

**XIII Workshop di Geofisica
e
IV Giornata di Formazione**

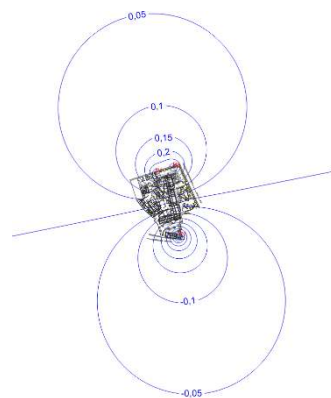
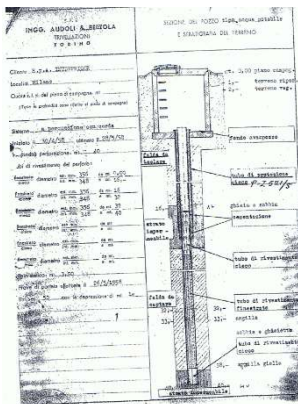
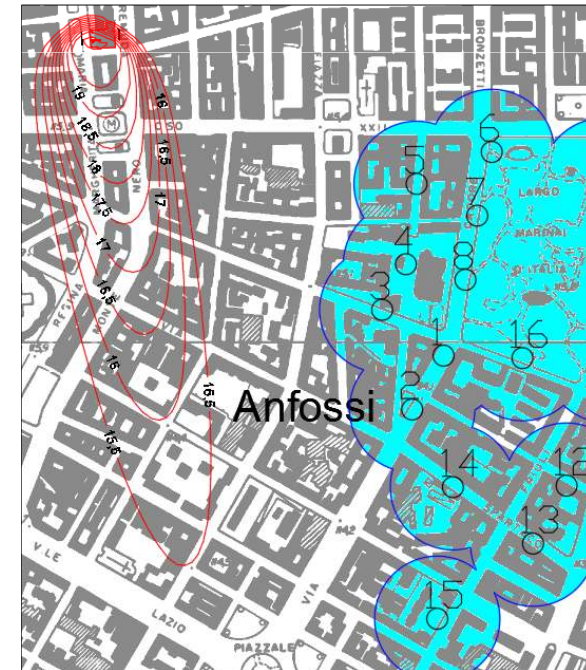
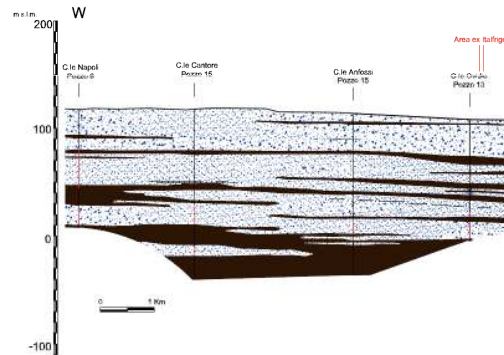
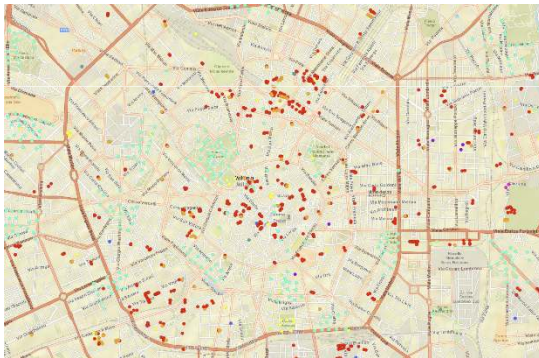


Fondazione Museo Civico Rovereto



Ordine Geologi della Lombardia

Geotermia a circuito aperto: dallo studio di prefattibilità al collaudo



Considerazioni generali

Il Programma Energetico Ambientale Regionale (**PEAR**) costituisce lo strumento di programmazione strategica in ambito energetico ed ambientale, con cui la Regione Lombardia definisce i propri obiettivi di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili (**FER**), in coerenza con le quote obbligatorie di utilizzo delle FER assegnate alle Regioni nell'ambito del cosiddetto decreto "burden sharing", e con la nuova Programmazione Comunitaria 2014-2020

Il PEAR indica che il numero di unità abitative (censimento ISTAT 2011) è circa 4.600.000 con 399×10^6 m² di superficie residenziale abitata; il consumo di gas naturale per uso condizionamento termico e acqua calda sanitaria (anno 2012) per unità di superficie residenziale è di 17 m³/m². Ne deriva un consumo di circa 62.000 GWh.

Si ritiene che lo sfruttamento di almeno il 10% di tale fabbisogno di energia termica per condizionamento di abitazioni residenziali comporterebbe la copertura di almeno 6 TWh da calore geotermico

Considerazioni generali

Proprio sulla base di queste valutazioni, la volontà, a livello regionale, è quella di incentivare l'utilizzo della risorsa idrica sotterranea a scopo geotermico.

L'implementazione di sistemi geotermici sempre più evoluti e sempre più efficienti, la volontà di contenere al massimo i costi di gestione e, non da ultimo, di sfruttare le risorse ambientali in maniera consapevole e sostenibile, ha determinato, nell'ultimo decennio, un notevole incremento nella richiesta di istanze di autorizzazioni alla ricerca e allo sfruttamento della risorsa idrica sotterranea a uso geotermico.

Lo sfruttamento intensivo di tale risorsa ha tuttavia determinato l'insorgere di alcune problematiche che devono essere attentamente valutate al fine di evitare uno sfruttamento della risorsa che, a medio termine, si potrebbe dimostrare non sostenibile.

In tale quadro di sviluppo, lo studio idrogeologico di dettaglio assurge a elemento determinante al fine di garantire il predetto sfruttamento sostenibile della risorsa idrica sotterranea.

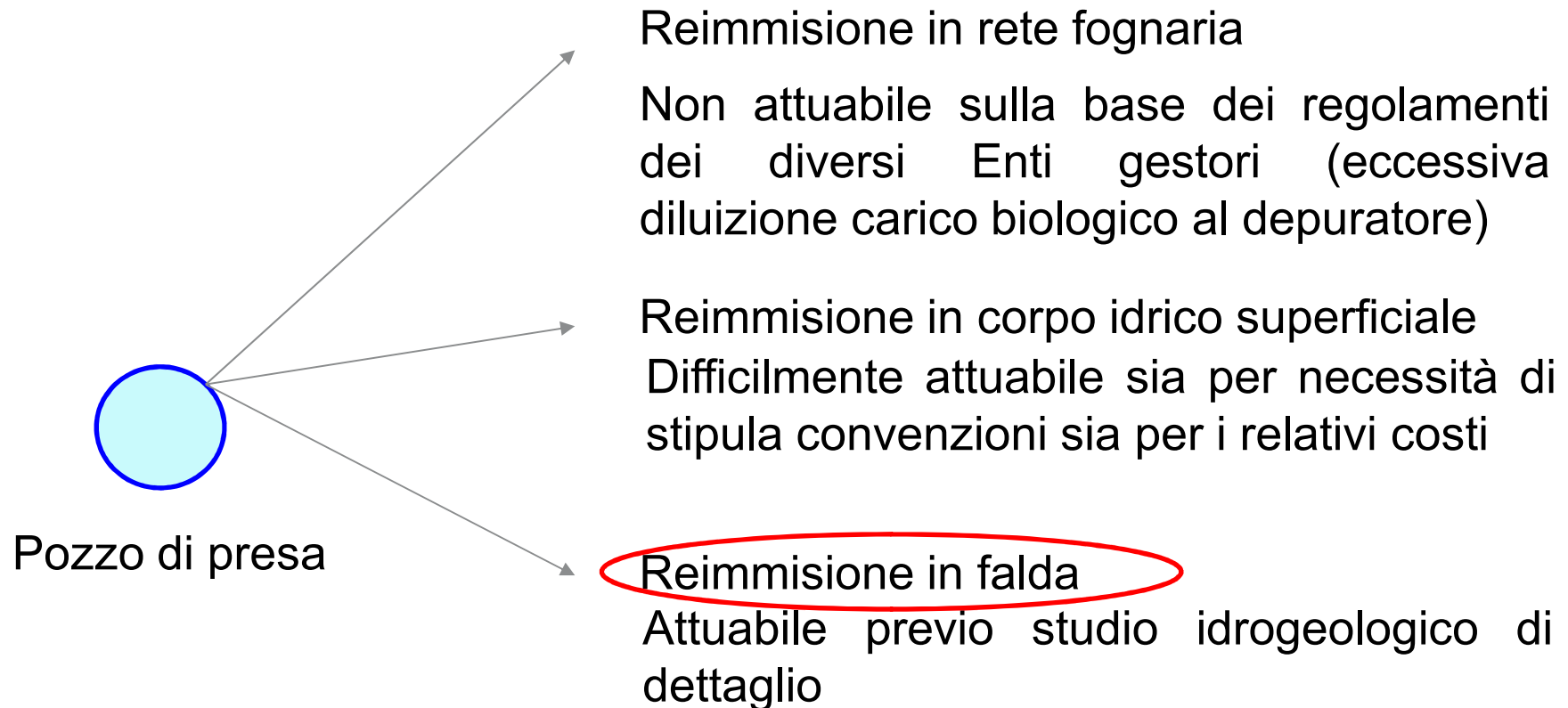
Considerazioni generali

La normativa statale (art. 104 comma 1 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.) vieta tutti gli scarichi nel sottosuolo e nelle acque sotterranee.

