

Definizione e attuazione di interventi per l'efficientamento e il risparmio energetico a servizio di musei e siti archeologici e monumentali di particolare rilevanza a valere sulle linee di attivita' 2.2 e 2.5 del Programma operativo Interregionale "Energie rinnovabili e risparmio energetico" (FESR) 2007-2013



Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013
Una scelta illuminata



MUSEO ARCHEOLOGICO DI SCOLACIUM - ROCCELLETTA DI BORGIA (CZ)



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



INVITALIA



ATTIVITÀ TECNICHE

INVITALIA

ATTIVITÀ PRODUTTIVE

Invitalia Attività Produttive S.p.A.
VIA PIETRO BOCCANELLI 30 - 00138 - ROMA

DIRETTORE TECNICO:

Dott. Ing. MASSIMO MATTEOLI

COORDINAMENTO DELLA PROGETTAZIONE: Dott. Ing. ENRICO FUSCO

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA :

Dott. Arch. LORENZO ANNONI
Dott. Arch. GIULIA LEONI

COLLABORATORI:

Sig. PATRIZIA FOGLI
Dott. Arch. TERESA VINCENTI
Dott. Arch. CAROLINA GNECCO
Geom. LUIGINO D'ANGELANTONIO

STUDIO DI PREFATTIBILITÀ AMBIENTALE:

Dott. FEDERICA MERINGOLO

COLLABORATORI:

Dott. ERNESTO BERNARDO

PROGETTAZIONE IMPIANTISTICA :

Dott. Ing. PIERLUIGI ROSATI

COLLABORATORI:

Dott. Ing. DONATA FRULLANI
Dott. Ing. MASSIMO LOBINA
Dott. Ing. OSVALDO PITORRI
P.I. MAURIZIO PASCUCCI
Sig. LUIGI MAGGI
Sig. ENNIO REGNICOLI
P.I. MASSIMO MATTIONI
Dott. Ing. CHRISTIAN GASBARRI

COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. FERRUZZI ANDREA

COLLABORATORI:

Dott. Ing. LORENZO MORRA

PROGETTAZIONE STRUTTURALE :

Dott. Ing. LETTERIO SONNESSA

COLLABORATORI :

Sig.ra PATRIZIA FOGLI

RELAZIONE GEOLOGICA:

Dott. Geologo MARCO DI PILLO

- PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO INTEGRATO -

ELABORATO

Documenti generali
Relazione geognostica

	DATA	NOME	FIRMA
REDATTO			
VERIFICATO		DI PILLO	
APPROVATO	Luglio 2013	MATTEOLI	
DATA	07/2013	RI-04	
SCALA	-		
CODICE FILE	057BORGIA03-D-RI-04.dwg		

REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI
---	---	---
---	---	---
---	---	---

Parco Archeologico di *Scolacium* - Roccelletta di Borgia (CZ)

Comune di Catanzaro



Esecuzione di indagini geognostiche finalizzate alla realizzazione ed al dimensionamento di geoscambiatori di calore nel sottosuolo, a supporto della progettazione definitiva per appalto integrato di un impianto geotermico a bassa entalpia da realizzarsi presso il Parco Archeologico di *Scolacium* (CZ)

Committente: INVITALIA ATTIVITA' PRODUTTIVE S.p.A.

Il Professionista incaricato: Dott. Geol. Roberto Troncarelli

Roma, Novembre 2013

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRUTTURALE GENERALE	5
4	CARATTERI GEOMORFOLOGICI.....	8
5	CARATTERI IDROGEOLOGICI	9
6	CARATTERI STRATIGRAFICI LOCALI.....	11
7	CARATTERI IDROGEOLOGICI LOCALI.....	14
8	ASSETTO GEOLOGICO-TECNICO	14
9	LAVORI REALIZZATI ED INDAGINI ESEGUITE	16
10	GEOTHERMAL RESPONSE TEST.....	26
10.1	PROCEDIMENTO DI CANTIERE	26
10.2	ATTREZZATURA DI PROVA.....	27
10.2.1	Datasheet minimale della macchina.....	28
10.2.2	Strumenti di misura	29
10.3	PRINCIPI FISICI ALLA BASE DEL TEST	30
10.3.1	Basi teoriche	30
10.3.2	Determinazione “in situ” delle variabili.....	31
10.3.3	Schema di funzionamento della macchina di prova.....	32
10.3.4	Validità dei risultati	34
10.4	ESECUZIONE DEL TEST	35
10.4.1	Caratteristiche della sonda testata.....	35
10.4.2	Temperatura indisturbata del terreno	36
10.4.3	GRT	38
10	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	45
	ALLEGATO 3: DATI GREZZI	49

ALLEGATI

1. Tabella di riferimento prestazioni sonda geotermica.
2. Certificazione esecuzione “Temperatura indisturbata” e “Prova di flusso”.
3. Tabulati dati grezzi del GRT.

1 PREMESSA

Su incarico di “INVITALIA ATTIVITA’ PRODUTTIVE S.p.A.” è stata redatta la presente relazione specialistica atta a definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche dell’area ubicata presso il Parco Archeologico di *Scolacium*, nel settore pianeggiante a ridosso della costa Jonica calabrese in località Roccelletta di Borgia (CZ); a tal fine è stata realizzata una perforazione di 100 ml da p.c. per la determinazione della sequenza litostratigrafia locale del sottosuolo ed il rinvenimento dell’eventuale livello di falda profonda.

Nell’ambito di un più generale progetto di efficientamento energetico di parte degli ambienti della struttura museale e nell’ottica specifica di valutare la possibilità di realizzare un impianto geotermico per la climatizzazione invernale ed estiva, è stato eseguito un Geothermal Response Test (GRT) in una sonda geotermica di prova, installata nella perforazione eseguita, al fine di determinare con accurata precisione la risposta termica del terreno e della sonda stessa e definire i necessari parametri e coefficienti per la progettazione. In particolare, l’analisi dei risultati del test porta alla determinazione della temperatura indisturbata media (T_m) del terreno, la conducibilità termica media effettiva (λ) del suolo interessato e della resistenza termica (R_b^*) della sonda geotermica posata.

L’utilizzo, infatti, di valori di letteratura di tali parametri e coefficienti, stimati in base a caratteristiche “tipo” della sonda e di λ , tabellati in base a stratigrafia del terreno non sito specifiche, può indurre a considerevoli errori di dimensionamento per realizzazioni di grandi dimensioni (potenza termica nel terreno superiore ai 30 kW e in generale un numero di sonde superiore a 10), con il rischio di sottovalutare la variazione termica sul lungo periodo del terreno interessato dal campo geotermico.

Il test GRT è iniziato il 29/10/2013 per una durata effettiva di circa 60 ore, mediante l’utilizzo di un’attrezzatura mobile. L’esecuzione della perforazione è stata effettuata secondo le "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" - A.G.I. (1977) e secondo le NORME UNI “Impianti geotermici a bassa temperatura con pompe di calore”.

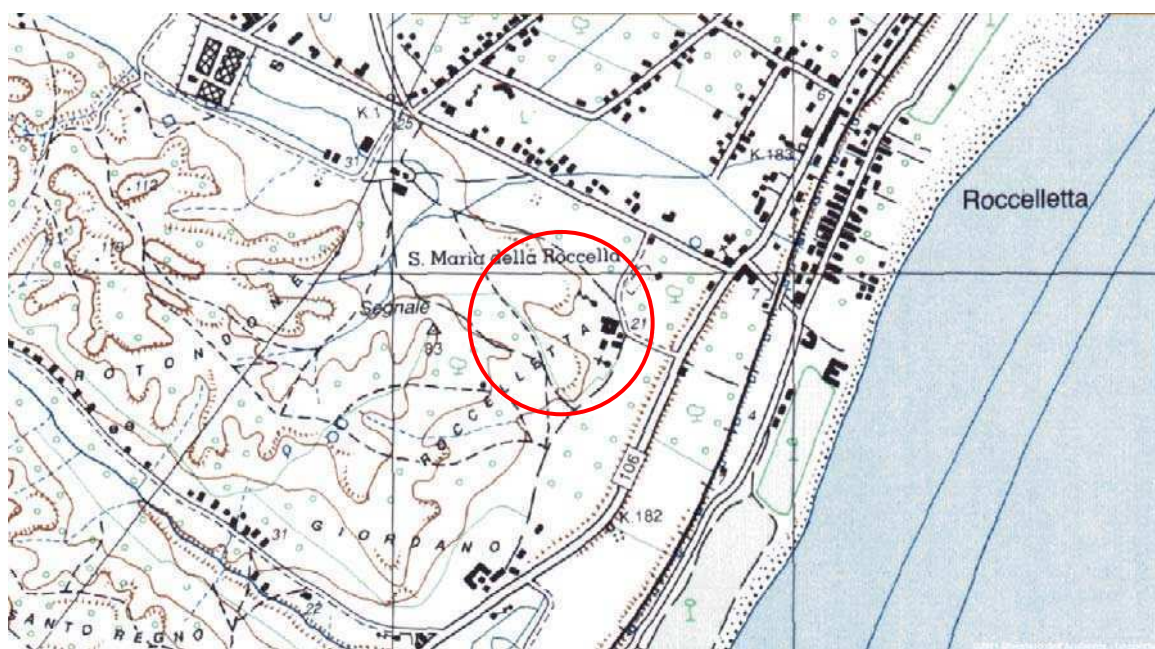
I dati riportati nel presente documento sono in accordo alle vigenti normative tecniche circa le indagini sui terreni e sulle rocce, e la realizzazione di scavi e di fondazioni sia superficiali che profonde: D.M. LL.PP. n° 47 del 11 Marzo 1988, con relative circolari applicative; D.M. 14 gennaio 2008 - NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La zona oggetto dello studio è ubicata a circa 2 Km di distanza in direzione SW dalla città di Catanzaro Lido (Costa Jonica calabrese), nel settore pianeggiante a ridosso del litorale, con quote topografiche che si attestano a circa 25 m s.l.m.. Il punto in cui è stata realizzata la perforazione e la sonda geotermica di prova dista circa 50 m dall'area adibita a Museo all'interno dell'area del Parco archeologico.



Figura 1 – inquadramento geografico dell'area



Ubicazione dell'area

Figura 2 - Stralcio della Carta I.G.M. – Foglio 575 - tavoletta II - scala 1:25.000.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRUTTURALE GENERALE

Per l'inquadramento geologico - tettonico dell'area di studio, si è fatto riferimento prevalentemente allo studio, prodotto dal C.N.R., "CARTA UTOLOGICA-STRUTTURALE E DEI MOVIMENTI IN MASSA DELLA STRETTA DI CATANZARO" (Loredana Antronico, Carlo Tansi, Marino Sorriso- Valvo, Giovanni Gulla) e alla "Relazione geologica" allegata al "Progetto preliminare" per la "Definizione e attuazione di interventi per l'efficientamento e il risparmio energetico a servizio di musei e siti archeologici e monumentali di particolare rilevanza a valere sulle linee di attività 2.2 e 2.5 del Programma operativo Interregionale "Energie rinnovabili e risparmio energetico" (FESR) 2007-2013" a cura del Dott. Geol. Marco Di Pillo.

La Stretta di Catanzaro anche denominata "graben di Catanzaro" (Tansi et al., 1998) è una depressione tettonica colmata da depositi plio-quadernari. La suddetta depressione è stata strutturata da faglie sub-verticali con direzioni prevalenti ONO-ESE per lo più normali, con una componente trascorrente sinistra che talora può diventare predominante. Il graben è interposto tra due horst costituiti da unità cristallino-metamorfiche paleozoiche appartenenti all'Arco calabro-peloritano (Amadio- Morelli et al., 1976) rappresentati, rispettivamente, dalle propaggini più meridionali dei sistemi Catena Costiera- Altopiano Silano e da quelle più settentrionali del Massiccio delle Serre. Lungo il bordo settentrionale del "graben di Catanzaro", la faglia "Gizzeria- Nicastro-Pianopoli-Marcellinara" rappresenta l'elemento tettonico più rilevante su scala regionale poiché giustappone i litotipi cristallino metamorfici paleozoici del sistema Catena Costiera-Sila ai depositi plio-quadernari. Il tratto occidentale della scarpata della suddetta faglia è marcato da conoidi di deiezione di dimensioni rilevanti. Le faglie che compongono il bordo

meridionale del graben di Catanzaro sono assai meno evidenti e sono riconducibili alle sole direttrici "Jacurso-Copanello" e "Maida-Case San Fantino", che segnano il limite tra i litotipi cristallini appartenenti al Massiccio delle Serre e i depositi sedimentari plio-quadernari che colmano il graben. In questo settore si riscontra inoltre un'assenza di conoidi di deiezione.

L'horst del sistema Catena Costiera-Altopiano Silano, è costituito da rocce cristallino-metamorfiche paleozoiche d'origine alpina riferibili all'Arco calabro - peloritano e da rocce carbonatiche giurassiche appartenenti a una sottostante catena appenninica neogenica, localmente affioranti in finestra tettonica.

Al di sopra della catena alpina sovrascorre l'Unità di Stilo, costituita da un "basamento" Paleozoico (composto da filladi e graniti), ricoperto da rocce carbonatiche, conglomerati ed arenarie del Triassico-Cretaceo superiore. La sottostante catena appenninica è rappresentata da rocce carbonatiche triassiche appartenenti al Complesso Panormide (Ogniben, 1973). Le varie unità di catena sono ricoperte in discordanza da sedimenti terrigeni del Miocene superiore - Pliocene inferiore interessati da trasporto orogenico (Amodio- Morelli et al., 1976) riferibili a due distinti cicli sedimentari (Di Nocera et al., 1974): un ciclo Tortoniano superiore-Messiniano, rappresentato da conglomerati a ciottoli di rocce cristalline e calcareniti bioclastiche, ed un ciclo Messiniano- Pliocene inferiore, rappresentato da conglomerati a ciottoli di rocce evaporitiche e calcaree e da sabbie.

Su un substrato costituito dalle unità di catena e dai depositi tortoniano - pliocenici, poggiano le coperture terrazzate d'età pleistocenica costituite da conglomerati e sabbie d'origine marina e continentale. I terrazzi affiorano a differenti altezze e sono delimitati da inner edges che spesso corrispondono alla base delle scarpate delle principali faglie normali. In corrispondenza dell'horst del Massiccio delle Serre le unità di catena sono rappresentate dalla sola Unità di Polia-Copanello (Amodio-Morelli et al., 1976). Le rocce gneissiche che la costituiscono sono ricoperte da potenti coltri d'alterazione pleistoceniche. Sopra la suddetta unità e della relativa coltre d'alterazione poggiano coperture terrazzate marine e continentali pleistoceniche con caratteri del tutto simili a quelli affioranti nel settore settentrionale dell'area di studio. I litotipi affioranti nell'area della Stretta di Catanzaro appartengono ai depositi plio-quadernari, questi, così come riportati nella Carta geologica della Calabria in scala 1:25.000 (Casmuz, 1967) e nel lavoro "Proposta metodologica per la valutazione di indicatori di pericolo e rischio da frana a scala intermedia: l'area della Stretta di Catanzaro (Calabria, Italia)" di G. Gulla et alii; risultano essere:

DEPOSITI OLOCENICI: sono rappresentati dai sedimenti fluviali, dune e sabbie eoliche, detriti di frana e dai depositi di conoidi affioranti prevalentemente lungo il bordo settentrionale del graben di Catanzaro.

