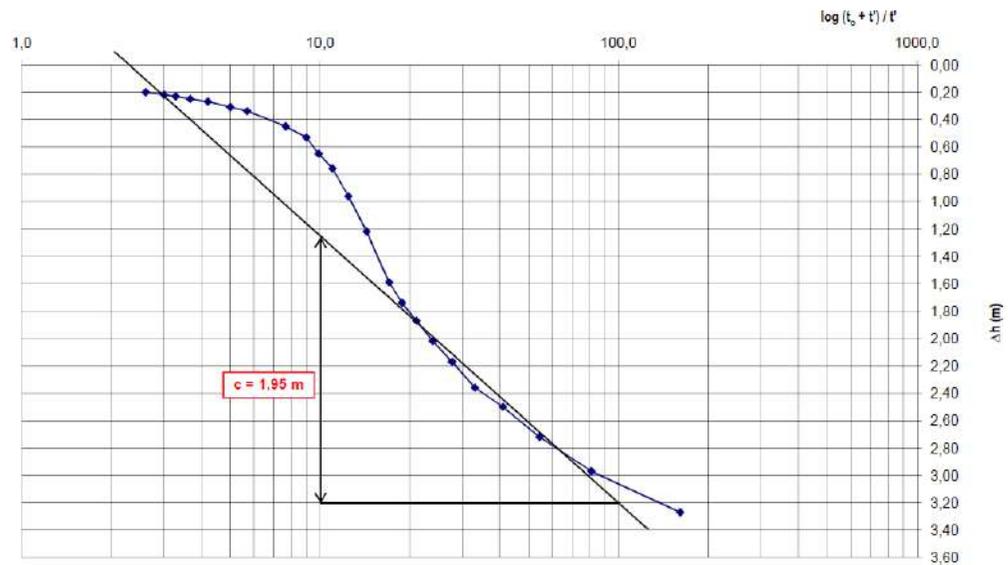


## Ricostruzione della direzione di falda

Piezometro	Profondità (m)	L.s dal p.c. (m)	Ls. Relativo (m da 0.00)
Pz1	10,00	2,27	2,27
Pz2	10,00	1,67	1,54
Pz3	10,00	1,85	1,73

## Prova di risalita

Tempo $t'$ (min)	Tempo $t'$ (sec)	$t_0 + t'$ $t'$	Livello dinamico (m dal p.c.)	$\Delta h$ (m)
0,5	30	161,00	4,95	3,27
1	60	81,00	4,65	2,97
1,5	90	54,33	4,40	2,72
2	120	41,00	4,18	2,50
2,5	150	33,00	4,04	2,36
3	180	27,67	3,85	2,17
3,5	210	23,86	3,70	2,02
4	240	21,00	3,55	1,87
4,5	270	18,78	3,42	1,74
5	300	17,00	3,27	1,59
6	360	14,33	2,90	1,22
7	420	12,43	2,64	0,96
8	480	11,00	2,44	0,76
9	540	9,89	2,33	0,65
10	600	9,00	2,21	0,53
12	720	7,67	2,13	0,45
17	1020	5,71	2,02	0,34
20	1200	5,00	1,99	0,31
25	1500	4,20	1,95	0,27
30	1800	3,67	1,93	0,25
35	2100	3,29	1,91	0,23
40	2400	3,00	1,90	0,22
50	3000	2,60	1,88	0,20



## Permeabilità

### Prove in foro

- ✓ Pz1 – Prova Lefrank a carico variabile – profondità da -1,60 a -2,50 m dal p.c.  
**K= 1,29 10<sup>-6</sup> m/sec**
- ✓ Pz2 – Prova Lougeon a carico costante – profondità da -1,60 a -2,50 m dal p.c.  
**K= 9,18 10<sup>-4</sup> m/sec**