In deroga a tale divieto (art. 104 comma 2 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.), l'autorità competente può autorizzare, dopo indagine preventiva, alcuni scarichi, tra cui quelli delle acque utilizzate per scopi geotermici, purché siano scaricate nella stessa falda utilizzata per il prelievo.

Al fine di regolamentare tale disciplina, la Regione Lombardia con l'art. 13 della L. R. 38/2015, oltre a prevedere la necessità di una relazione idrogeologica a supporto della domanda di reimmissione in falda (comma 1) delle acque emunte a scopo geotermico, ha dato mandato alla giunta regionale di specificare le caratteristiche delle indagini preventive al rilascio dell'autorizzazione di cui all'art. 104 comma 2 del d.lgs. 152/2006 e s.m.i.

Considerazioni generali



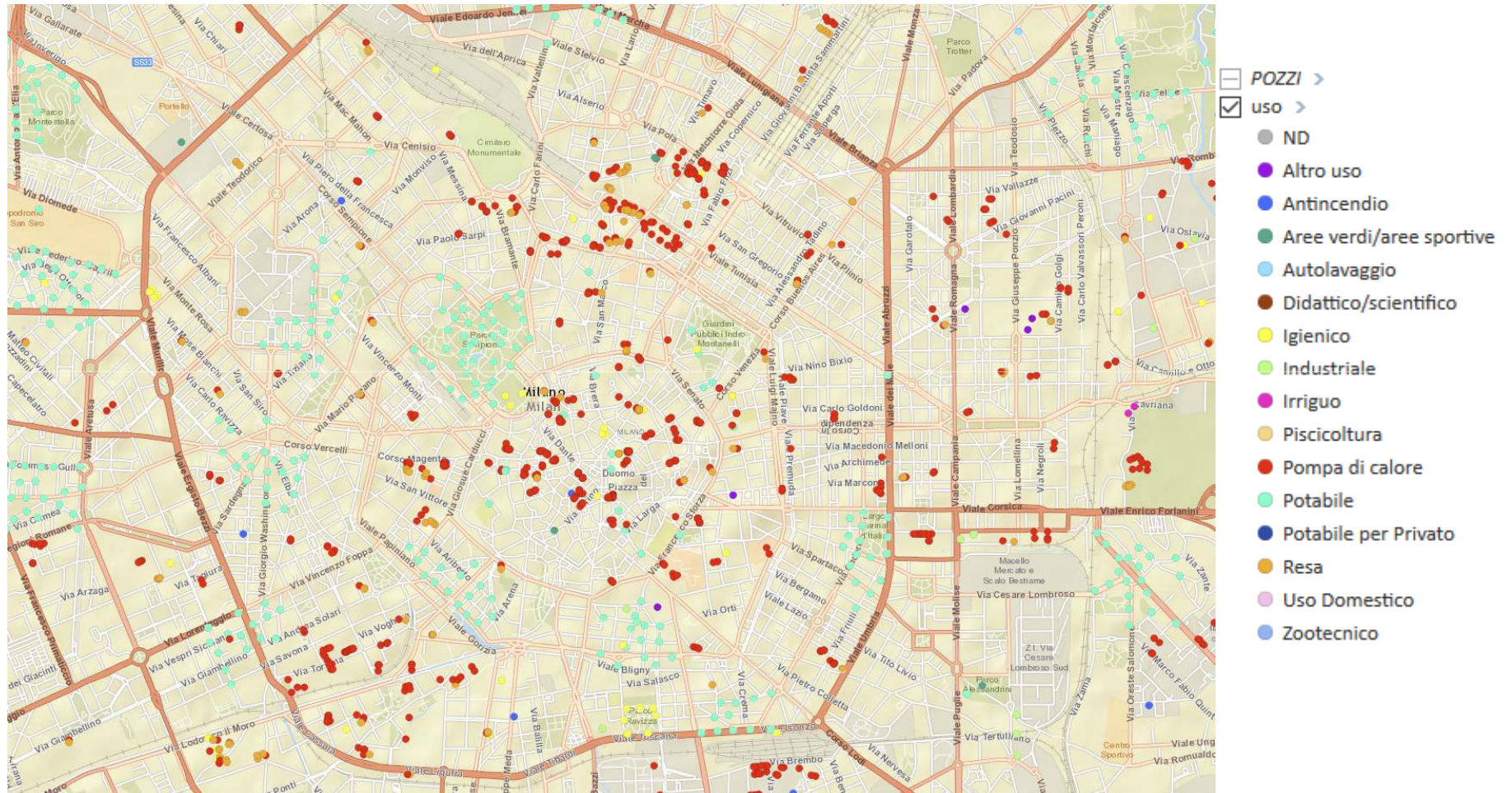
Dallo studio di prefattibilità al collaudo dell'opera

Lo studio idrogeologico di dettaglio finalizzato sia al rilascio dell'autorizzazione allo sfruttamento della risorsa idrica sotterranea sia al contestuale scarico in falda delle acque emunte risulta essere particolarmente articolato e impegnativo dal punto di vista tecnico (oltreché amministrativo).

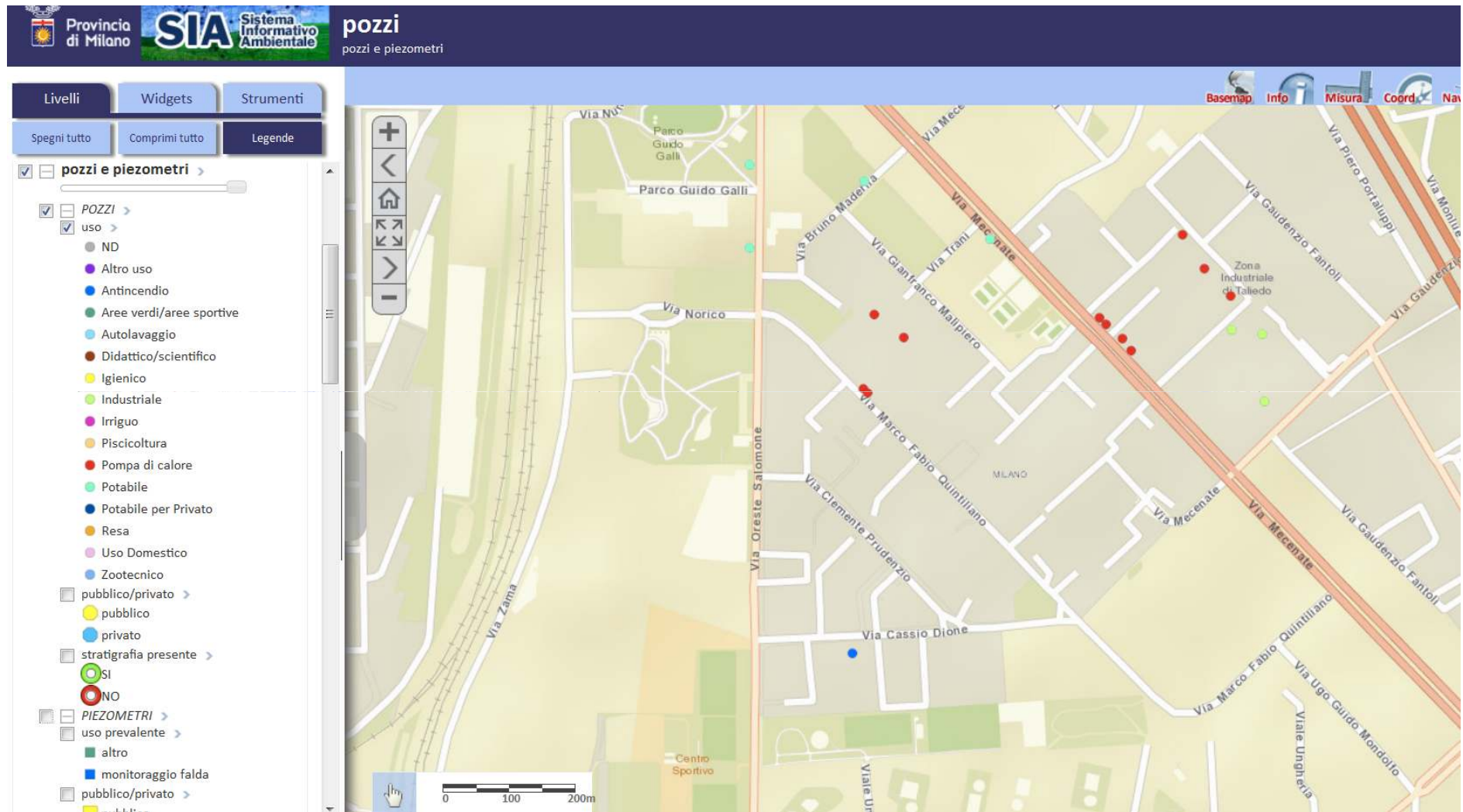
La concreta possibilità di realizzare un sistema geotermico a circuito aperto (pozzo/i di presa e resa) è subordinata alla verifica e al superamento di diversi step tra loro consequenziali:

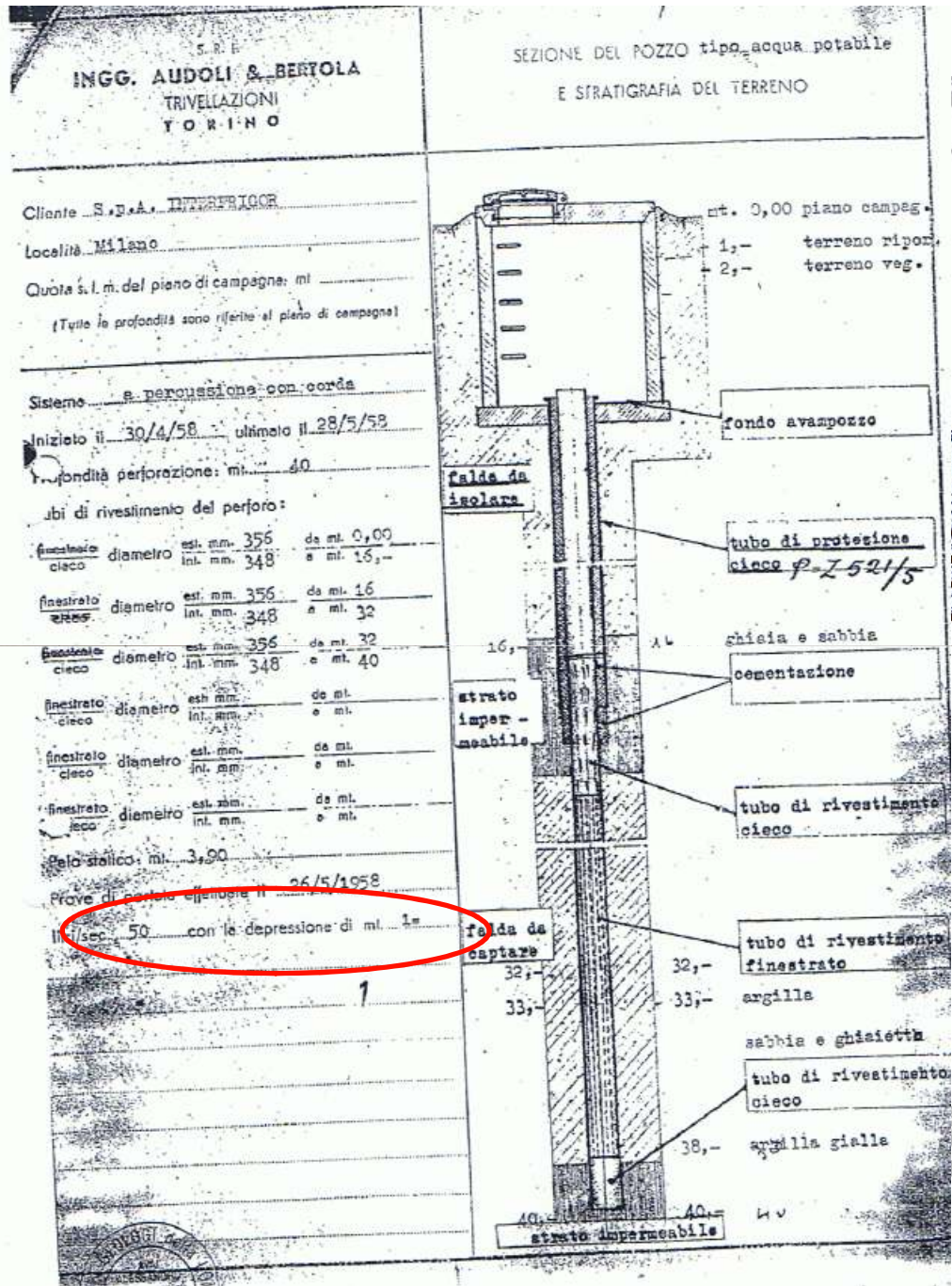
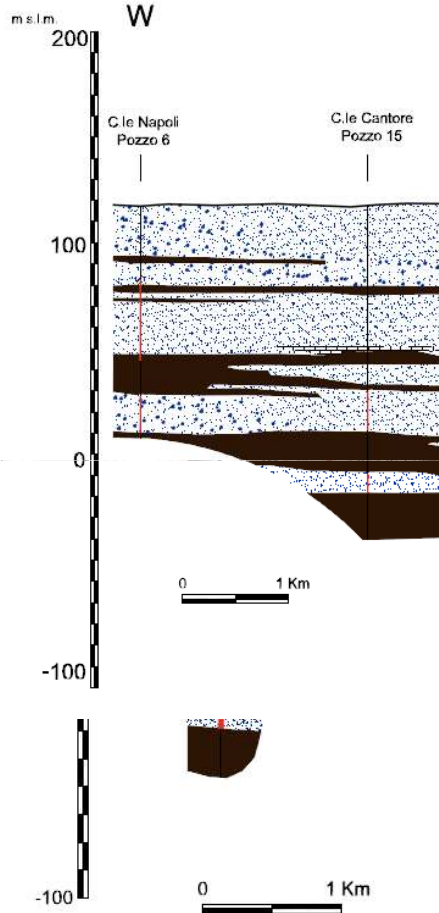
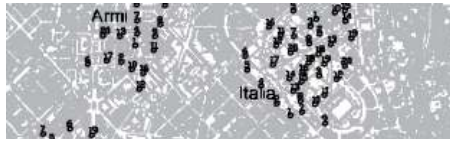
1. inserimento dell'opera nel contesto urbano;
2. inserimento dell'opera nel contesto idrogeologico;
3. contestualizzazione dell'opera sulla base delle esigenze progettuali;
4. verifica di sostenibilità del sistema:
 - a) verifiche idrodinamiche
 - b) verifiche termodinamiche
5. dimensionamento opere;
6. realizzazione delle opere e Direzione Lavori;
7. collaudo delle opere;
8. monitoraggio in corso d'opera (non richiesto dalla normativa ma auspicabile e interessante dal punto di vista scientifico).