DEPOSITI PLEISTOCENICI TERRAZZATI: sono stati distinti in depositi continentali e depositi marini. I depositi terrazzati d'origine continentale sono costituiti da conglomerati con ciottoli cristallini in una matrice sabbiosa grossolana intercalati da livelli sabbiosi. I depositi terrazzati d'origine marina comprendono conglomerati di facies deltizia e sabbie talora fossilifere intercalate da orizzonti ghiaiosi e conglomeratici.

COLTRI D'ALTERAZIONE PLEISTOCENICHE: comprendono conglomerati e sabbie residuali corrispondenti all'orizzonte d'alterazione degli gneiss dell'Unità di Polia Copanello. Lo spessore è dell'ordine dei metri.

SEDIMENTI ORTONIANO-PUOCENICI. Sotto questa denominazione sono stati raggruppati sia i depositi medio-Supra pliocenici di riempimento del graben di Catanzaro, sia i depositi terrigeni del Miocene superiore Pliocene inferiore (Di Nocera et al., 1974):

- "Depositi prevalentemente argillosi".
- Comprende depositi infra-pliocenici rappresentati da argille siltose da grigio chiare a brune con intercalazioni sabbiose, siltose e marnose e depositi alto-miocenici rappresentati da argille sabbiose e siltose di colore prevalentemente grigio con lenti di gesso e con intercalazioni sabbioso-arenacee.
- "Depositi prevalentemente sabbiosi ed arenacei. Comprende depositi del Pliocene medio-superiore rappresentati da sabbie brune a grana da media a fine con intercalazioni frequentemente siltose e raramente conglomeratiche, localmente fossilifere e a stratificazione incrociata, da depositi alto-miocenici rappresentati da arenarie a cemento calcareo e sabbie a grana da fine a grossolana con intercalazioni di argille e silt e con occasionali sottili orizzonti di gesso e di calcare.
- "Depositi prevalentemente conglomeratici". Comprende depositi del Pliocene medio-superiore rappresentati da conglomerati ben costipati e cementati a ciottoli arrotondati di rocce ignee e metamorfiche con orizzonti sabbiosi e da depositi alto miocenici rappresentati da conglomerati rossi e bruni con ciottoli poco arrotondati e mal classati di rocce cristalline e calcaree, immersi in una matrice sabbiosa grossolana e localmente argillosa, caratterizzati nelle porzioni sommitali da blocchi di gesso di dimensioni rilevanti.
- "Rocce evaporitiche e bioclastiche". Comprende litotipi alto miocenico rappresentati da gessi macrocristallini massicci intercalati da sottilissimi livelli di sabbie fini e da calcari evaporitici vacuolari di colore biancastro.



Fig. 3 - Carta geologica – 1: 100.000 strutturale della penisola di Crotona (Gliozzi-1987)

Il sito in esame Interessato dalla progettazione si trova nella zona di ampia pianura costiera, larga alcune centinaia di metri, compresa tra la linea di costa a EST e il piede delle colline che bordano la piana stessa a Nord e a Ovest.

Dalla linea di costa la superficie topografica si eleva con pendenza molto moderata e costante fino a una quota di circa 20 metri s.l.m., per passare, con un brusco cambio di pendenza, ad un innalzamento delle quote che si elevano, verso l'interno, fino a circa un centinaio di metri s.l.m. Lungo i fianchi delle colline sono presenti diversi fenomeni di erosione accelerata dei terreni, che talvolta danno origine a piccoli distacchi con accumulo al piede dei versanti. L'area interessata dalla progettazione, si trova al piede delle suddette colline, ma le stesse non sono interessate da fenomeni di dissesto e deformazione gravitativa in atto, come inoltre desunto dalla banca dati del PAI della Regione Calabria, di seguito descritti. La fascia costiera è attraversata da diversi corsi d'acqua, questi sono di regime idraulico torrentizio, si presentano caratterizzati da alvei ampi e poco profondi (fiumare), a essi confluiscono inoltre numerosi corsi d'acqua minori.

Tali corsi d'acqua sono gli elementi morfologicamente attivi nei pressi dell'area Interessata dal progetto; tra questi quelli di maggior importanza che si rilevano sono il fiume Corace, il quale sfocia a 1,5 km circa a NE, dell'area di Interesse, il Torrente Fiumarella posto a circa 1,5 km a N e che confluisce nel Corace, il fosso Donacci posto a circa 0,5 km a Nord e il Vallone Rotondone posto a circa 1 km a Sud dall'area di interesse.

Come sopra riportato, i corsi d'acqua presentano alvei ampi da alcuni ad alcune decine di metri e poco profondi, scarsamente incisi, in genere 1-3 metri rispetto al territorio circostante.

Il regime schiettamente torrentizio presenta portate relativamente scarse nel semestre estivo e molto maggiori in quello invernale.

In condizioni eccezionali (piogge intense e concentrate in brevi periodi), le portate dei corsi d'acqua possono aumentare, anche se per brevissimi periodi di tempo, in maniera notevole, esondando, nelle aree adiacenti ai due lati dell'alveo; a tali eventi contribuiscono anche le particolari caratteristiche morfologiche delle aste fluviali, corsi brevi e rettilinei ed i bacini idrografici, poco estesi ma notevolmente acclivi e talora anche un cattivo stato di manutenzione e pulizia degli alvei stessi. L'area interessata dalla progettazione, come ricavato dalla banca dati del PAI della Regione Calabria, non ricade all'interno di aree interessate da fenomeni di rischio idraulico, tali dati verranno di seguito esposti.

Per le considerazioni sopra riportate ci si è avvalsi anche della Carta Geomorfologica Zona Est, elaborato del Piano Strutturale Associato Quadro Conoscitivo - Comuni: Cortale, Amaroni, Borgia, Caraffa, Girifalco; San Floro, Settingiano, a cura di Geol. Eraldo Rizzuti; di seguito si riporta uno stralcio della stessa, con gli elementi della legenda che interessano soltanto la zona oggetto dell'attività di progettazione preliminare.

Dallo stralcio della suddetta Carta Geomorfologica, si rileva a NW dell'area di interesse, nella parte sommitale dei rilievi collinari, una porzione di territorio interessato da fenomeni di intensa erosione.

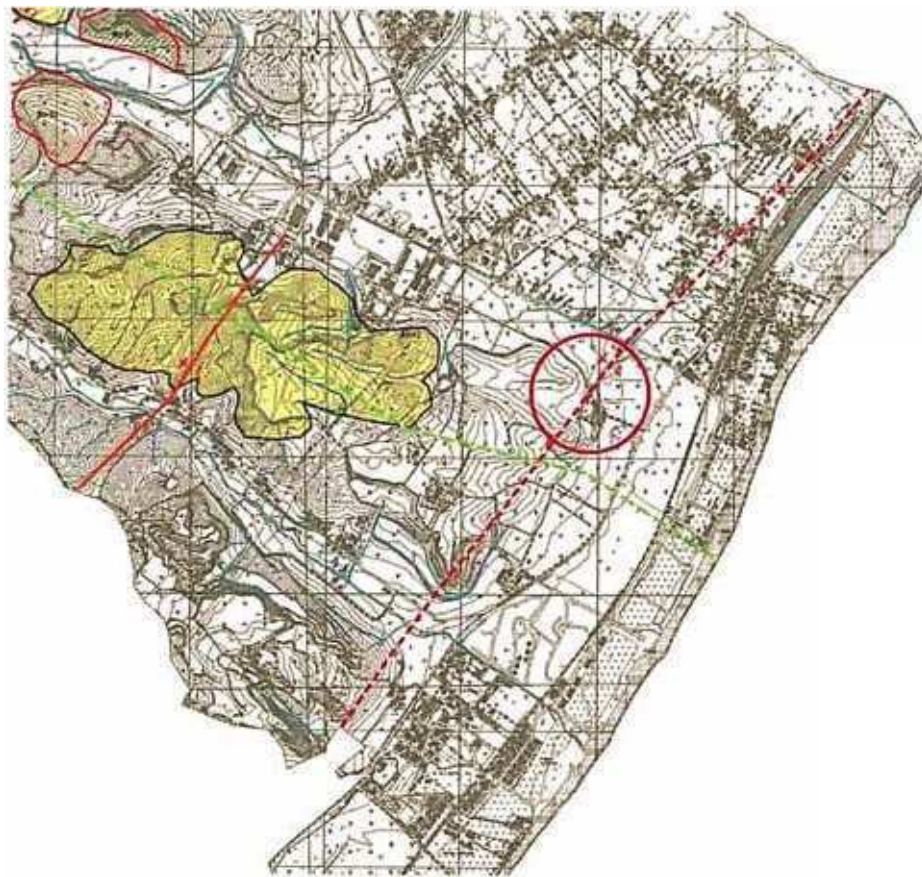


Figura 4 - Stralcio della Carta Geomorfologica Zone Est – Tav 2°, elaborato del Piano Strutturale Associato – Comuni; Cortale, Amaroni, Borgia, Caraffa, Girifalco, San Florio, Settingiano (a cura di Geol. Eraldo Rizzuti)

Il rilievo geomorfologico delle zone collinari prospicienti il sito di ubicazione della sonda geotermica di prova non ha rilevato dissesti di carattere gravitativo, quindi l'area può essere considerata stabile.

5 CARATTERI IDROGEOLOGICI

La zona di studio ricade nel bacino idrografico principale del Corace; la quasi totalità delle acque del versante meridionale della Sila e delle Serre Settentrionali vengono deviate nei corsi d'acqua del Corace verso lo Jonio e l'Amato verso il golfo di S. Eufemia, dalla Sella di Marcellinara che ne rappresenta lo spartiacque naturale.

Nei pressi dell'area si trova il su citato bacino idrografico principale del Corace, posto a circa 1,5 km a nord della stessa, questi ha una superficie di 294 Km² e una pendenza media del 28,17%; inoltre ancora più prossimo all'area si rileva bacino idrografico del fosso Donacci posto a circa 0,5 km a Nord, questi ha una superficie di 18,6 Km², e una pendenza media del 7,3 %; (dato ricavato da Autorità di Bacino Regionale - Regione Calabria - PAI)



Figura 5 – Stralcio dal sito web dell'Autorità di Bacino Regionale – Regione Calabria

La pluviometria è caratterizzata dalla concentrazione delle precipitazioni nel periodo Ottobre - Marzo con una flessione della quantità di precipitazioni nel periodo Aprile - Maggio cui segue un periodo di relativa aridità nel trimestre Giugno - Agosto. Un aumento repentino dei millimetri di pioggia si nota nel mese di Settembre che marca l'inizio della stagione delle piogge. Tale regime pluviometrico, caratterizzato da un semestre notevolmente piovoso e un semestre con scarse precipitazioni, fa assumere alle incisioni torrentizie dell'area in esame, le caratteristiche di un regime di "fiumara".

Le litologie presenti nell'area oggetto della progettazione preliminare sono caratterizzate, dal punto di vista idrogeologico, dai seguenti gradi di permeabilità:

- litologie ad elevata permeabilità, costituiti dalle alluvioni ghiaiose e sabbiose della piana costiera e dalle sabbie e conglomerati dei terrazzi quaternari presenti alla sommità delle colline;
- litologie a permeabilità bassa o nulla, costituiti dalle argille sabbiose plioceniche presenti nella piana costiera al di sotto delle alluvioni e delle colline che bordano la piana.

In conseguenza di tale assetto stratigrafico nella piana, e nell'area di interesse, non si può escludere una circolazione idrica sotterranea, con una falda all'interno delle alluvioni e sostenuta dalle argille che fungono da substrato impermeabile. Per le considerazioni sopra riportate ci si è avvalsi anche della Carta Idrogeologica Zona Est, elaborato

del Piano Strutturale Associato-Quadro Conoscitivo - Comuni: Cortale, Amaroni, Borgia, Caraffa, Girifalco; San Floro, Settingiano, (a cura di Geo/. Eraldo Rizzuti).

6 CARATTERI STRATIGRAFICI LOCALI

Per la definizione della stratigrafia locale in località Roccelletta nel Comune di Borgia è stato eseguito un rilievo geologico specifico facendo riferimento alla “Carta Geologica della Calabria - Marina di Catanzaro; Foglio n° 242 III NE (Casmez, 1967)” di cui sotto è riportato uno stralcio.