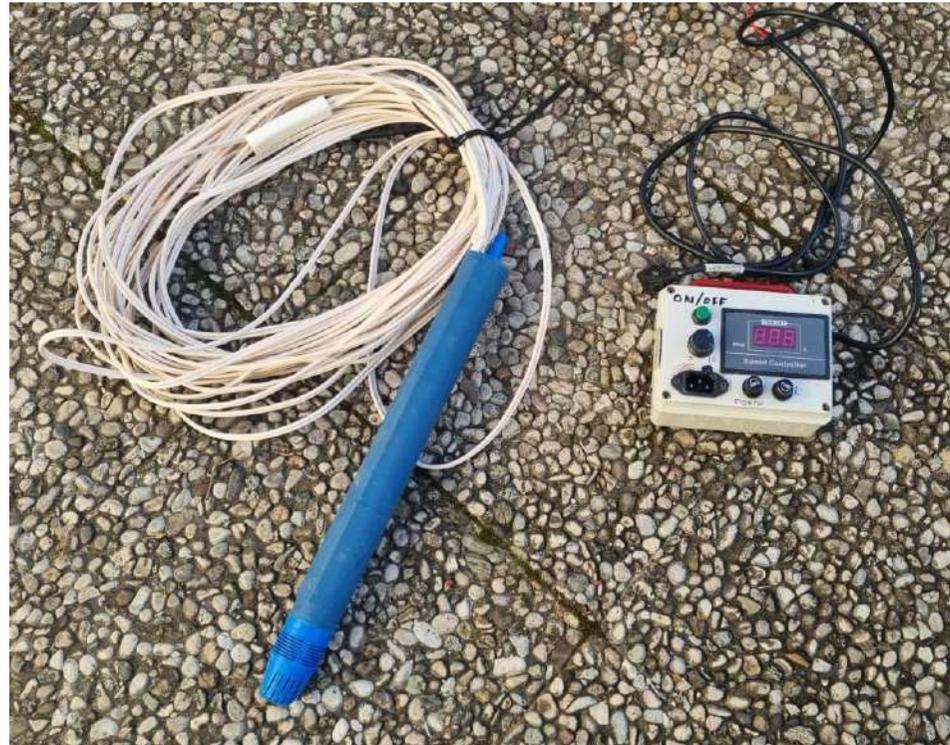
### Prove di risalita

- ✓ Pz1 - K= 3,4 10<sup>-7</sup> m/sec
- ✓ Pz2 - K= 8,5 10<sup>-7</sup> m/sec
- ✓ Pz3 - K= 6,1 10<sup>-7</sup> m/sec

## Spurgo e campionamento

### Attrezzature

Pompe a 12 V con prevalenza max 18 m, portata max 8-10 l/min, dotate di regolatore di portata



