

## LA GEOFISICA APPLICATA ALLA GESTIONE DEL TERRITORIO

La nuova biblioteca del Dipartimento di Ingegneria a Mesiano (TN):  
un sistema combinato di pompe di calore ad aria e geotermica,  
in un contesto tettonico e geofisico complesso

1 dicembre 2016



**Geologia Applicata**

STUDIO ASSOCIATO

Via del Teroldego 1, 38016 Mezzocorona (TN)  
0461/605904 - info@geologiaapplicata.it



**dott. geol. Lorenzo CADROBBI**  
**dott. geol. Daniele FIORONI**  
**dott. ing. Oscar NICHELATTI**

## BIBLIOTECA DELL'UNIVERSITA' DI INGEGNERIA DI MESIANO



**FABBISOGNO DI RISCALDAMENTO / RAFFRESCAMENTO CHE PUO' ESSERE GARANTITO IN UTILIZZO SEPARATO DELLA POMPA DI CALORE AD ARIA O GEOTERMICA, IN MODO DA VERIFICARNE I RENDIMENTI ED I RELATIVI COSTI DI ESERCIZIO**

**PER LE NECESSITA' DI PICCO IL PROGETTO PREVEDE L'UTILIZZO CONGIUNTO**

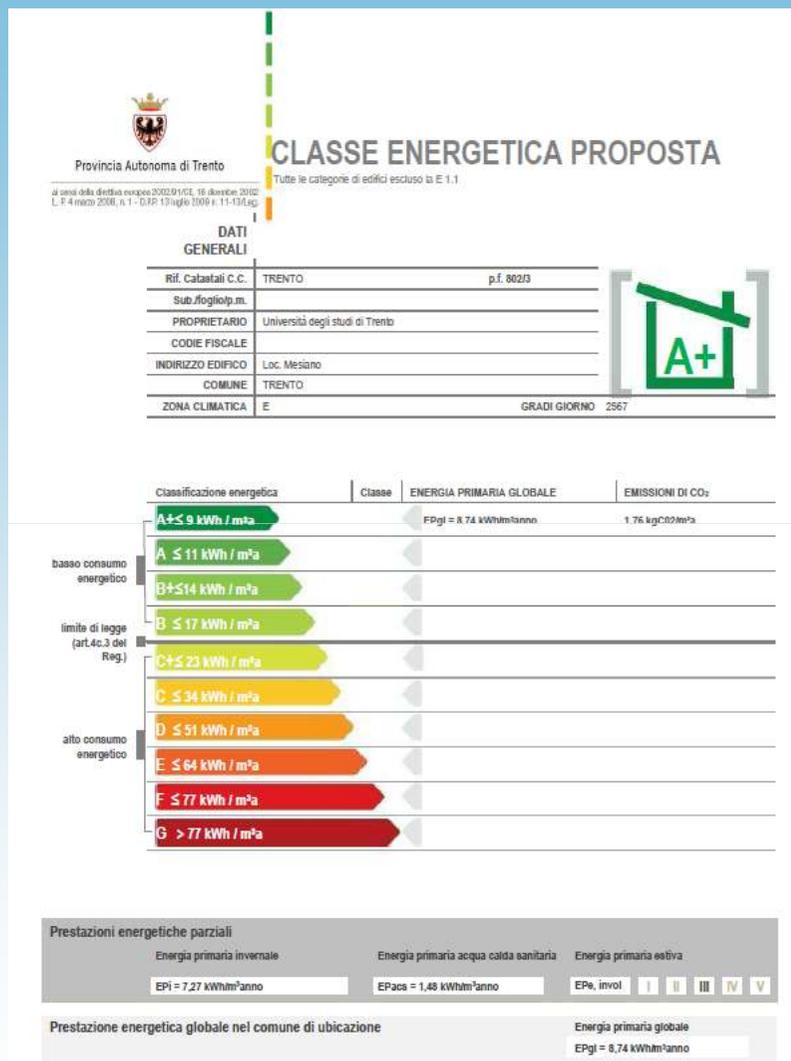
# BIBLIOTECA DELL'UNIVERSITA' DI INGEGNERIA DI MESIANO



## DATI SULL'EDIFICIO

|                               |             |
|-------------------------------|-------------|
| SUPERFICIE UTILE CLIMATIZZATA | 1.488 mq    |
| INVOLUCRO AD ALTE PRESTAZIONI |             |
| TRASMITTANZA PARETI           | 0,25 W/mq.K |
| TRASMITTANZA PARETI           | 0,15 W/mq.K |
| TRASMITTANZA MEDIASERRAMENTI  | 1,30 W/mq.K |

# BIBLIOTECA DELL'UNIVERSITA' DI INGEGNERIA DI MESIANO



EDIFICIO A BASSO CONSUMO DI ENERGIA ( $E_p = 8,74 \text{ kWh/mq}$ ) TUTTAVIA LA NORMATIVA VIGENTE SULLA CERTIFICAZIONE ENERGETICA NON CONSIDERA I CONSUMI PER LA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA DA CUI CI SI ATTENDONO I MAGGIORI CONSUMI.