Nel sito in studio quindi si rilevano:

- a - depositi olocenici: depositi eluvio – colluviali, risultato del soliflusso e del dilavamento, talora misti a materiale alluvionale;
- Q s-cl - depositi pleistocenici: sono costituiti da sabbie da fini a medie, ghiaie, conglomerati e sabbioni da bruno a bruno rossastri con occasionali livelli di calcare arenaceo. Facilmente disgregabili ma resistenti all'erosione, permeabilità elevata;
- P a 2-3 - depositi pliocene medio – calabriano: sono costituiti da argille siltose grigio azzurre; localmente con sottili intercalazioni di sabbia e silt, scarsa resistenza all'erosione e bassa permeabilità;

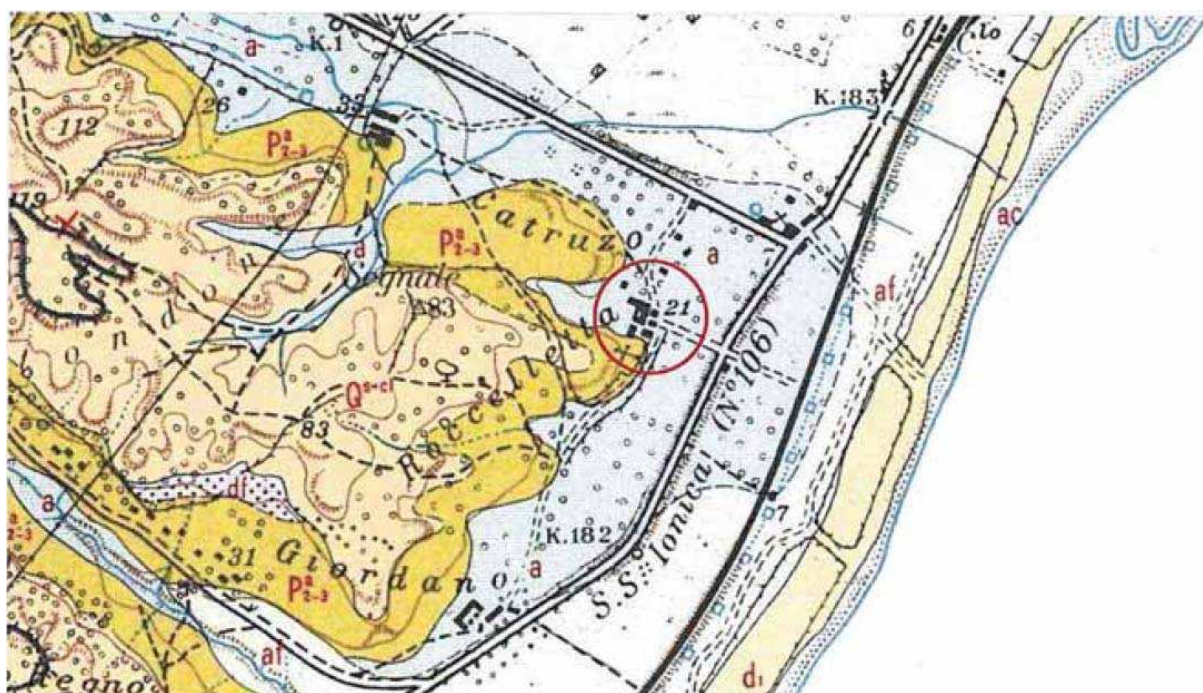


Figura 6 – Stralcio dalla Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 (foglio 575 – Catanzaro)

Per la realizzazione della sonda geotermica di prova si è realizzata una perforazione a distruzione di nucleo di 101,5 metri. L'analisi del cutting durante la perforazione ha permesso la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico locale:

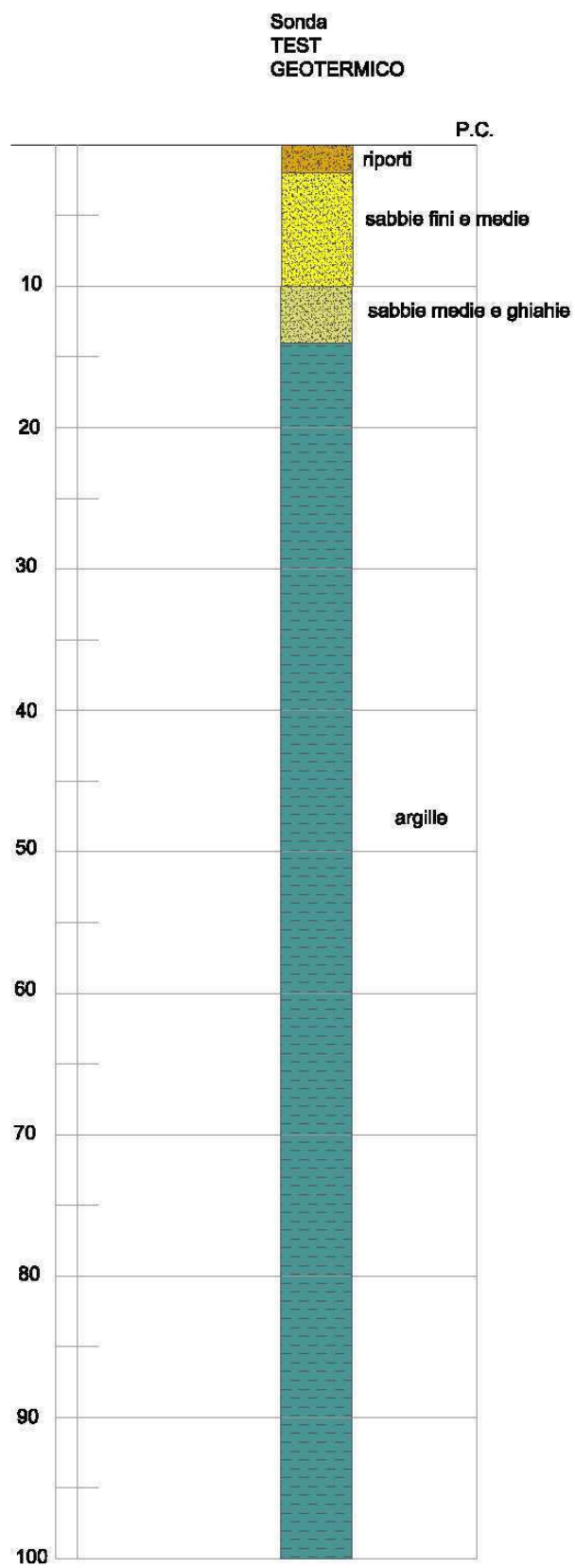


Figura 7 – log stratigrafico della perforazione eseguita sull'analisi delle carote sino a 5m e poi dall'analisi del cutting sino a 100m.

- da 0 a 1.7 metri: terreno vegetale e riporti a matrice sabbioso debolmente limosa, con cocci e trovanti decimetrici, colore marrone, secca, mediamente addensata (Olocene);
- da 1.7 a 10m: sabbia fine e media a tratti debolmente limosa e con trovanti ghiaiosi, colore marrone a tratti marrone chiaro, mediamente addensata secca (Pleistocene).
- da 10 a 12m: sabbia media e ghiaia, colore marrone chiaro, mediamente addensata, satura (Pleistocene).
- da 12 a 101,5m: argille siltose grigio-azzurre, localmente con sottili intercalazioni di sabbia fine e limo, molto consistenti, colore grigio e grigio scuro, umida.



Figura 7 – Foto dei campioni rinvenuti tramite sondaggio a carotaggio continuo (1 – 5m), per la ricerca di elementi di interesse archeologico.

I primi 5 metri di perforazione sono stati realizzati a carotaggio continuo per la ricerca di eventuali elementi di rilevanza archeologica, quali strutture interrate o reperti isolati; per una prima caratterizzazione meccanica dei primi strati di terreno sono state realizzate n.2 prove penetrometriche dinamiche standard (SPT).

7 CARATTERI IDROGEOLOGICI LOCALI

Durante i lavori di perforazione non è stata intercettata una vera e propria falda freatica al contatto tra le argille plioceniche di base e le formazioni terrigene sovrastanti; in particolare una circolazione idrica presente ma poco rilevante si imposta in corrispondenza delle “sabbie a granulometria media con ghiaia” (10.0m – 12.0m).

È inoltre certamente da rilevare la presenza di circolazioni idriche profonde in corrispondenza delle intercalazioni sabbiose e siltose della unità delle argille plioceniche .

8 ASSETTO GEOLOGICO-TECNICO

Le unità litostratigrafiche precedentemente descritte, lette in chiave geotecnica, hanno permesso di fornire il modello geologico-tecnico dei terreni, distinguendo dal p.c. (quota 0.0 m) verso il basso, le seguenti unità geologico-tecniche, per ognuna delle quali sono state descritte le caratteristiche litologiche e forniti i principali parametri geotecnici di riferimento per i calcoli strutturali.

Le prove STP realizzate in situ sono le seguenti:

SPT (1.5m): 13-11-34 - nei riporti (non attendibile);

SPT (3.0m): 8-10-12 – rappresentativa delle sabbie e ghiaie fino alla profondità di 12.0m.

Unità 1 – Da 1.7 m a - 12.0 m

Sabbia fine e media a tratti debolmente limosa e con trovanti ghiaiosi, colore marrone a tratti marrone chiaro, mediamente addensata, secca, passante a 10.0m a sabbia media e ghiaia, colore marrone chiaro, mediamente addensata, satura. Parametri geotecnici medi di riferimento:

Peso di volume = 1.9 gr/cm³ (stimata)

Angolo d'attrito = 30.5° (De Mello)

Modulo Elastico = 17.2 MPa (Schmertmann)

Modulo di Taglio = 43.9 MPa (Ohta & Goto)

Modulo Edometrico = 11.4 MPa (Menzebach&Malcev)

Unità 2 – Da 12.0 m a - 100.1 m

Argille siltose grigio-azzurre, localmente con sottili intercalazioni di sabbia fine e limo, molto consistenti, colore grigio e grigio scuro, umida. Parametri geotecnici medi di riferimento:

Peso di volume = 2.0 gr/cm³ (stimata)

Coesione efficace = 30 KN/m²

Angolo d'attrito = 20.0° (De Mello)

Coesione non drenata = 150 KN/m²

Dall'analisi dei dati bibliografici si deduce che il profilo stratigrafico di riferimento è attribuibile alla categoria di sottosuolo C.

(C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < \text{NSPT} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Dall'analisi delle condizioni morfologiche del sito è possibile attribuire l'area di progetto alla categoria di superficie topografica T1 (T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$).

9 LAVORI REALIZZATI ED INDAGINI ESEGUITE

Qui di seguito sono riportate in sequenza cronologica le attività realizzate e le indagini eseguite come da progetto corredate da foto esplicative:

In data 16/10/2013 è stato preso possesso dell'area di lavoro ed è stato impiantato il cantiere di perforazione.



È stato eseguito uno scavo di una buca per il riciclo dei fanghi di perforazione (senza additivi), tramite apposito escavatore.



E' stato realizzato un sondaggio a carotaggio continuo di 5 metri lineari, per la ricerca di eventuali emergenze archeologiche.



Sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche dinamiche standard (SPT) per la verifica delle proprietà meccaniche dei terreni presenti alle rispettive profondità dal piano campagna di 1.5m e 3.0m; una volta verificato l'esito negativo della ricerca archeologica.

Tramite il carotaggio, la Dott.ssa Mariagrazia Aisa, direttrice del Parco Archeologico, ha dato il permesso ad eseguire, sulla stessa verticale del sondaggio a carotaggio continuo, la perforazione a distruzione di nucleo utilizzando la metodologia con tricono (vedi figura sotto) a circolazione di acqua e inserendo nel terreno 13.5m di tubi di rivestimento di diametro (\emptyset) = 220mm.





Il giorno del 17/10/2013 è stato totalmente impiegato per la continuazione della perforazione a distruzione di nucleo fino alla profondità di 70m dal piano campagna.



Nella mattinata del 18/10/2013 è stata ultimata la realizzazione del foro per una profondità di 101,5m dal piano campagna;



Dopo aver accuratamente ripulito il foro dai residui di perforazione, è stata inserita nel foro la sonda geotermica predisposta;



In data 21/10/2013 si è proceduto alla cementazione della sonda geotermica all'interno del foro, partendo dal basso verso l'alto tramite tubo in polietilene reso solidale ai tubi della sonda stessa, utilizzando una miscela cementizia migliorata (Fassageo100) impiegata appositamente nella geotermia a bassa entalpia;



Una volta tagliate le tubazioni eccedenti, il cemento è stato fatto riposare per rendere stabile la sonda geotermica, lasciando in sede i tubi di rivestimento metallico; tale accorgimento serve a far sedimentare il cemento in profondità per evitare che togliendo i tubi di rivestimento metallico dal terreno questi possano estrarre i tubi della sonda geotermica.

In data 22/10/2013 è stato inserito a protezione della bocca pozzo un pozzetto in calcestruzzo 50cm x 50cm



In seguito sono stati estratti i tubi di rivestimento metallici.



In data 23/10/2013 la sonda geotermica, già testata con un test di pressione prima della sua installazione, è stata ulteriormente sottoposta a un test di pressione al fine di verificare che, dopo la cementazione, non siano avvenuti danneggiamenti e restringimenti della sezione dei tubi:



Si è rabboccato il cemento all'interno del foro per una completa protezione della sonda geotermica;



Si è proceduti quindi nel richiudere la buca per il riciclo dei fanghi di perforazione, alla pulizia dell'area di cantiere e alla segnalazione del pozzetto installato.



Si sono attesi n.6 giorni per permettere alla miscela cementizia di “tirare” (la cementazione è avvenuta il giorno 21/10/2013, quindi si sono attesi n.8 giorni totali), per evitare che la reazione esotermica conseguente al “tiraggio” compromettesse i dati del test.



In data 29/10/2013 è stato installato lo strumento GEOGERT 2.0 presso il cantiere "Parco Archeologico di Scolacium" ed è stato connesso alle sonde geotermiche realizzate.



Lo strumento GEOGERT 2.0 è stato connesso alla rete elettrica del Parco Archeologico e sono state svolte le attività di start-up dello strumento con esito positivo.



E' stato eseguito il test di temperatura indisturbata con esito positivo. Successivamente è stato eseguito il test di flusso su entrambi i circuiti (sonde), con esito positivo.

Alle ore 18:00 del giorno 29/10/2013 è iniziato il Geothermal Response Test terminato con esito positivo alle ore 06:00 del giorno 01/11/2013, per un totale di 60 ore continuative di test.

Il giorno 01/11/2013 alle ore 09:00 è stato disconnesso il GEOGERT 2.0 dalle sonde geotermiche ed è stato disconnesso dalla rete elettrica del Parco Archeologico.

In seguito sono state ripristinate le condizioni di sicurezza e pulizia dell'area, riposizionando il chiusino nella sua sede a protezione delle sonde geotermiche.



10 GEOTHERMAL RESPONSE TEST

Obiettivo dello studio è la caratterizzazione termica del sottosuolo. Poiché i modelli di simulazione dei campi sonde trascurano i fenomeni radiativi e convettivi che contribuiscono allo scambio termico, si può dire che il sottosuolo può essere caratterizzato completamente una volta note (o stimate) le seguenti grandezze:

- Temperatura indisturbata
- Conducibilità termica
- Capacità termica

Poiché i modelli considerano il mezzo omogeneo e isotropo mentre il sottosuolo molto raramente può essere considerato tale, si usa aggiungere alle tre grandezze l'aggettivo "apparente" a significare che la misura va ad individuare il valore più rappresentativo ai fini dell'applicazione progettuale.

Strumento principale di indagine è il Geothermal Response Test (GRT). Si tratta di una procedura di misurazione standardizzata dello scambio di calore che avviene, attraverso la sonda geotermica, tra un fluido termovettore e il sottosuolo. Affinché i risultati siano significativi è necessario che la sonda geotermica testata sia rappresentativa di quelle che costituiscono o costituiranno l'impianto, pertanto deve avere per quanto possibile stessa profondità e stessa tecnologia di costruzione.

La capacità termica volumica stimata per il sito è di 2,5 MJ/(m³K).

10.1 PROCEDIMENTO DI CANTIERE

La strumentazione per il Response Test ed è stata posata in prossimità della sonda verticale di prova in data 23/11/12.

Si è proceduto quindi alla regolazione, all'allacciamento dei tubi e al riempimento del circuito con acqua.

Si è quindi proceduto al completo isolamento termico dei raccordi, onde evitare l'interferenza delle condizioni climatiche esterne sul calcolo della temperatura del terreno.

I lavori di preparazione sono durati circa due ore, dopodiché è stata testata la connessione tra pc e datalogger.

Si è poi proceduto ad effettuare un test di flusso al fine di verificare il corretto funzionamento della sonda geotermica di prova e all'analisi della temperatura indisturbata.

La temperatura di riferimento per il terreno è stata determinata mediante circolazione d'acqua, senza immissione di calore, e misurazione di temperatura; nei primi 10' la temperatura si è stabilizzata velocemente intorno a 20.5 °C.