Inserimento dell'opera nel contesto urbano



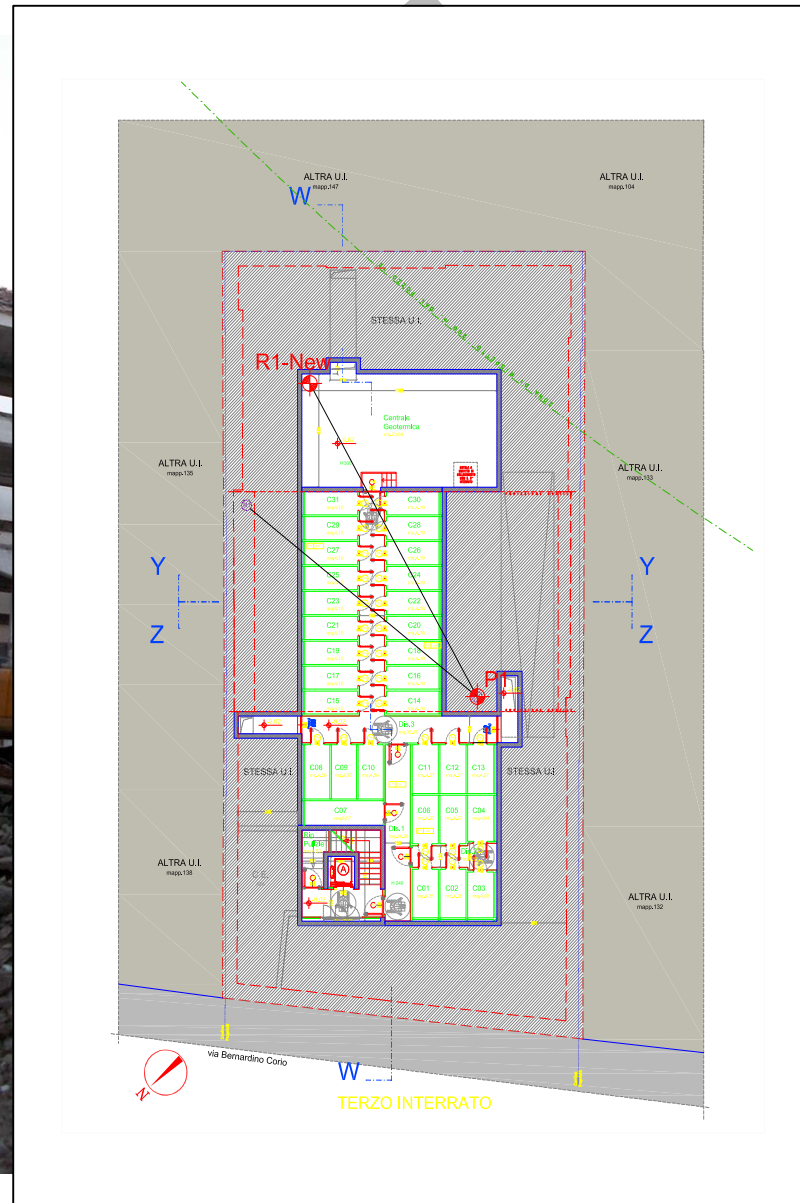
Inserimento dell'opera nel contesto urbano





Contestualizzazione dell'opera sulla base delle esigenze progettuali

Sul
pos
del



e la
fasi

Verifica di sostenibilità del sistema

Durante la progettazione di pozzi a uso geotermico risulta determinante verificare i seguenti aspetti tecnici:

- ricostruzione della piezometria statica di riferimento;
- ricostruzione della piezometria dinamica sia in configurazione di portata media che di portata di punta;
- verifica dell'estensione della bolla di calore a tempi prestabiliti sulla base delle esigenze funzionali dell'opera;
- modello smorzamento bolla di calore.

Dimensionamento opere – fabbisogno idrico

Preliminarmente all'esecuzione della parte modellistica, risulta necessario definire la tipologia di funzionamento della pompa di calore con i relativi orari di funzionamento e differenziando i periodi di portata media da quelli di portata di punta.

TABELLA PORTATA TOTALE ACQUA DI POZZO (GIORNALIERE - MENSILI - ANNUALI) - VALUTAZIONE CONSUMO MEDIO SU BASE ANNUA

		Q inverno		Q estate		GENNAIO		FEBBRAIO		MARZO		APRILE		MAGGIO		GIUGNO		LUGLIO		AGOSTO		SETTEMBRE		OTTOBRE		NOVEMBRE		DICEMBRE			
ORE		l/sec	mc/h	l/sec	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h		
7,00	8,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	100%	367	100%	367	60%	220	50%	184	50%	184	50%	184	50%	184	50%	184	50%	184	100%	367	100%	367	100%	367
8,00	9,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	100%	367	80%	294	50%	184	50%	184	50%	184	60%	220	60%	220	60%	220	60%	220	80%	294	100%	367	100%	367
9,00	10,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	80%	294	60%	220	30%	110	70%	257	70%	257	80%	294	80%	294	80%	294	60%	220	80%	294	100%	367	100%	367
10,00	11,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	80%	294	60%	220	30%	110	80%	294	80%	294	80%	294	80%	294	80%	294	60%	220	80%	294	100%	367	100%	367
11,00	12,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	80%	294	60%	220	30%	110	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	60%	220	80%	294	100%	367	100%	367
12,00	13,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	100%	367
13,00	14,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	100%	367
14,00	15,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	70%	257	70%	257	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	100%	367
15,00	16,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	70%	257	70%	257	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	100%	367
16,00	17,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	70%	257	70%	257	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	100%	367
17,00	18,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	60%	220	60%	220	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	100%	367
18,00	19,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	60%	220	40%	147	20%	73	40%	147	40%	147	80%	294	80%	294	80%	294	40%	147	60%	220	100%	367	100%	367
19,00	20,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	80%	294	50%	184	20%	73	30%	110	30%	110	80%	294	80%	294	80%	294	50%	184	80%	294	100%	367	100%	367
20,00	21,00	34	122,4	102	367,2	100%	122	90%	110	50%	61	20%	24	20%	73	20%	73	80%	294	80%	294	80%	294	50%	61	90%	110	100%	122	100%	122
CONSUMO TOTALE GIORNALIERO (mc)						4.896		3.782		2.815		1.346		3.342		3.342		4.443		4.443		4.443		2.815		3.782		4.896			
GIORNI / MESE						31		28		31		30		31		30		31		31		30		31		30		31			
CONSUMO TOTALE MENSILE (mcx1000)						152		106		87		40		104		100		138		138		133		87		113		152			

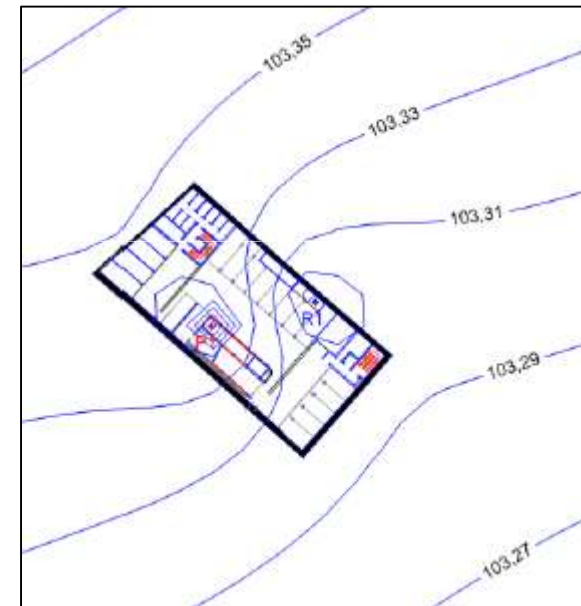
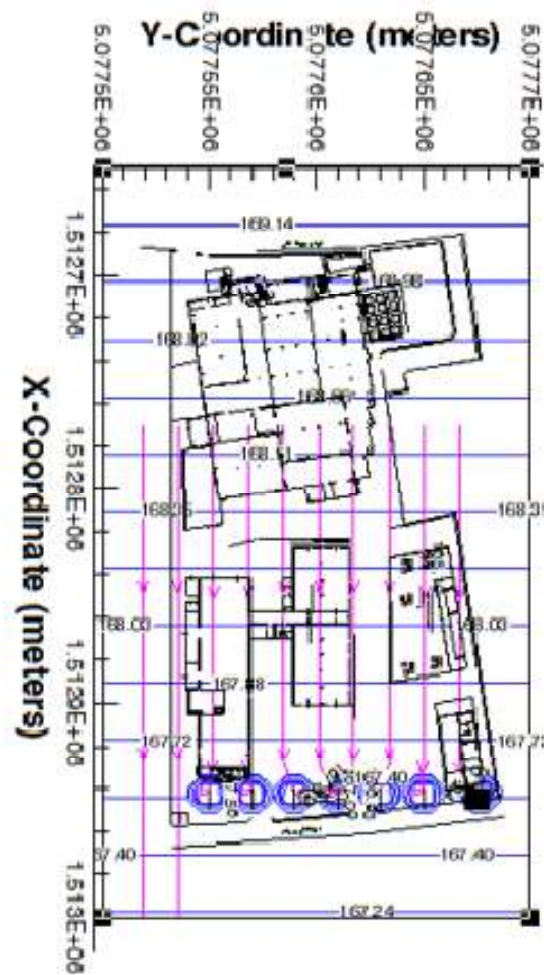
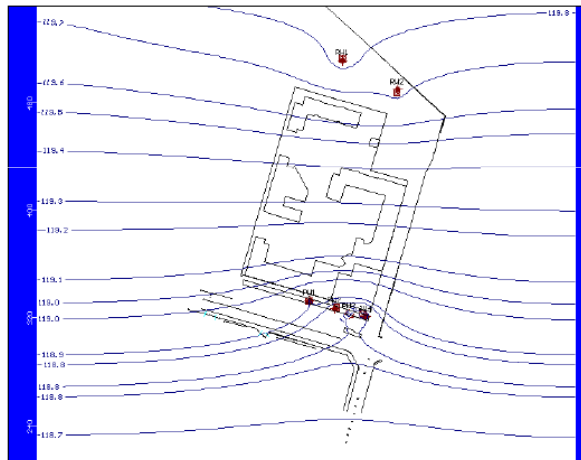
Dimensionamento opere – piezometria statica