# BIBLIOTECA DELL'UNIVERSITA' DI INGEGNERIA DI MESIANO

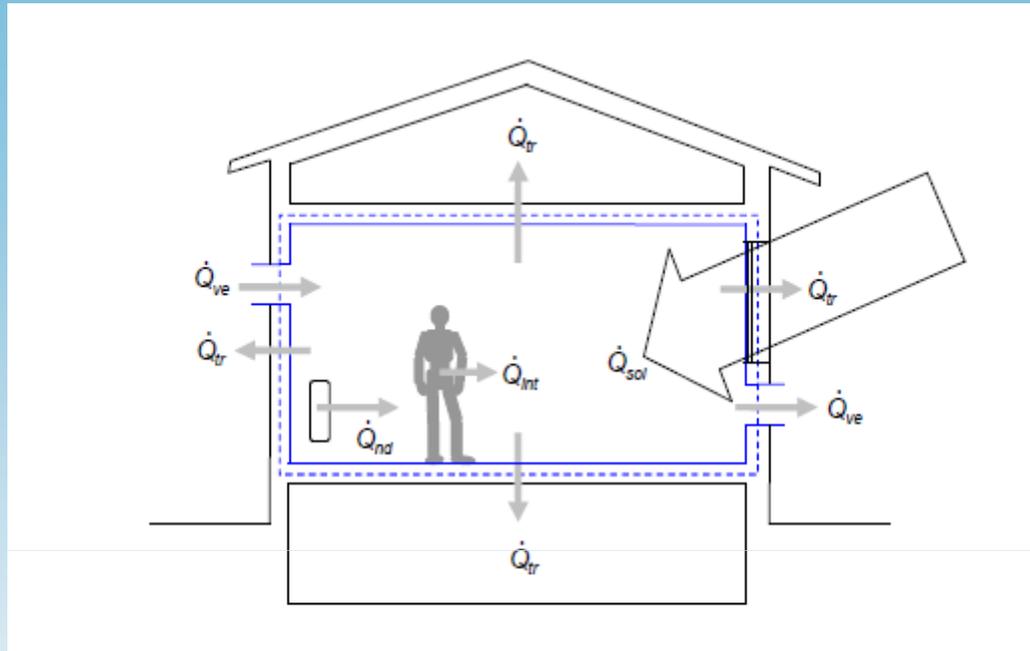
## NORME UTILIZZATE

| DESCRIZIONE  | NORMA                          |
|--|--------------------------------|
| CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA  | UNI EN ISO 13790:2008          |
| DETERMINAZIONE DEL FABBISOGNO DI ENERGIA TERMICA DELL'EDIFICIO PER LA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA ED INVERNALE  | UNI/TS 11300-1:2008 + EC1:2010 |
| DETERMINAZIONE DEL FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA E DEI RENDIMENTI PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE E PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA,  | UNI/TS 11300-2:2008 + EC1:2010 |
| PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI: UTILIZZO DI ENERGIE RINNOVABILI E ALTRI METODI DI GENERAZIONE PER LA CLIMATIZZAZIONE INVERNALE E LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA                       | UNI/TS 11300-4:2012            |
| PRESTAZIONI ENERGETICHE DEGLI EDIFICI - DETERMINAZIONE DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA PER LA CLASSIFICAZIONE DELL'EDIFICIO   | RACCOMANDAZIONE CTI 14         |
| COMPONENTI ED ELEMENTI PER EDILIZIA - RESISTENZA TERMICA E TRASMITTANZA TERMICA  | UNI EN ISO 6946:2007           |
| SCAMBI DI ENERGIA TRA TERRENO ED EDIFICIO  | UNI EN ISO 13370:2008          |
| PONTI TERMICI IN EDILIZIA - COEFFICIENTE DI TRASMISSIONE LINEICA   | UNI EN ISO 14683:2008          |
| COEFFICIENTE DI PERDITA PER TRASMISSIONE E VENTILAZIONE  | UNI EN ISO 13789:2008          |
| PRESTAZIONE IGROTERMICA DEI COMPONENTI E DEGLI ELEMENTI PER EDILIZIA - TEMPERATURA SUPERFICIALE INTERNA PER EVITARE L'UMIDITÀ SUPERFICIALE CRITICA E CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE - METODO DI CALCOLO | UNI EN ISO 13788:2003          |
| PRESTAZIONE TERMICA DEI COMPONENTI PER EDILIZIA - CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE - METODI DI CALCOLO   | UNI EN ISO 13786:2008          |
| TRASMITTANZA TERMICA DEI COMPONENTI FINESTRATI   | UNI EN ISO 10077               |
| DATI CLIMATICI   | UNI 10349                      |
| CONDUTTIVITA' TERMICA E PERMEABILITA' AL VAPORE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE   | UNI 10351                      |
| MURATURE E SOLAI VALORI DELLA RESISTENZA TERMICA E METODO DI CALCOLO   | UNI 10355                      |

**TAPPA FONDAMENTALE:  
DETERMINARE  
L'ENERGIA ANNUA DA  
ESTRARRE (E/O  
RESTITUIRE) AL  
TERRENO**

**IL CALCOLO SI BASA SU  
DELLE IPOTESI QUASI  
STAZIONARIE, OVVERO  
SU BILANCI MENSILI,  
SULLA BASE DI DATI  
CLIMATICI MEDI MENSILE,  
FRA L'ENERGIA PER  
DISPERSIONI,  
VENTILAZIONE E  
APPORTI GRATUITI**

## BIBLIOTECA DELL'UNIVERSITA' DI INGEGNERIA DI MESIANO



**OGNI MESE SI FA UN BILANCIO FRA I FLUSSI DI ENERGIA. QUELLO CHE MANCA LO INTEGRA L'IMPIANTO, SIA IN RISCALDAMENTO CHE IN RAFFRESCAMENTO**

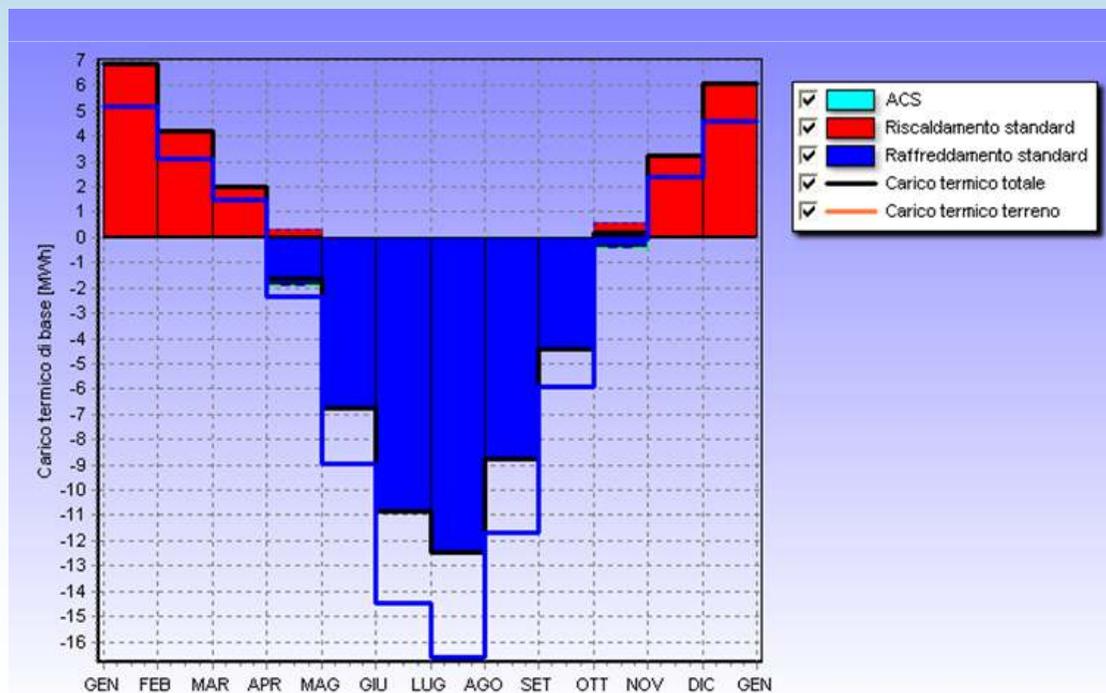
# BIBLIOTECA DELL'UNIVERSITA' DI INGEGNERIA DI MESIANO

## FABBISOGNI ENERGETICI DELL'EDIFICIO

La stima della potenza termica complessiva di impianto e della quota parte da inviare all'impianto geotermico (la restante parte sarà soddisfatta mediante pompa di calore ad aria) è la seguente:

$$P_T = 70 \text{ KW}$$

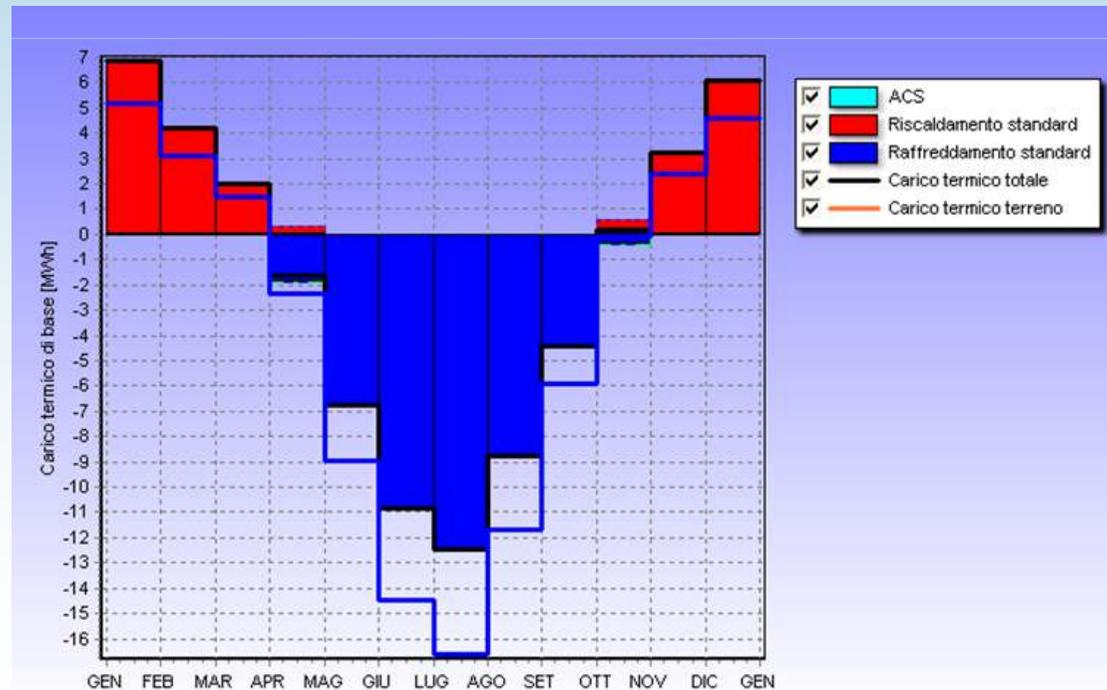
$$P_{\text{GEO}} = 40 \text{ KW}$$



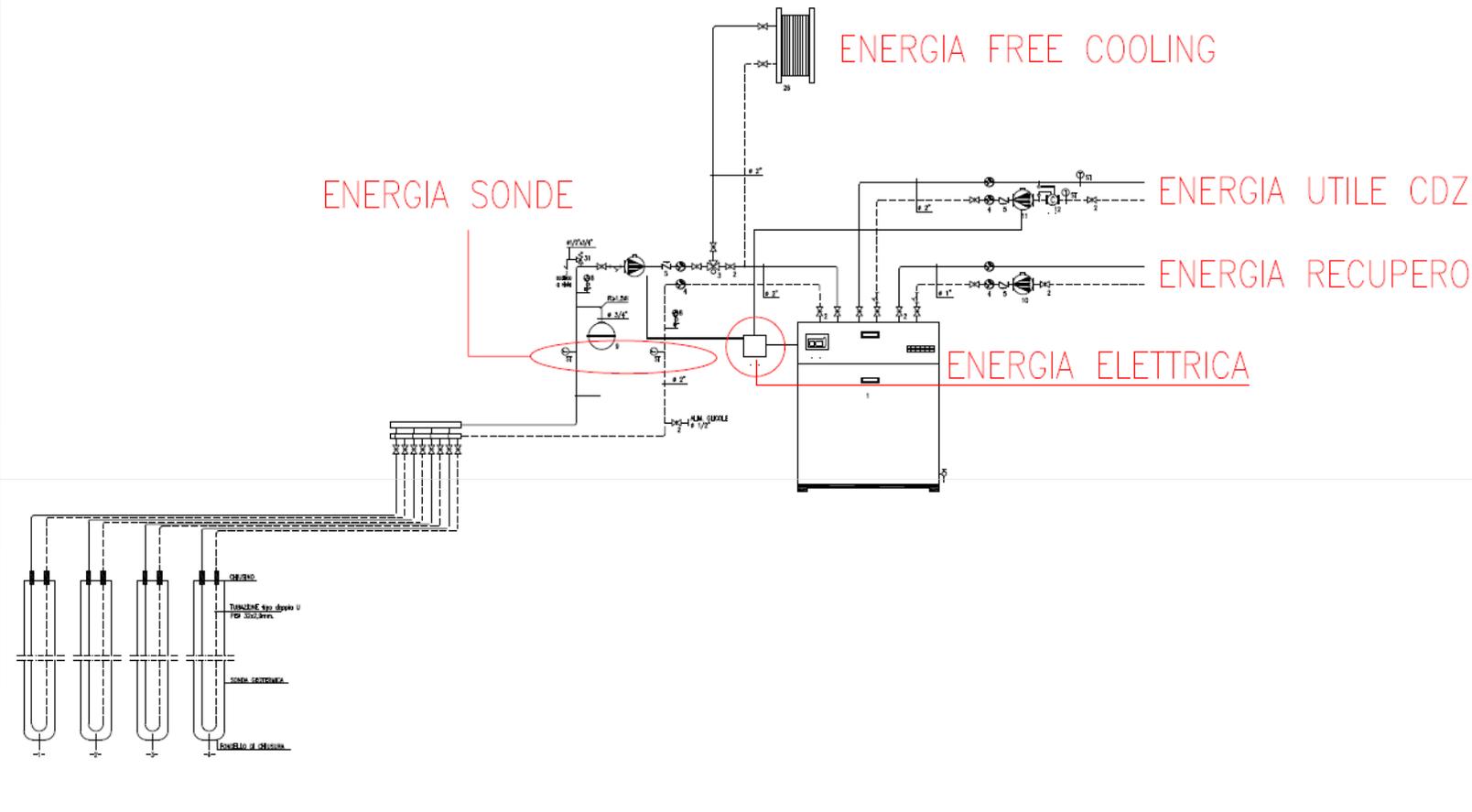
# BIBLIOTECA DELL'UNIVERSITA' DI INGEGNERIA DI MESIANO

## FABBISOGNI ENERGETICI DELL'EDIFICIO

I RISULTATI MOSTRANO CHE E' MAGGIORE L'ENERGIA PER IL RAFFRESCAMENTO ESTIVO.



# BIBLIOTECA DELL'UNIVERSITA' DI INGEGNERIA DI MESIANO



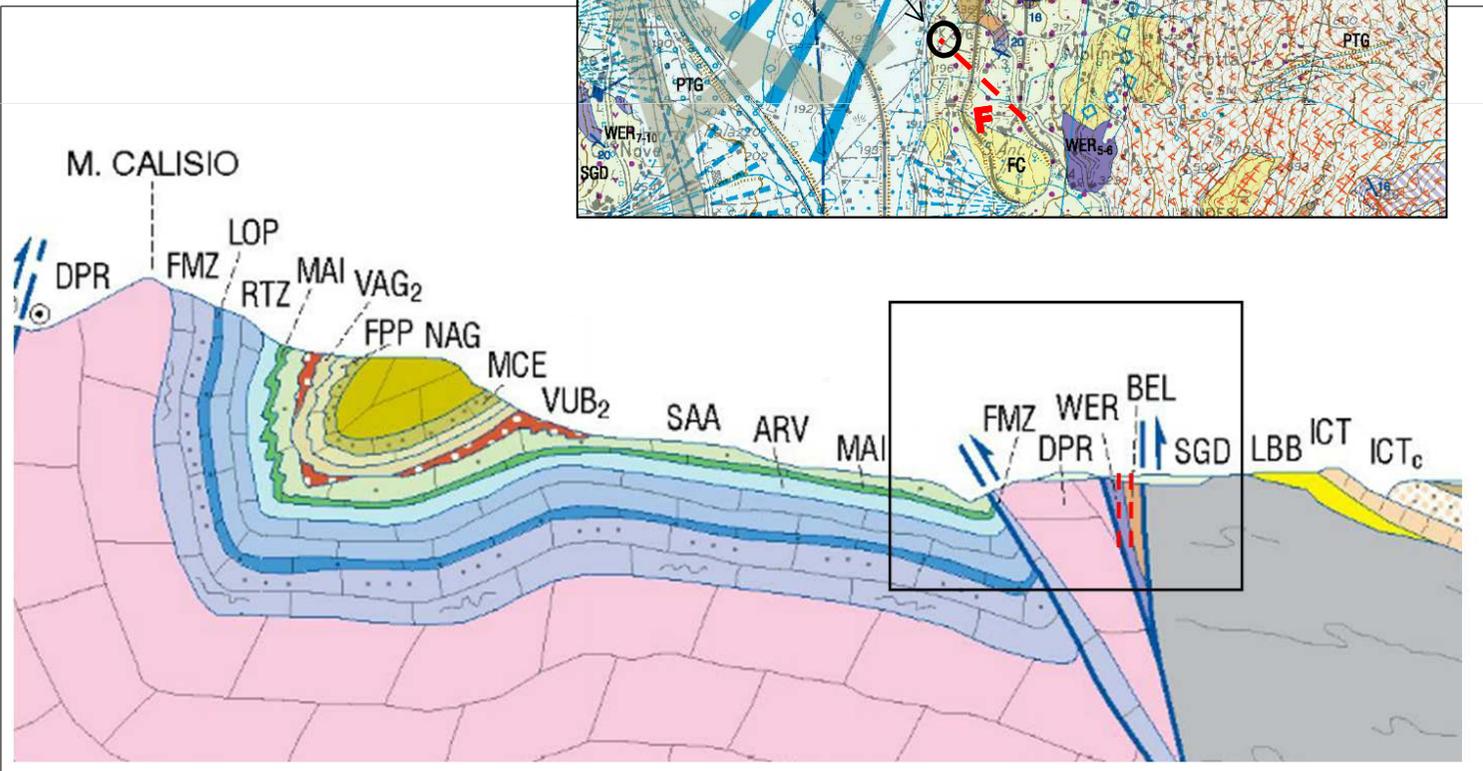
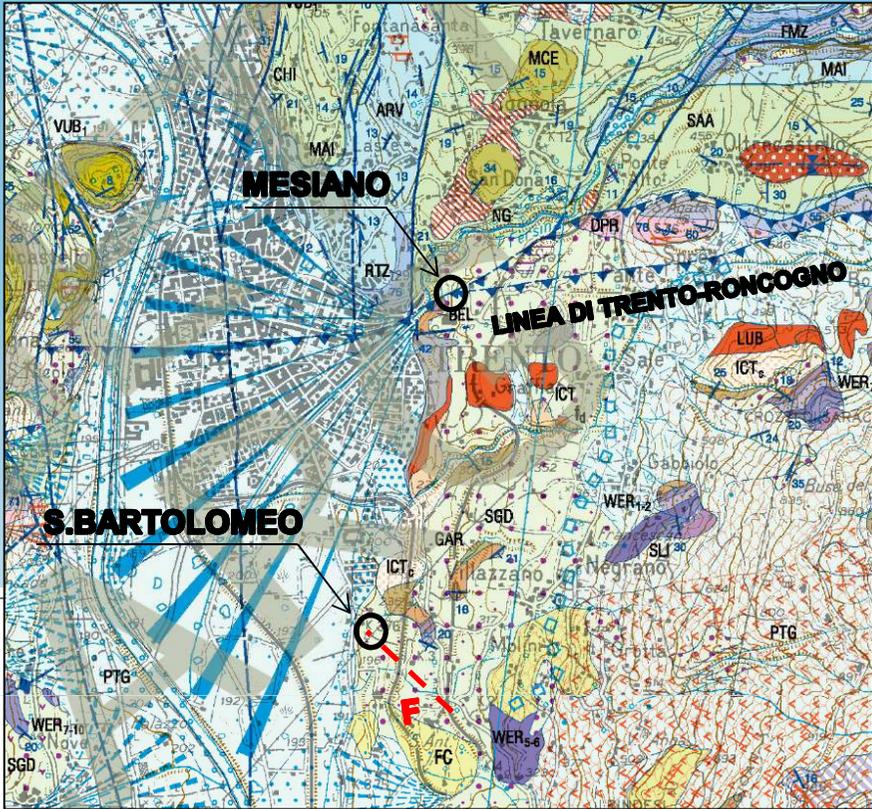
**MONITORAGGIO:** REGISTRAZIONE DATI SU BASE ORARIA  
TEMPERATURA MANDATA, RITORNO E FLUSSO ALLE SONDE (QUINDI ENERGIA SCAMBIATA)  
TEMPERATURA MANDATA, RITORNO E FLUSSO ALL'IMPIANTO (QUINDI ENERGIA SCAMBIATA)  
ENERGIA ELETTRICA ASSORBITA

