

# “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)

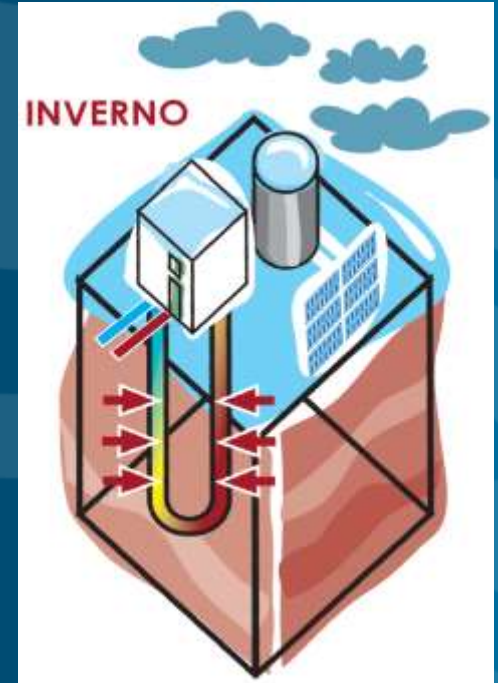
Torino, 14-15 Ottobre 2015



## 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 (-)

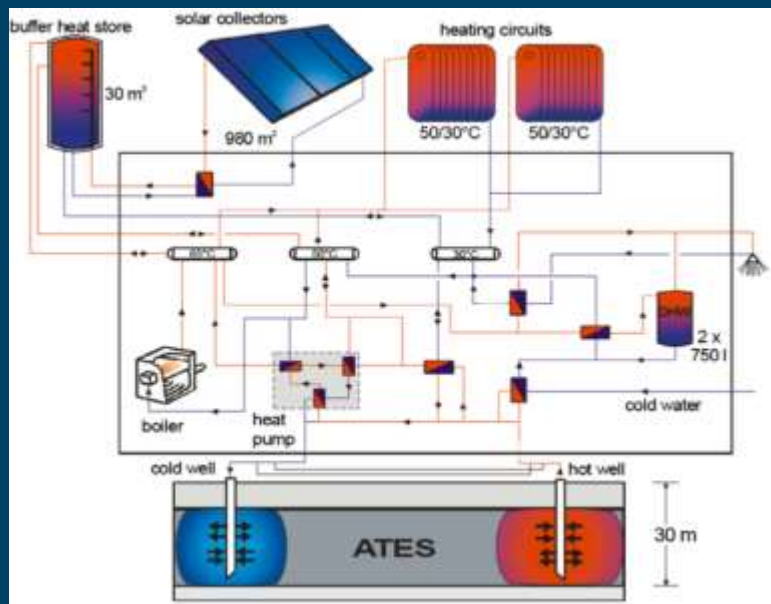
## Calore sensibile

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

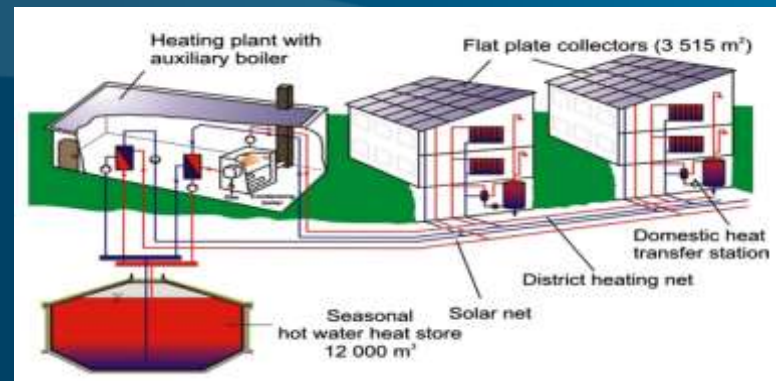
- Materiali per accumulo (sottosuolo, acqua) ampiamente disponibili (+)
- Bassi costi di manutenzione (+)
- Bassa densità di energia (-)

# Esempi di STES a calore sensibile

## Acquiferi – circuito aperto

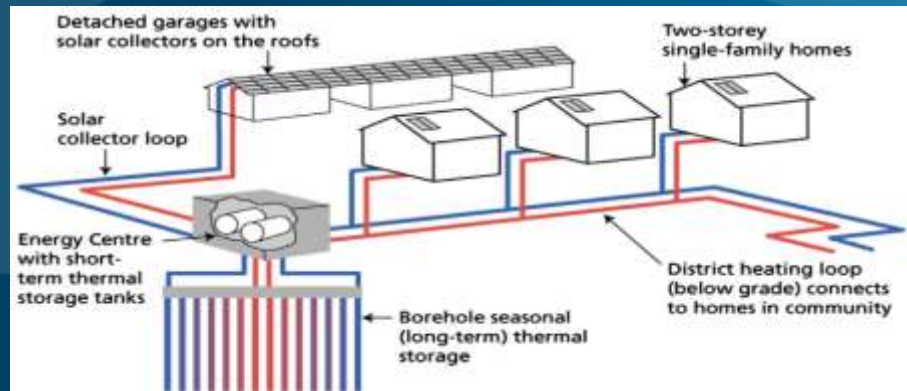


Rostock, DE  
(Schmidt & Müller-Steinhagen, 2004)



Friedrichshafen, DE (Raab et al., 2004)