Terminata la prova di circolazione, si è deciso di regolare la potenza della caldaia intorno a circa 7.5 kW; tale valore, considerata la lunghezza della sonda pari a 100 m simula in prima approssimazione il comportamento reale durante il funzionamento della pompa di calore. La scelta di questo valore per la potenza è stata determinata dall'anomalia termica considerevole rilevata nel terreno.

L'apparecchiatura del Geothermal Response Test è stata messa in funzione intorno alle 15.30 del giorno 23/11/12, ed il datalogger ha iniziato a registrare, ad intervalli regolari di 15 secondi.

10.2 ATTREZZATURA DI PROVA

Lo scopo del test è stimare il valore medio della conducibilità termica del suolo λ e valutare la resistenza termica della sonda posata nel terreno R_b^* (o, equivalente, la conducibilità termica del sistema).

Il test viene effettuato direttamente sul campo con l'apparecchiatura portatile GEOgert 2.0, costruita ad hoc per testare le sonde geotermiche (prova in pressione, test di flusso, misura della temperatura indisturbata del terreno e GRT).



Figura 8 - Modulo 1GEOgert 2.0

L'apparecchiatura è costituita da due moduli; il modulo di misura (riportato in figura) comprende:

- un circuito idraulico costituito da un circolatore ed una serie di valvole di regolazione intercettazione e sicurezza;
- un sistema di misurazione costituito da due sonde di temperatura PT100 per il fluido, una sonda di temperatura PT100 per l'aria esterna, un misuratore di portata elettromagnetico e un trasmettitore di pressione piezoresistivo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione dati.

Il secondo modulo è specifico per l'esecuzione del GRT e comprende:

- un boiler dotato di tre resistenze elettriche (due da 3,5 kW e 1 kW);
- un circuito idraulico costituito da un circolatore, un vaso di espansione ed una serie di valvole di intercettazione sicurezza.

Al fine della valutazione, è necessario che le proprietà del fluido, le caratteristiche geometriche e termiche della tubazione, la stratigrafia del terreno nonché la temperatura "indisturbata" dello stesso siano note.

E' inoltre necessario attendere che la maturazione della malta di iniezione non sviluppi energia termica tale da influenzare i risultati del test. Di seguito si riportano il datasheet della macchina e le schede tecniche degli strumenti principali.

10.2.1 Datasheet minimale della macchina

- Sonde: Singola o doppia U, adattabile a sonde concentriche
- Diametri: De25, De32, De40 e De50 mm, adattabile ad altri diametri
- Materiali: Precaricati i dati relativi a HDPE PN16, HDPE PN10, HDPE-RC PN16; adattabile agli altri materiali
- Produttore sonda: Indifferente
- Lunghezza sonde: da 20 a 500 m di standard
- Massima pressione di test di tenuta: 16 bar
- Massima portata in GRT: 2300 l/h
- Potenza elettrica massima modulo GRT: 8 kW
- A/D converter: 24 bit
- Frequenza di campionamento: da 2 secondi in su
- Precisione misura scambio termico: 1-3% a seconda della configurazione
- Procedure di misura automatizzate:
 - Pressione: ex SIA 384:6/2010 ex legge Regione Lombardia
 - Flusso: ex SIA 384:6/2010
 - GRT: ex legge Regione Lombardia
- Comunicazione tra i moduli: wireless
- Comunicazione telefonica: GSM con scheda SIM
- Allacciamento elettrico:
 - Modulo 1: presa CEI 230 V 16A (industriale blu monofase)
 - Modulo 2: presa CEI 400 V 16A pentapolare (industriale rossa piccola 5 poli)

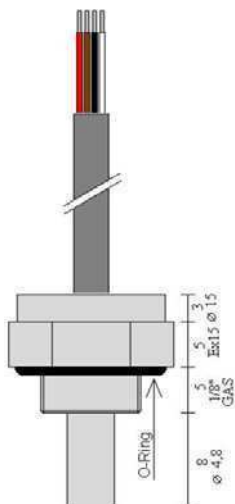
10.2.2 Strumenti di misura

Misuratore di portata elettromagnetico



Descrizione generale	Misuratore di portata elettromagnetico
Range temperatura ambiente	-40... +60°C
Range temperatura di stoccaggio	-50... +70°C
Pressione massima di esercizio	16 bar
Errore massimo di misura	$\pm 0,2 \%$ dal valore di misura + 1 mm/s

Sonda di temperatura



Descrizione generale	Sonda ad immersione, ad elevatissima precisione, per misura della temperatura
Tipo di sensore	RTD PT100 cl. 1/3 DIN
Range di temperatura	55/+110°C
Tempo di risposta (in liquido agitato)	≤ 10 sec.
Resistenza di isolamento	$\geq 20\text{M}\Omega$
Risoluzione	< 0.01 °C

Trasmettitore di pressione



Valore di fondo scala (VFS)	25 bar, relativi
Sovrappressioni	90 bar, relativi
Precisione (% del VFS)	≤ 0,25
Calibrazione	Su punti limite secondo DIN 16086
Ripetibilità	≤ 0,15% VFS
Deriva termica	≤ 0,03%VFS/°C
Deriva annuale	≤ 0,2%VFS
Temperatura del fluido di processo	-25 ... +85 °C
Temperatura ambiente	-25 ... +85 °C
Temperatura stoccaggio	-25 ... +85 °C
Tempi di risposta (10...90%)	< 3 ms
Campo di temperatura compensato	0 ... +80°C
Sensore di misura	Piezo-resistivo
Liquido di riempimento	Olio siliconico

10.3 PRINCIPI FISICI ALLA BASE DEL TEST

8.3.1 Basi teoriche

La differenza tra la temperatura in ingresso e uscita dalla sonda dipende dallo scambio termico con il terreno, ovvero dalle caratteristiche di conducibilità di terreno, materiale di riempimento e parete della sonda.

Viste le caratteristiche geometriche del sistema, il corpo emettitore di calore (il tubo riempito con il fluido termovettore) viene di norma assimilato ad un filo di lunghezza infinita. In queste condizioni, il trasferimento di calore intorno alla sorgente avviene principalmente secondo la modalità radiale (ipotesi di sorgente termica lineare) ed è governato dall'Eq. 1 (Eskilson, 1987) che riguarda l'evoluzione nel tempo della temperatura media del fluido circolante in sonda $T_f(t)$:

Eq. 1

$$T_f(t) - T_m = \frac{Q}{4\pi\lambda} \ln(t) + Q \left[R_b^* + \frac{1}{4\pi\lambda} \left(\ln \left(\frac{4a}{r_b^2} \right) - \gamma \right) \right]$$

Dove:

- $T_f(t)$: temperatura media del fluido in funzione del tempo t , in °C;
- T_m : temperatura indisturbata del terreno, in °C;

- t : tempo in s;
- Q : potenza termica lineare iniettata nella sonda, in W/m;
- r_b : raggio della perforazione, in m;
- a : diffusività termica del terreno, in m²/s, calcolata come $\lambda/(\rho \cdot C)$ dove ρ è la densità in kg/m³ del suolo, C è la capacità termica massica in J/kg/K;
- γ : costante di Eulero, pari a 0,5772;
- λ : conducibilità termica del terreno, in W/m/K;
- R_b^* : resistenza termica della perforazione, in m²K/W.

È evidente dalla Eq.1 (si veda il primo termine dopo il segno di uguaglianza) come la temperatura del fluido dipenda linearmente dal logaritmo del tempo secondo un coefficiente angolare definito dal parametro ϕ come da Eq.2 (Eklöf e Gehlin, 1996):

Eq. 2

$$\phi = \frac{Q}{4\pi\lambda}$$

10.3.2 Determinazione “in situ” delle variabili

Nella Eq.1 tutte le grandezze sono determinabili in situ con semplici procedure, a parte le due incognite, che sono la conducibilità termica del terreno λ , e la resistenza termica della sonda posata nel foro R_b^* .

Tralasciando i termini dell'Eq. 1 di immediata comprensione, le altre variabili vengono determinate con la seguente procedura:

- $T_f(t)$: viene calcolata come media aritmetica istantanea tra la temperatura del fluido di ingresso e quella di uscita dalla sonda;
- T_m : viene stabilita all'inizio del test con la misura della temperatura indisturbata del terreno;
- a : stimata sulla base di valori medi di conducibilità, densità e capacità termica riscontrabili in letteratura in base ai dati geologici del sito;
- Q : misurata tramite contatore di energia elettrica consumato dalla resistenza del boiler, in W/m;

Poiché l'onda termica si muove nel terreno con velocità molto bassa, è importante escludere dall'analisi i primi risultati ottenuti, in quanto sono relativi al materiale di riempimento e non al terreno. Non essendo perfettamente nota la

posizione delle tubazioni nel foro, si assume come tempo minimo significativo quello necessario affinché l'onda termica attraversi un percorso almeno pari al raggio del foro di perforazione. Tale tempo è espresso dalla relazione:

$$t > \frac{5r_b^2}{a}$$

In linea di massima, si preferisce protrarre qualunque test per almeno 40 ore, come raccomandato da studi di Skouby nel 1998 e di Spitler nel 1999.

Misurato l'andamento delle temperature in ingresso e uscita nel tempo, e rappresentatolo su piano logaritmico, è possibile determinare ϕ e p dall'equazione:

$$T_f(t) = \phi \ln(t) + p$$

Si utilizza il coefficiente ϕ per trovare il valore effettivo di conducibilità λ_{eff} con l'Eq. 2 ricavando α :

$$\lambda = \frac{Q}{4\pi\phi}$$

Il valore della conducibilità α_{eff} consente infine di stimare la resistenza termica effettiva della sonda posata e cementata R_b^* , utilizzando la seguente relazione ricavata dall'Eq. 1.

Eq. 3

$$R_b = \frac{1}{Q}(T_f - T_m) - \frac{1}{4\pi\lambda}(\ln(t) + \ln(\frac{4\lambda}{r_b^2}) - \gamma)$$

La resistenza termica R_b^* rappresenta le caratteristiche termiche del "sistema sonda", ovvero del sistema costituito dalle tubazioni e dalla malta di riempimento.

10.3.3 Schema di funzionamento della macchina di prova

Le Eq.1 e Eq.2 riportano gli schemi di principio elaborati da studi dell'Università Tecnologica della città svedese di Luleå riguardanti l'apparecchiatura portatile per lo svolgimento del test *in situ*, sulla base dei quali è elaborata la macchina di prova di realizzazione di GEOenergia, noleggiata a freddo e utilizzata dalla Unigeo s.r.l. per il test GRT a Capo Colonna (KR).

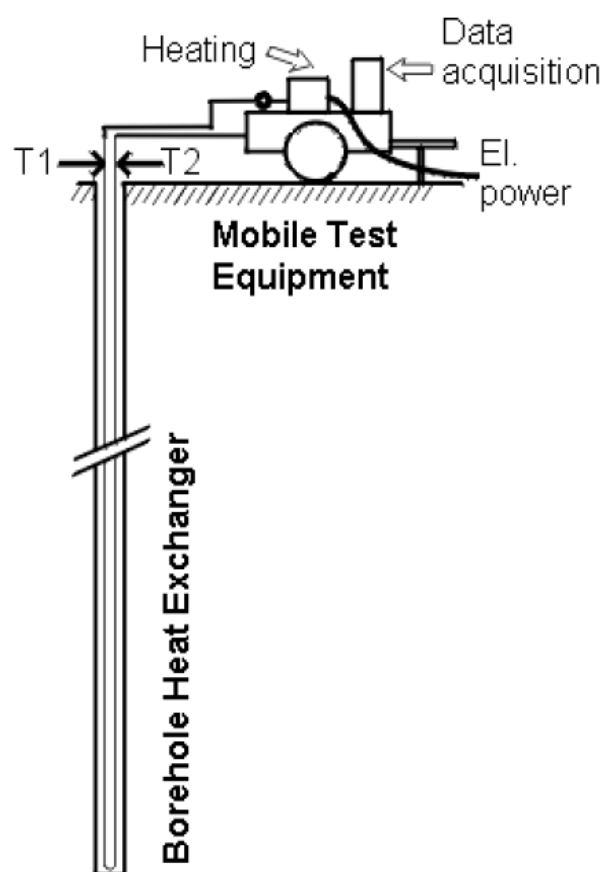


Figura 9 - Equipaggiamento mobile per l'esecuzione del GRT

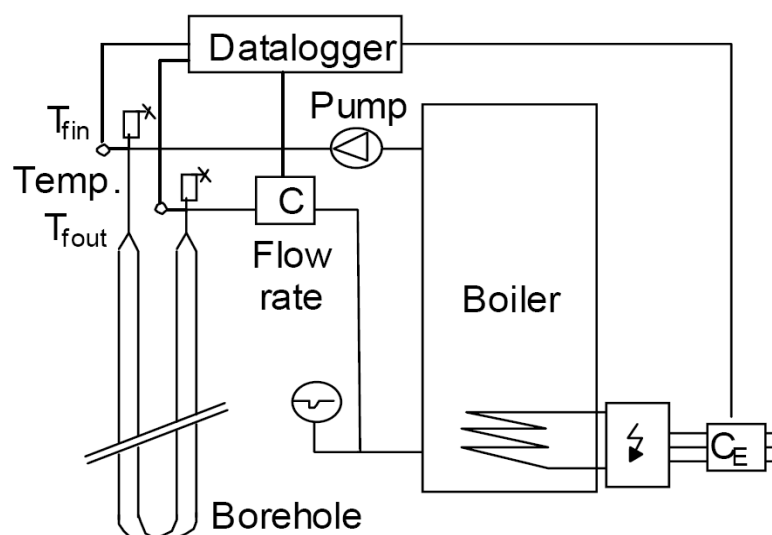


Figura 10 - Schema dell'apparecchiatura per la realizzazione del test

Questo sistema fornisce una potenza termica costante (e nota) al flusso, anch'esso noto, di fluido; contemporaneamente, registra le informazioni circa la temperatura del fluido stesso in ingresso ed uscita della sonda. A differenza da quanto riportato in figura, la macchina di prova di GEOenergia è dotata di 3 resistenze che consentono di modulare la potenza elettrica del boiler, in modo da potersi adattare al meglio a sonde di differente lunghezza.

10.3.4 Validità dei risultati

Gli studi dell'Università Tecnologica di Luleå spiegano che il test in situ presenta due vantaggi fondamentali rispetto ad un test effettuato in laboratorio su campioni di terreno. Uno è la già citata stima sul campo della resistenza termica della sonda; l'altro risiede nel fatto che i risultati contemplano intrinsecamente l'influenza dell'acqua di falda, altrimenti impossibile da stimare.

