

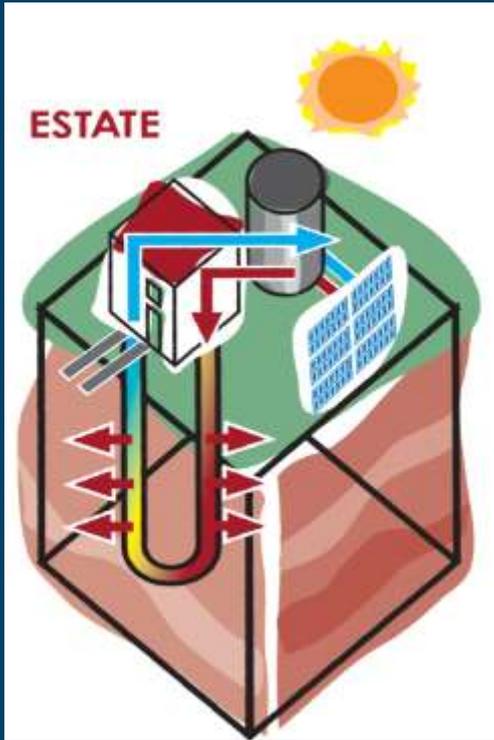
“Modellizzazione numerica di un impianto di accumulo stagionale di energia termica: il sito di Grugliasco

Nicolò Giordano
(Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Torino)

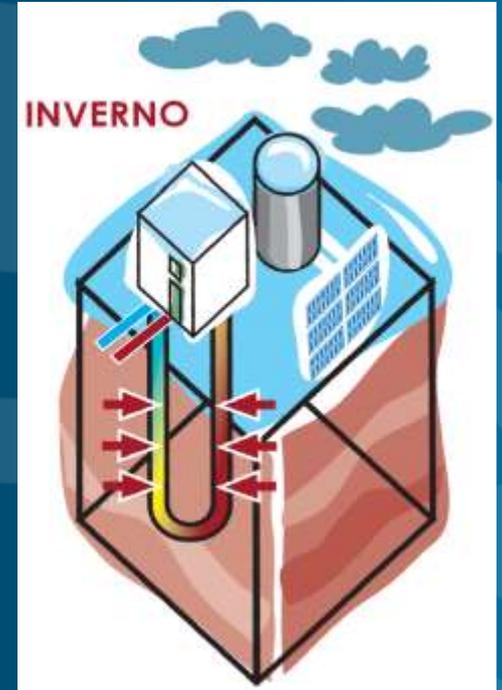
Torino, 14-15 Ottobre 2015



Cos'è l'accumulo stagionale di energia termica?



Il Sole produce molta energia. Ma il disallineamento tra la produzione e i nostri fabbisogni è un problema. Il concetto è quello di accumulare l'energia termica durante l'estate e sfruttarla in inverno per riscaldare gli ambienti e produrre acqua calda sanitaria.



Calore chimico

ACCUMULO TERMICO STAGIONALE

È quella parte di energia che viene rilasciata in reazioni esotermiche ed accumulata in reazioni endotermiche. Si usano materiali termo-chimici (TCM) come $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ o $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

- Alta densità di energia (+)
- Perdite di calore molto basse (+)
- Tossicità e corrosione (-)
- Alti costi (-)

Calore latente

È quella parte di energia che concorre al cambiamento di fase dei materiali. Si utilizzano materiali a cambiamento di fase (PCM) come soluzioni, sali idrati, acidi grassi, oli.

- Alta densità di energia (+)
- Buona efficienza (+)
- Alti costi (-)

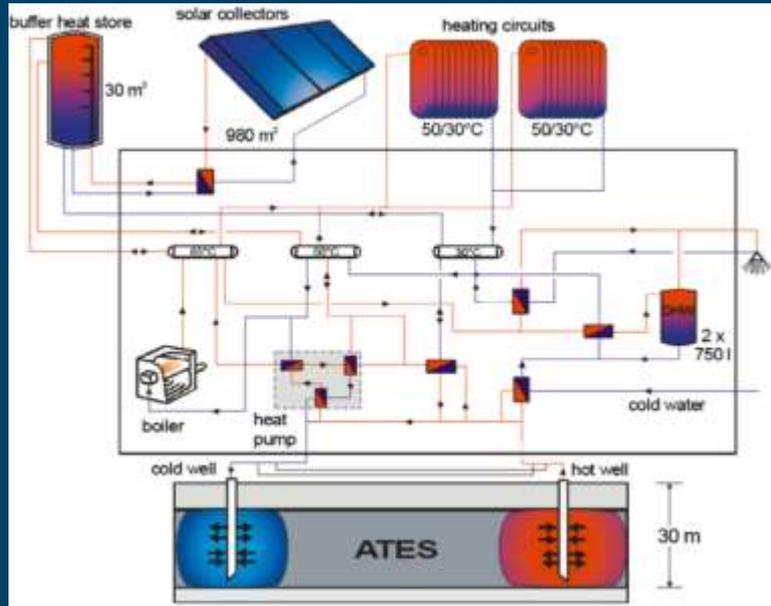
Calore sensibile

È quella parte di energia che fa aumentare la temperatura dei materiali quando li pongo a contatto con una sorgente di calore

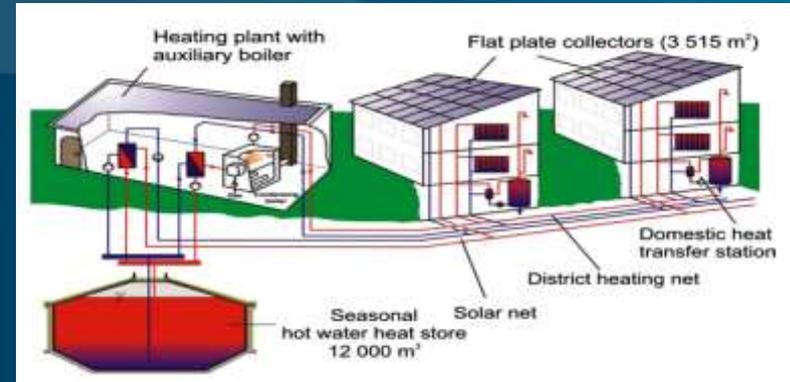
- Materiali per accumulo (sottosuolo, acqua) ampiamente disponibili (+)
- Bassi costi di manutenzione (+)
- Bassa densità di energia (-)

Esempi di STES a calore sensibile

Acquiferi – circuito aperto

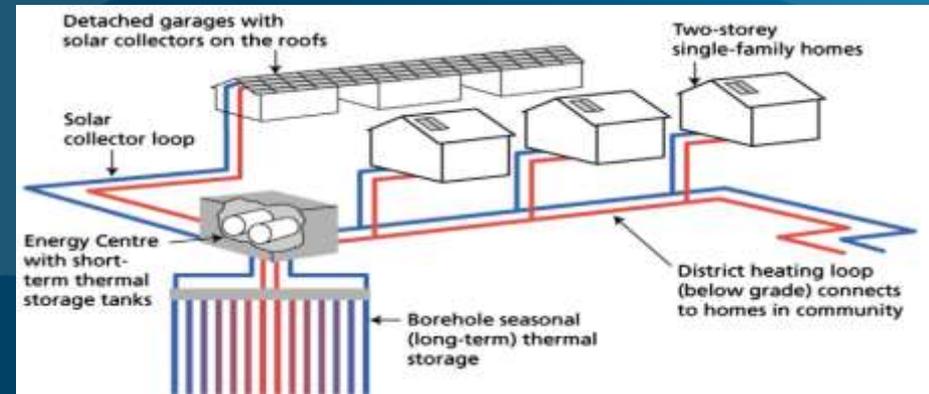


Rostock, DE
(Schmidt & Müller-Steinhagen, 2004)