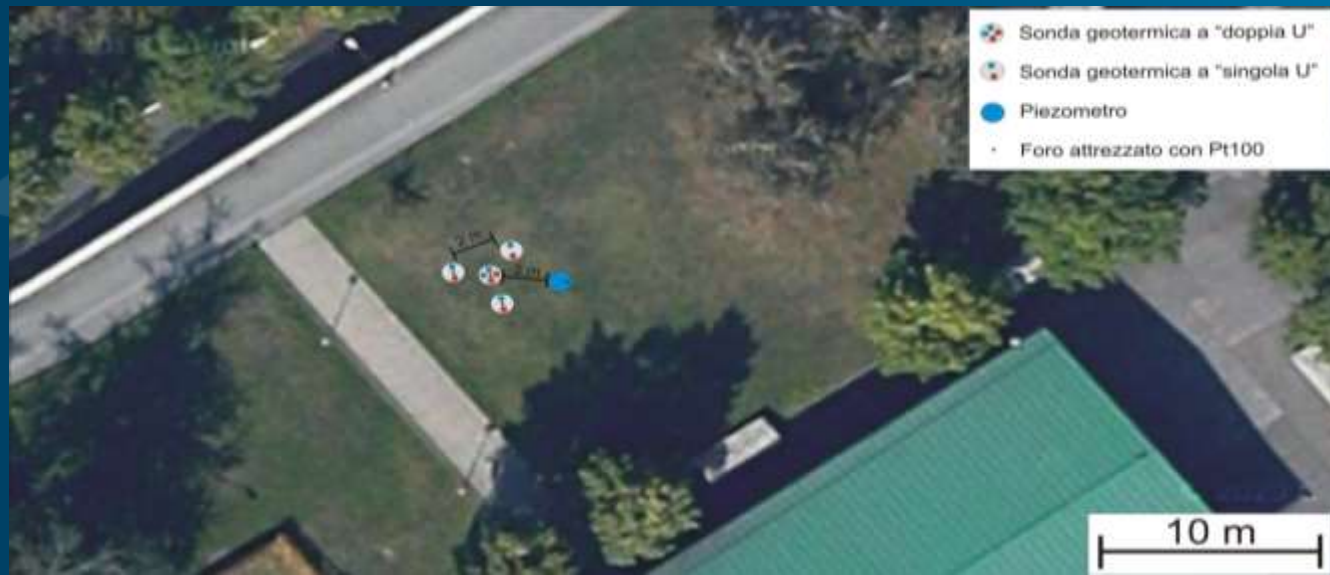
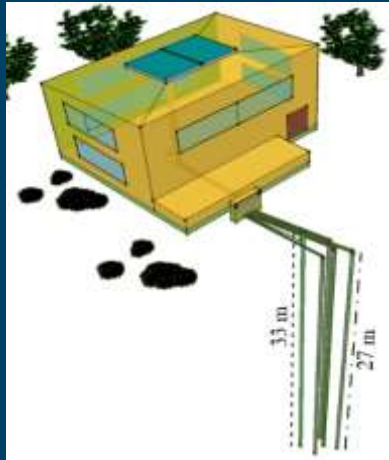
## Sonde geotermiche – circuito chiuso



Okotoks, CA (Drake Landing Solar Community)







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](http://www.gtes.unito.it))



Agosto 2013



Settembre 2013



Ottobre 2013



Luglio 2014



Circuito



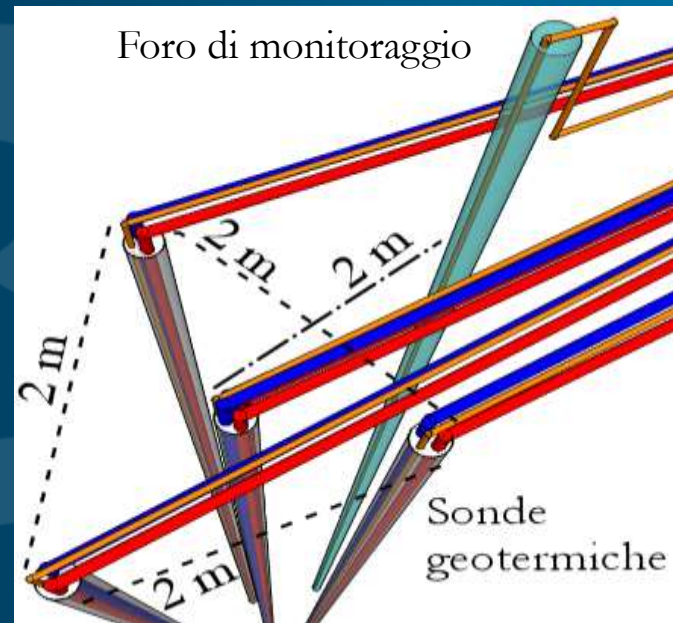
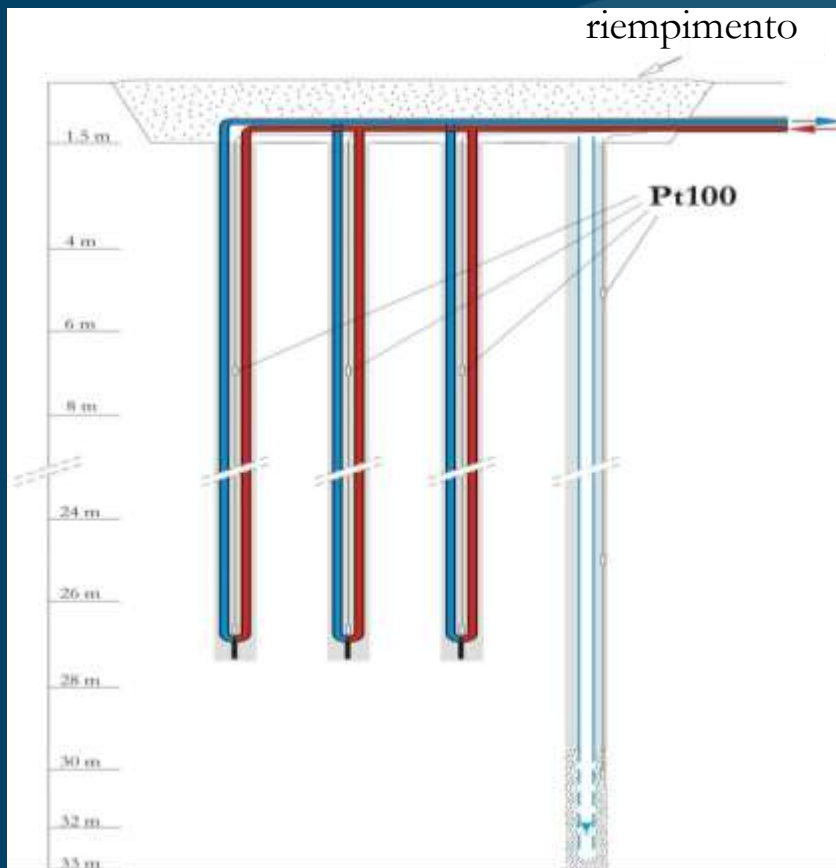
Centralina