Va sottolineato, infatti, che una massa d'acqua nel terreno provoca, in presenza di calore, un moto convettivo che va a lambire le pareti della perforazione migliorandone indubbiamente il coefficiente di scambio termico. La velocità del flusso di acqua dipende principalmente dal gradiente idraulico (espresso in m/m) e dalla conducibilità idraulica (misurata in m/s) del tipo di suolo. I valori stimati di conducibilità termica risultano spesso stravolti da quelli ottenuti in campo. A causa dell'errore che deriva dal non considerare l'effetto dell'acqua, i risultati sono sottostimati di qualche punto percentuale persino per basse velocità del flusso.

Quindi, la conducibilità termica calcolata con il test è quella effettiva della sonda: essa rappresenta il valore medio di conducibilità del terreno intorno al foro, dal momento che include l'influenza sul trasferimento di calore di falde acquifere, fratture nel sottosuolo, ecc.

L'estensione dei risultati del test alle sonde vicine deve essere fatta considerando comunque i seguenti fattori:

- La resistenza termica della sonda non dipende solo dai materiali utilizzati ma anche dalle condizioni di posa (disposizione dei tubi all'interno del foro, franamenti con conseguente aumento del diametro reale di perforazione, riempimento poroso o non completo). Questi aspetti sono difficilmente controllabili anche da personale esperto e pertanto vengono usualmente considerati mantenendo un fattore di sicurezza del 10 % sui risultati.
- La variabilità geologia e idrogeologica può essere notevole all'interno di un campo sonde anche non di elevate dimensioni. La verifica della geologia del sito in corso di perforazione è quindi basilare e può essere fatta in maniera approssimativa da personale esperto anche in presenza di perforazione a distruzione di nucleo. E' facile dimostrare che qualora si sia in presenza di n orizzonti geologici differenti che si presentano a differente profondità in ciascuna sonda, ripetendo il test su n sonde ed estendendo le equazioni precedenti, si può determinare il coefficiente di conducibilità termica di ciascun orizzonte. Il metodo è decisamente sensibile agli errori di misurazione, ma può fornire una valida stima dell'errore che si commette nell'estensione dei risultati a tutto il campo sonde.

10.4 ESECUZIONE DEL TEST

10.4.1 Caratteristiche della sonda testata



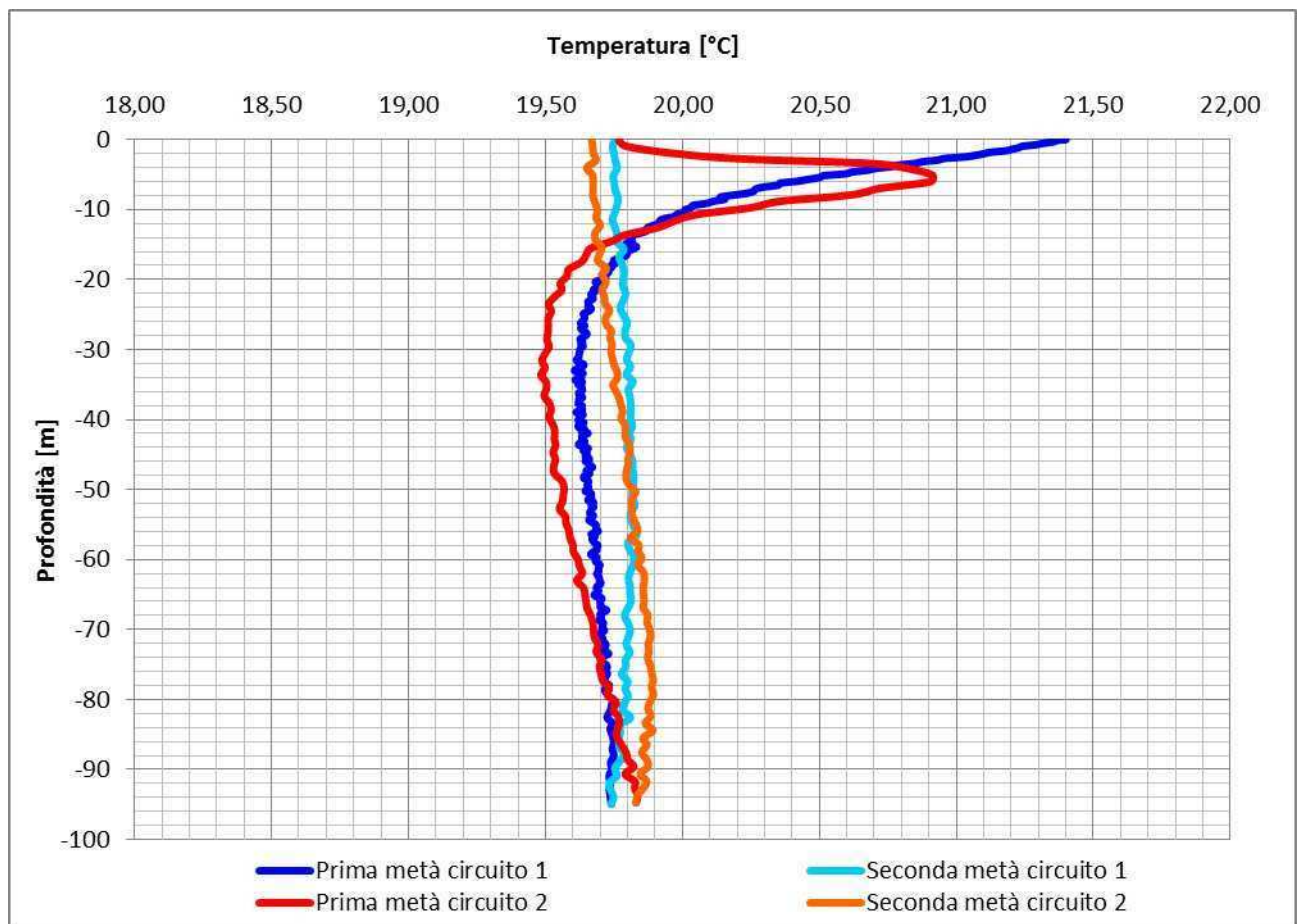
Figura 11 – ubicazione del GRT

TIPO DI SONDA	doppia U
PROFONDITA' [m]	100
DIAMETRO DEI TUBI [mm]	32
DIAMETRO PERFORAZIONE [mm]	152
DATA DI CEMENTAZIONE	23/10/2013
MATERIALE DI RIEMPIMENTO	Fassageo 100

10.4.2 Temperatura indisturbata del terreno

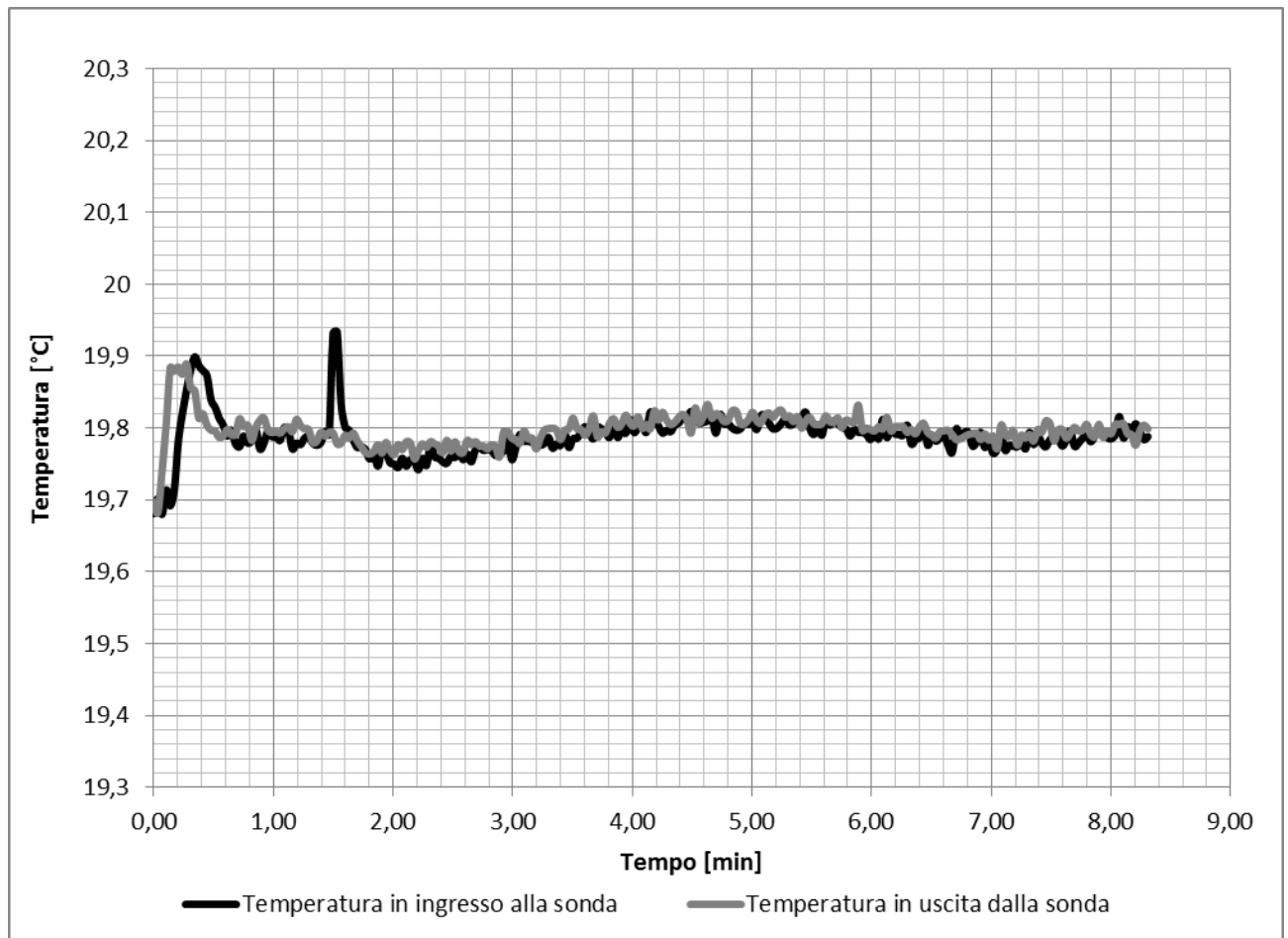
Profilo di temperatura

- Temperatura media discesa: 19,81°C
- Temperatura media globale: 19,81°C



Equilibrio termico

- Durata: 8 min 42 s



- Temperatura ingresso: 19,80 °C
- Temperatura uscita: 19,78 °C

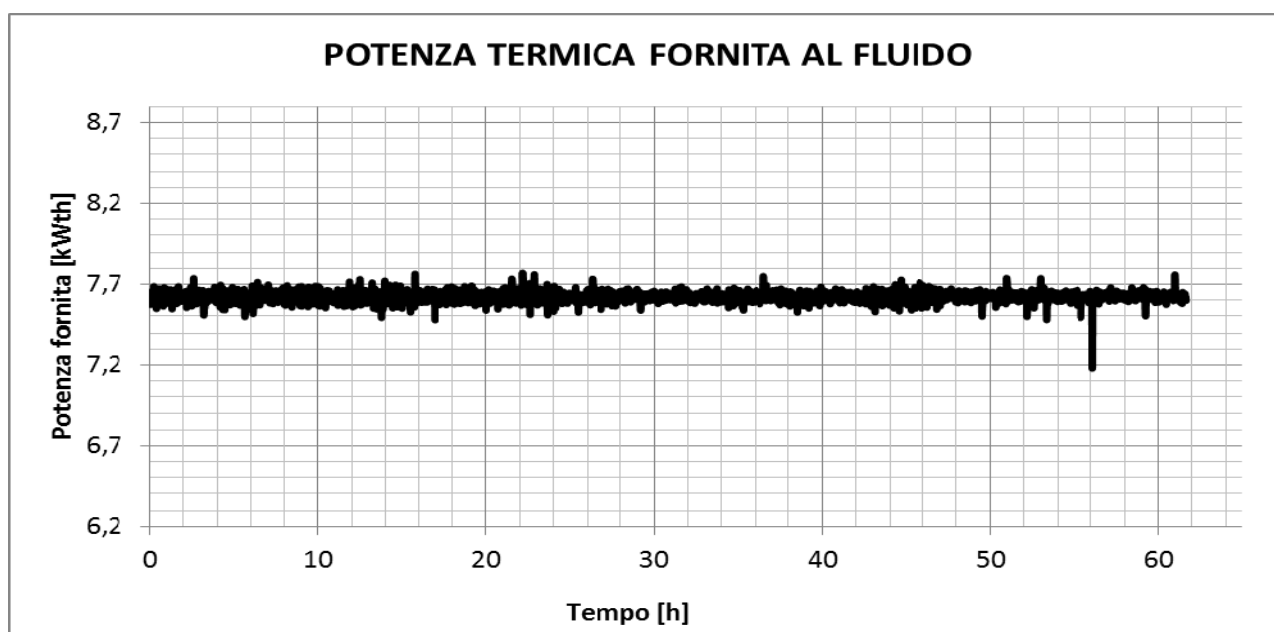
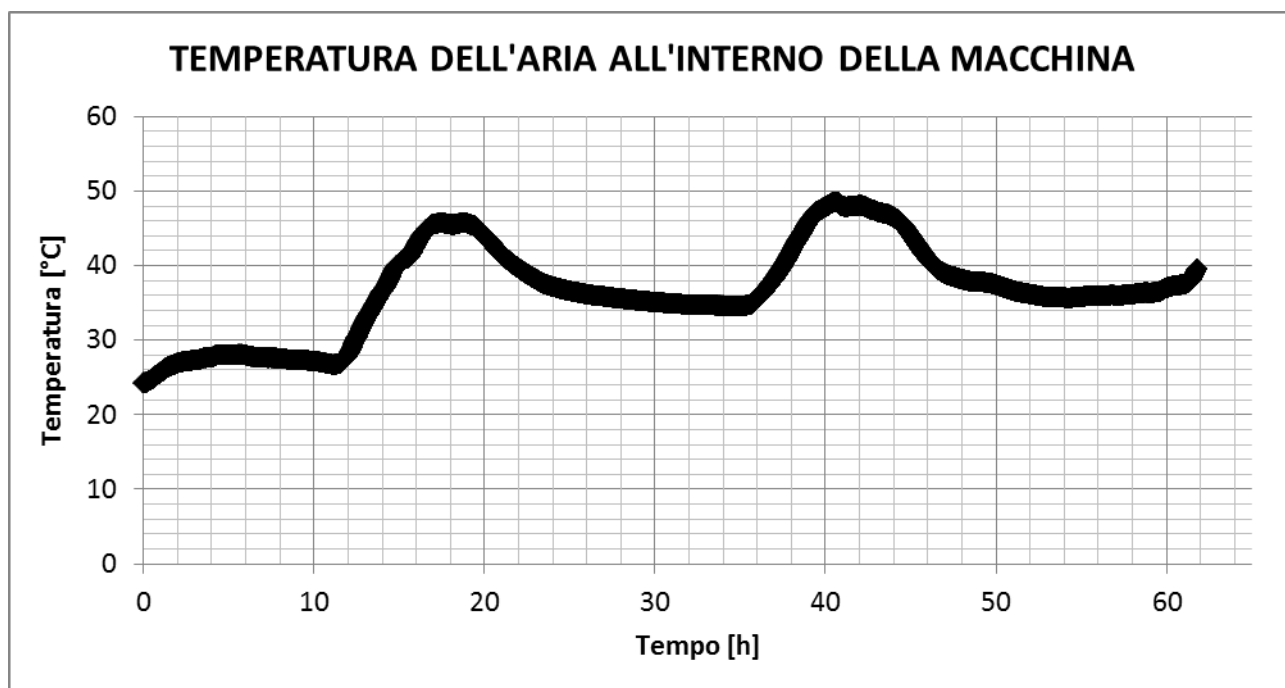
COMMENTO:

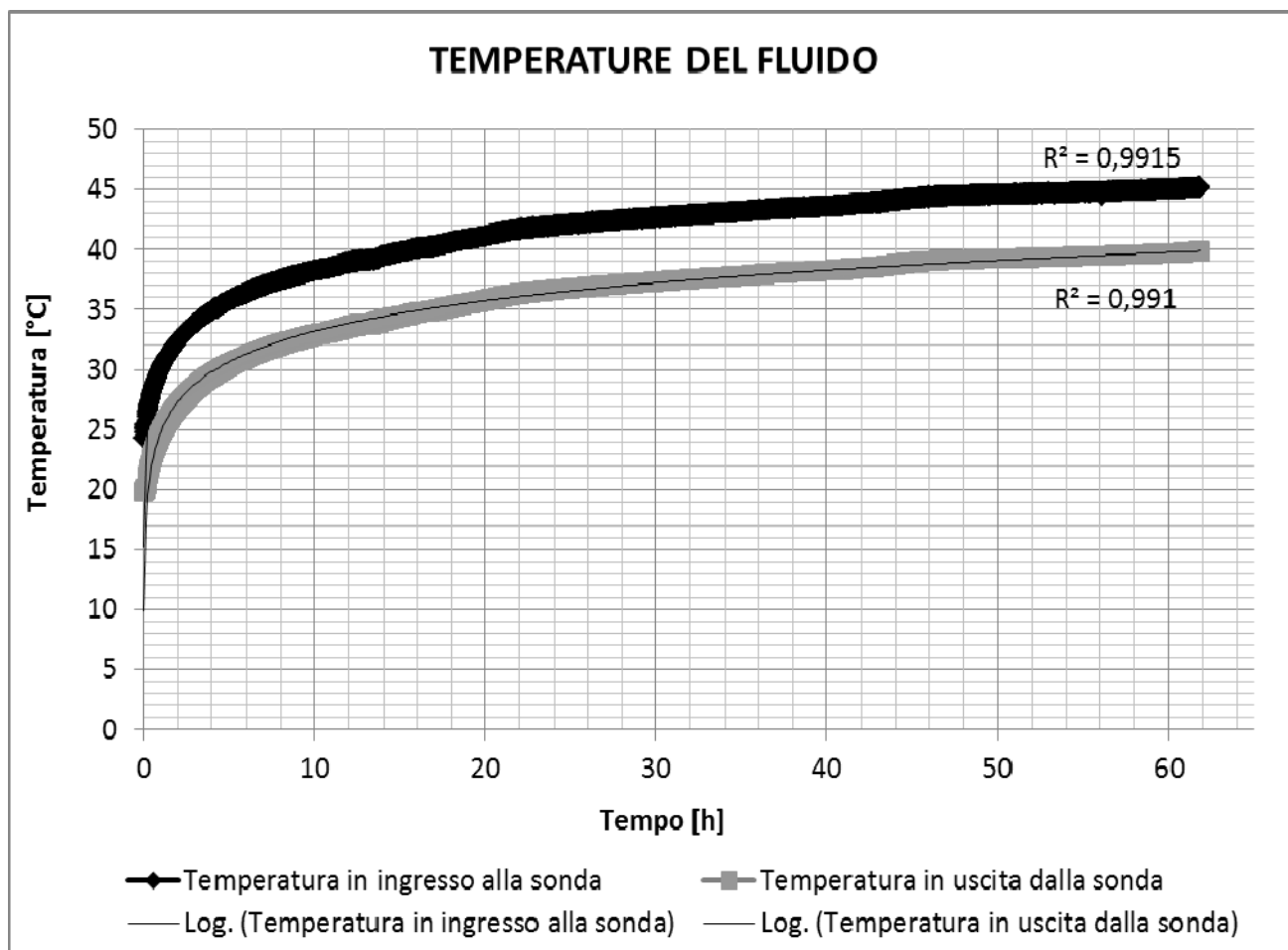
La misura della temperatura indisturbata del terreno viene eseguita facendo circolare il fluido termovettore all'interno della sonda senza attivare le resistenze elettriche. In questo modo l'acqua si porta in equilibrio termico con ciò che la circonda e, quindi, circa alla stessa temperatura del terreno. A questa misura è accoppiato il profilo termico lungo la sonda e dalle due sequenze di dati si risale infine al valore cercato.

Dall'analisi globale dei risultati riteniamo che il valore che meglio rappresenti il livello termico del terreno sia 19,8°C. Questo sarà assunto come temperatura indisturbata.

10.4.3 GRT

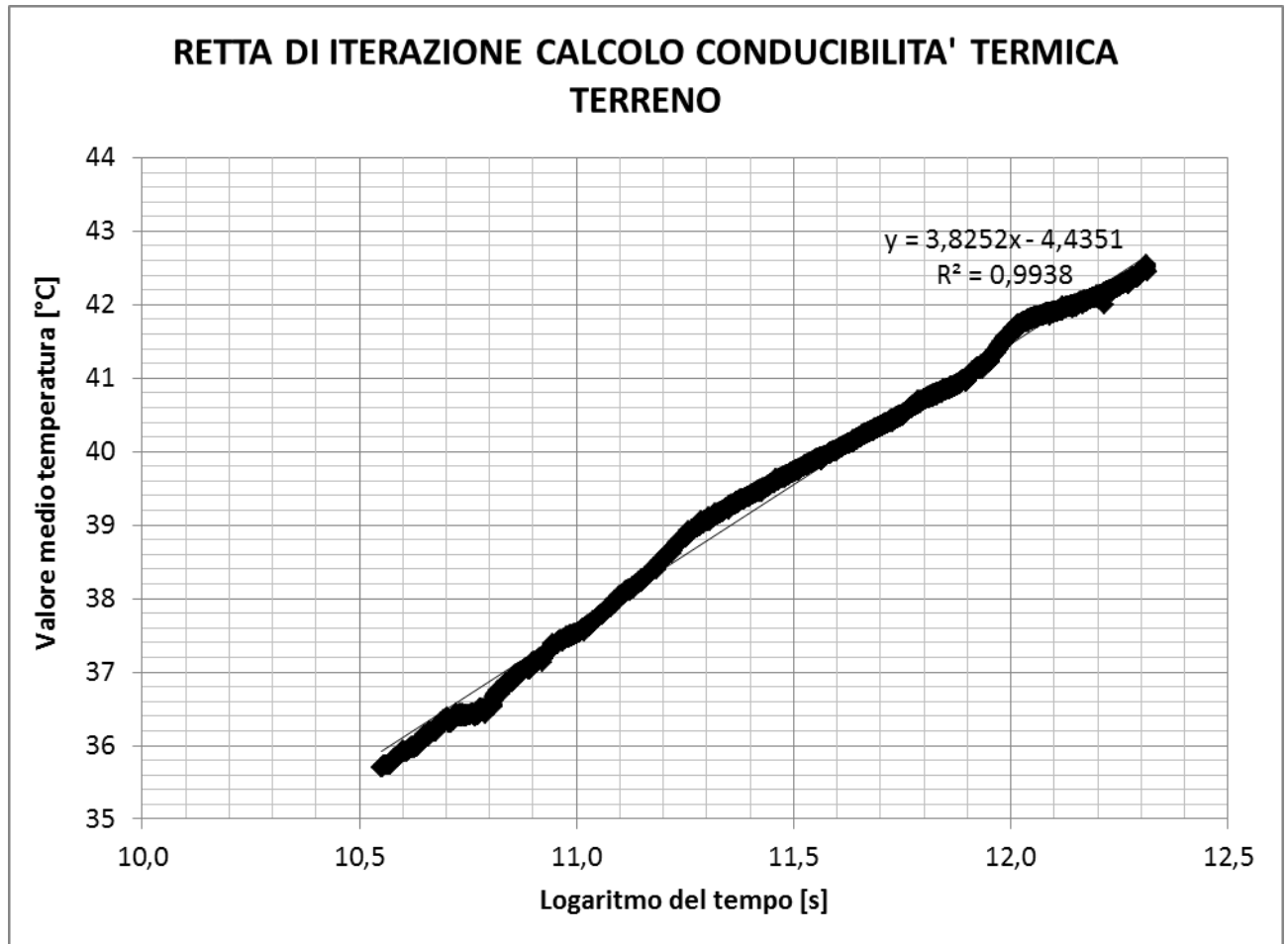
- Inizio prova: 29/10/2013
- Fine prova: 01/11/2013
- Durata: 61 h 51 min
- Potenza elettrica impostata a quadro: 7,5 KW
- Potenza media reale fornita: 80 W/m
- Tempo minimo significativo: 10 h 34 min
- Portata media: 1.234 l/h





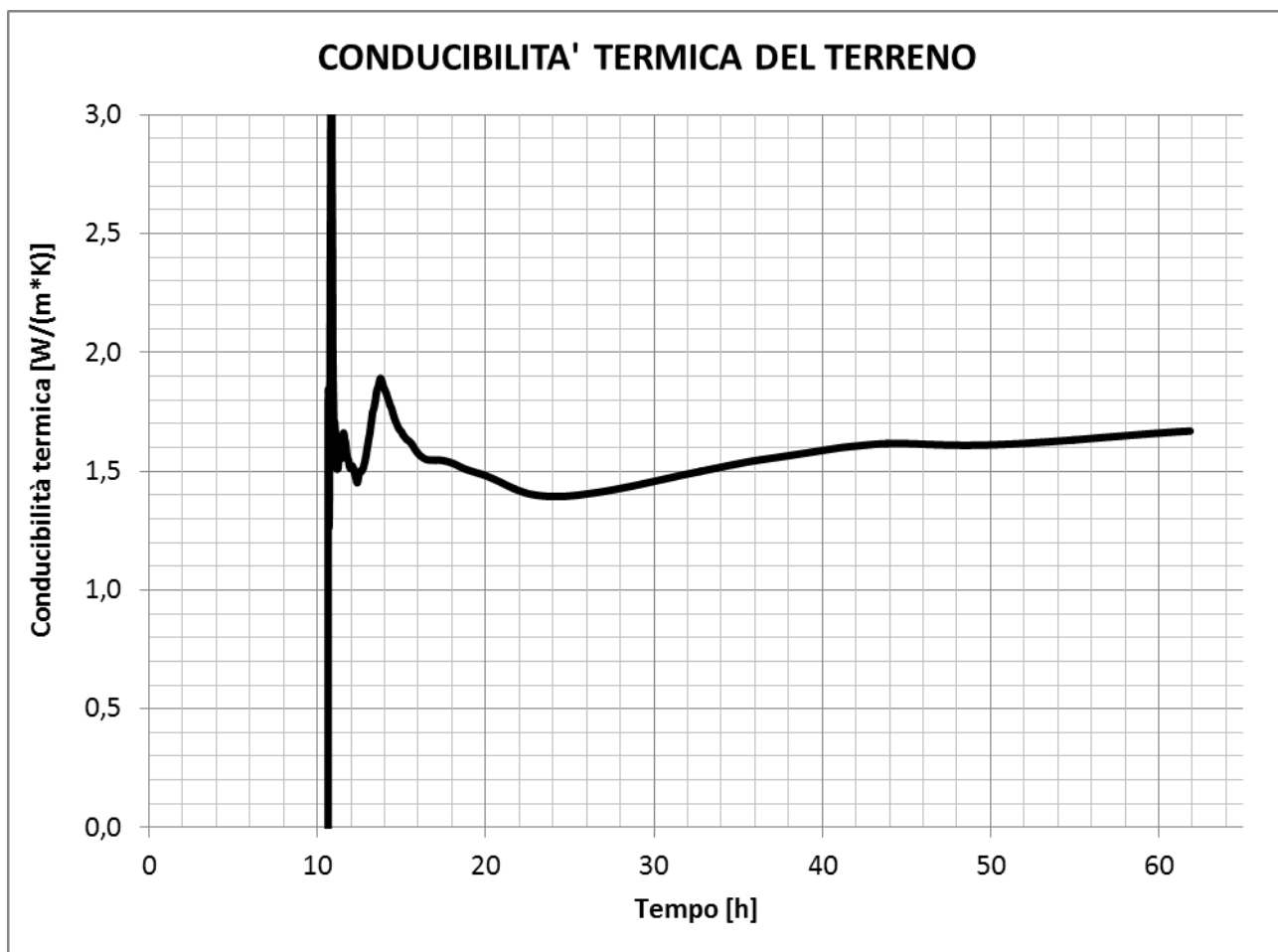
COMMENTO:

L'andamento logaritmico crescente delle due temperature ottenuto è regolare, come dimostra il coefficiente di approssimazione logaritmica prossimo all'unità per entrambe le curve.



COMMENTO:

L'andamento dei dati è regolare; nonostante le piccole oscillazioni legate all'interferenza esterna, la linea di tendenza ricalca abbastanza bene i dati che ne costituiscono l'andamento. L'indice di dispersione è contenuto, come si nota dal coefficiente di determinazione R^2 che, essendo prossimo a 1, indica un buon grado di corrispondenza tra i valori reali e quelli stimati della linea di tendenza.