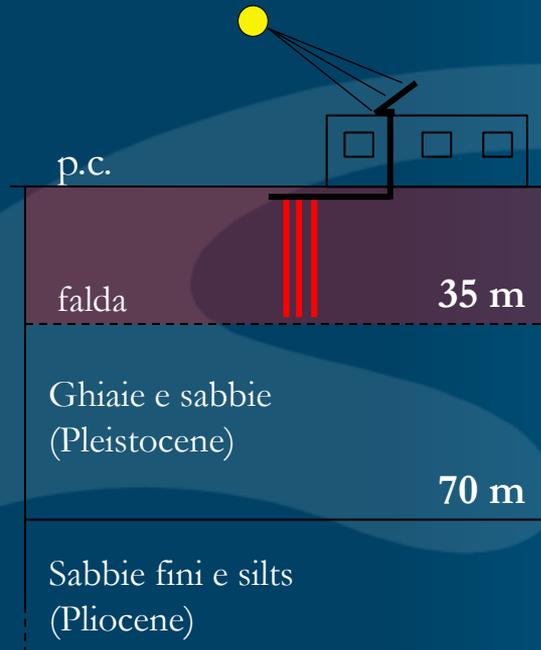
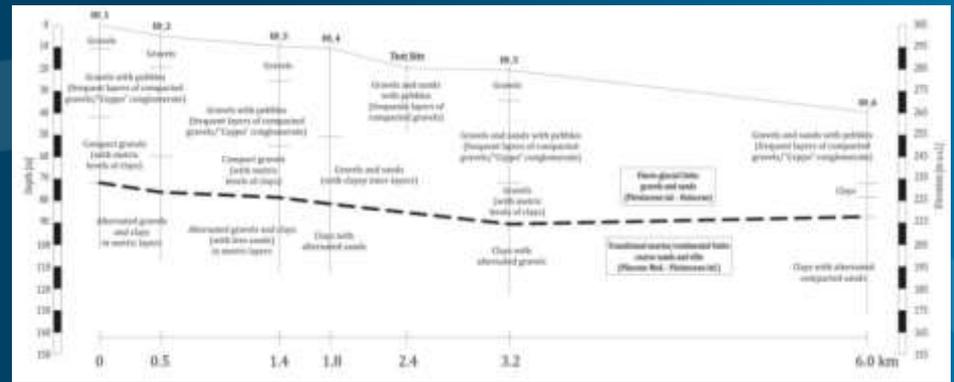
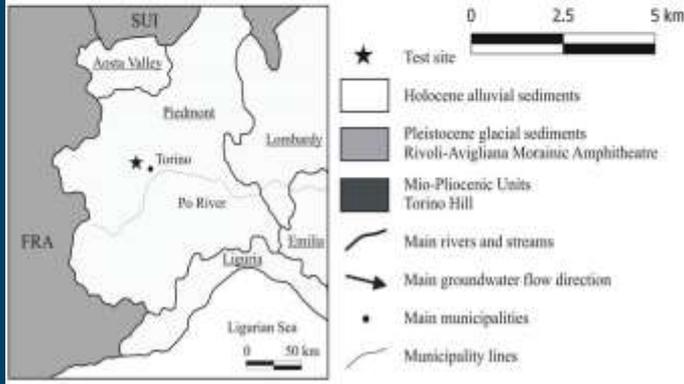
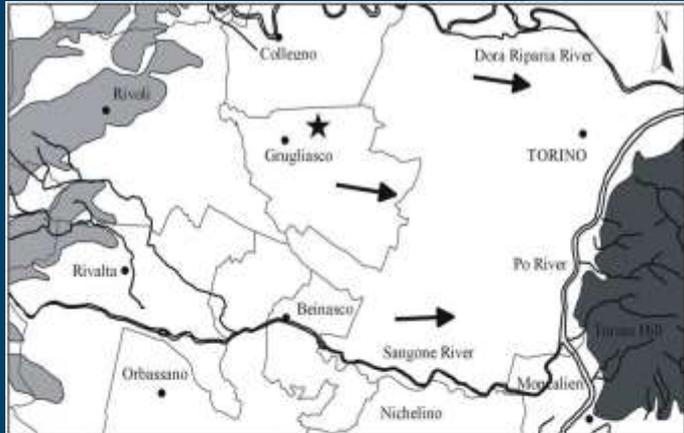
Friedrichshafen, DE (Raab et al., 2004)

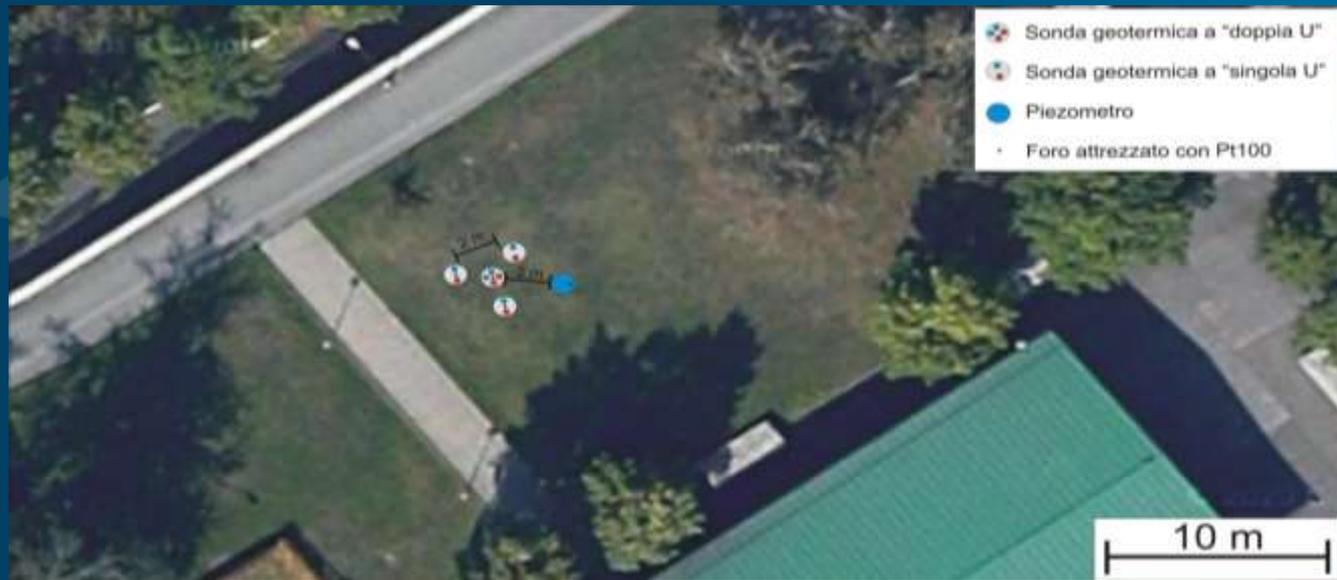
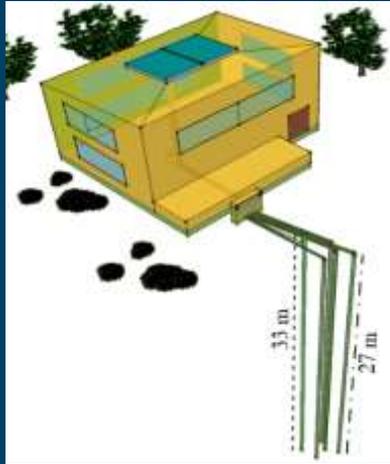
Sonde geotermiche – circuito chiuso