Dissipatore

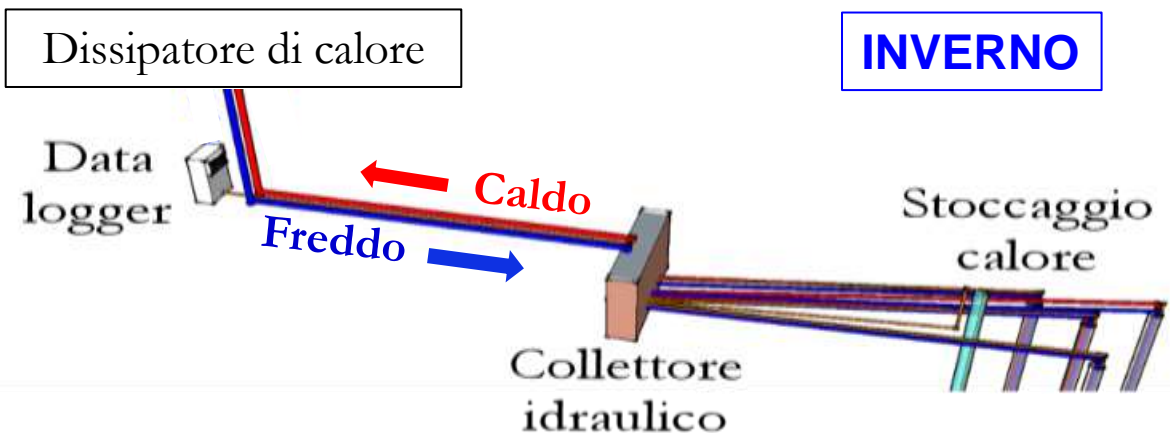
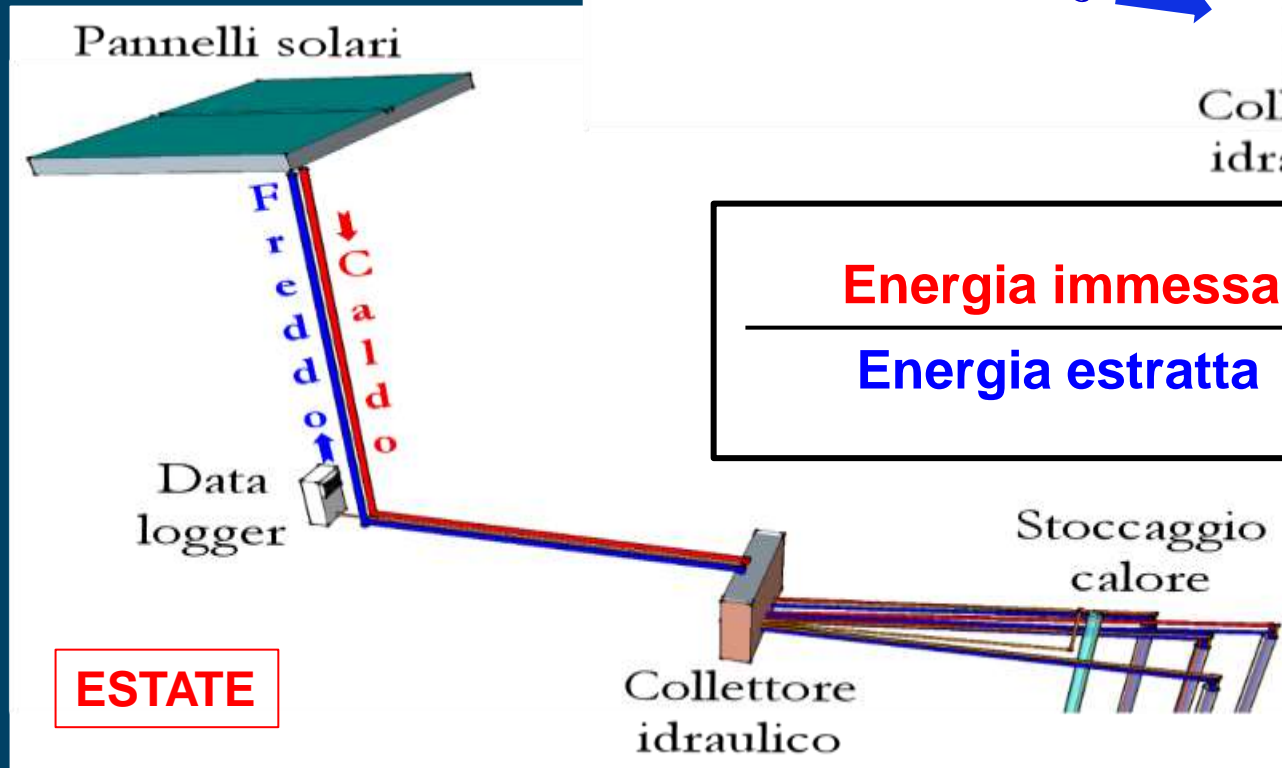