## IMPORTANZA DELLA TEMPERATURA

OTTIMIZZARE IL SISTEMA EDIFICIO/IMPIANTO PER L'UTILIZZO DI ENERGIA A BASSA ENTALPIA (= BASSA TEMPERATURA)

- UTILIZZO DIRETTO ENERGIA DEL SOTTOSUOLO IN RAFFRESCAMENTO
- MINOR LUNGHEZZA DELLE SONDE GEOTERMICHE
- OPPURE MIGLIOR PRESTAZIONE DELLA MACCHINA FRIGORIFERA

$$L_h = \frac{\dot{Q}_a \times R_{ga} + \dot{Q}_{g,h_D} \times [R_b + (PLF_{m,h_D} \times R_{gm}) + (R_{gd} \times F_{sc})]}{\theta_g - \left( \frac{\theta_{wi} + \theta_{wo}}{2} \right)_{h_D} - \theta_p}$$



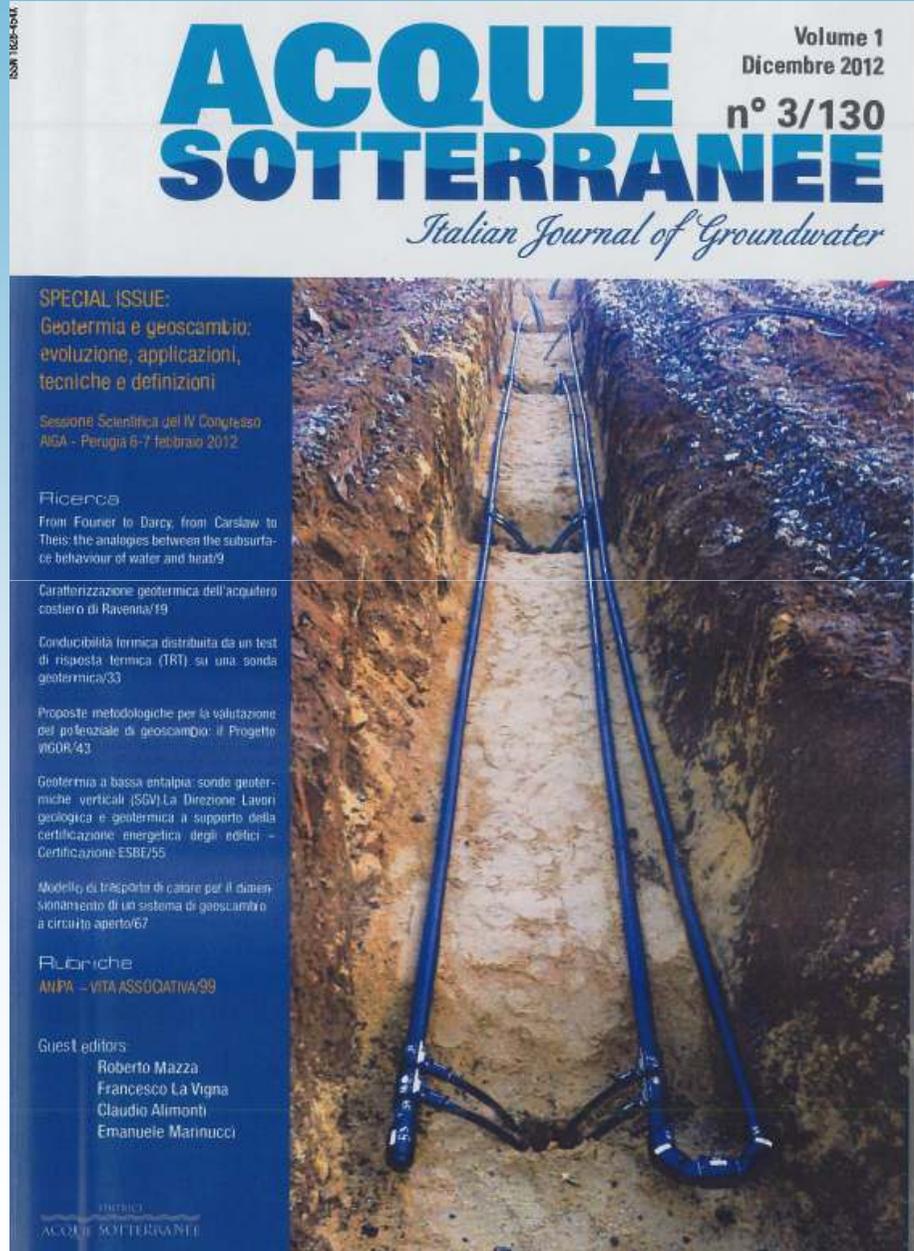
# SAN BARTOLOMEO: CAMPO SONDE PILOTA

## GROUND RESPONSE TESTS

|           | Conduktività<br>[W/mK] | Resistenza termica<br>[km/W] |
|-----------|------------------------|------------------------------|
| ZONA NORD | 3,13                   | 0,08                         |
|           | 4,7                    | 0,07                         |
|           | 3,07                   | 0,09                         |
|           | 3,31                   | 0,09                         |
|           | 3,22                   | 0,09                         |
| ZONA SUD  | 4,05                   | 0,07                         |
|           | 3,7                    | 0,07                         |
|           | 3,64                   | 0,07                         |