Piezometria statica di riferimento difficoltà operative

- dati insufficienti per un'elaborazione attendibile (raramente si ha a disposizione una rete di monitoraggio interna al sito) in tal caso si devono utilizzare dati bibliografici;
- presenza di sistemi di approvvigionamento nelle vicinanze del sito d'intervento (di rilevante importanza anche per la ricostruzione della piezometria dinamica);

Dimensionamento opere – piezometrie dinamiche

In funzione del grado di complessità del progetto sarà necessario scegliere quale software utilizzare per la ricostruzione delle piezometrie dinamiche



Dimensionamento opere – piezometrie dinamiche

Ricostruzione piezometrie dinamiche, difficoltà operative

- dati insufficienti per un'elaborazione attendibile della piezometria dinamica (ove possibile utilizzare dati diretti, es. prove di portata, per definire i parametri idrogeologici dell'acquifero e ricostruire le differenti piezometrie dinamiche nelle varie configurazioni d'esercizio);

Dimensionamento opere – piezometrie dinamiche

Ricostruzione piezometrie dinamiche, difficoltà operative

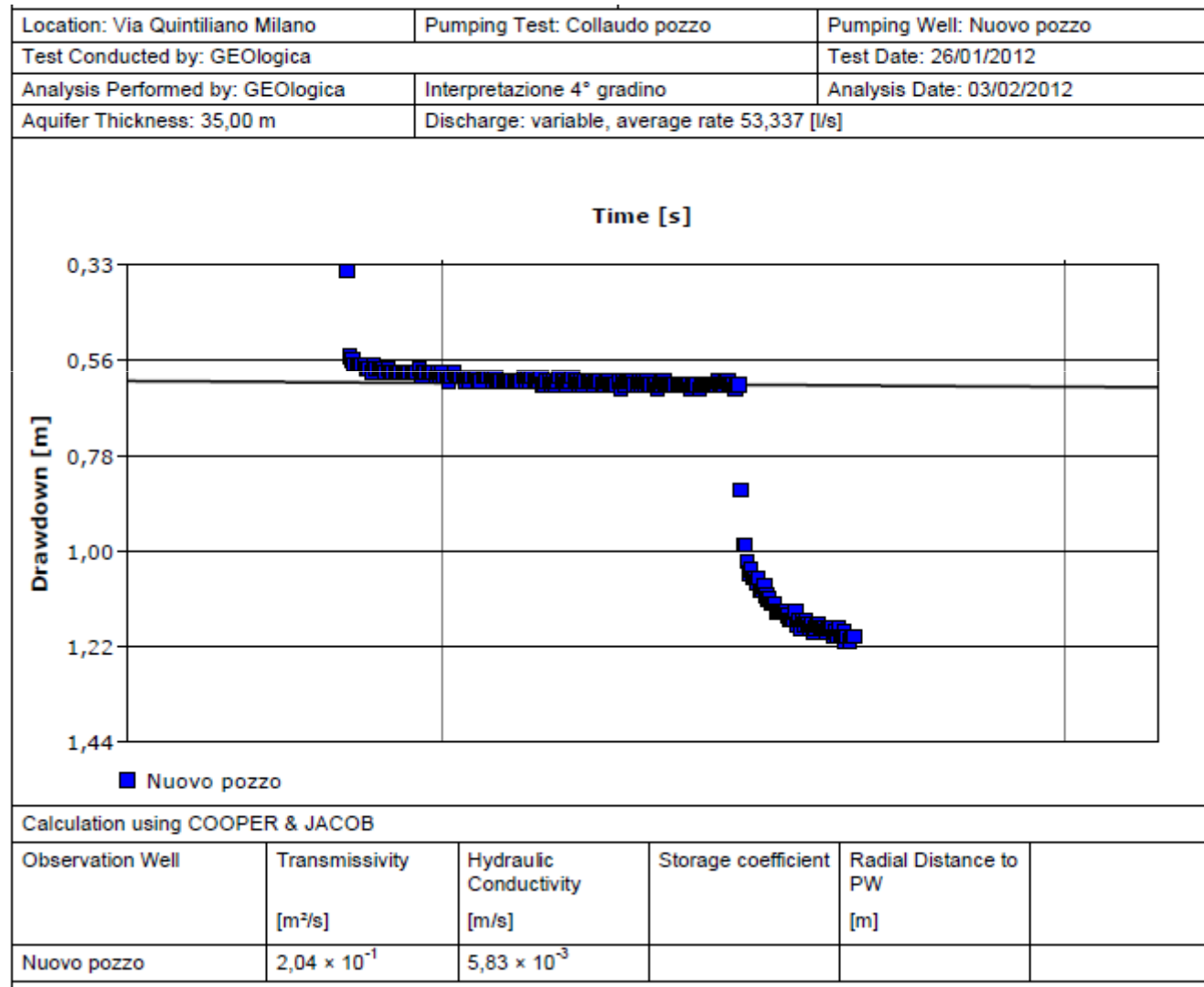
- dati insufficienti per un'elaborazione attendibile della piezometria dinamica (ove possibile utilizzare dati diretti, es. prove di portata, per definire i parametri idrogeologici dell'acquifero e ricostruire le differenti piezometrie



Dimensionamento opere – piezometrie dinamiche

Ricostruzione piezometrie dinamiche, difficoltà operative

- dati (ove para dinar



linamica
efinire i
zometrie

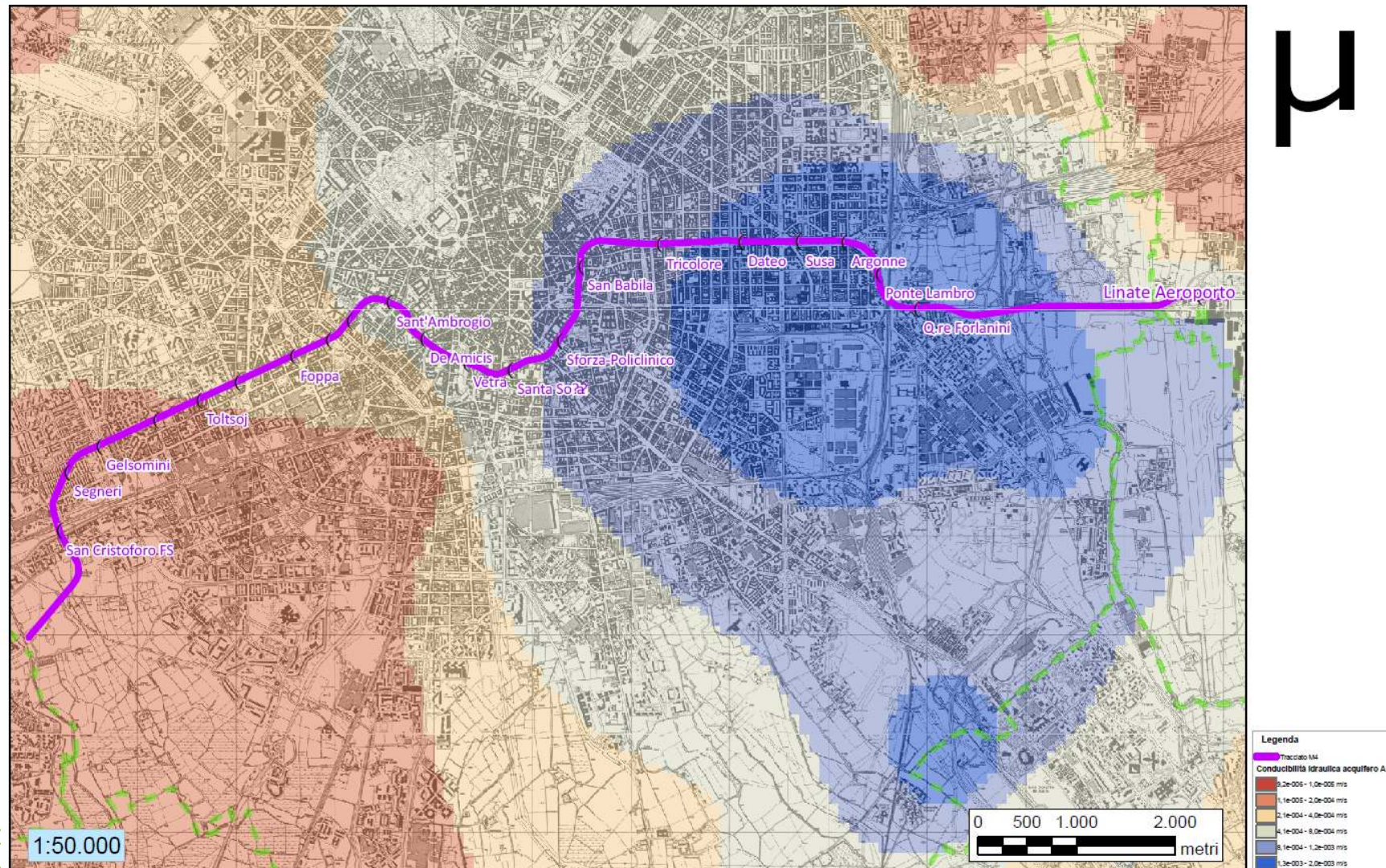
Dimensionamento opere – piezometrie dinamiche