Okotoks, CA (Drake Landing Solar Community)

Sito di Grugliasco





L'impianto è costituito da:

- n. 2 pannelli solari termici (superficie lorda totale 5 mq)
- n. 4 sonde geotermiche (central a doppia U, esterne a singola U, cert. per AT 90°C)
- n. 1 foro di monitoraggio
- n. 1 pompa idraulica (potenza 59 W)
- n. 20 Pt100 a 4 fili posizionate in 3 sonde e nel foro di monitoraggio (ogni 5 m)
- n. 10 RTD Pt100 a 4 fili lungo tutto il circuito
- n. 1 centralina di acquisizione con controllo remote (www.gtes.unito.it)



Agosto 2013



Settembre 2013



Ottobre 2013



Luglio 2014



Circuito



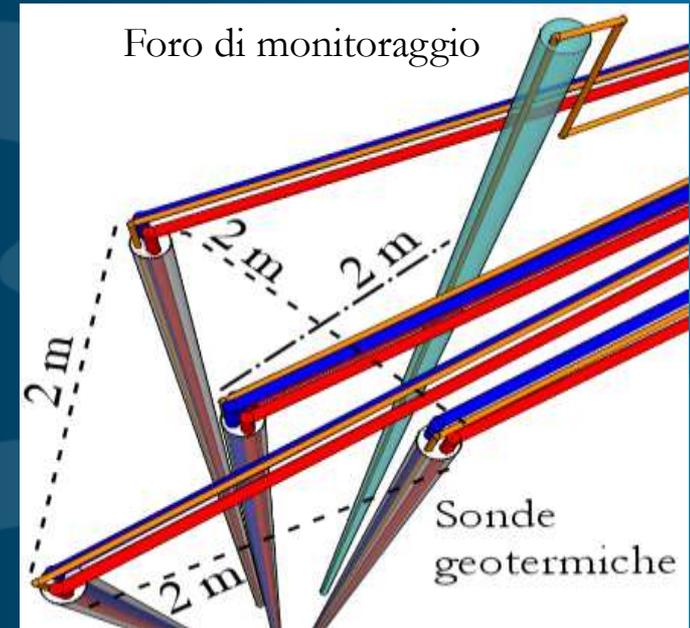
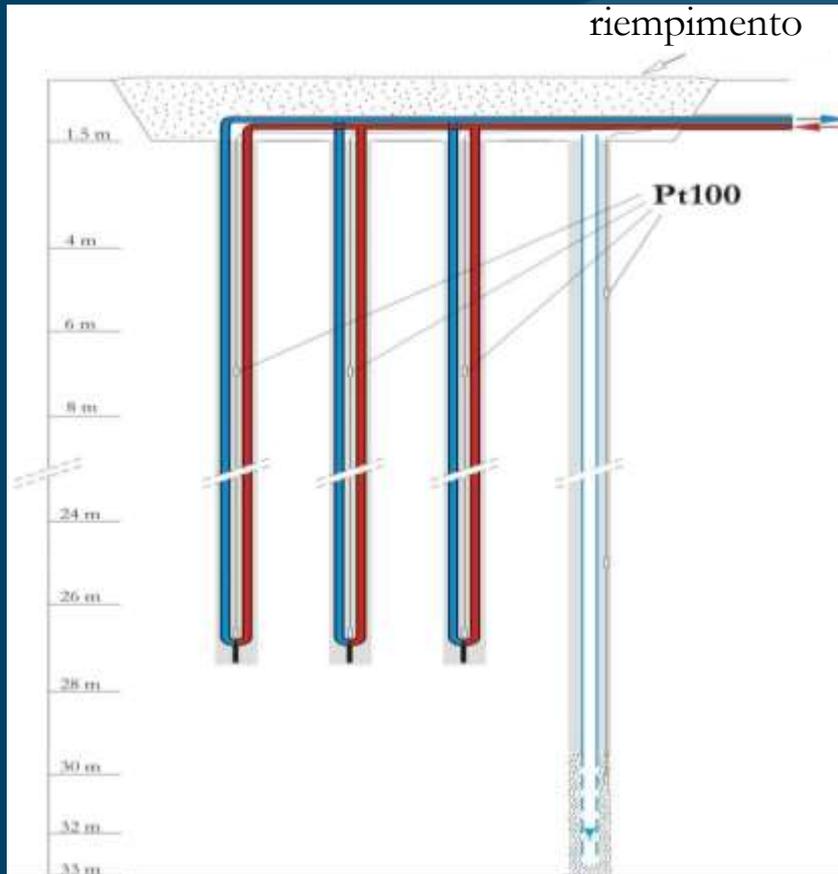
Centralina