# PUBBLICAZIONE



ISSN 2038-0801

Engineering  
Hydro  
Environmental

# Geology

Giornale di Geologia Applicata

Rivista dell'AIGA, Associazione Italiana di Geologia Applicata e Ambientale

Volume 14 Supplemento B - Anno 2012

Riassunti presentati al

## IV Congresso Nazionale dell'AIGA

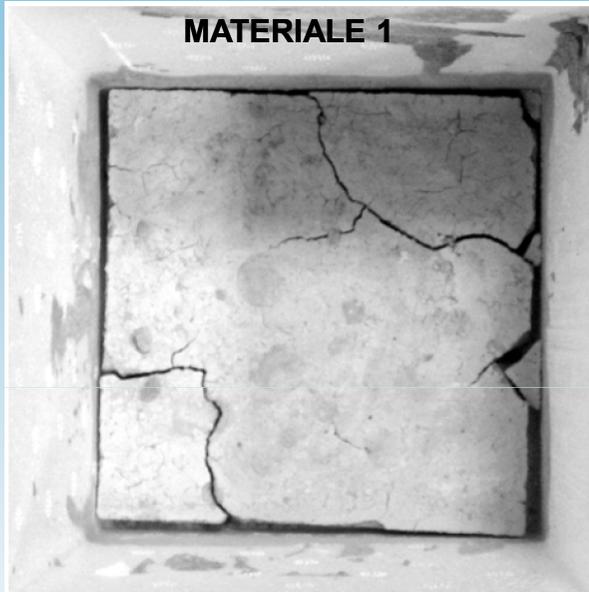
Perugia, 6-7 febbraio 2012



**MEDIA**  
print  
editore

# MATERIALI COMMERCIALI PREMISCELATI PER RIEMPIIMENTO FORI DI SONDE GEOTERMICHE VERTICALI

**FENOMENO DI RITIRO dopo 7giorni (su campioni ricostruiti in ambiente confinato in laboratorio geotecnico).**



**MATERIALE 1**

$\lambda = 2.0 \text{ W/mK}$

- bentonite
- leganti minerali cementizi
- altri composti minori



**MATERIALE 2**

$\lambda = 2.0 \text{ W/mK}$

- bentonite
- cemento da alti forni
- sabbia quarzosa fine



**MATERIALE 3**

$\lambda = 2.3 \text{ W/mK}$

- cemento
- silici microfine colloidali
- calce colloidale

+ frazione quarzosa      - frazione bentonitica

- fenomeno di ritiro      + velocità di presa (- trascinamento)

**- Resistenza termica dello scambiatore ( $R_b$ )**

## DATI SPERIMENTALI ESAMINATI

### PROVE GRT, METODI DI PERFORAZIONE E MATERIALI DI RIEMPIMENTO

| ZONA DI CANTIERE                        | Denominazione sonda-profondità (m) | Materiale di riempimento ( <i>grouting</i> )  | Conducibilità termica ( $\lambda$ ) [W/mK] | Resistenza termica [Km/W] |
|---|------------------------------------|---|--|---------------------------|
| ZONA NORD<br>[46°02'48"N<br>11°07'58"E] | 1-A-100                            | TIPO 1  | 3.22                                       | 0.09                      |
|   | 2-A-150                            | TIPO 1  | 3.31                                       | 0.09                      |
|   | 3-B-100                            | TIPO 2  | 3.13                                       | 0.08                      |
|   | 4-B-150                            | TIPO 2  | 4.70                                       | 0.07                      |
|   | 5-C-100                            | TIPO 1  | 3.07                                       | 0.09                      |
| ZONA SUD<br>[46°02'45"N<br>11°07'58"E]  | 6-B-150                            | TIPO 2  | 4.05                                       | 0.07                      |
|   | 7-D-150                            | TIPO 1 dal fondo fino a circa -40m dal p.c.;<br>TIPO 2 per la chiusura superficiale del foro. | 3.70                                       | 0.07                      |
|   | 8-D-150                            | TIPO 1 dal fondo fino a circa -40m dal p.c.;<br>TIPO 2 per la chiusura superficiale del foro. | 3.64                                       | 0.07                      |

TIPO 1 = materiale di riempimento commerciale premiscelato costituito da bentonite, leganti minerali cementizi ed altri composti minori ( $\lambda=2\text{W/mK}$ );

TIPO 2 = materiale di riempimento commerciale premiscelato costituito da bentonite, cemento da alti forni e sabbia quarzosa fine ( $\lambda=2\text{W/mK}$ );

A = perforazione ad aria compressa e *grouting* tipo 1;

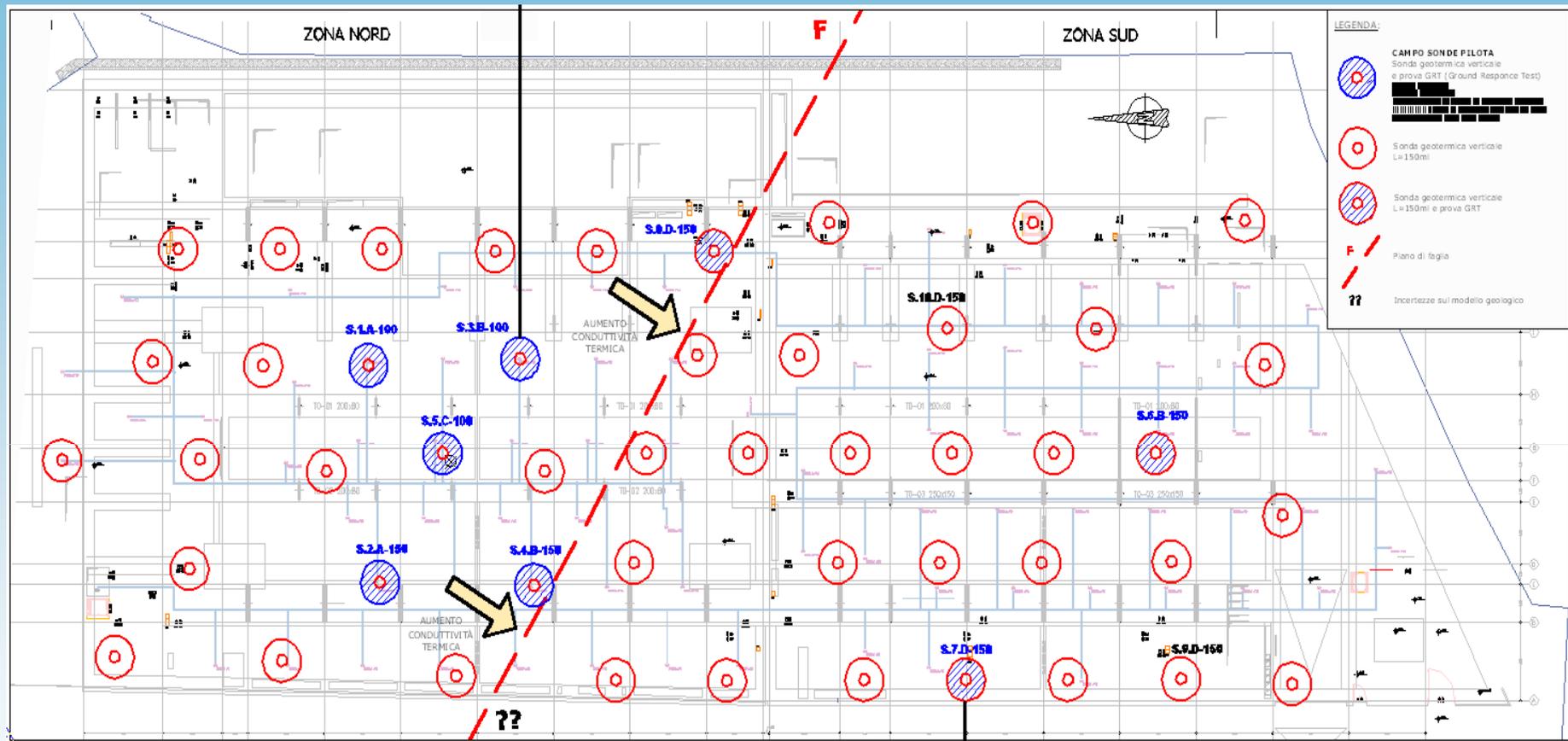
B = perforazione ad aria compressa e *grouting* tipo 2;

C = perforazione ad acqua e polimero con tricorno e *grouting* tipo 2;

D = perforazione ad aria compressa e *grouting* eterogeneo: tipo 1 dal fondo (da -150m fino a circa -40m); tipo 2 per la chiusura superficiale del foro.