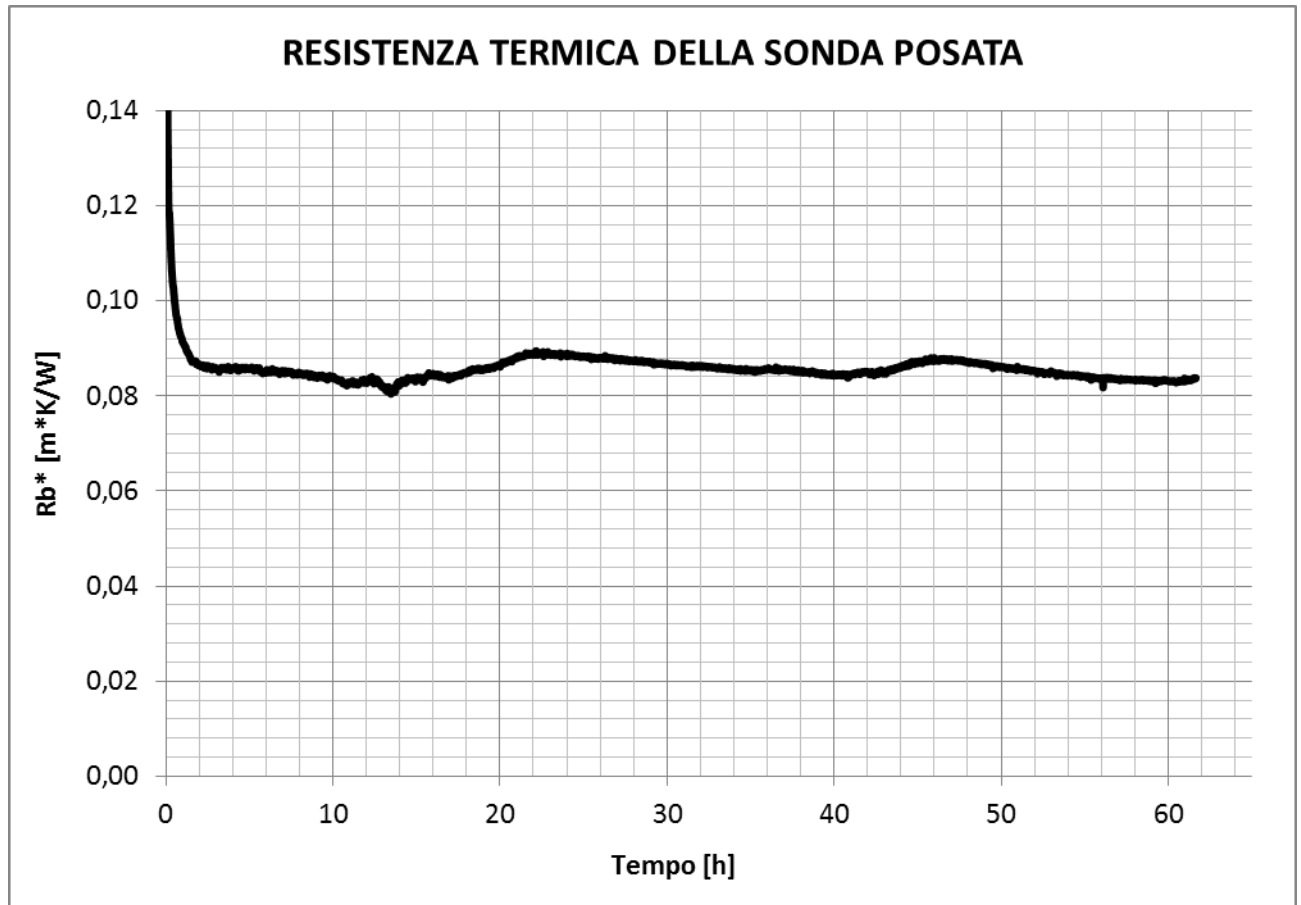
λ risultante: 1,67 W/(m*K)

COMMENTO:

L'andamento del grafico è abbastanza regolare e, quindi, accettabile. In corrispondenza del periodo caratterizzato dalle naturali oscillazioni iniziali si è assunta un'area di non significatività. Nelle ultime 30 ore di prova l'andamento della conducibilità termica tende in modo regolare al valore risultante.

Ricordiamo che il valore di conducibilità del terreno fornito non tiene conto di alcun fattore di sicurezza.

Resistenza termica della sonda posata



Rb* risultante: 0,0855 m²K/W

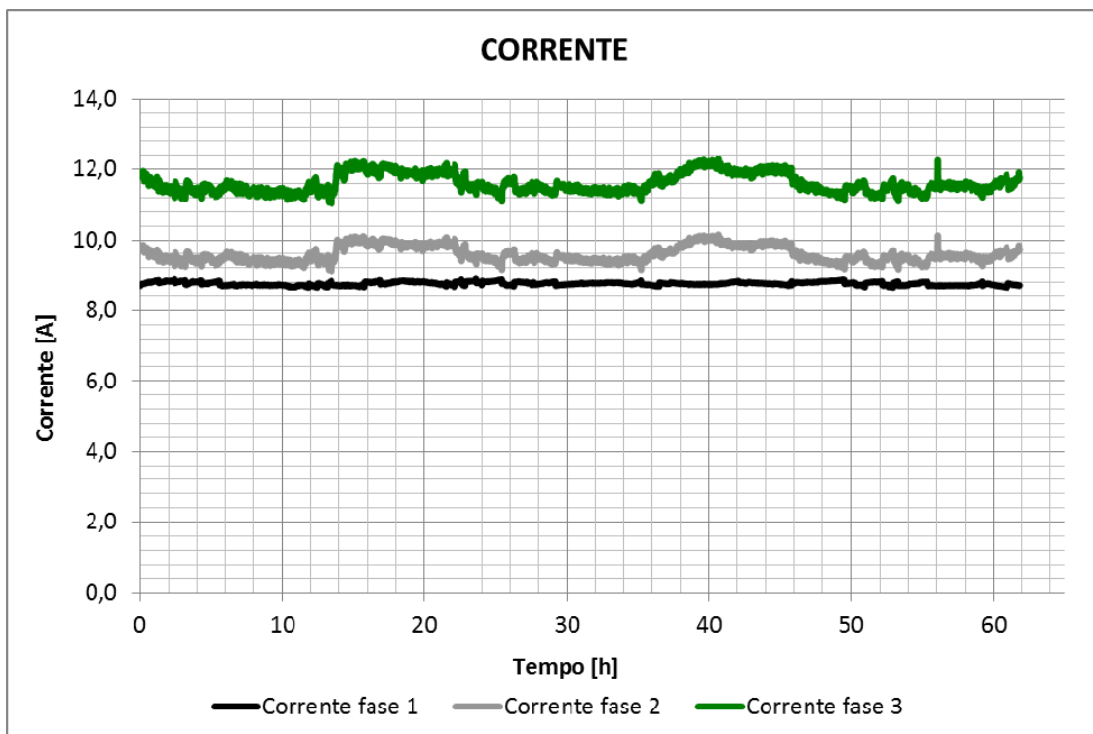
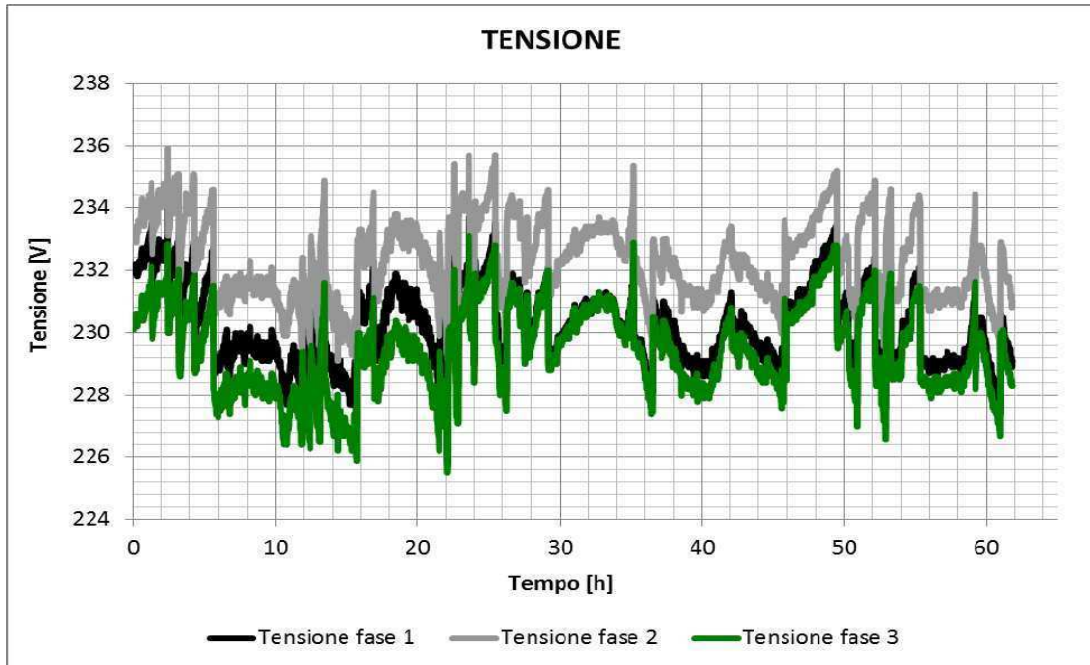
- Rb* minimo: 0,0804 m²K/W
- Rb* massimo: 0,0895 m²K/W

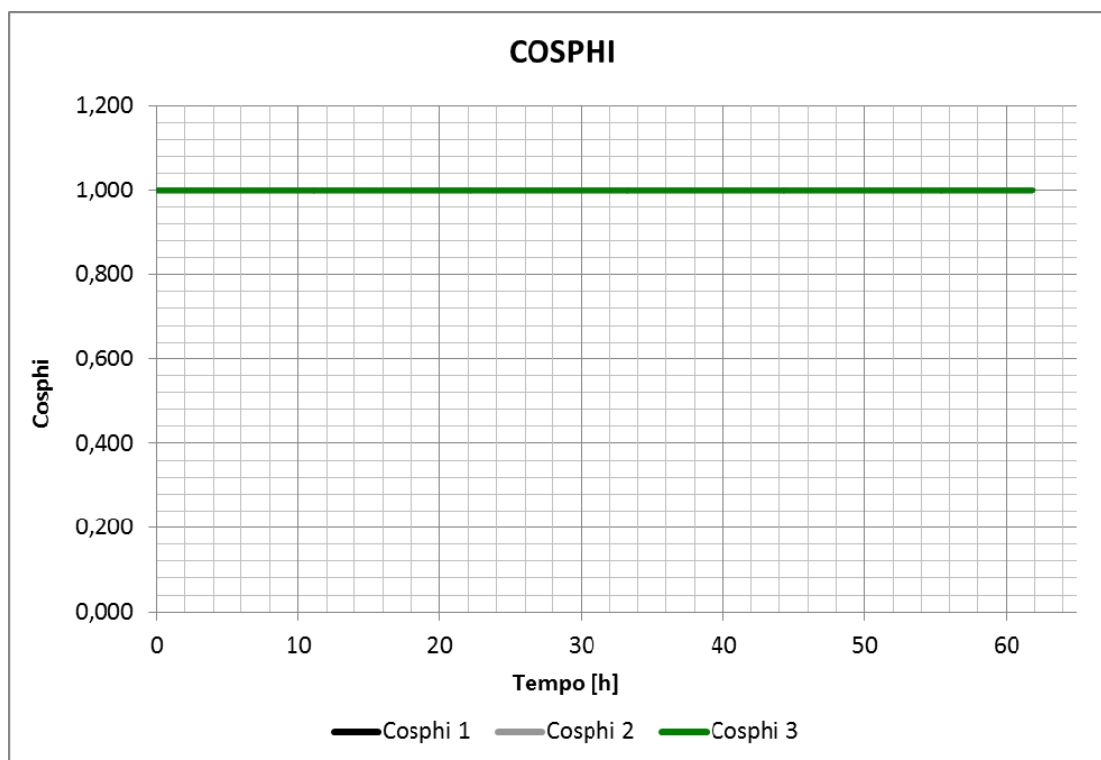
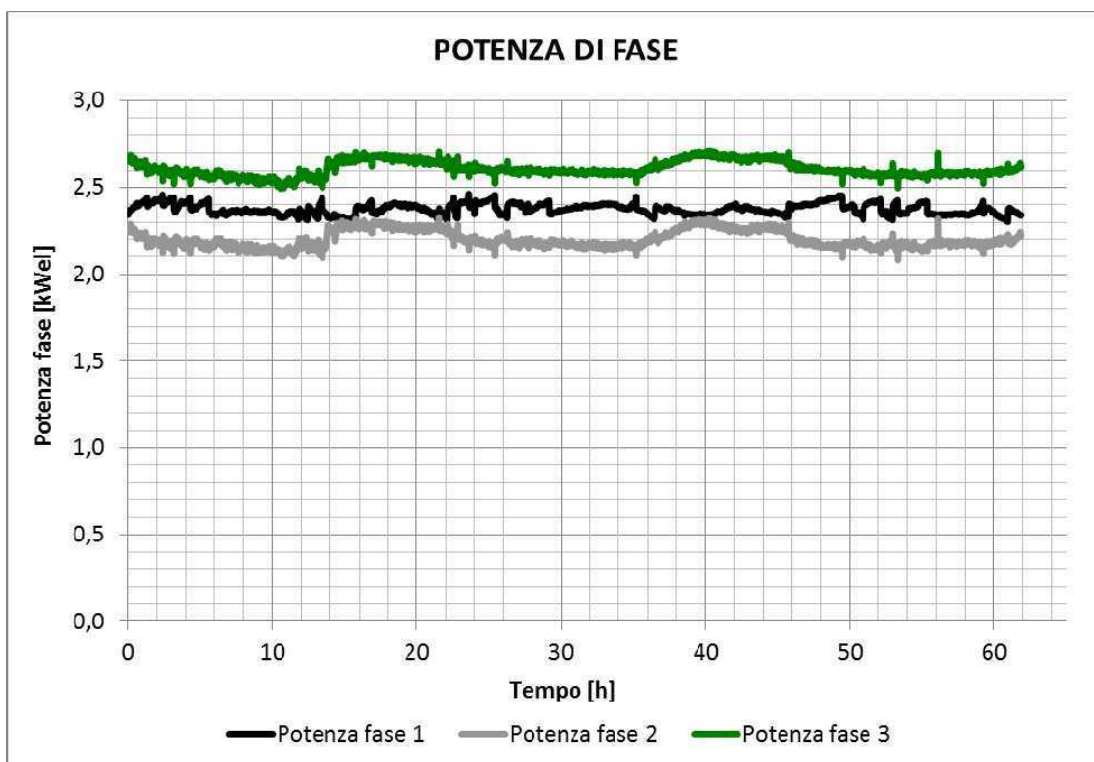
COMMENTO:

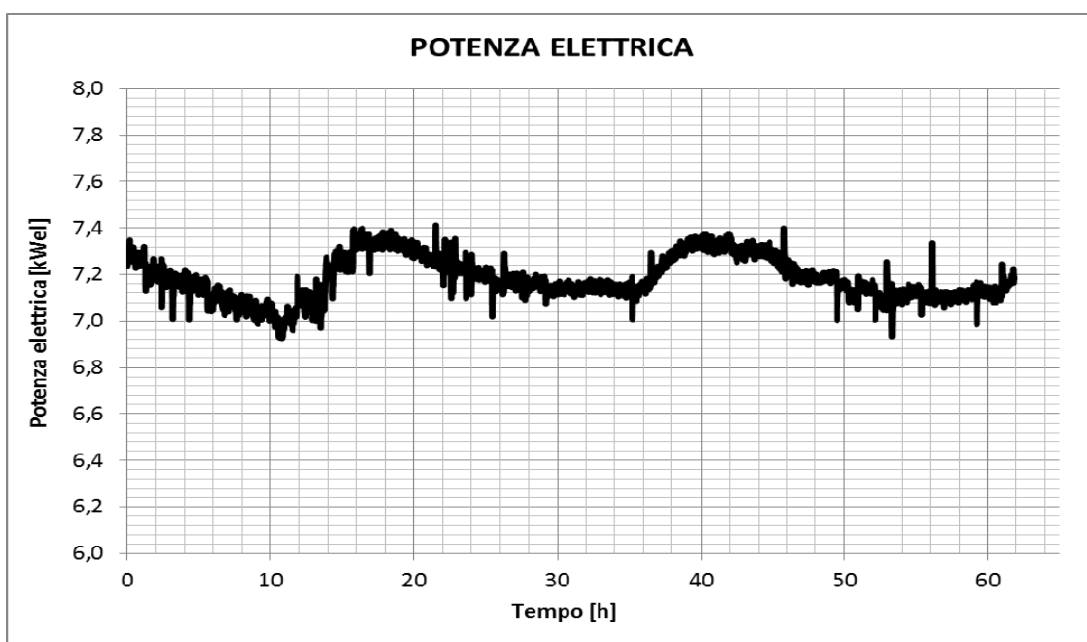
L'andamento dei dati è regolare. Le piccole variazioni dovute all'interferenza ambientale risultano di entità irrilevante ai fini dell'analisi.