Dissipatore



Misuratore di portata



Modalità operative

Dissipatore di calore

INVERNO

Data logger

Caldo
Freddo

Stoccaggio calore

Collettore idraulico

Pannelli solari

Freddo
Caldo

Data logger

ESTATE

Collettore idraulico

Stoccaggio calore

Energia immessa

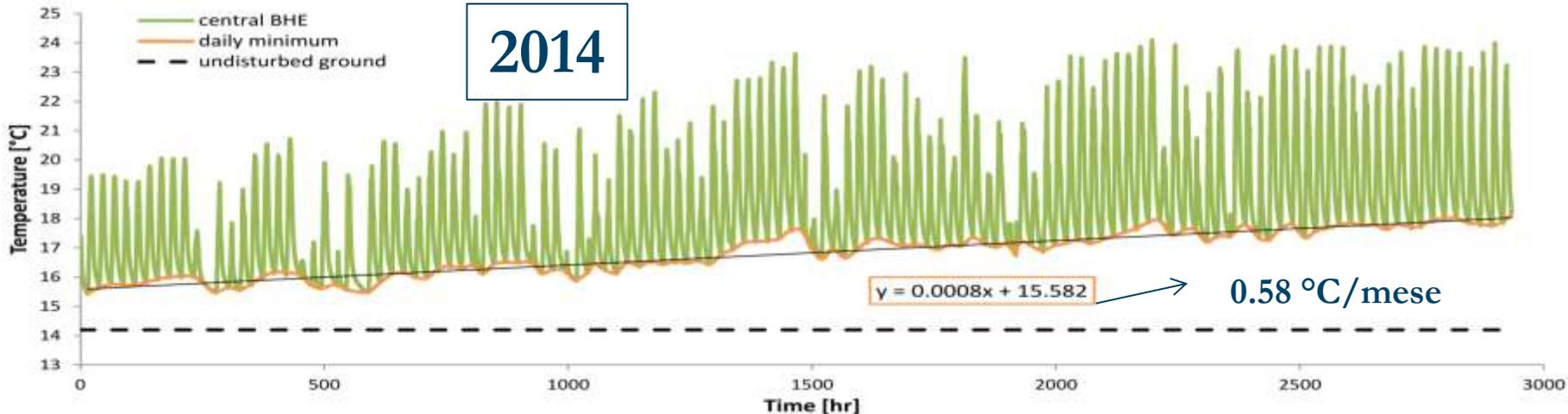
Energia estratta

=

Efficienza del sistema



2014



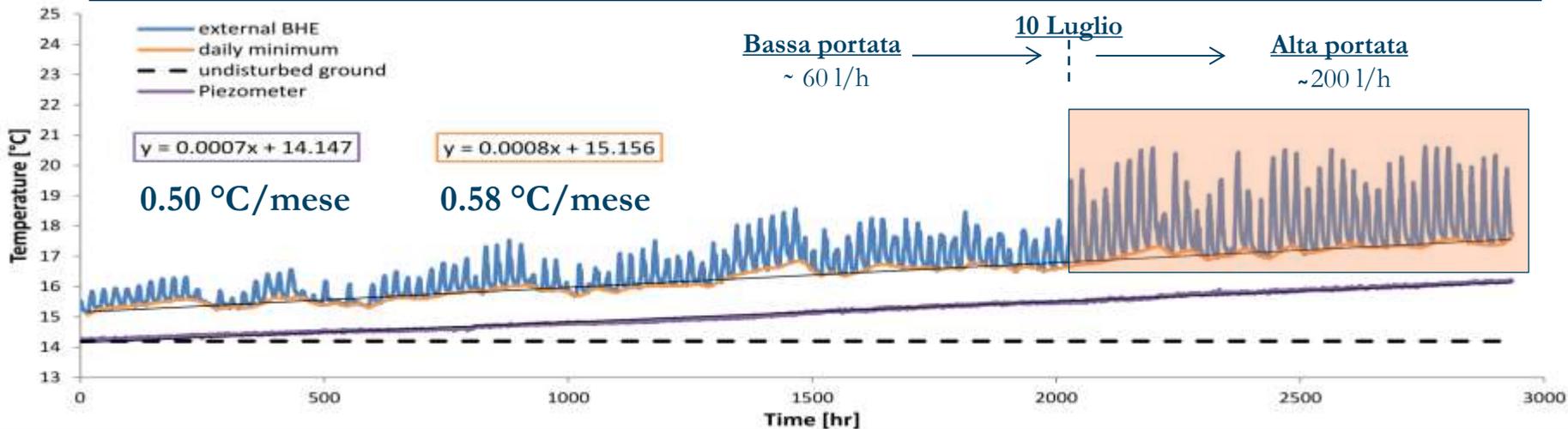
APRILE

MAGGIO

GIUGNO

LUGLIO

AGOSTO



Energia prodotta e trasferita al sottosuolo $E_t = 2.8 \text{ MWh}$

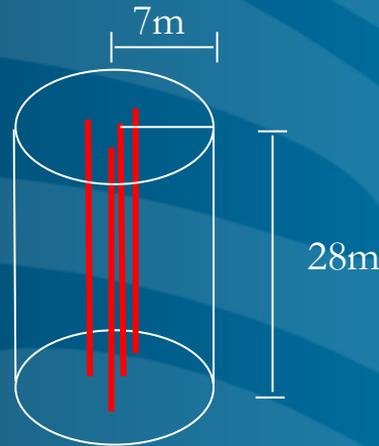
Energia persa lungo il circuito 10%

$$P = C v_w \cdot (T_{out} - T_{in}) \cdot q$$

2.5 MWh = 9.1 GJ

$$V = \frac{E_t}{\Delta T * C v_b} = \frac{9,100}{1 * 2.1} = 4,300 \text{ m}^3$$

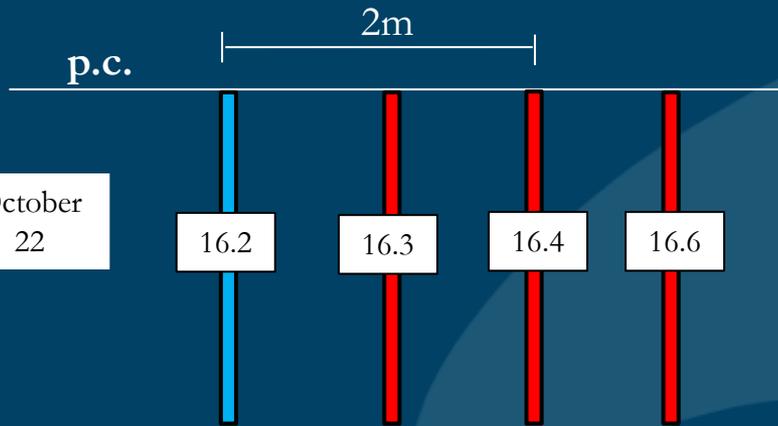
Volume di sottosuolo influenzato dall'immissione di energia



Energia trasferita $E_t = 9.1 \text{ GJ}$

Energia accumulata $E_a = 1.6 \text{ GJ}$

17%

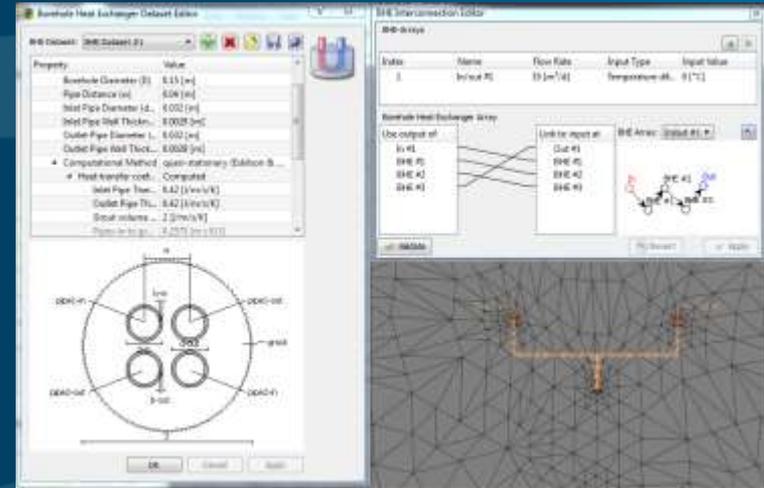


$$E_c = V * \Delta T * C v_b = 377 * 2 * 2.1 = 1,580 \text{ MJ}$$



Modello numerico

- 50 x 50 x 50 m
- acquifero insaturo (carico idraulico costante)
- mesh di 140.000 elementi prismatici triangolari (75.000 nodi)
- 25 strati da 2 m
- combined heat and flow processes
- transient flow / transient transport
- 1825 time step da 1 giorno (5 anni)
- 1825 time step da 0,1 giorno (6 mesi)



Modalità funzionamento

Proprietà del modello

T di partenza	14.2 °C
Porosità	0.3
Contenuto d'acqua	50%
Cap. termica vol. solido	2.2 MJ/mc/K
Cond. termica solido	3 W/m/K
Cap. termica vol. fluido	2.1 MJ/mc/K
Cond. termica fluido	0.1 W/m/K
Cond. termica cemento geotermico	0.6 W/m/K
Cap. termica vol. fluido termovettore	4 MJ/mc/K
Cond. fluido termovettore	0.5 W/m/K