## Sonda multiparametrica (T, Ph, Redox, Ox)



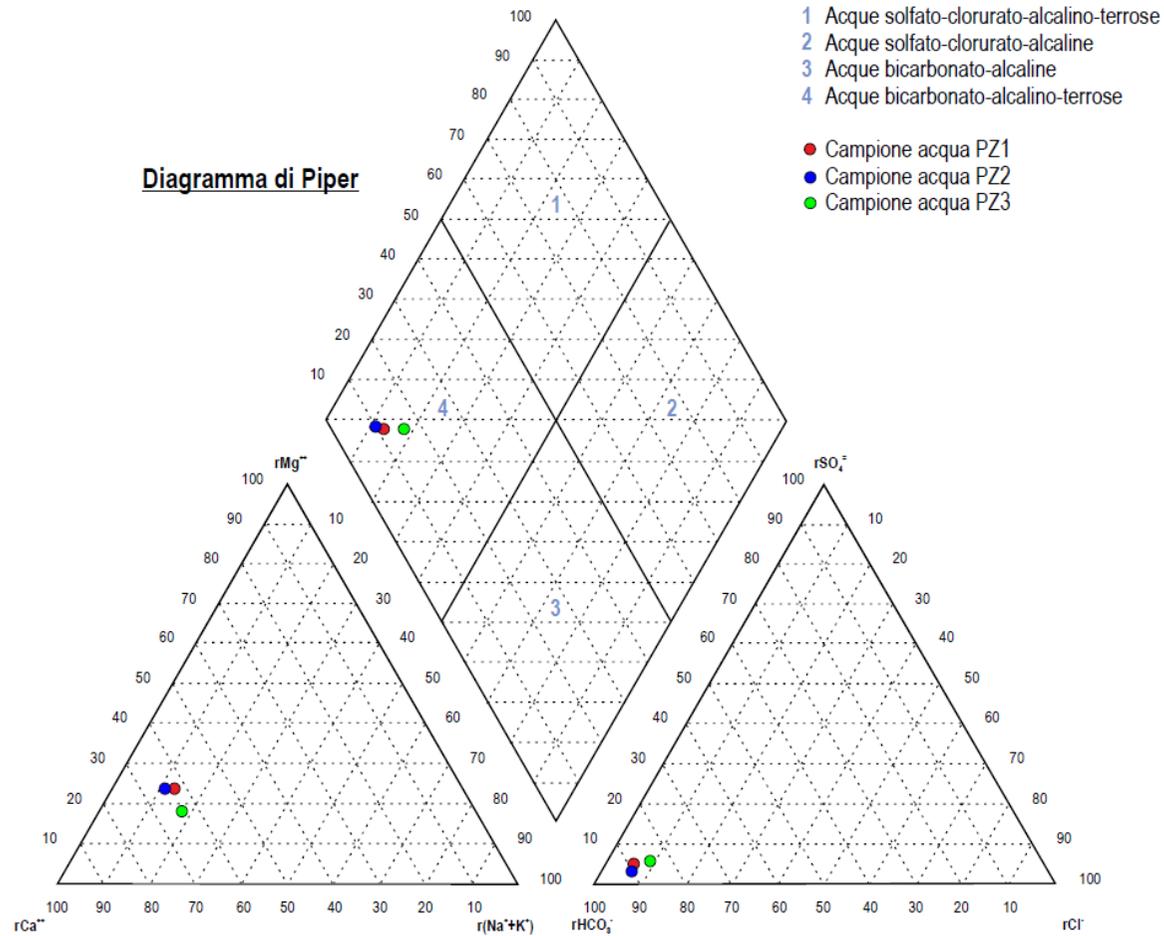
## Attrezzature per il campionamento



## Presentazione dei dati di spurgo e campionamento

Verbale di spurgo e campionamento piezometri																
Piezometro	Data Spurgo	Data Campionamento	Profondità (m)	Diametro (m)	L.s dal pc (m)	Rilievo	Ls. Relativo (m da 0.00)	Portata di spurgo (l/min)	T.spurgo (min)	Volume spurgato (m3)	Volumi piez. spurgati	T (°)	ORP (mV)	Ph	Ox (mg/l)	Cond. (µS)
Pz1	10/09/2024	10/09/2024	10,00	0,07	1,19	0,00	1,19	3,00	75	0,225	6,6	21,1	-118	6,90	0,61	710
Pz2	10/09/2024	10/09/2024	10,00	0,07	1,33	0,13	1,20	3,00	65	0,195	5,8	22,2	-152	6,70	0,22	984
Pz3	10/09/2024	10/09/2024	10,00	0,07	1,26	0,12	1,14	3,00	60	0,18	5,4	24,8	-87	6,86	0,54	890

## Classificazione dell'acqua (diagramma di Piper)





## Indicazioni per il campionamento

- 1) misurazione del livello piezometrico statico mediante sonda freaticometrica, prima dell'installazione della pompa;
- 2) introduzione della pompa nel pozzo di monitoraggio fino a raggiungere il fondo foro, verificandone la profondità, quindi, risollevarla di circa 1 metro;
- 3) mettere in funzione la pompa ad una portata costante e misurarla periodicamente;
- 4) si ritiene opportuno utilizzare la portata di spurgo di x l/min;
- 5) misurare periodicamente i parametri di campo (pH, T, Cond, Redox) senza mai innalzare o abbassare la pompa all'interno del pozzo;
- 6) controllare periodicamente la soggiacenza dinamica della falda;
- 7) una volta raggiunti i volumi di spurgo previsti o in alternativa la stabilizzazione dei parametri di campo, procedere al prelievo delle diverse aliquote d'acqua previste dal protocollo di campionamento;
- 8) utilizzare parte dell'acqua prelevata per la determinazione dei parametri chimico-fisici completi (pH, T, Cond, Redox);
- 9) normalizzare i recipienti raccogliendo un'aliquota d'acqua ed eliminandola ripetendo almeno due volte l'operazione. I contenitori delle aliquote filtrate dovranno essere normalizzati con l'acqua filtrata. Normalizzare anche l'attrezzatura per il filtraggio ed i tappi dei contenitori;
- 10) effettuare le operazioni di etichettatura e stabilizzazione se previste dal protocollo;
- 11) riporre il contenitore etichettato nelle apposite borse termiche per la conservazione ed il trasporto dei campioni;
- 12) l'aliquota dei metalli deve essere sempre filtrata e stabilizzata direttamente in campo.
- 13) compilare il verbale con tutti i dati relativi a cui allegare la scheda di campionamento compilata