Ricostruzione piezometrie dinamiche, difficoltà operative

- dati insufficienti per un'elaborazione attendibile della piezometria dinamica (ove possibile utilizzare dati diretti, es. prove di portata, per definire i parametri idrogeologici dell'acquifero e ricostruire le differenti piezometrie dinamiche nelle varie configurazioni d'esercizio)

Dimensionamento opere – piezometrie dinamiche

Ricostruzione piezometrie dinamiche, difficoltà operative



M

Dimensionamento opere – piezometrie dinamiche

Ricostruzione piezometrie dinamiche, difficoltà operative

- dati insufficienti per un'elaborazione attendibile della piezometria dinamica (ove possibile utilizzare dati diretti, es. prove di portata, per definire i parametri idrogeologici dell'acquifero e ricostruire le differenti piezometrie dinamiche nelle varie configurazioni d'esercizio)

ID pozzo	Statico	Dinamico	Q (mc/s)	abbassamento (m)	Q/s (mq/s)	LF (m)	D (m)	T (mq/s)	i	A	B	k (m/s)	
MW1	35,78	37,99	0,00075	2,21	0,00034	14,22	0,076	3,92E-04	0,0076	7632	7,26	2,76E-05	
MW2	35,67	36,32	0,00078	0,65	0,00120	14,33	0,076	1,20E-03	0,0076	2245	6,26	8,34E-05	
MW3	35,01	38,99	0,00075	3,98	0,000188	14,99	0,076	0,0002324	0,0076	13745	7,74	1,55E-05	
MW4	35,78	36,51	0,00077	0,73	0,00105	14,22	0,076	1,07E-03	0,0076	2521	6,35	7,50E-05	
MW5	36,09	37,3	0,00075	1,21	0,00062	13,91	0,076	6,68E-04	0,0076	4179	6,77	4,80E-05	
MW6	35,71	43,35	0,00077	7,64	0,00010	14,29	0,076	1,33E-04	0,0076	26385	8,28	9,30E-06	
MW7	35,29	42	0,00080	6,71	0,00012	14,71	0,076	1,55E-04	0,0076	23173	8,17	1,05E-05	
MW8	34,97	35,29	0,00080	0,32	0,00250	15,03	0,076	2,26E-03	0,0076	1105	5,68	1,50E-04	
												5,25E-05	media

Dimensionamento opere – piezometrie dinamiche

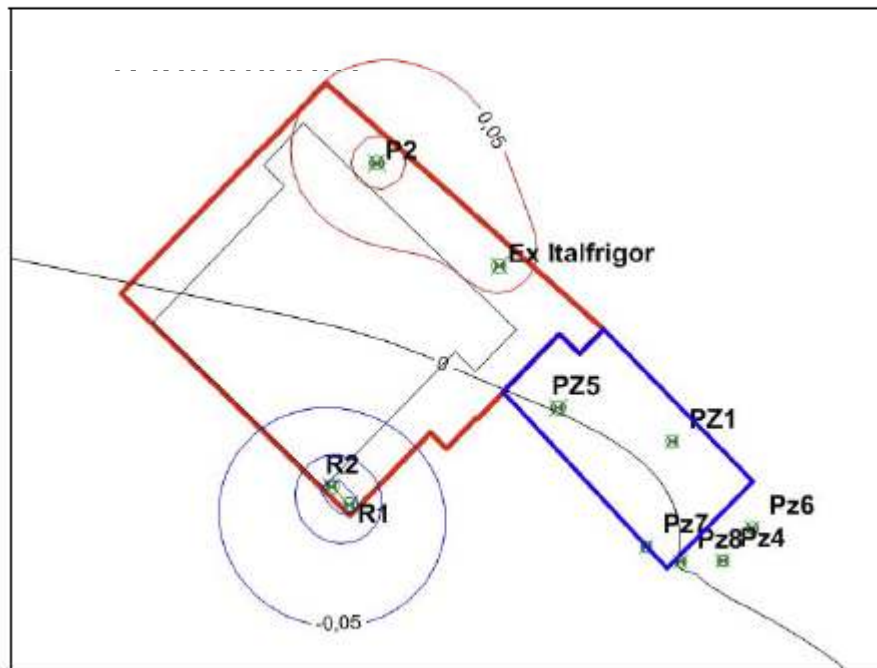
Ricostruzione piezometrie dinamiche, difficoltà operative

- dati insufficienti per un'elaborazione attendibile della piezometria dinamica (ove possibile utilizzare dati diretti, es. prove di portata, per definire i parametri idrogeologici dell'acquifero e ricostruire le differenti piezometrie dinamiche nelle varie configurazioni d'esercizio);
- presenza di sistemi di approvvigionamento nelle vicinanze del sito d'intervento.

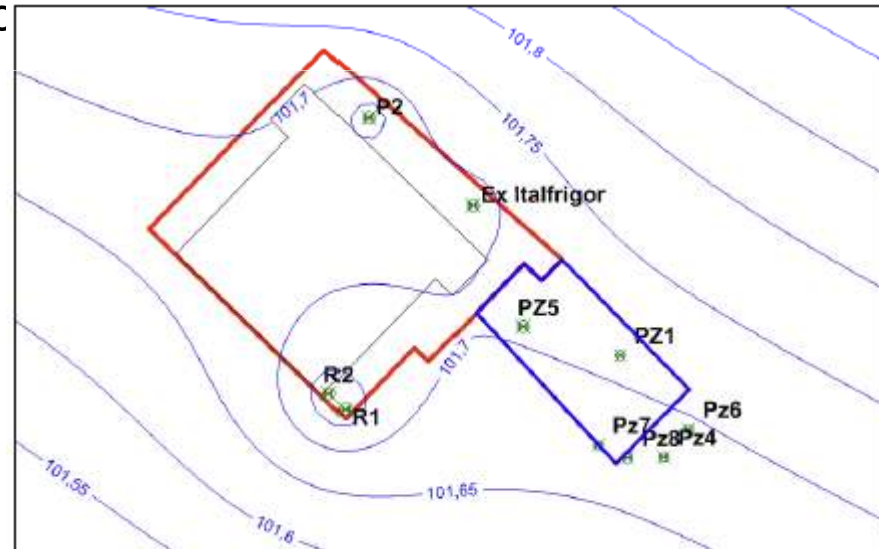
Dimensionamento opere – piezometrie dinamiche

Ricostruzione piezometrie dinamiche, difficoltà operative

- dati insufficienti per un'elaborazione attendibile della piezometria dinamica (ove possibile utilizzare dati diretti, es. prove di portata, per definire i parametri idrogeologici dell'acquifero e ricostruire le differenti piezometrie dinamiche nelle varie configurazioni d'esercizio);