100-150 = indica la profondità in metri dal p.c. della sonda geotermica verticale (SGV).

# S.BARTOLOMEO TRENTO (600KW / 8.000m previsti)



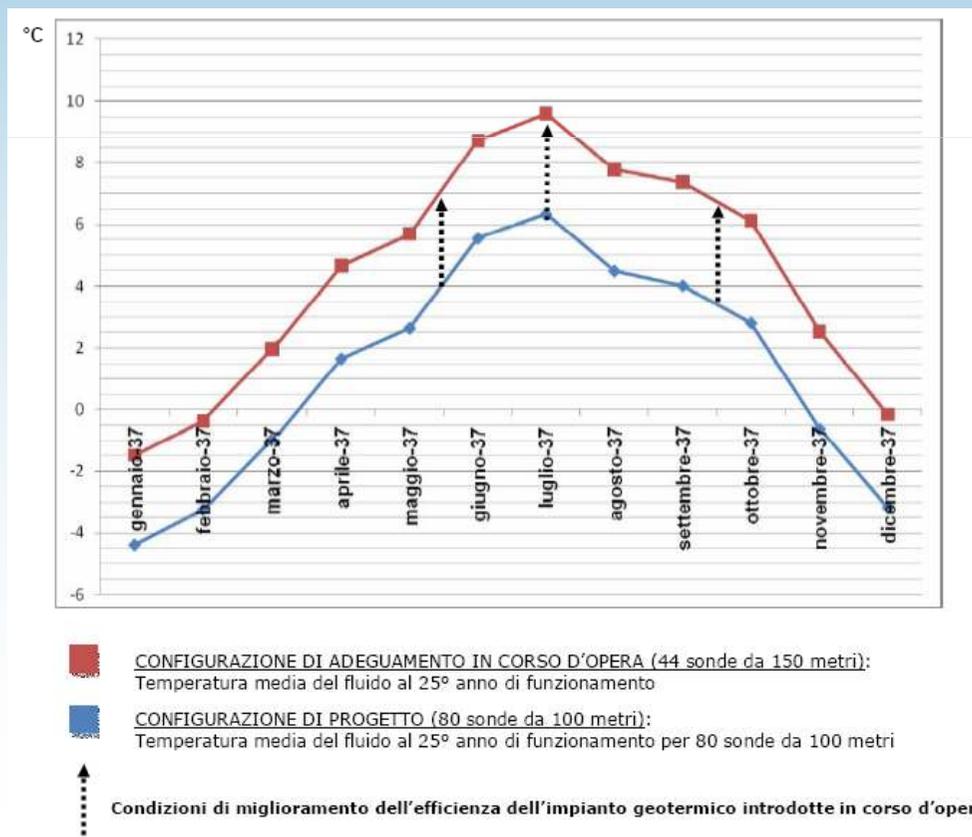
PROGETTO: N.80 SONDE DA 100m DISTANZA 7.0m

# SAN BARTOLOMEO

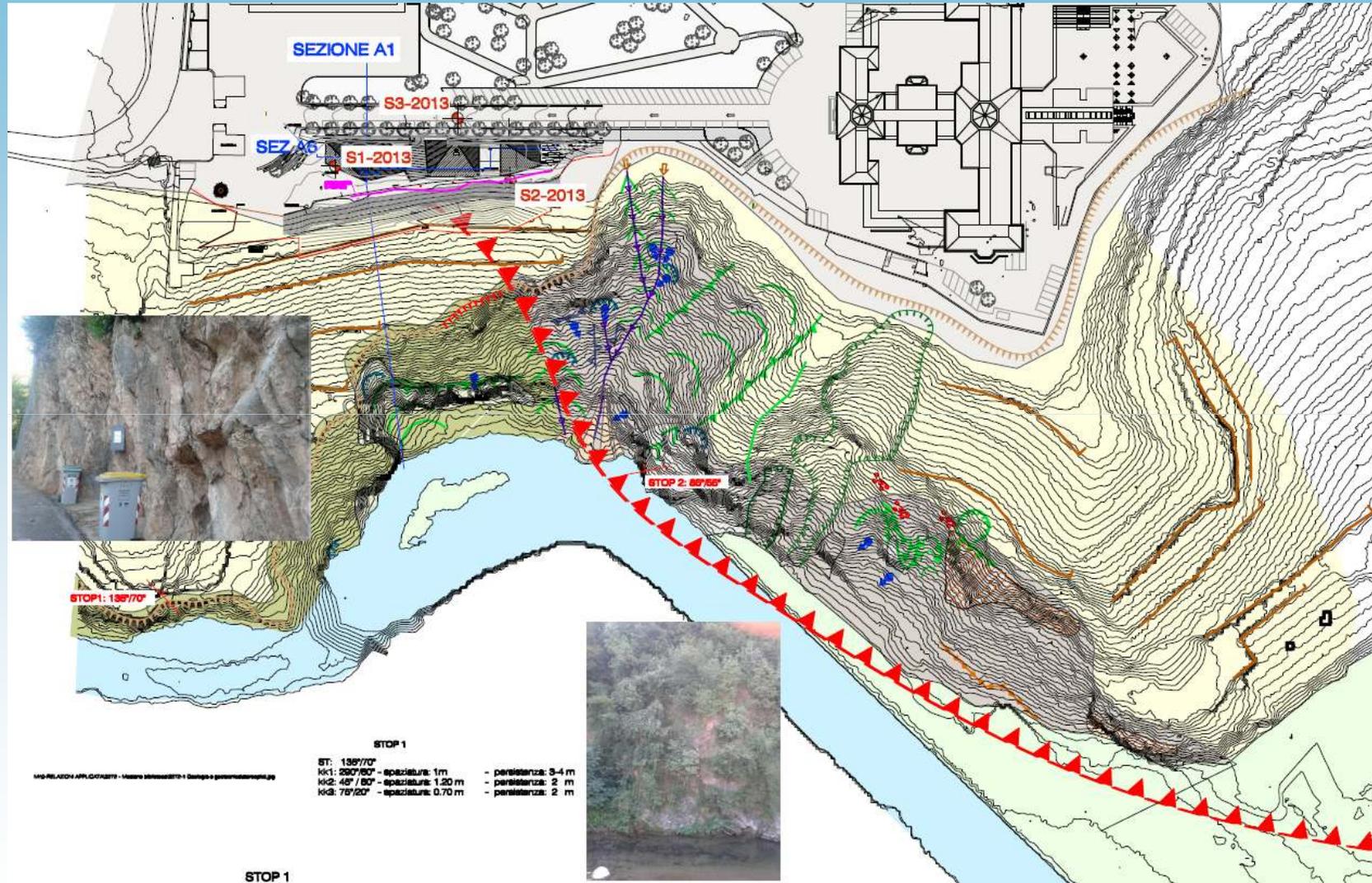
CASO A (600KW / 8.000m previsti / 6.900m realizzati):

- **Condizioni geologiche MOLTO FAVOREVOLI;**
- **RIDUZIONE (-13.7%)**

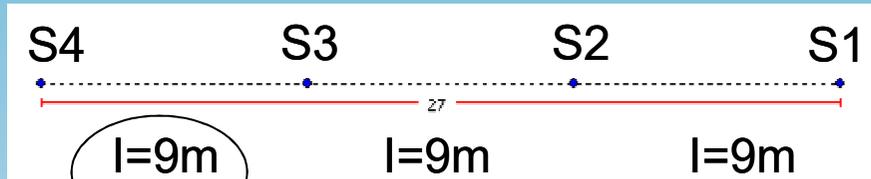
IN CORSO D'OPERA: N.46 SONDE DA 150m DISTANZA 10.0m PER AUMENTARE IL VOLUME EFFICACE DATE LE CONDIZIONI FAVOREVOLI DI GEOSCAMBIO



# BIBLIOTECA DI MESIANO: VERIFICA IN CORSO D'OPERA



# DIMENSIONAMENTO DI PROGETTO: 40KW / 560m previsti



L=140m cad.