Misuratore di portata



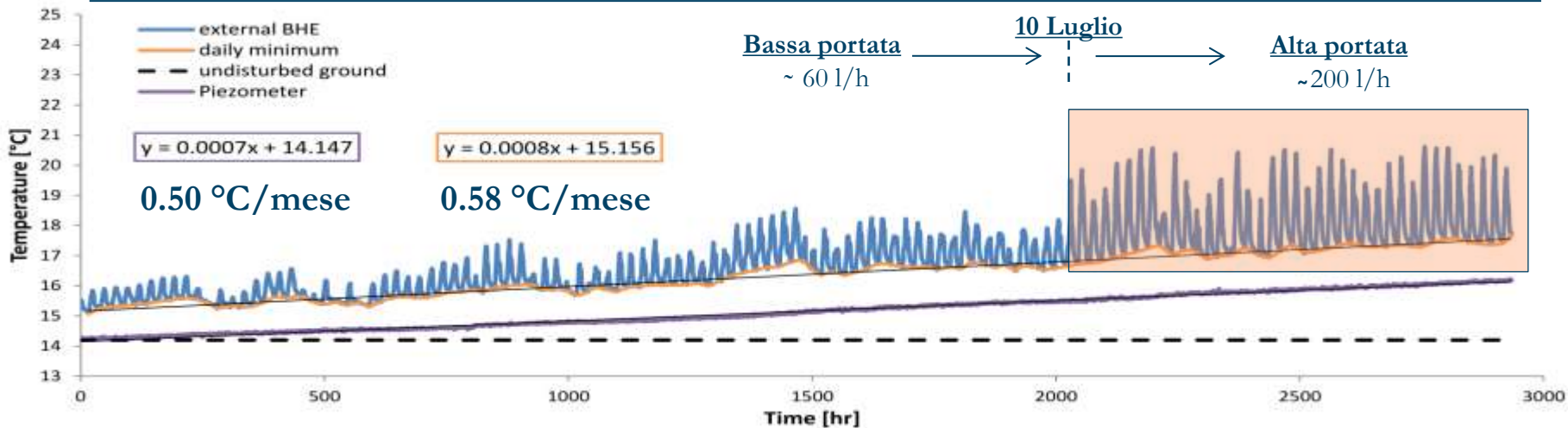
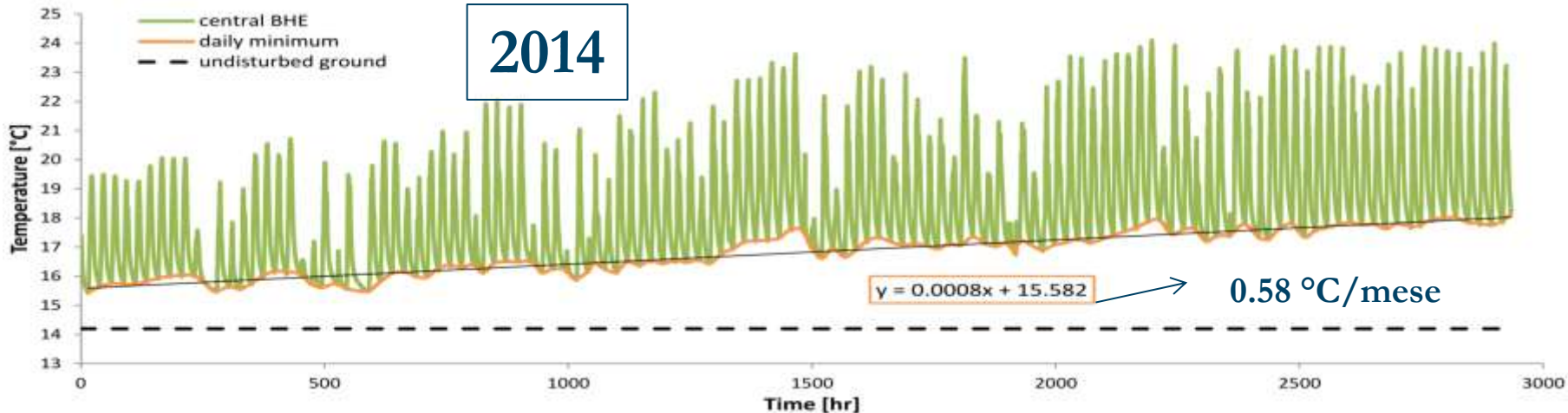


# Modalità operative



$$\frac{\text{Energia immessa}}{\text{Energia estratta}} = \text{Efficienza del sistema}$$

2014



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

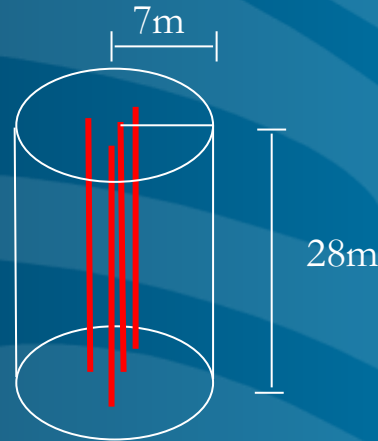
Energia persa lungo il circuito 10%

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

2.5 MWh = 9.1 GJ

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

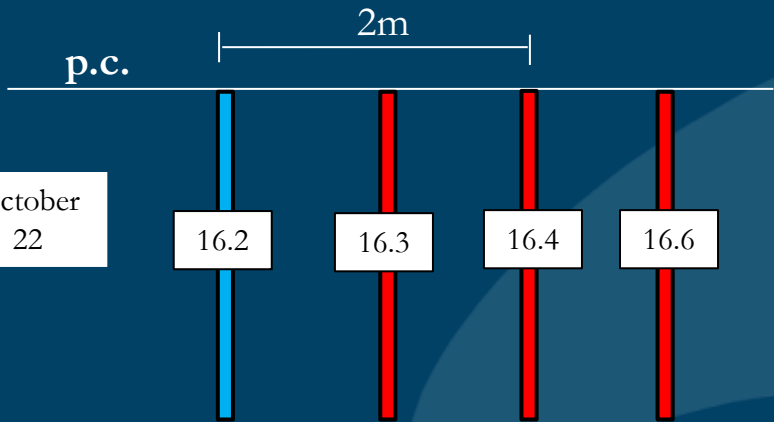
Volume di sottosuolo influenzato dall'immissione di energia