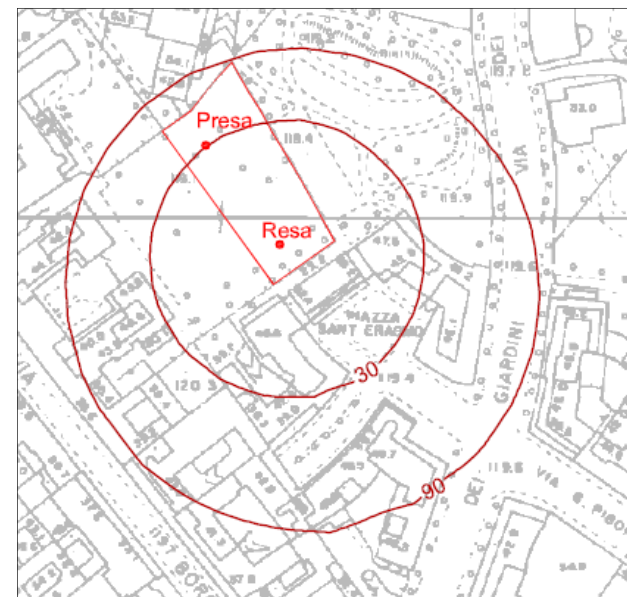
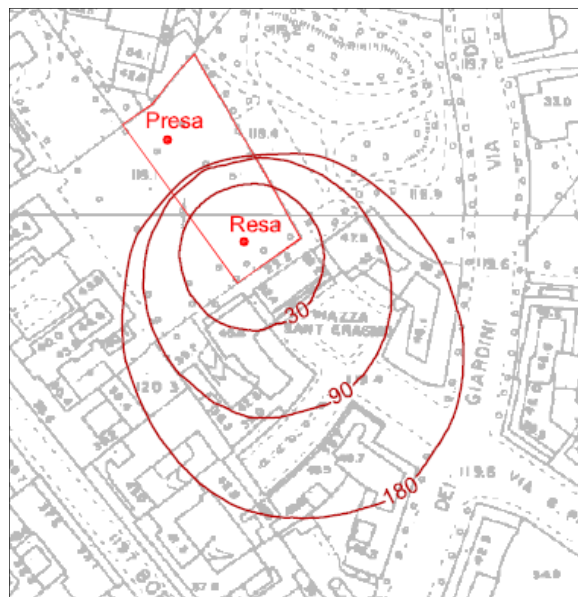
pic



Estensione bolla di calore e smorzamento termico

La verifica della propagazione dell'onda termica è simulata mediante modelli di calcolo analitici in grado di simulare il trasporto in falda; nelle assunzioni di base si impone che la velocità di propagazione del fronte termico assume un valore generalmente compreso tra $1/3$ e $1/6$ della velocità effettiva della falda. In via cautelativa si suggerisce di utilizzare il valore più elevato al fine di escludere, anche nelle condizioni più gravose, la cortocircuitazione termica tra i pozzi di presa e resa.

L'estensione della bolla di calore deve essere eseguita sia per la portata media che per quella di punta.



Estensione bolla di calore e smorzamento termico

Limitazioni nella verifica dell'estensione del fronte termico:

- i programmi sono studiati per valutare il trasporto dei contaminanti in falda e sono stati 'adattati' per verificare l'effetto del trasporto della bolla di calore;
- nella realtà i pozzi non lavorano alla medesima portata (sia essa di punta che media) per 24H per 1-6 mesi (la tecnologia a scalare delle pompe di calore rende di fatto impossibile definire una portata costante) a ciò si aggiunge il fabbisogno termico richiesto dal termotecnico;
- risulta oltremodo cautelativo non tenere conto dei predetti aspetti poiché, nella maggior parte dei casi, soprattutto in aree di limitata estensione, si avrebbe un apparente effetto di cortocircuitazione termica anche per portate relativamente modeste.

Estensione bolla di calore e smorzamento termico

Limitazioni nella verifica dell'estensione del fronte termico:

- i programmi sono studiati per valutare il trasporto dei contaminanti in falda e sono stati 'adattati' per verificare l'effetto del trasporto della bolla di calore;
- nella realtà i pozzi non lavorano alla medesima portata (sia essa di punta che media) per 24H per 1-6 mesi (la tecnologia a scalare delle pompe di calore rende di fatto impossibile definire una portata costante) a ciò si aggiunge il fabbisogno termico richiesto dal termotecnico;

ris **TABELLA PORTATA TOTALE ACQUA DI POZZO (GIORNALIERE - MENSILI - ANNUALI) - VALUTAZIONE CONSUMO MEDIO SU BASE ANNUA** **iché,**

ne
av
rel

ORE		Q inverno		Q estate		GENNAIO		FEBBRAIO		MARZO		APRILE		MAGGIO		GIUGNO		LUGLIO		AGOSTO		SETTEMBRE		OTTOBRE		NOVEMBRE		DICEMBRE		
		l/sec	mc/h	l/sec	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.	mc/h	% funz.		
7,00	8,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	100%	367	100%	367	60%	220	50%	184	50%	184	50%	184	50%	184	50%	184	50%	184	50%	184	50%	184	50%
8,00	9,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	100%	367	80%	294	50%	184	50%	184	50%	184	60%	220	60%	220	60%	220	80%	294	100%	367	100%	367	
9,00	10,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	80%	294	60%	220	30%	110	70%	257	70%	257	80%	294	80%	294	80%	294	60%	220	80%	294	100%	367	
10,00	11,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	80%	294	60%	220	30%	110	80%	294	80%	294	80%	294	80%	294	80%	294	60%	220	80%	294	100%	367	
11,00	12,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	80%	294	60%	220	30%	110	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	60%	220	80%	294	100%	367	
12,00	13,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	
13,00	14,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	
14,00	15,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	70%	257	70%	257	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	
15,00	16,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	70%	257	70%	257	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	
16,00	17,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	70%	257	70%	257	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	
17,00	18,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	70%	257	50%	184	20%	73	60%	220	60%	220	100%	367	100%	367	100%	367	50%	184	70%	257	100%	367	
18,00	19,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	60%	220	40%	147	20%	73	40%	147	40%	147	80%	294	80%	294	80%	294	40%	147	60%	220	100%	367	
19,00	20,00	102	367,2	102	367,2	100%	367	80%	294	50%	184	20%	73	30%	110	30%	110	80%	294	80%	294	80%	294	50%	184	80%	294	100%	367	
20,00	21,00	34	122,4	102	367,2	100%	367	122	90%	110	50%	61	20%	24	20%	73	20%	73	80%	294	80%	294	80%	294	50%	61	90%	110	100%	122
CONSUMO TOTALE GIORNALIERO (mc)						4.896		3.782		2.815		1.346		3.342		3.342		4.443		4.443		4.443		2.815		3.782		4.896		
GIORNI / MESE						31		28		31		30		31		30		31		31		31		30		31		30		31
CONSUMO TOTALE MENSILE (mcx1000)						152		106		87		40		104		100		138		138		133		87		113		152		