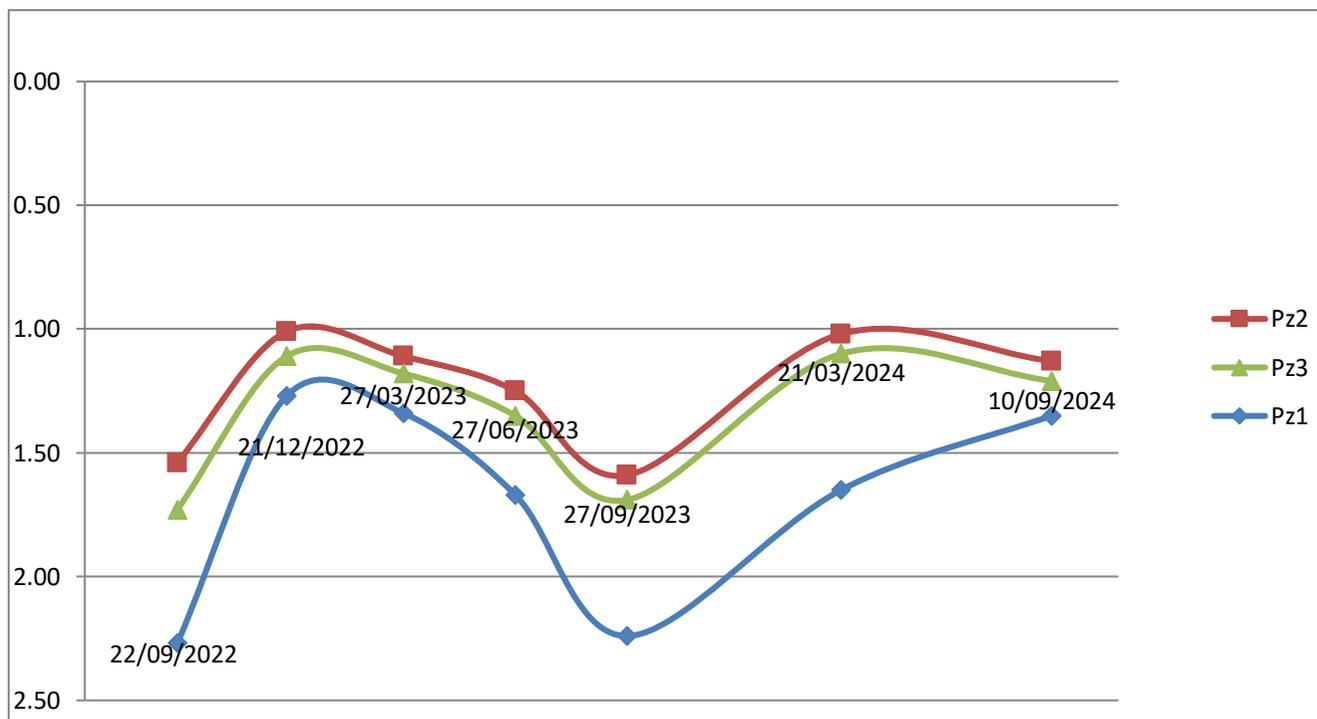
## Scheda piezometro

COMMITTENTE:		SONDAGGIO N°: <b>Pz2</b>		LEGENDA:	
CANTIERE:		PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO		Piezometri: a tubo aperto PVC	
LOCALITA':		PERFORAZIONE: 10 m		Cementazione	
COORDINATE GB:		USO: PIEZOMETRO DI MONITORAGGIO		Dreno	
QUOTA p.c.: 11 m s.l.m.		RESP. di CANTIERE: Geol. L. Bocini		Fili	
QUOTA fon. foro: 1 m s.l.m.		DATA: 09-11/08/2022		Benzonite	
		Stratigrafia		Piezometro	
Profondità Spessore	Profondità Spessore	Librologia	Descrizione litologica	Carotaggio	Carotaggio S.P.T.
0,30	0,30		Pavimentazione cemento e asfalto		
0,40	0,50		Riparto in laterizi		
0,60					
1,00					
1,30					
1,40	1,90		Limo sabbioso-argilloso marrone		
1,60					
1,80					
2,00					
2,20					
2,40	2,40				
2,60					
2,80					
3,00	0,80		Limo argilloso marrone		
3,20					
3,40	3,20				
3,60					
3,80					
4,00					
4,20	2,00		Limo sabbioso marrone		
4,40					
4,60					
4,80					
5,00					
5,20	0,20		Argilla limo-sabbiosa grigia		
5,40					
5,60	1,00				
5,80					
6,00	0,80		Limo sabbioso grigio		
6,20					
6,40	0,80				
6,60	2,00				
6,80					
7,00					
7,20					
7,40					
7,60					
7,80					
8,00	1,00		Sabbia limo-argillosa grigia		
8,20					
8,40					
8,60					
8,80	0,80				
9,00					
9,20					
9,40	1,20		Argilla limosa grigia		
9,60					
9,80					
10,00					