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

17%

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

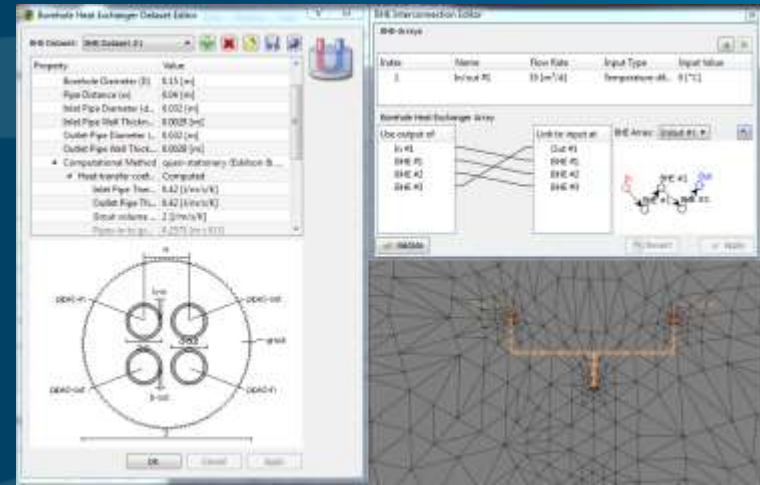


$$E_c = V * \Delta T * C v_b = 377 * 2 * 2.1 = 1,580 \text{ MJ}$$



# 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

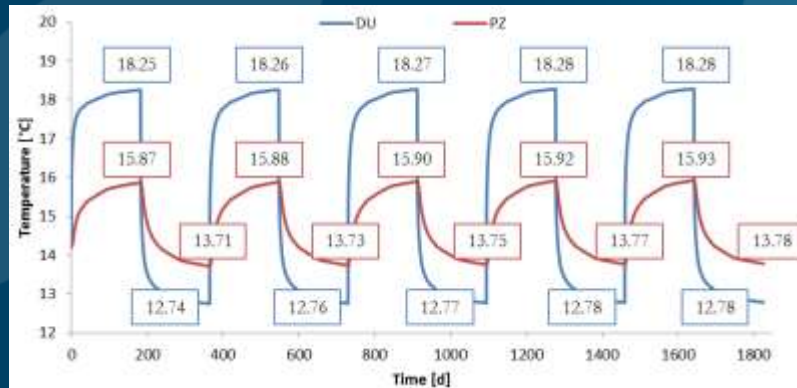
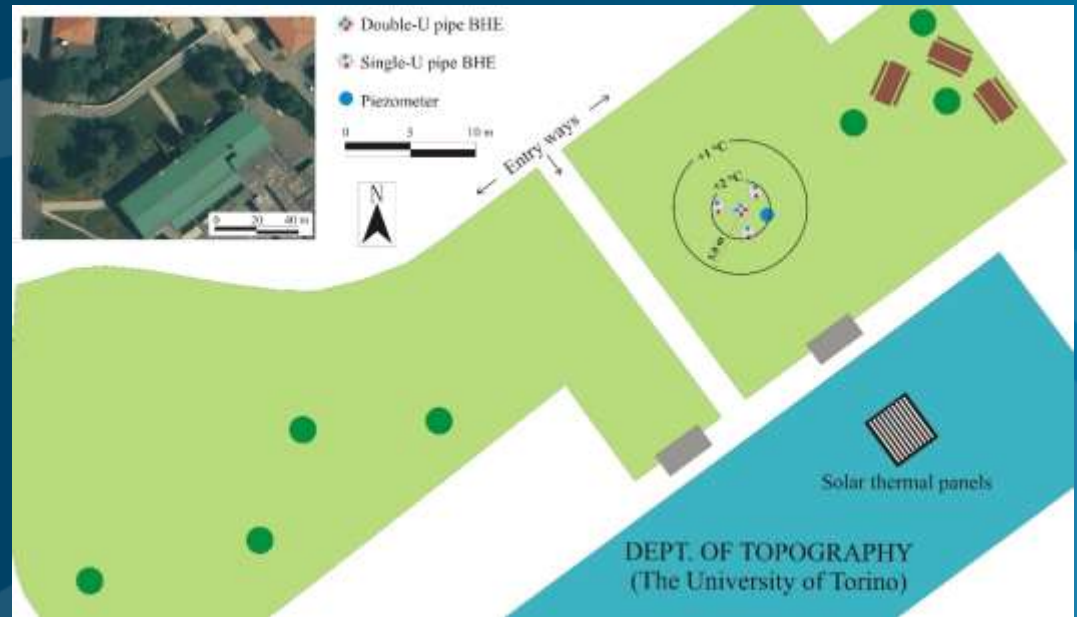
Tin al campo geotermico  
24h 10°C, portata 200 l/h