Impianto

ESTATE

Tin al campo geotermico
8h 60°C, portata 200 l/h
16h 25°C, portata 0 l/h

INVERNO

Tin al campo geotermico
16h 5-10°C, portata 200 l/h
8h 15°C, portata 0 l/h

Modello

ESTATE

Tin al campo geotermico
24h 40°C, portata 200 l/h

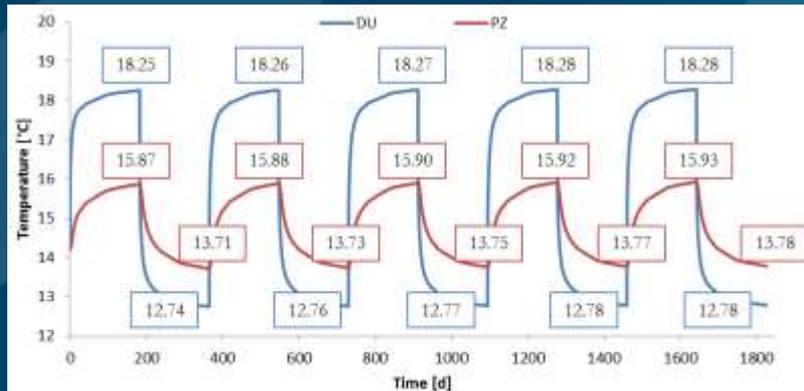
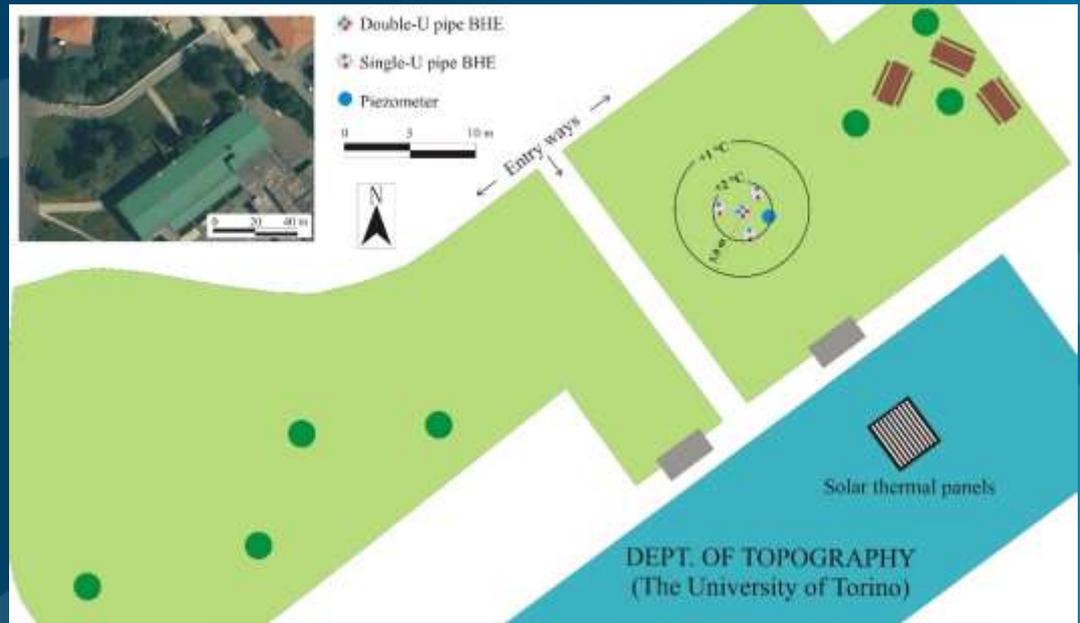
INVERNO

Tin al campo geotermico
24h 10°C, portata 200 l/h



Risultati

- alternando fasi di carica (6 mesi) e di scarica (6 mesi) dell'energia, l'influenza nel sottosuolo è limitata
- a 4,5 anni dallo start dell'impianto l'isoterma $+1^{\circ}\text{C}$ rispetto all'indisturbato ha raggio 5m
- il sottosuolo insaturo non è il miglior accumulatore di energia termica ma limita la dispersione del calore



Confronto con software OpenSource

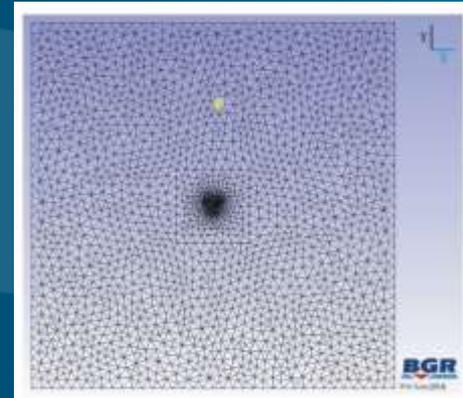
- OpenGeoSys (Kolditz et al., 2012) → solutore numerico
- Gmesh (Geuzaine and Remacle, 2009) → mesh
- Gina (H. Kunz, © 2005-2014) → costruzione modello

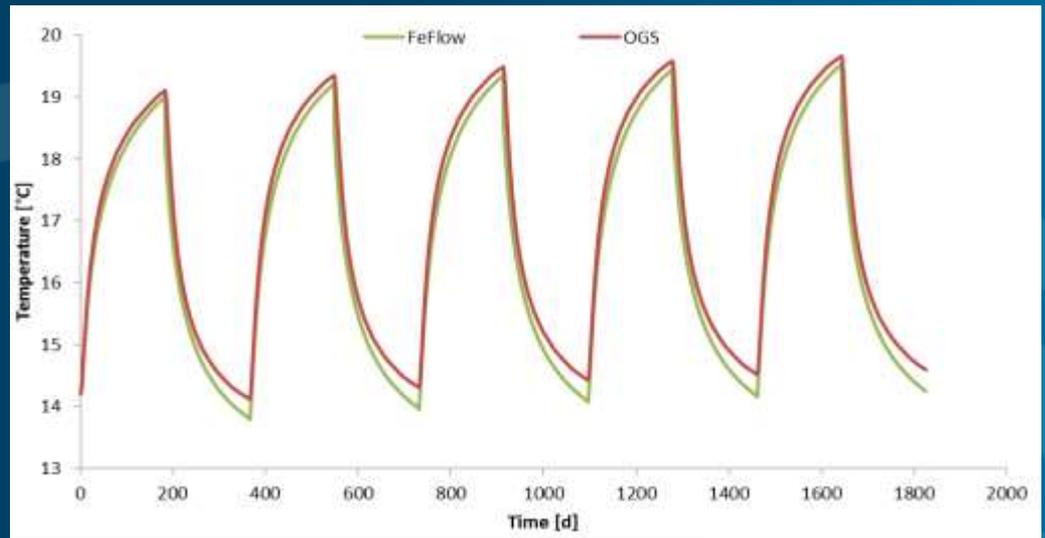
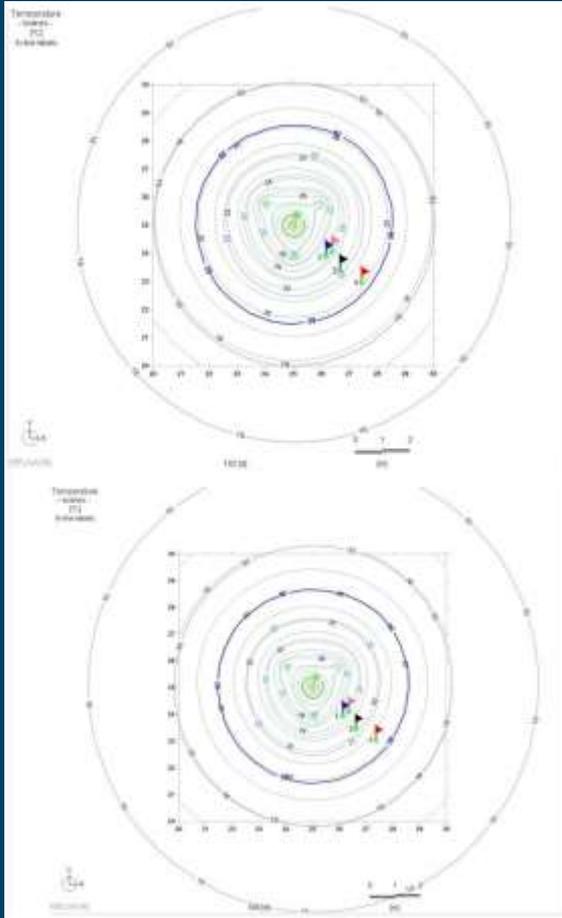
```
#FLUID_PROPERTIES
$FLUID_TYPE
GAS
$PCS_TYPE
PRESSURE1
$DENSITY
1 1.1839
$VISCOSITY
1 1.8e-5
$SPECIFIC_HEAT_CAPACITY
1 1.005e+3
$HEAT_CONDUCTIVITY
1 2.4e-2
#STOP
```

```
#SOLID_PROPERTIES
$DENSITY
1 2.0e+3
$THERMAL
EXPANSION
6.0e-4
CAPACITY
1 1.5e+3
CONDUCTIVITY
1 1.0
#STOP
```

```
GINA - Boundary Condition
#BOUNDARY_CONDITION
$PCS_TYPE
HEAT_TRANSPORT
$PRIMARY_VARIABLE
TEMPERATURE1
$GEO_TYPE
POLYLINE T_source
$DIS_TYPE
CONSTANT 1
$TIM_TYPE
CURVE 1
#BOUNDARY_CONDITION
$PCS_TYPE
HEAT_TRANSPORT
$PRIMARY_VARIABLE
TEMPERATURE1
$GEO_TYPE
SURFACE top
$DIS_TYPE
CONSTANT 1
$TIM_TYPE
CURVE 2
#STOP
```