INDICAZIONI PER IL CAMPIONAMENTO	
L.S. DAL P.C.: -1,67 m il 22.09.2022	
MODALITA' DI SPURGO: DINAMICO A BASSA PORTATA	
PORTATA DI SPURGO: 2 l/min	
PORTATA DI CAMPIONAMENTO: 1 l/min	
VOLUME DI SPURGO: 3,8 l/mt	
TEMPO DI SPURGO CONSIGLIATO: 70 MIN CON VERIFICA DELLA STABILIZZAZIONE DEI PARAMETRI T, pH, Cond., Redox	



## Presentazione dati di monitoraggio Andamento della piezometrica

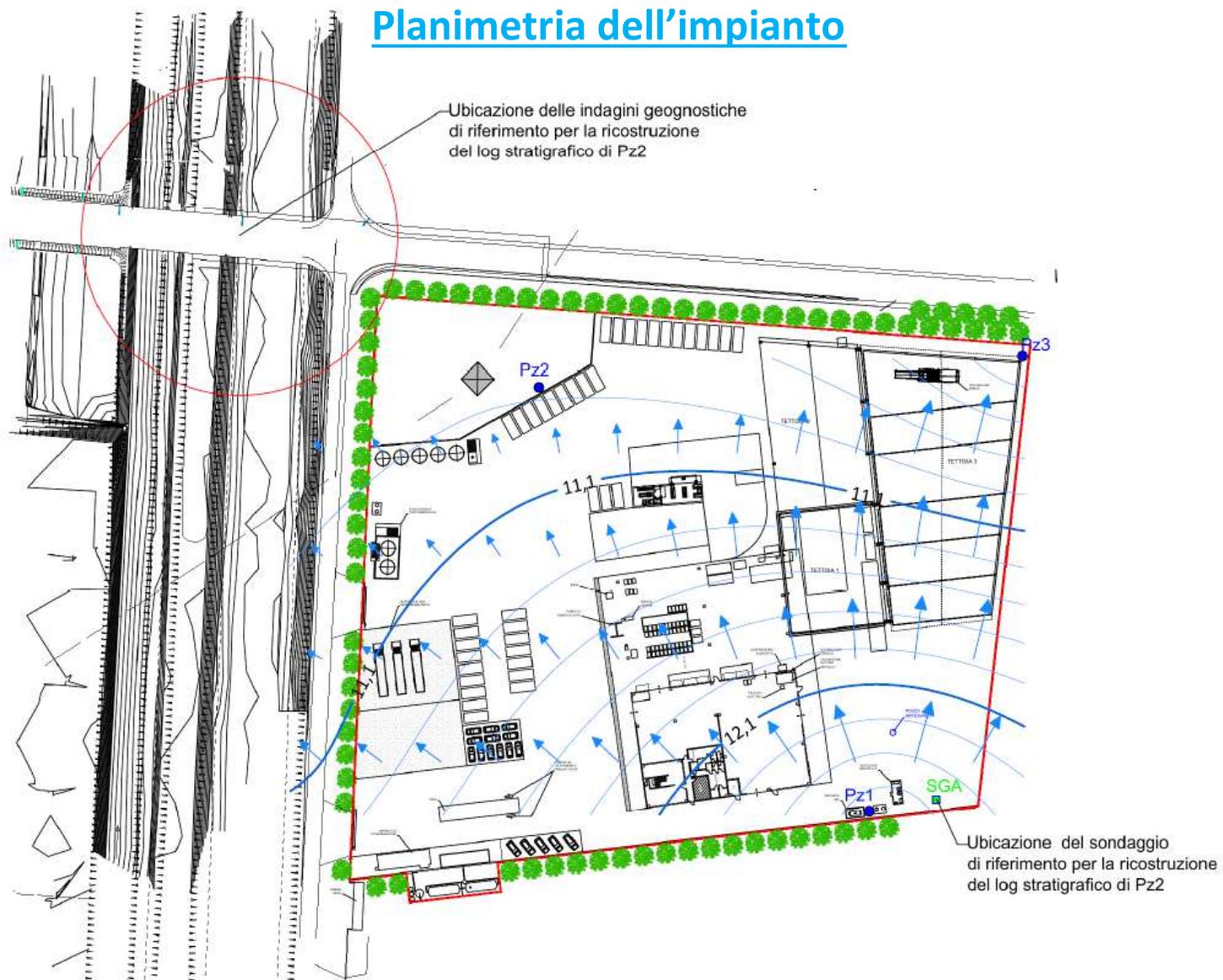




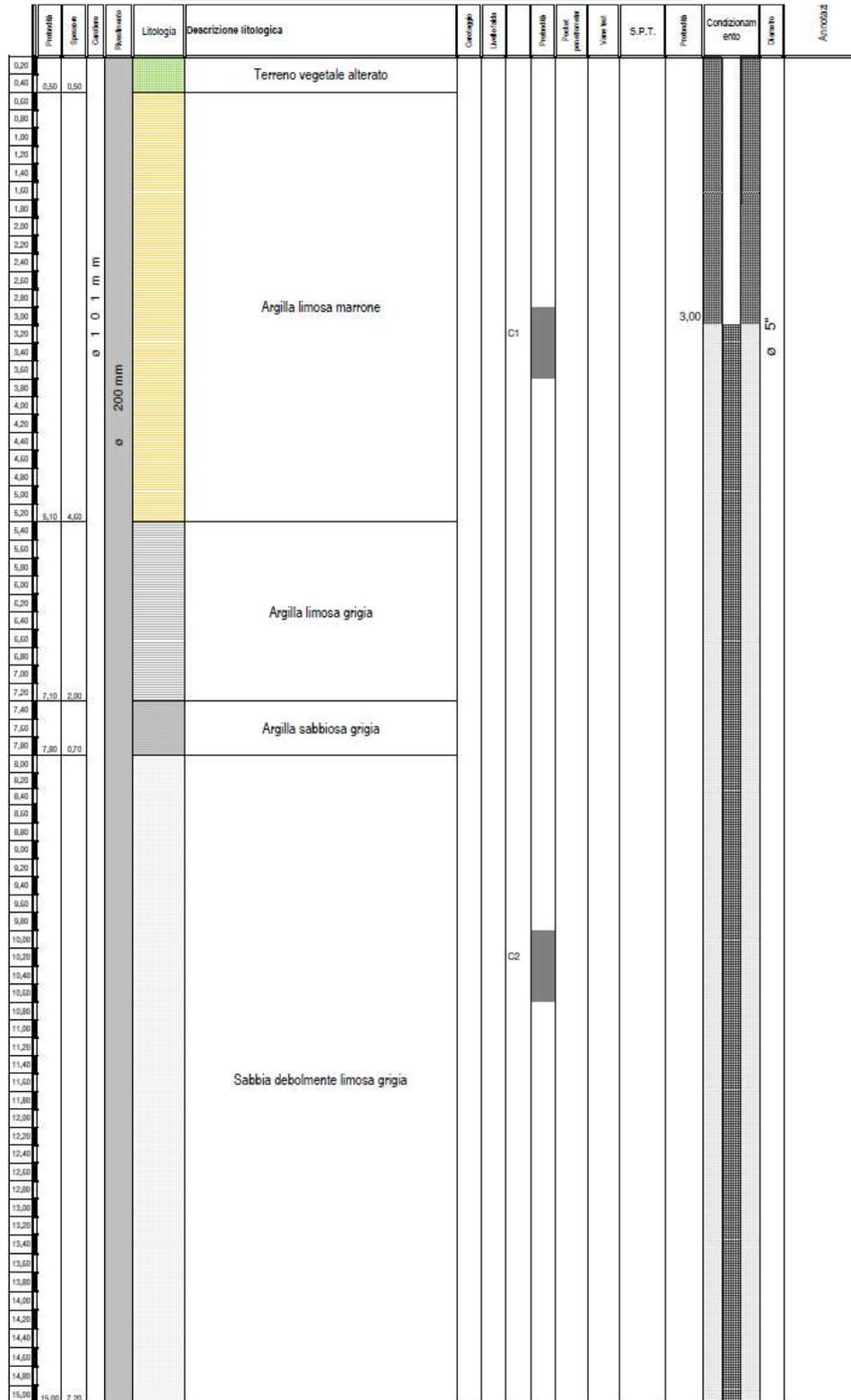
## Caso b)

- ✓ **Impianto di stoccaggio e trattamento rifiuti pericolosi e non pericolosi (R13-R15);**
- ✓ **l'organizzazione ha presentato la domanda di modifica sostanziale all'AUA per ampliamento dell'impianto;**
- ✓ **Al momento della domanda di modifica sostanziale erano già stati realizzati n°2 piezometri di monitoraggio del  $\varnothing$  125mm (5"), impostati alla profondità di -15 m.**
- ✓ **I piezometri esistenti non erano sufficienti per monitorare tutto l'impianto e definire correttamente la direzione di deflusso della falda superficiale.**