Ricordiamo che il valore di resistenza termica fornito non tiene conto di alcun fattore di sicurezza.

Misure elettriche







10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Di seguito riassumiamo i risultati più significativi delle indagini svolte.

PERFORAZIONE A PROFONDITÀ DI 101.5 M DAL PIANO CAMPAGNA.

Il punto di esecuzione della perforazione per la realizzazione della sonda geotermica di prova ha le seguenti coordinate geografiche:

Latitudine: N 38° 48' 29.5''

Longitudine: E 16° 35' 40.3''

Il sottosuolo dell'area è costituito per la totalità dei 100m di profondità dal piano campagna investigati da terreni di natura sedimentaria; fino a 12.0m di profondità del p. c. sono stati riscontrati terreni caratteristici di un ambiente di linea di costa emerso, sabbie fini e medie con ghiaie nella parte finale in basso, seguiti inferiormente da peliti con intercalazioni sabbiose e limose tipiche di ambienti di mare profondo.

La successione litostratigrafia è stata ricostruita in parte dall'analisi delle stratigrafie di sondaggio a carotaggio continuo realizzati nell'area per lavori precedenti e in parte attraverso lo studio delle carote di terreno prelevate direttamente (n. 5m lineari) e del cutting di perforazione del foro eseguito a distruzione di nucleo (n. 96.5 m lineari) per l'installazione della sonda geotermica di prova, poi cementata per una profondità di 100m.

La scelta della profondità di 100 m per la perforazione deriva da esperienze di lavori realizzati in passato che dimostrano come, a tali profondità, la temperatura vari da 12° a 15°, temperature ideali per soddisfare le esigenze energetiche dell'impianto interno di climatizzazione, soprattutto considerando l'ipotesi del raffrescamento degli ambienti.

Il test eseguito ha dimostrato inoltre l'esistenza di un alto geotermico rilevando temperature medie dell'acqua di ritorno nella sonda geotermica di circa 19.8°.

GROUND RESPONSE TEST (GRT)

La temperatura media del terreno risulta essere pari a 19,8°C. Si tratta di un valore piuttosto elevato ma non atipico per la zona in esame poiché caratterizzata da una debole anomalia geotermica (temperature comprese tra 50°C e 90°C tra 2000 e 3000 metri di profondità).

Il valore di conducibilità termica del terreno è pari a 1,67 W/(m*K). Si tratta di un dato in linea con quanto riportato in letteratura per sottosuoli con matrice argillosa. Ricordiamo che il comportamento del sottosuolo è tanto migliore quanto più alta è la conducibilità termica.

Il dato di resistività termica della sonda, indice della qualità dell'accoppiamento terreno – malta, è tanto migliore quanto più è basso. I risultati ottenuti, indicanti un valore pari a 0,0855 m*K/W, si collocano nella fascia bassa dei valori tipici per questo tipo di sonda e di cementazione (vedi tabella allegata).

Roma 04/11/2013

Il Tecnico

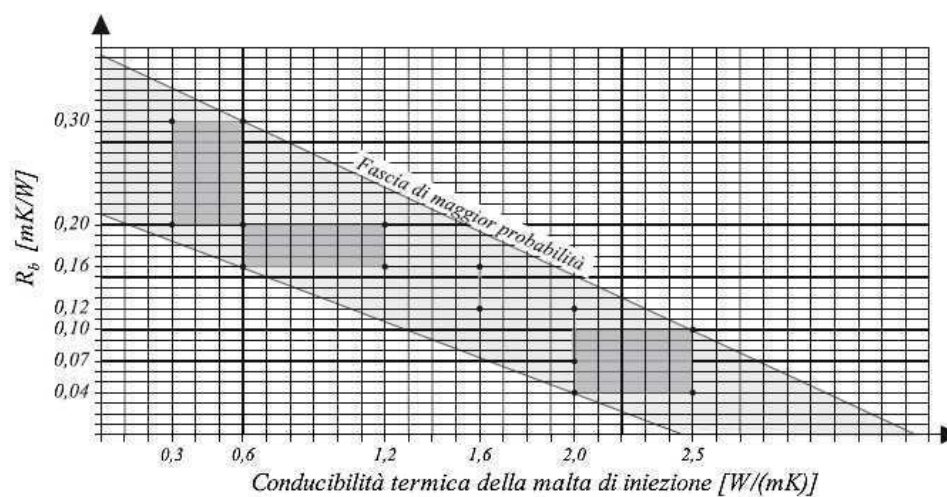
Dott. Geol. Roberto Troncarelli



ALLEGATO 1: TABELLA DI RIFERIMENTO

Tipologia riempimento	Conduttività termica del riempimento (W/mK)	Resistività apparente della sonda (mK/W)
Termicamente migliorata	2	0,07÷0,12
Termicamente migliorata	1,6	0,12÷0,16
Cemento e bentonite	0,6÷1,2	0,16÷0,2
Sabbia satura	2÷2,5	0,04÷0,1
Sabbia secca	0,3÷0,6	0,20÷0,30

Resistività apparente della sonda. (tratto da rielaborazione dei dati di Sanner; Reuss, 2001 e Helstromm, 2006)



Mappatura dei valori di resistività apparente della sonda in funzione della tipologia di riempimento. (da dati tabella 10.1)

ALLEGATO 2: CERTIFICAZIONE ESECUZIONE "TEMPERATURA INDISTURBATA"

TEMPERATURA INDISTURBATA

Data: 29/10/13 Ore: 18:19.31
Operatore: Fabrizio Rinaldi

Cantiere

Cliente: Invitala SPA
Cantiere: Parch.Arch.Scolacium
Localita': RocclietteBorgia(CZ)

Sonda

Nome: s1
Lunghezza: 95.0 m
Configurazione: 2 U

Perforazione

Diametro: 152 mm
Perforat.: Geovit
Data esecuz. sonda: 23/10/2013

Tubazioni

Materiale: HDPE De32 PN16
Diametro esterno: 32.0 mm
Pressione nominale: 16.0 bar

Materiale di iniezione

Densita': 2000 kg/mc
Conduc. termica: 1.60 W/(mK)

Specifiche di prova

Tempo di campionamento: 2 s
Procedura: CIRCUITO CHIUSO

Misure e risultati

T. finale ingresso: 19.80 C
T. finale uscita: 19.78 C

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
X T. terreno = 19.78 C X
X X
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Durata prova: 0:28.42

Posizione GPS

Latitudine: 38N 48' 19.2"
Longitudine: 16E 35' 40.8"
Altitudine: 20 m

GEogert 2.0

File: 29900050.TXT
Matricola: mod1-299 / mod2-399
Versione firmware: 1.00.13

GEoenergia Srl

Via Rolleja 7
13045 Lozzolo (VC)
Italia
P.IVA: 02270720028
Tel: 0039(0)163899984
Fax: 0039(0)163892941
info@geoenergia.it

Info su attrezzatura
e procedure di prova:
www.geogert.com

PROVA DI FLUSSO

Data: 29/10/13 Ore: 18:48.25
Operatore: Fabrizio Rinaldi

Cantiere

Cliente: Invitala SPA
Cantiere: Parch.Arch.Scolacium
Localita': RocclietteBorgia(CZ)

Sonda

Nome: s1
Lunghezza: 95.0 m
Configurazione: 2 U

Perforazione

Diametro: 152 mm
Perforat.: Geovit
Data esecuz. sonda: 23/10/2013

Tubazioni

Materiale: HDPE De32 PN16
Diametro esterno: 32.0 mm
Pressione nominale: 16.0 bar

Materiale di iniezione

Densita': 2000 kg/mc
Conduc. termica: 1.60 W/(mK)

Specifiche di prova

Delta gradino portata: 100 l/h
Procedura: CIRCUITO CHIUSO

Misure e risultati

Circuito 1

Portata di riferimento: 989 l/h
Delta P: 286 mbar
Temperatura media: 19.78 C
Lunghezza misurata: 86.77 m
Incertezza: +/- 13.61 %

Portata di riferimento: 839 l/h
Delta P: 207 mbar
Temperatura media: 19.81 C
Lunghezza misurata: 82.20 m
Incertezza: +/- 18.68 %

Portata di riferimento: 749 l/h
Delta P: 181 mbar
Temperatura media: 19.80 C
Lunghezza misurata: 81.88 m
Incertezza: +/- 10.16 %

Portata di riferimento: 685 l/h
Delta P: 147 mbar
Temperatura media: 19.78 C
Lunghezza misurata: 81.88 m
Incertezza: +/- 14.60 %

Portata di riferimento: 488 l/h
Delta P: 84 mbar
Temperatura media: 19.78 C
Lunghezza misurata: 84.13 m
Incertezza: +/- 32.10 %

Portata di riferimento: 490 l/h
Delta P: 87 mbar
Temperatura media: 19.79 C
Lunghezza misurata: 86.00 m
Incertezza: +/- 30.88 %

Portata di riferimento: 213 l/h
Delta P: -2 mbar
Temperatura media: 19.79 C
Lunghezza misurata: -15.35 m
Incertezza: +/- 1682.10 %

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
X Circuito 1 X
X Test terminato X
X Misure OK (SIA): 85.7 % X
X Misure OK (GEO): 85.7 % X
X X
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Circuito 2

Circuito 2

Portata di riferimento: 962 l/h
Delta P: 281 mbar
Temperatura media: 19.94 C
Lunghezza misurata: 88.99 m
Incertezza: +/- 14.00 %

Portata di riferimento: 820 l/h
Delta P: 222 mbar
Temperatura media: 19.68 C
Lunghezza misurata: 91.71 m
Incertezza: +/- 17.44 %

Portata di riferimento: 700 l/h
Delta P: 167 mbar
Temperatura media: 19.77 C
Lunghezza misurata: 90.00 m
Incertezza: +/- 11.73 %

Portata di riferimento: 631 l/h
Delta P: 138 mbar
Temperatura media: 19.80 C
Lunghezza misurata: 88.07 m
Incertezza: +/- 16.17 %

Portata di riferimento: 572 l/h
Delta P: 123 mbar
Temperatura media: 19.74 C
Lunghezza misurata: 93.54 m
Incertezza: +/- 19.17 %

Portata di riferimento: 326 l/h
Delta P: 33 mbar
Temperatura media: 19.75 C
Lunghezza misurata: 72.88 m
Incertezza: +/- 95.11 %

Portata di riferimento: 452 l/h
Delta P: 76 mbar
Temperatura media: 19.75 C
Lunghezza misurata: 86.90 m
Incertezza: +/- 36.82 %

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
X Circuito 2 X
X Test terminato X
X Misure OK (SIA): 85.7 % X
X Misure OK (GEO): 100.0 % X
X X
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

ALLEGATO 3: DATI GREZZI

Tempo [h]	Pressione [bar]	Temperatura ingresso sonda [°C]	Temperatura uscita sonda [°C]	Temperatura interna della macchina [°C]	Frequenza [Hz]	Tensione fase 1 [V]	Corrente fase 1 [A]	Potenza elettrica f. 1 [kWel]	Cosphi fase 1	Tensione fase 2 [V]	Corrente fase 2 [A]	Potenza elettrica f. 2 [kWel]	Cosphi fase 2	Tensione fase 3 [V]	Corrente fase 3 [A]	Potenza elettrica f. 3 [kWel]	Cosphi fase 3	Potenza elettrica totale [kWel]
61.653	2.83	45.17	39.86	38.72	47.6	229.2	8.7	2.35	1.00	231.3	9.6	2.21	1.00	228.4	11.7	2.61	1.00	7.16
61.670	2.83	45.17	39.86	38.80	47.6	229.2	8.7	2.35	1.00	231.4	9.7	2.22	1.00	228.5	11.7	2.62	1.00	7.18
61.686	2.83	45.17	39.86	38.87	47.6	229.2	8.7	2.35	1.00	231.4	9.7	2.23	1.00	228.6	11.8	2.62	1.00	7.20
61.703	2.83	45.16	39.87	38.94	47.6	229.5	8.7	2.35	1.00	231.5	9.7	2.22	1.00	228.7	11.7	2.62	1.00	7.20
61.720	2.83	45.17	39.88	39.02	47.6	229.2	8.7	2.34	1.00	231.2	9.7	2.23	1.00	228.5	11.8	2.63	1.00	7.20
61.736	2.84	45.19	39.87	39.10	47.6	229.1	8.7	2.34	1.00	231.1	9.7	2.21	1.00	228.4	11.8	2.62	1.00	7.17
61.753	2.83	45.17	39.87	39.19	47.6	229.1	8.7	2.35	1.00	231.2	9.7	2.22	1.00	228.5	11.7	2.62	1.00	7.18
61.770	2.83	45.18	39.87	39.27	47.6	229.1	8.7	2.34	1.00	231.1	9.7	2.22	1.00	228.4	11.7	2.62	1.00	7.17
61.786	2.84	45.16	39.87	39.35	47.6	229.1	8.7	2.34	1.00	231.1	9.7	2.22	1.00	228.5	11.8	2.62	1.00	7.19
61.803	2.84	45.23	39.87	39.42	47.6	229.2	8.7	2.34	1.00	231.2	9.9	2.25	1.00	228.4	11.9	2.64	1.00	7.23
61.820	2.83	45.15	39.82	39.51	47.6	228.9	8.7	2.34	1.00	230.8	9.7	2.21	1.00	228.3	11.7	2.61	1.00	7.17
61.837	2.84	45.11	39.81	39.54	47.6	229.1	8.7	2.34	1.00	231.0	9.7	2.23	1.00	228.3	11.8	2.63	1.00	7.19
61.853	2.84	45.11	39.79	39.55	47.6	229.1	8.7	2.34	1.00	231.0	9.7	2.22	1.00	228.3	11.8	2.62	1.00	7.18