50m





- l'accordo tra i risultati dei due modelli è buono perché le portate in gioco sono basse (circa 1/10 della portata di una sonda geotermica classica)

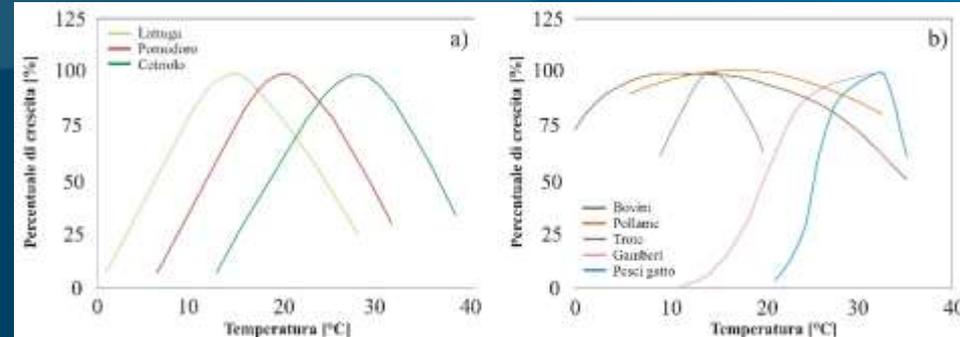
- vantaggio: OpenGeoSys permette di definire le proprietà di diverse fasi fluide (gas e acqua) e dato il contenuto d'acqua il codice calcola le bulk properties

- svantaggio: non permette di definire nello specifico la sonda (doppia U / singola U, portata, proprietà del fluido termo-vettore)

- a fine 2014 è stato implementato un tool per le sonde geotermiche (Shao et al., 2014), ma ancora da ottimizzare e testare con benchmarks

Applicazione di STES a settore primario

- diminuzione dei consumi e delle spese energetiche
- aumento della competitività
- indipendenza energetica
- sostenibilità ambientale

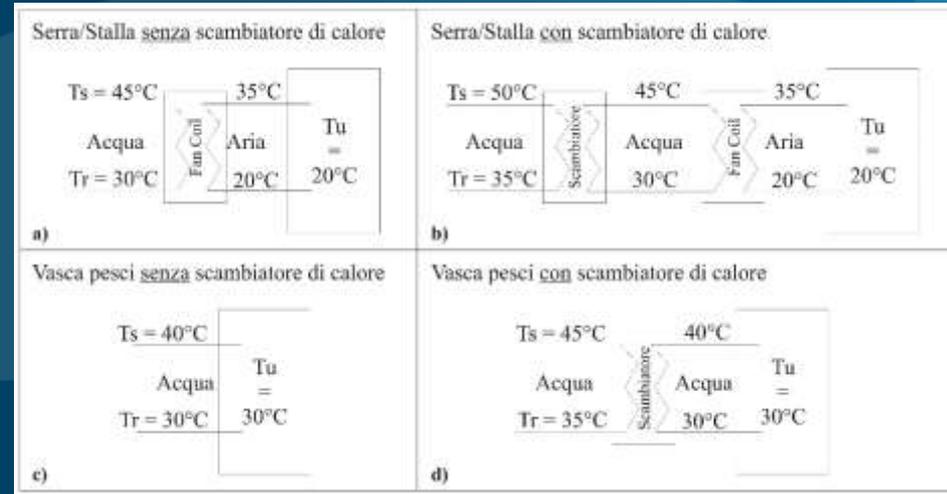


Processi unitari

- Stabilizzazione (pastorizzazione, sterilizzazione, essiccamento)
- Trasformazione chimica (fermentazione, cottura)
- Separazione (distillazione)

Climatizzazione e produzione ACS

- Laboratori di lavorazione
- Serre
- Ambienti di ricovero bestiame



Azienda

ATTIVITA': agricoltura biologica con commercializzazione di prodotti freschi e trasformati

GEOLOGIA: Depositi sciolti sabbioso-limosi (2-3 m) a copertura di substrato roccioso (calcescisti)

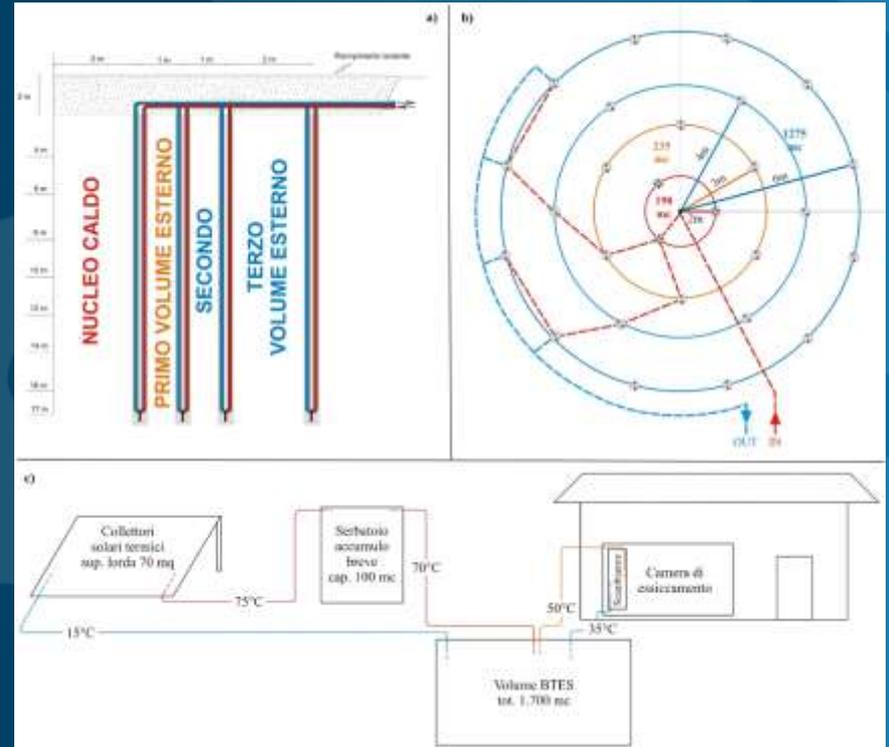
ESSICCAMENTO DELLA FRUTTA

- T = 40°C per 5-6 ore
- da Ottobre ad Aprile (1.120 ore/a)
- 50-60 kg di prodotto per ogni «informata»
- essiccatoio alimentato a GPL
- consumo 6.000 l/a → 6.000 €/a
- 150 GJ/a (41,7 MWh/a)