# 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°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

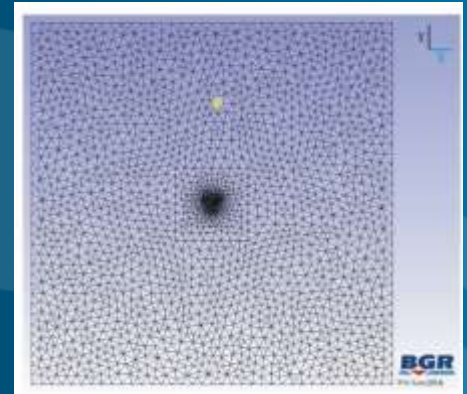
- OpenGeoSys (Kolditz et al., 2012) → solutore numerico
- Gmesh (Geuzaine and Remacle, 2009) → mesh
- Gina (H. Kunz, © 2005-2014) → costruzione modello

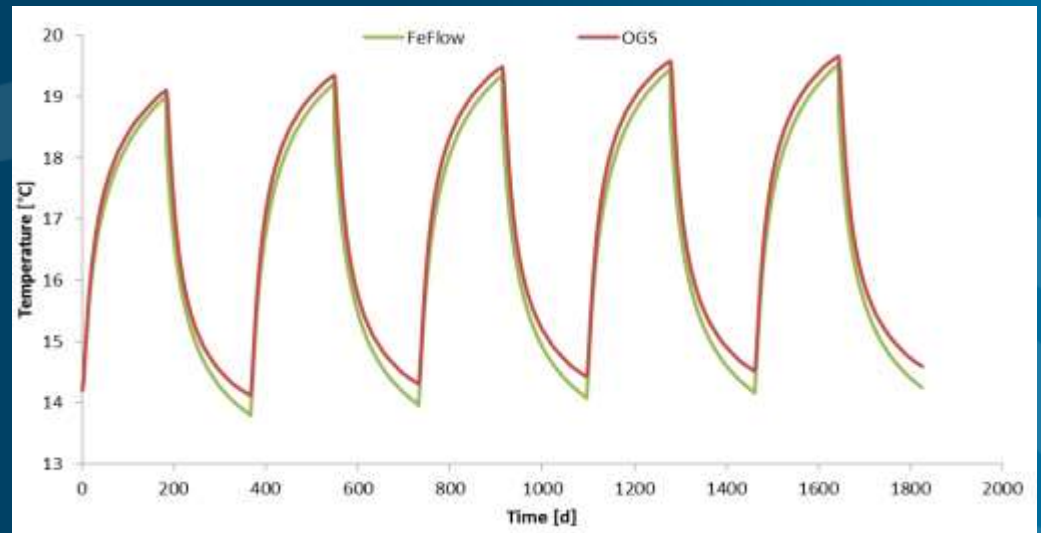
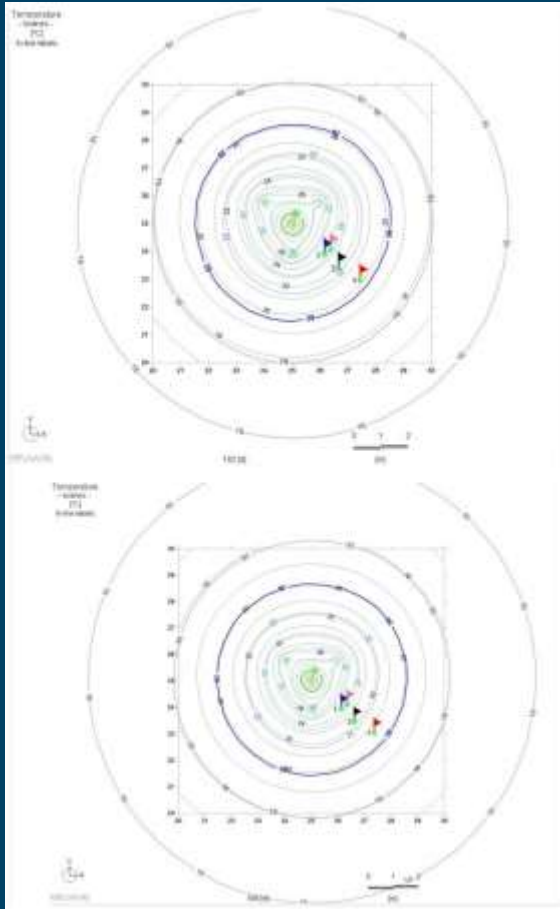
```
#FLUID_PROPERTIES
$FLUID_TYPE
GAS
$PCS_TYPE
PRESSURE1
$DENSITY
1 1.1839
$VISCOSITY
1 1.8e-5
$SPECIFIC_HEAT_CAPACITY
1 1.005e+3
$HEAT_CONDUCTIVITY
1 2.4e-2
#STOP
```

```
#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)

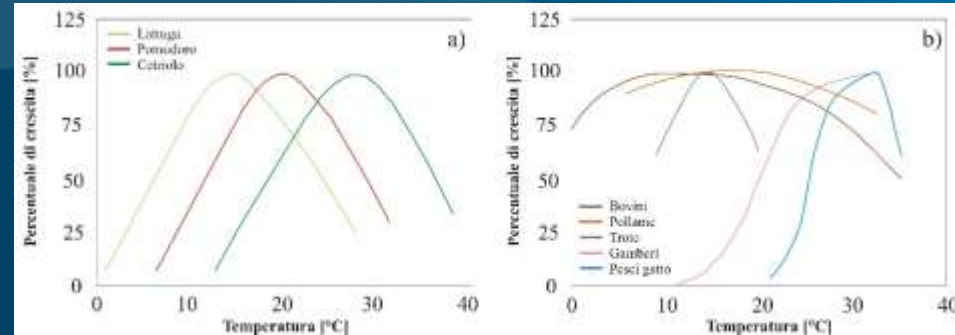
- vantaggio: OpenGeoSys permette di definire le proprietà di diverse fasi fluide (gas e acqua) e dato il contenuto d'acqua il codice calcola le bulk properties

- 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

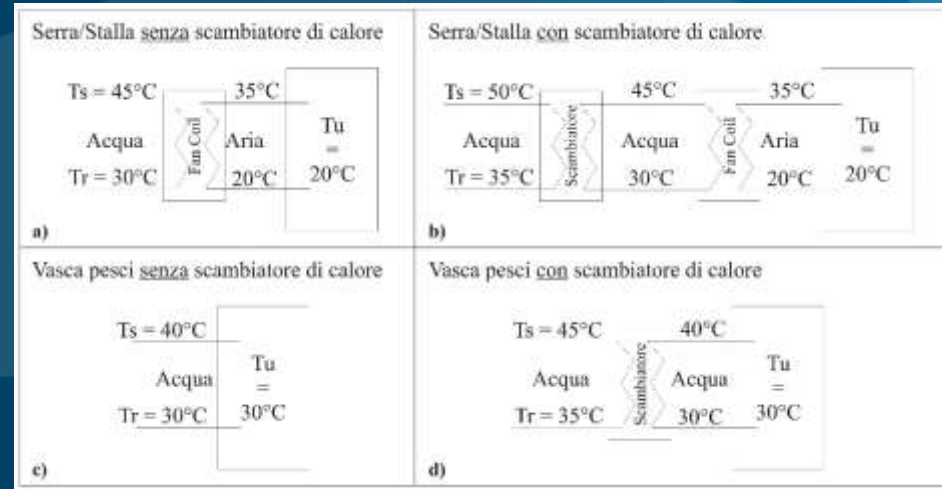


## Processi unitari

- 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)

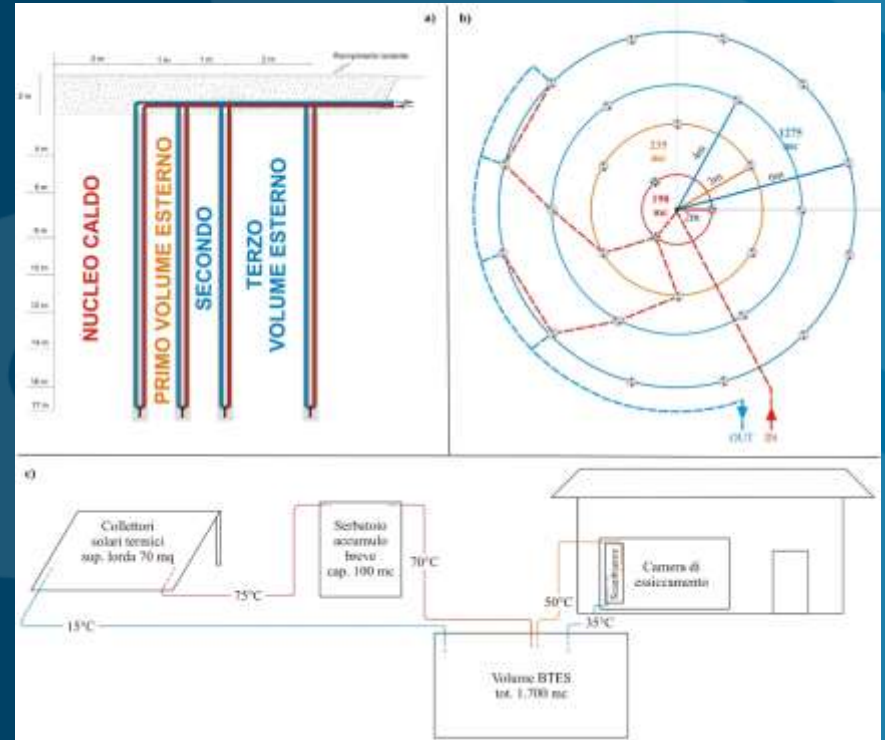