iché,
ne, si
ortate

Estensione bolla di calore e smorzamento termico

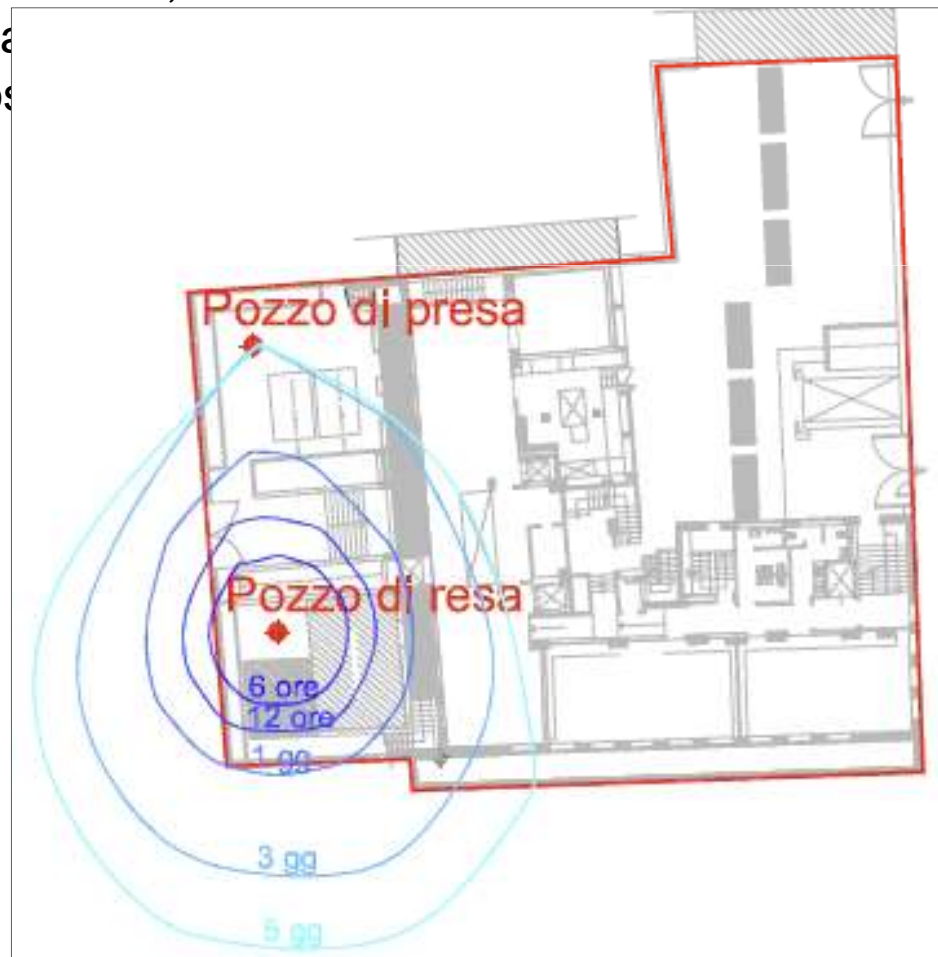
Conclusioni della verifica dell'estensione del fronte termico:

- i programmi potrebbero verificare una cortocircuitazione che in realtà è solo apparente e non reale;
- il professionista, valutato il caso specifico, deve prendere 'rischi';
- qualora non fosse fattibile, è necessario prevedere soluzioni alternative.

Estensione bolla di calore e smorzamento termico

Conclusioni della verifica dell'estensione del fronte termico:

- i programmi potrebbero verificare una cortocircuitazione che in realtà è solo apparente e non reale;
- il professionista
- qualora non fosse



schi';
i alternative.

Estensione bolla di calore e smorzamento termico

Conclusioni della verifica dell'estensione del fronte termico:

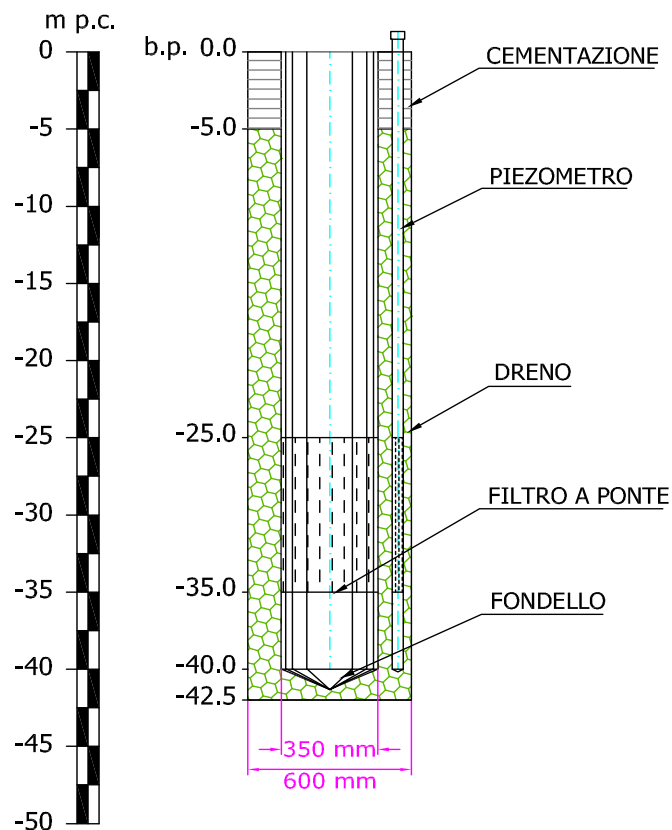
- i programmi potrebbero verificare una cortocircuitazione che in realtà è solo apparente e non reale;
- il professionista, valutato il caso specifico, deve prendere 'rischi';
- qualora non fosse fattibile, è necessario prevedere soluzioni alternative.

Utilizzo pompa di calore	Orari funzionamento		
Residenziale	6-9	11-13	18-22
Lavorativo	9-12	14-18	
Ricettivo	6-22		

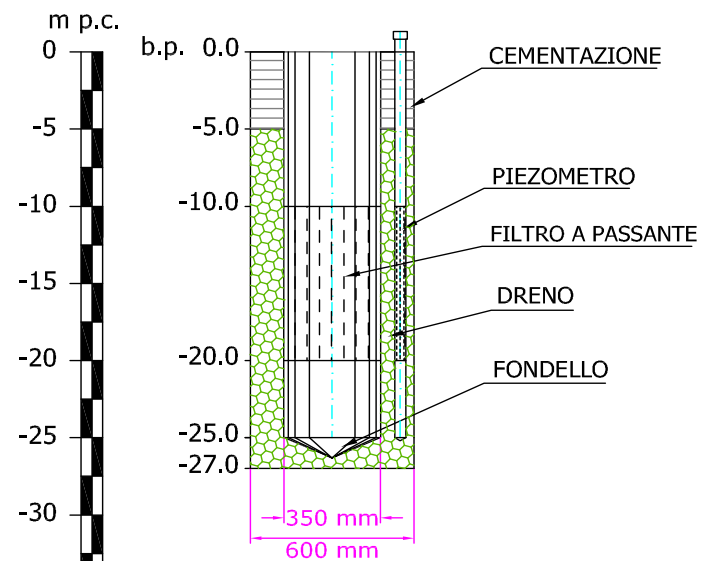
Estensione bolla di calore e smorzamento termico

Conclusioni della verifica dell'estensione del fronte termico:

SCHEMA POZZO DI PRESA



SCHEMA POZZO DI RESA



Estensione bolla di calore e smorzamento termico

Risulta infine necessario procedere con la ricostruzione delle modalità di propagazione dell'onda termica, in presenza di condizioni disturbate dal prelievo e dalla resa dei pozzi per scambio termico, provocata dall'immissione nel sottosuolo di acque con caratteristiche di temperatura differenti rispetto a quelle della falda.

Il modello di propagazione del calore considera i flussi geotermici, la conduzione dall'acquifero verso la superficie, gli effetti della ricarica dalla superficie e il trasporto del calore da o verso i limiti dell'acquifero nonché gli effetti dei pozzi di estrazione e di ricarica.

Estensione bolla di calore e smorzamento termico

Risulta infine necessario procedere con la ricostruzione delle modalità di propagazione dell'onda termica, in presenza di condizioni disturbate dal



Estensione bolla di calore e smorzamento termico

Limitazioni nella verifica dello smorzamento dell'onda di calore:

- programmi forniscono risultati estremamente cautelativi poiché il modello di calcolo opera in regime stazionario;
- entrambe le simulazioni forniscono i risultati che si otterrebbero immettendo in falda per un tempo infinito la portata media, situazione molto lontana da quella reale.

Realizzazione delle opere e Direzione Lavori



Collaudo delle opere

Il collaudo delle opere riveste un ruolo fondamentale per il corretto funzionamento dell'intero sistema di adduzione e reimmissione.

Di fatto, tale momento, risulta essere il primo vero controllo diretto relativo alla qualità della progettazione.

Attraverso le prove di portata è infatti possibile determinare i parametri idrogeologici che devono coincidere (o perlomeno avvicinarsi il più possibile) a quelli utilizzati per la modellazione.

La prova di portata a gradini permette invece di valutare l'efficienza del pozzo verificandone la corretta esecuzione

Monitoraggio in corso d'opera

Generalmente non accade che sia commissionato un monitoraggio della falda (sia in termini di piezometria sia di temperatura delle acque di falda) a seguito del rilascio della concessione allo sfruttamento e alla derivazione delle acque sotterranee.

Tale monitoraggio potrebbe in realtà essere molto utile e consentirebbe di disporre dei dati necessari a 'calibrare' la sensibilità dei diversi software utilizzati per l'implementazione del progetto

geologica