Conducibilità termica  
di riferimento progettuale:

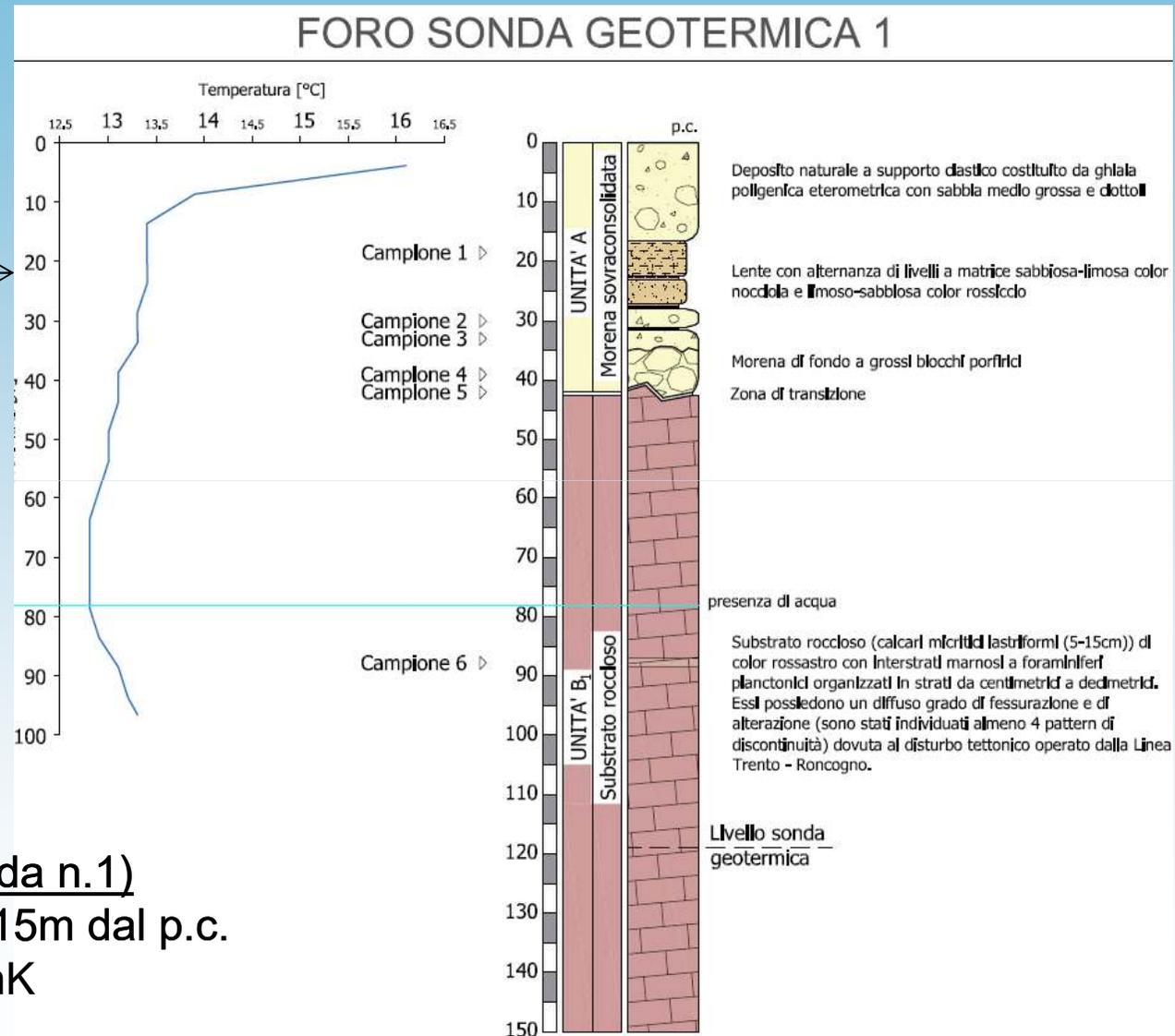
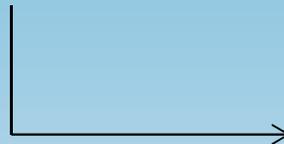
$$\lambda = 2.80 \text{ W/mK}$$

VOLUME ELEMENTARE  
DI GEOSCAMBIO  
SIGNIFICATIVO



# BIBLIOTECA: VERIFICA IN CORSO D'OPERA

## LOGS IN FORO



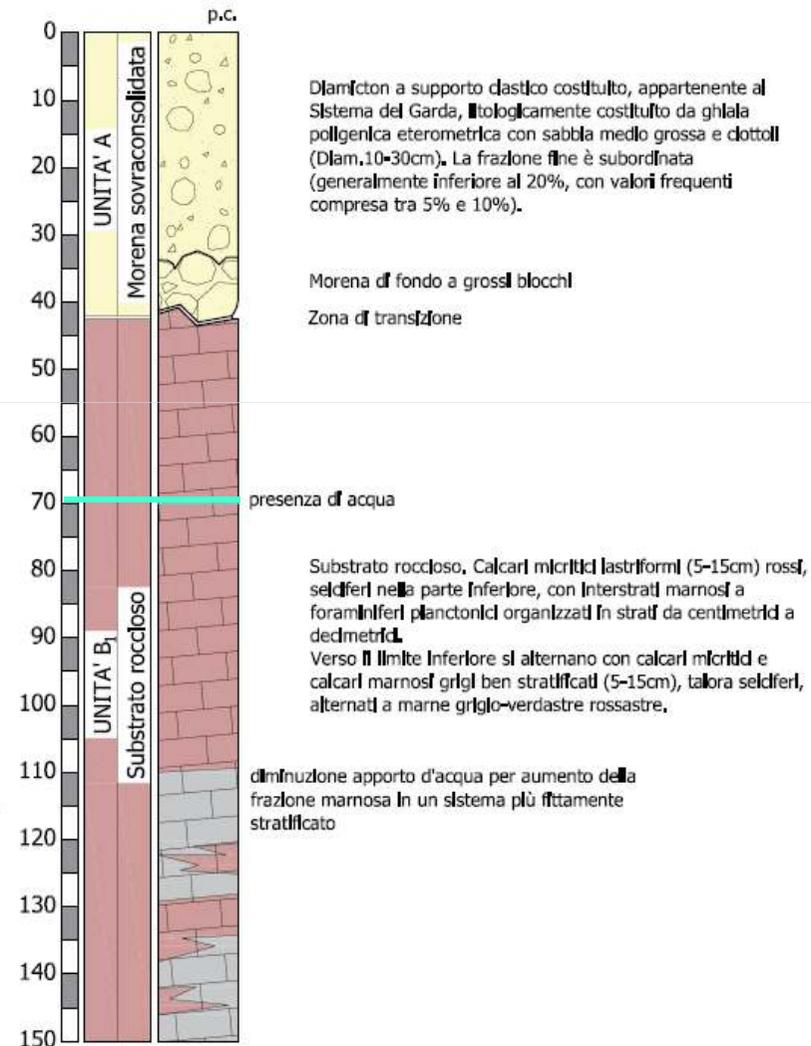
PROVA GRT (sonda n.1)

fino alla profondità di 115m dal p.c.

$$\lambda = 2.72 \text{ W/mK}$$

# BIBLIOTECA: VERIFICA IN CORSO D'OPERA

## FORO SONDA GEOTERMICA 2, 3 e 4



PROVA GRT (sonda n.4)  
fino alla profondità di 146m dal p.c.  
 $\lambda = 3,24 \text{ W/mK}$