## ESSICCAMENTO DELLA FRUTTA

- 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

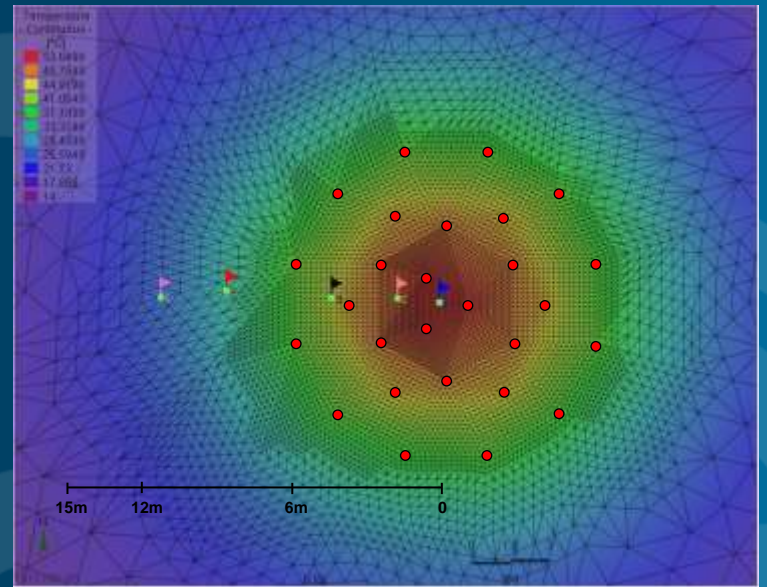
- 100 x 100 x 50 m
- roccia satura
- mesh di 360.000 elementi prismatici triangolari
- 25 strati da 2 m
- combined heat and flow processes
- transient flow / transient transport
- 7300 time step da 70 minuti (6 mesi)
- alternata immissione/estrazione → totale 5 anni

### 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](mailto: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 <sup>2</sup>	70	€ 35.000,00
Serbatoio accumulo breve termine	400 €/m <sup>3</sup>	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
<b>Totale</b>			<b>€ 111.250,00</b>
Detrazione 65% geotermico (sonde + impianto)			€ 19.727,50
Detrazione 65% solare (pannelli + serbatoio)			€ 39.000,00
<b>Totale detrazione 65%</b>			<b>€ 58.727,50</b>
Detrazione 36% geotermico (sonde + impianto)			€ 10.926,00
Detrazione 36% solare (pannelli + serbatoio)			€ 21.600,00
<b>Totale detrazione 36%</b>			<b>€ 32.526,00</b>