## Planimetria dell'impianto



## Ricostruzione stratigrafica



## Ricostruzione direzione di falda

PAUR n° _____ del _____															
Verbale di spurgo e campionamento Piezometri di Monitoraggio															
Campionamento di tipo dinamico a bassa portata															
Piezometro	Data Spurgo	Data Campion.	Profondità (m)	Diametro (m)	L.s (m)	Quota (m s.l.m)	L.s (m s.l.m)	Portata di spurgo (l/min)	T.spurgo (min)	Volume spurgato (m3)	Volumi piez. spurgati	Ph	T (°)	Cond. (µS)	ORP (mV)
Pz1	23/03/2021	24/03/2021	15,00	0,125	-2,36	15,23	12,87	8,00	90	0,72	3,4	7,4	16,2	971	-25
Pz2	23/03/2021	24/03/2021	15,00	0,125	-4,41	15,37	10,96	8,00	90	0,72	3,0	7,4	16,5	818	-30
Pz3	23/03/2021	24/03/2021	15,00	0,125	-4,13	14,27	10,14	8,00	90	0,72	3,1	7,4	17,4	1324	-36
Pozzo ind		24/03/2021	60,50	---	-11,40	15,40	4,00	--	--			7,7	16,5	795	-41
Antifosso Usciana	23/03/2021						11,00								

## Permeabilità

	LIVELLO STATICO (M DA P.C.)	QC	T (M <sup>2</sup> /SEC)			K (M/SEC)			S
			DA PROVA A GRADINI	DA PROVA DI RISALITA	DA PROVE DI LUNGA DURATA	DA PROVA A GRADINI	DA PROVA DI RISALITA	DA PROVE DI LUNGA DURATA	
PZ.1	-2,36	23,3 L/MIN	7,79·10 <sup>-5</sup>	2,38·10 <sup>-5</sup>	--	1,11·10 <sup>-5</sup>	3,40·10 <sup>-6</sup>	--	2,5%
PZ.2	-4,41	NON RAG- GIUNTA	1,29·10 <sup>-4</sup>	1,09·10 <sup>-4</sup>	4,08·10 <sup>-4</sup>	1,61·10 <sup>-5</sup>	1,36·10 <sup>-5</sup>	5,09·10 <sup>-5</sup>	27%
PZ.3	-4,13	NON MISU- RATA	--	--	9,15·10 <sup>-4</sup>	--	--	1,27·10 <sup>-4</sup>	2%

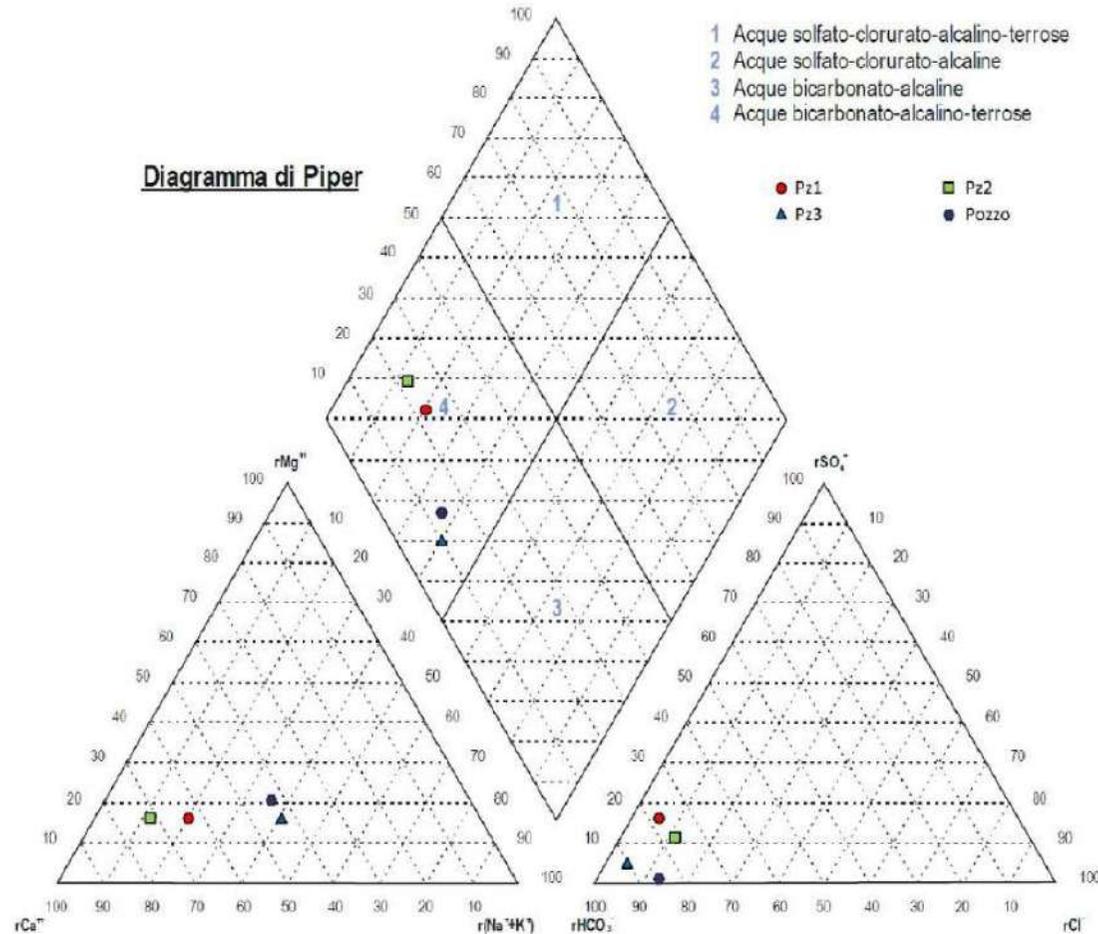
Dai dati sopra riportati si rileva che:

- ✓ l'elaborazione di misurazioni effettuate durante prove diverse portano a valori confrontabili (stesso ordine di grandezza) dello stesso parametro;
- ✓ il primo acquifero, in corrispondenza di Pz1, presenta una permeabilità inferiore rispetto a quanto rilevato negli altri punti di misura, probabilmente per la presenza di una % di limo e argilla superiori.
- ✓ è possibile attribuire all'acquifero la permeabilità da bassa a discreta.

Permeabilità da laboratorio geotecnico su campione prelevato in Pz3 alla profondità di -3,00/-3,50 è pari a

**K=7,481E-09 cm/sec - Impermeabile**

## Classificazione delle acque



Considerando la classificazione delle acque ed i parametri di campo rilevati si può ipotizzare che l'acquifero superficiale e quello profondo siano in comunicazione. L'unica incertezza deriva dalla piezometrica.

## Scheda piezometro

COMMITTENTE:		SONDAGGIO N°: <b>Pz 3</b>		ASSOGGIATA	
CANTIERE:		PERFORAZIONE: CAROTAGGIO CONTINUO		Piezometri a tubopieno/PVC	
LOCALITA':		PERFORAZIONE: 15 m		Caratterizzazione	
QUOTA (a.c.): 14,27 m s.l.m.		USO: PIEZOMETRO DI MONITORAGGIO		Dipinto: <input type="checkbox"/> Fibr: <input type="checkbox"/>	
QUOTA (sot. foro): -4,73 m s.l.m.		RESP. di CANTIERE: Geol. L. Biondi		Sestrate: <input type="checkbox"/>	
DATA: 09 mar 21					

Stratigrafia		Profondità (m)	Spessore (m)	S.P.T.	Piezometro	Avvertimenti
Uso	Descrizione litologica					
	Terreno vegetale alterato	0,00				
	Argilla limosa marrone	0,00 - 3,00				
	Argilla limosa grigia	3,00 - 3,50				
	Argilla sabbiosa grigia	3,50 - 4,00				
	Sabbie debolmente limose grigia	4,00 - 15,00				

INDICAZIONI PER IL CAMPIONAMENTO	
L.S. DAL P.C.: -4,13 m il 23/03/2021	
MODALITA' DI SPURGO: DINAMICO A BASSA PORTATA	
PORTATA DI SPURGO: 8 l/min	
PORTATA DI CAMPIONAMENTO: 3 l/min	
VOLUME DI SPURGO: 12,26 l/m	
TEMPO DI SPURGO MINIMO: 60 MIN CON VERIFICA DELLA STABILIZZAZIONE DEI PARAMETRI T, pH, Cond., Redox	



INDICAZIONI PER IL CAMPIONAMENTO	
L.S. DAL P.C.: -4,13 m il 23/03/2021	
MODALITA' DI SPURGO: DINAMICO A BASSA PORTATA	
PORTATA DI SPURGO: 8 l/min	
PORTATA DI CAMPIONAMENTO: 3 l/min	
VOLUME DI SPURGO: 12,26 l/m	
TEMPO DI SPURGO MINIMO: 60 MIN CON VERIFICA DELLA STABILIZZAZIONE DEI PARAMETRI T, pH, Cond., Redox	

## Presentazione dati di monitoraggio Andamento della piezometria