Campione 7 >

## BIBLIOTECA: VERIFICA IN CORSO D'OPERA

|                                   | n. sonde<br>costituenti<br>il campo<br>sonde | Lunghezza<br>complessiva<br>$L_{TOT}$ [m] |  | $\Delta$<br>[+/-] | Conduktività termica<br>$\lambda$ [W/mK] |                    | $\Delta$<br>[+/-] |
|-----------------------------------|--|---|--|-------------------|--|--------------------|-------------------|
|                                   |  |   |  |                   | da GRT                                   | MEDIA<br>PONDERATA |                   |
| PREVISIONE<br>DI PROGETTO         | 4  | 4x140 = 560                               |  | 0%                | <b>2.80</b>                              |                    | 0%                |
| REALIZZATO<br>IN CORSO<br>D'OPERA | 4  |   |  | -1.3%             | da GRT                                   |                    | <b>3.13</b>       |
|                                   |  |   |  |                   | 2.72                                     |                    |                   |
|                                   |  | 3.24                                      |  |                   | <b>+12%</b>                              |                    |                   |

La media ponderata dei valori di conduttività termica misurati in corso d'opera, che rappresenta pertanto **il valore caratteristico di conduttività termica del volume significativo di terreno coinvolto nello scambio da parte del campo sonde realizzato**, risulta pari  $\lambda=3.13\text{W/mK}$  e supera del **+12%** circa i valori stimati ed adottati nel modello di previsione di progetto.

## CESBE – CLASSI DI EFFICIENZA:

**CLASSE E** : il campo sonde geotermico di progetto viene controllato ed è verificata semplicemente la corretta posa in opera

**CLASSE EE** : viene eseguito un campo sonde pilota, con logs in foro e prove GRT di supporto alle simulazioni con software di calcolo per l'ottimizzazione del dimensionamento al modello geologico-geotermico locale

**CLASSE EEE** : l'edificio di progetto è dotato di impianto di produzione di energie rinnovabili, capaci di compensare completamente il consumo della pompa di calore geotermica

**CLASSI EE(+), EEE(+)**: il sistema geotermico è dotato di dispositivi per il monitoraggio nel tempo del modello di geoscambio

# CESBE - CLASSE EE



| <b>ESBE - CERTIFICAZIONE ENERGETICA</b><br><b>EFFICIENZA DI SONDE GEOTERMICHE A BASSA ENTALPIA</b><br>PROTOCOLLO DI VERIFICA E COLLAUDO STANDARDIZZATO DEL CAMPO SONDE GEOTERMICO |                 |
|---|-----------------|
| COMMITTENTE   |                 |
| OPERA   |                 |
| PROGETTISTA<br>(IMPIANTO GEOTERMICO)  |                 |
| DIRETTORE DEI LAVORI  |                 |
| GEOLOGO PER LA PROGETTAZIONE  |                 |
| ASSISTENZA GEOLOGICA IN CORSO D'OPERA   |                 |
| DATA INIZIO LAVORI (CAMPO GEOTERMICO)   |                 |
| DATA FINE LAVORI (CAMPO GEOTERMICO)   |                 |
| POTENZA DELL'IMPIANTO (KW)  |                 |
| LUNGHEZZA COMPLESSIVA DELLE SONDE<br>GEOTERMICHE REALIZZATE (m)   |                 |
| PROFONDITÀ SONDE GEOTERMICHE REALIZZATE   |                 |
| MODELLO DI CERTIFICAZIONE   | MOD.ESBE_E02/12 |

## 1. AMMISSIBILITÀ NORMATIVA E AUTORIZZATIVA DELL'IMPIANTO GEOTERMICO

- L'impianto geotermico di progetto risulta ammissibile rispetto ai vincoli individuati dal \_\_\_\_\_ ai sensi del \_\_\_\_\_.
- In data .../.../... è stata inviata/depositata c/o l'Ente competente \_\_\_\_\_ la seguente documentazione \_\_\_\_\_ n.prot. \_\_\_\_\_ come previsto ai sensi \_\_\_\_\_ (vedi allegati).
- Non sussistono normative locali di settore.

## 2. CLASSIFICAZIONE DELLA POTENZA DELL'IMPIANTO GEOTERMICO

- ≤ 30 KW       > 30 KW

## 3. CAMPO SONDE PILOTA: PROVE GRT E LOGS IN FORO

a) sono state effettuate n. .... prove GRT (Groud Response test) e n. .... logs in foro (geofisici, termometrici ecc....)

b) i parametri geotermici ottenuti dalla prova GRT (conduttività termica e resistività dello scambiatore) presentano i seguenti valori:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

c) i parametri ottenuti dai logs in foro presentano i valori di seguito riassunti:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

d) i valori di cui ai punti b) e c)

- confermano i valori stimati di progetto ed adottati per il dimensionamento dell'impianto
- presentano valori migliorativi rispetto a quelli stimati di progetto (vai alle simulazioni del campo sonde geotermico del cap.4)
- presentano valori peggiorativi rispetto a quelli stimati di progetto (vai alle simulazioni del campo sonde geotermico del cap.4)

## 4. SIMULAZIONI CON SOFTWARE DI CALCOLO E CONSEGUENTE ADEGUAMENTO ED OTTIMIZZAZIONE DEL DIMENSIONAMENTO DEL CAMPO SONDE GEOTERMICO

a) Al fine dell'accreditamento certificato della serie EE, sono state effettuate simulazioni con il software di calcolo denominato \_\_\_\_\_, utilizzando un approccio di calcolo e di simulazione tipo:

- analitico

# CESBE - CLASSE **EE**

|  |             |           |
|--|-------------|-----------|
|  FONDAZIONE<br>BRUNO KESSLER | <b>ESBE</b> | <b>EE</b> |
|--|-------------|-----------|

Vista la documentazione fornita e le dichiarazioni dei tecnici incaricati.

Sulla base delle valutazioni dell'Ente certificatore in merito al presente procolo di verifica e collaudo standardizzato del campo sonde geotermico in esame.

L'Ente certificatore, visti i risultati delle simulazioni condotte finalizzate all'adeguamento ed ottimizzazione del campo sonde geotermico di progetto, dell'esito positivo delle verifiche, dei collaudi e delle dichiarazioni di idoneità tecnico-normative previste dal presente protocollo standardizzato di efficienza di sonde geotermiche a bassa entalpia (ESBE), emette la seguente certificazione energetica relativa al campo sonde geotermico di cui in oggetto.

|   |   |
|---|---|
| <b>ESBE</b>   |   |
| <b>CERTIFICAZIONE ENERGETICA</b>  |   |
| <b><u>EFFICIENZA DI SONDE GEOTERMICHE A BASSA ENTALPIA</u></b>              |   |
| PROTOCOLLO DI VERIFICA E COLLAUDO STANDARDIZZATO DEL CAMPO SONDE GEOTERMICO |   |
| COMMITTENTE   | UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO              |
| OPERA   | BIBLIOTECA UNIVERSITÀ DI INGEGNERIA - MESIANO |
| MODELLO DI CERTIFICAZIONE   | MOD.ESBE_E02/12                               |
| <b>SERIE ACCREDITATA</b>  | <b>EE</b>                                     |

## **CAMPO SONDE VERIFICATO ED OTTIMIZZATO IN CORSO D'OPERA SULLA BASE DEI RISCONTRI GEOLOGICI**

IL MONITORAGGIO NEL TEMPO DEL SISTEMA A DOPPIA POMPA  
DI CALORE (GEOTERMICO E ARIA) POTRA' DARE DELLE  
SIGNIFICATIVE INFORMAZIONI SUI RENDIMENTI ED I RELATIVI  
COSTI DI ESERCIZIO DEI DUE SISTEMI MESSI A CONFRONTO

# **GRAZIE !**



**Geologia Applicata**

STUDIO ASSOCIATO

Via del Teroldego 1, 38016 Mezzocorona (TN)  
0461/605904 - info@geologiaapplicata.it



**dott. geol. Lorenzo CADROBBI**  
**dott. geol. Daniele FIORONI**  
**dott. ing. Oscar NICHELATTI**