## Azienda 2

ATTIVITA': allevamento bovini per produzione latticini

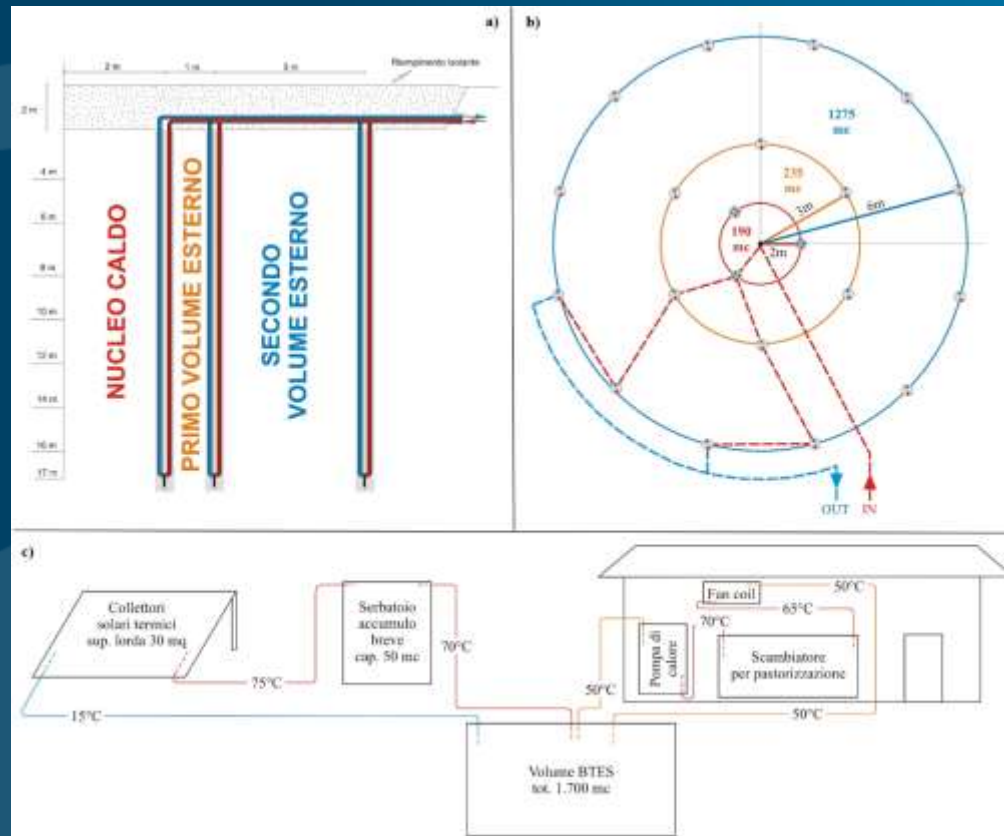
GEOLOGIA: Successione sedimentaria di transizione marino-continentale. Alternanze di limi, argille e locali depositi sabbiosi; soggiacenza variabile da 5 a 10 m.

## PASTORIZZAZIONE DEL LATTE

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

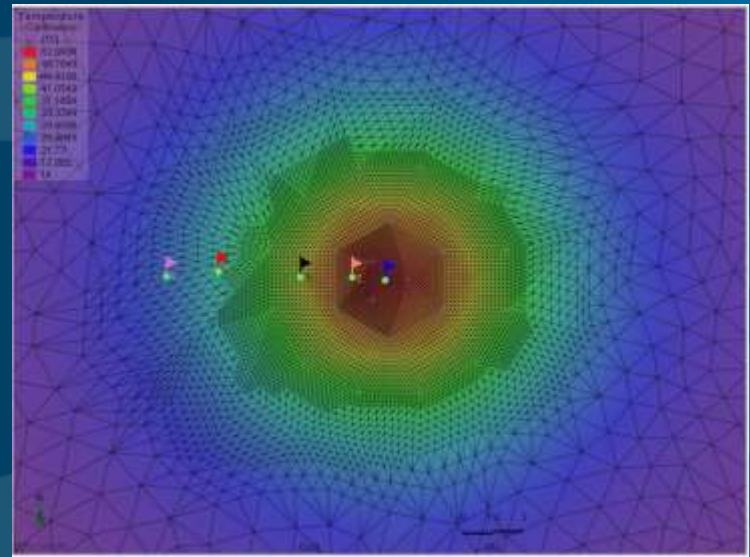
## Impianto

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



# 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 <sup>2</sup>	30	€ 15.000,00
Serbatoio accumulo breve termine	400 €/m <sup>3</sup>	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
<b>Totale</b>			<b>€ 69.950,00</b>
Detrazione 65% geotermico (sonde + impianto e PdC)			€ 14.332,50
Detrazione 65% solare (pannelli + serbatoio)			€ 27.300,00
<b>Totale detrazione 65%</b>			<b>€ 41.632,50</b>
Detrazione 36% geotermico (sonde + impianto e PdC)			€ 7.938,00
Detrazione 36% solare (pannelli + serbatoio)			€ 15.120,00
<b>Totale detrazione 36%</b>			<b>€ 23.058,00</b>