Ipotizzando di poter estrarre, a regime, il 60% dell'energia immessa nel terreno (Diersch & Bauer, 2015), l'impianto solare deve poter produrre circa 250 GJ/a

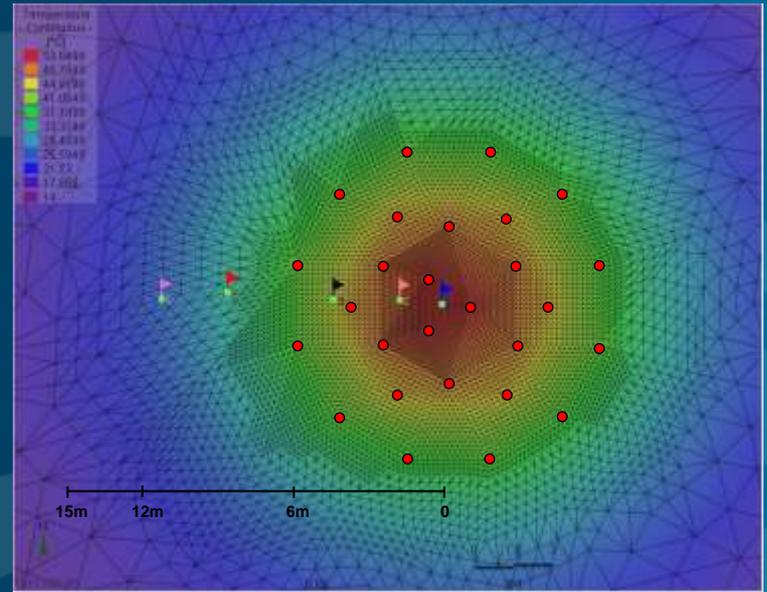
Impianto

- 12 pannelli da 2,5 mq (potenza totale 49 kW)
- 27 sonde da 15 m (volume totale 1.700 mc)
- serbatoio di accumulo intermedio 100 mc



Modello numerico

- 100 x 100 x 50 m
- roccia satura
- mesh di 360.000 elementi prismatici triangolari
- 25 strati da 2 m
- combined heat and flow processes
- transient flow / transient transport
- 7300 time step da 70 minuti (6 mesi)
- alternata immissione/estrazione → totale 5 anni



Proprietà del sottosuolo

T di partenza	14 °C
Porosità	0.1
Contenuto d'acqua	100%
Cap. termica vol. solido	2.1 MJ/mc/K
Cond. termica solido	2 W/m/K
Cap. termica vol. fluido	4.2 MJ/mc/K
Cond. termica fluido	0.6 W/m/K
Cond. termica cemento geotermico	0.6 W/m/K
Cap. termica vol. fluido termovettore	4 MJ/mc/K
Cond. fluido termovettore	0.5 W/m/K

Circuito

- il fluido entra nelle 3 sonde centrali (DU); da ognuna esce ed entra a due sonde (SU) del secondo anello e così via
- 6 mesi carica / 6 mesi riposo (primo anno)
- 6 mesi carica / 6 mesi scarica (dal successivo)
- portata 1,5 l/s
- ESTATE: $T_{in} = 70^{\circ}\text{C}$
- INVERNO: $T_{in} = 20^{\circ}\text{C}$

Risultati

<u>Sottosuolo</u>	<u>CARICA</u>	<u>RIPOSO</u>	<u>CARICA</u>	<u>SCARICA</u>
<u>volume</u>	<u>6 mesi</u>	<u>12 mesi</u>	<u>54 mesi</u>	<u>60 mesi</u>
nucleo	51.7	33.0	53.0	31.8
primo volume	49.8	32.0	51.4	31.7
secondo volume	42.9	29.8	45.4	30.6
10 m dal centro	22.3	23.4	27.6	26.3
20 m dal centro	15.0	15.5	18.6	18.8

Tout dal campo geotermico in fase di scarica

Durante la prima fase di scarica (2 anno)

60 giorni > 40°C 150 giorni > 35°C alla fine 32°C

Durante l'ultima fase di scarica (5 anno)

80 giorni > 40°C 170 giorni > 35°C alla fine 33.8°C



Conclusioni

- l'**impianto di Grugliasco** è un ottimo laboratorio a scala reale che ci permette di sperimentare l'influenza di STES nel sottosuolo; sono testate anche **metodologie di monitoraggio indiretto** come ERT;
- grazie all'esperienza di Grugliasco si è potuto ipotizzare l'applicazione di sistemi di accumulo ad **attività produttive** per coprire i fabbisogni energetici termici;
- i sistemi STES necessitano di un investimento iniziale cospicuo, legato essenzialmente ai **costi di perforazione** e del **serbatoio di stoccaggio** a breve termine. Tali voci pesano il 25-30% e il 30-35% della spesa complessiva;
- è fondamentale il concetto di **economia di scala**. La situazione ideale sarebbe quella di coprire **tutti i fabbisogni termici** connessi con l'attività dell'azienda (riscaldamento ambienti e produzione ACS).
- STES sono sistemi adattabili a specifiche situazioni e possono integrare **differenti fonti energetiche**, aggiungendo alla sorgente principale (Sole) i **surplus termici** derivanti da altre lavorazioni o la produzione di calore da **digestori anaerobici**. In questo modo si potrebbe risparmiare sul comparto di produzione solare e migliorare ulteriormente il bilancio tra consumi e surplus termici;
- un impianto di questo tipo permetterebbe in ogni caso di **sganciarsi da un approvvigionamento energetico esterno**, legato alle fluttuazioni mondiali del prezzo del greggio, e rafforzare la propria **resilienza sul mercato**.

Grazie

Nicolò Giordano

nicolo.giordano@unito.it

(Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Torino)

Torino, 14-15 Ottobre 2015



Costo impianto Azienda

Voci di spesa	Costo unitario	Quantità	Totale
Sonde geotermiche	70 €/m	405	€ 28.350,00
Pannelli solari	500 €/m ²	70	€ 35.000,00
Serbatoio accumulo breve termine	400 €/m ³	100	€ 40.000,00
Impianto idraulico			€ 2.000,00
Sensori di T	30 €	30	€ 900,00
Installazione sensori in foro	50 €/m	60	€ 3.000,00
Sistema acquisizione dati			€ 2.000,00
Totale			€ 111.250,00
Detrazione 65% geotermico (sonde + impianto)			€ 19.727,50
Detrazione 65% solare (pannelli + serbatoio)			€ 39.000,00
Totale detrazione 65%			€ 58.727,50
Detrazione 36% geotermico (sonde + impianto)			€ 10.926,00
Detrazione 36% solare (pannelli + serbatoio)			€ 21.600,00
Totale detrazione 36%			€ 32.526,00

Azienda 2

ATTIVITA': allevamento bovini per produzione latticini

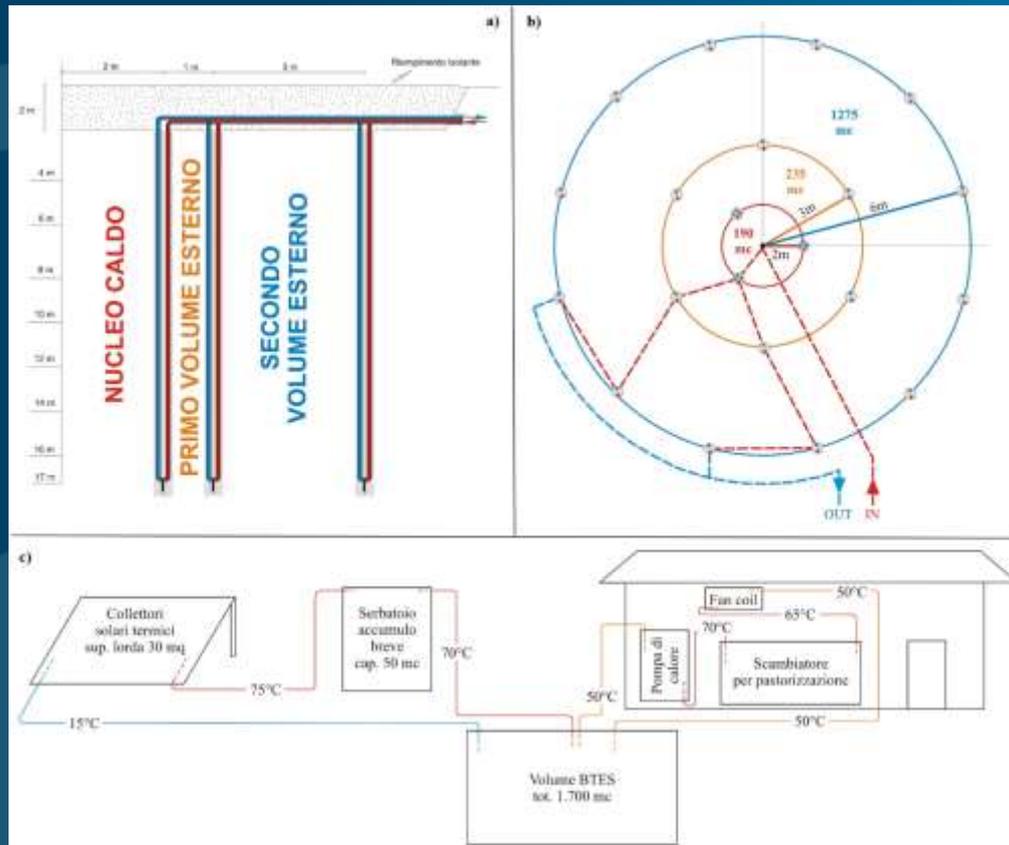
GEOLOGIA: Successione sedimentaria di transizione marino-continentale. Alternanze di limi, argille e locali depositi sabbiosi; soggiacenza variabile da 5 a 10 m.

PASTORIZZAZIONE DEL LATTE

- 1h al giorno per 280 g/anno
- 1000 kg di latte al giorno
- 10 litri di GPL (25 MJ/l)
- ΔT di lavoro 60°C (da 4°C a 65°C)
- 70 GJ/a ($19,4\text{ MWh/a}$) solo pastorizzazione
- 95 GJ/a ($26,4\text{ MWh/a}$) con risc. laboratorio

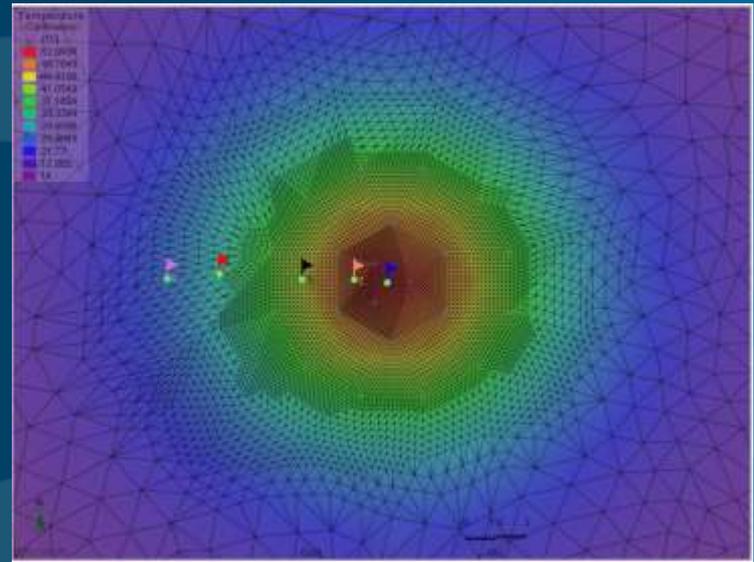
Impianto

- 12 pannelli da $2,5\text{ m}^2$ (potenza totale 21 kW)
- 21 sonde da 15 m (volume totale 1.700 mc)
- serbatoio di accumulo intermedio 50 mc



Modello numerico

- 100 x 100 x 50 m
- acquifero saturo
- mesh di 360.000 elementi prismatici triangolari
- 25 strati da 2 m
- combined heat and flow processes
- transient flow / transient transport
- 7300 time step da 70 minuti (6 mesi)
- alternata immissione/estrazione → totale 5 anni



Proprietà del modello

T di partenza	14 °C
Porosità	0.4
Contenuto d'acqua	100%
Cap. termica vol. solido	2.2 MJ/mc/K
Cond. termica solido	3 W/m/K
Cap. termica vol. fluido	4.2 MJ/mc/K
Cond. termica fluido	0.6 W/m/K
Cond. termica cemento geotermico	0.6 W/m/K
Cap. termica vol. fluido termovettore	4 MJ/mc/K
Cond. fluido termovettore	0.5 W/m/K

Circuito

- il fluido entra nelle 3 sonde centrali (DU); da ognuna esce ed entra a due sonde (SU) del secondo anello e così via
- 6 mesi carica / 6 mesi riposo (primo anno)
- 6 mesi carica / 6 mesi scarica (dal successivo)
- portata 1,0 l/s
- ESTATE: $T_{in} = 70^{\circ}\text{C}$
- INVERNO: $T_{in} = 20^{\circ}\text{C}$

Risultati

<u>Sottosuolo</u>	CARICA	RIPOSO	CARICA	SCARICA
<u>volume</u>	<u>6 mesi</u>	<u>12 mesi</u>	<u>54 mesi</u>	<u>60 mesi</u>
nucleo	49.3	39.0	47.5	35.5
primo volume	47.0	38.2	45.7	35.3
secondo volume	38.9	33.9	39.2	33.3
10 m dal centro	18.0	19.3	23.7	23.9
20 m dal centro	14.0	14.0	16.0	16.2

Tout dal campo geotermico in fase di scarica

Durante la prima fase di scarica (2 anno)

70 giorni > 40°C 170 giorni > 35°C alla fine 34°C

Durante l'ultima fase di scarica (5 anno)

30 giorni > 40°C 160 giorni > 35°C alla fine 33.6°C

Costo impianto Azienda 2

Voci di spesa	Costo unitario	Quantità	Totale
Sonde geotermiche	70 €/m	315	€ 22.050,00
Pannelli solari	500 €/m ²	30	€ 15.000,00
Serbatoio accumulo breve termine	400 €/m ³	50	€ 20.000,00
Impianto idraulico + PdC			€ 7.000,00
Sensori di T	30 €	30	€ 900,00
Installazione sensori in foro	50 €/m	60	€ 3.000,00
Sistema acquisizione dati			€ 2.000,00
Totale			€ 69.950,00
Detrazione 65% geotermico (sonde + impianto e PdC)			€ 14.332,50
Detrazione 65% solare (pannelli + serbatoio)			€ 27.300,00
Totale detrazione 65%			€ 41.632,50
Detrazione 36% geotermico (sonde + impianto e PdC)			€ 7.938,00
Detrazione 36% solare (pannelli + serbatoio)			€ 15.120,00
Totale detrazione 36%			€ 23.058,00